



**Politecnico
di Torino**

Tesi di Laurea Magistrale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile LM-24

**Progettazione di una scuola dell'infanzia
con struttura portante in legno**

Relatrice:

Prof.ssa Valentina Villa

Correlatrice:

Prof.ssa Marika Mangosio

Candidato:

Giulio Mortella

A.A. 2021/2022

Sessione di Laurea Luglio 2022

Sommario

ABSTRACT	7
1. INTRODUZIONE	9
2. SISTEMI COSTRUTTIVI IN LEGNO	12
2.1 Sistema costruttivo massiccio: Blockbau	14
2.2 Sistema costruttivo a telaio in legno	16
2.3 Sistema costruttivo ad intelaiatura di legno: Platform -frame.....	19
2.3.1 Il meccanismo di funzionamento	21
2.3.2 Caratteristiche e posa in opera	23
2.3.3 Impianti	27
2.4 Sistema costruttivo con compensato di tavole: Tecnologia X-LAM.....	29
2.4.1 Nascita.....	29
2.4.2 Realizzazione pannello X-Lam	29
2.4.3 Dimensioni e formati dell'X-Lam	30
2.4.4 Analisi del Materiale.....	31
2.4.5 Prestazioni.....	32
2.4.6 Resistenza al fuoco.....	32
2.4.7 Protezione antisismica	32
2.4.8 Prestazioni termiche e acustiche	33
2.4.9 Ecosostenibilità	34
2.4.10 Recupero fine vita	34
3. SCELTA DEL PROGETTO ED ESEMPI NOTI	35
3.1 Nido d'infanzia – Mario Cucinella.....	36
3.2 Scuola d'infanzia – Colucci & Patners	38
3.3 Scuola materna – Arch. Ado Furland, Arch. Vittorio Pierini	41
3.4 Scuola KIGA – Arch. Michael Tribus	44
3.5 Scuola materna comunale – Arch. Giambattista Pomatto	47

3.6	Scuola materna e asilo nido – Archh. Antonio D’Alessandro e Francesca Maruccia.....	50
3.7	Asilo nido “BabyLife” – Studio di architettura 02arch.....	53
3.8	Nuova scuola dell’infanzia “Pietro Nenni” – Studio Arch. Nuova Tecnologia s.r.l.	55
3.9	Tabella di confronto	57
4.	IL CASO STUDIO: LA SCUOLA D’INFANZIA “SO.LE.”	58
4.1	Inquadramento urbanistico	58
4.1.1	Comune di Mappano.....	58
4.1.2	Area di progetto	59
4.1.3	Dimensionamento superficie minima	60
4.1.4	Verifica degli standard urbanistici.....	61
4.1.5	Dimensionamento teorico degli spazi funzionali	62
4.2	Il progetto architettonico	64
4.2.1	Studio funzionale degli spazi	65
4.2.2	Piante	67
4.2.3	Sezioni	68
4.2.4	Prospetti.....	68
4.2.5	Render.....	69
5	IL SISTEMA TECNOLOGICO.....	71
5.1	La struttura portante	71
5.1.1	Stratigrafie.....	74
5.1.2	Caratteristiche termo-igrometriche	77
5.2	Le Chiusure	79
5.2.1	Chiusura orizzontale: tetto verde.....	79
5.2.2	Chiusure verticali trasparenti: gli infissi	81
5.3	Gli impianti tecnologici	89
5.3.1	Considerazioni sugli impianti elettrici e idrosanitari.....	89
5.3.2	Raccolta e recupero acque piovane	89
5.4	Dimensionamento degli elementi strutturali	91
5.4.1	Predimensionamento.....	91
5.4.2	Verifica del predimensionamento.....	95

6	LA CANTIERIZZAZIONE DEL PROGETTO	108
6.1	Approvvigionamento, trasporto e stoccaggio del materiale	108
6.2	Fasi di cantiere e logistica	110
6.3	Fasi di realizzazione struttura portante	116
6.3.1	Struttura di fondazione	116
6.3.2	Collegamenti fondazione-parete.....	117
6.3.3	Posa e collegamento tra pareti	119
6.3.4	Posa solaio di copertura	122
6.3.5	Accorgimenti costruttivi	123
6.3.6	Diagramma di Gantt	125
6.4	Confronto tra sistemi costruttivi: secco vs umido	126
6.4.1	Sistema costruttivo in C.A.	126
6.4.2	Stima dei costi	128
6.4.3	Stima dei tempi	129
6.4.4	Risultati	143
6.5	Ulteriori condisezioni	144
6.5.1	Confronto dei tempi con metodo costruttivo pratico.....	144
6.5.2	Costo di realizzazione della struttura in X-Lam dell'intera opera	145
6.5.3	Costo di costruzione dell'intera opera	147
7	CONCLUSIONI.....	149
7.1	Considerazioni finali sui diversi sistemi costruttivi	149
7.2	Considerazioni personali	151
8	– INDICE DELLE FIGURE	152
9	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	155
9.1	Bibliografia e articoli scientifici	155
9.2	Riferimenti normativi.....	155
9.3	Sitografia	156

ABSTRACT

Oggigiorno il legno è sempre più diffuso nell'architettura moderna come materiale per la realizzazione di strutture innovative e funzionali, poiché segna un nuovo orientamento culturale e una forte sensibilizzazione nei confronti dell'ambiente da parte di progettisti e committenti derivanti dai vantaggi che questo materiale ha da offrire. *Il legno è il perfetto connubio tra estetica e performance.*

Questo elaborato dopo una breve premessa sul panorama edilizio attuale illustrerà nel secondo capitolo, le più diffuse tecniche e tecnologie costruttive in legno.

Di queste tecniche quella relativa al X-Lam verrà approfondita, partendo dalla diffusione di questa nuova tecnologia fino ad arrivare al suo applicativo, descrivendo brevemente ogni beneficio che si può trarre dal suo utilizzo.

Nel terzo capitolo verranno presentati e confrontati diversi progetti di edilizia scolastica realizzati in legno, così da poter evidenziare gli aspetti comuni di tali opere e successivamente estrapolare le migliori tecnologie utili ai fini di una buona progettazione con l'utilizzo di questo materiale.

Nel quarto e quinto capitolo si entrerà nell'anima dell'elaborato illustrando il mio progetto di scuola dell'infanzia ecosostenibile e le diverse verifiche svolte con particolare attenzione verso le tecnologie adoperate, presentando i vantaggi rispetto a quelle più comunemente impiegate.

Infine verrà messa a confronto la tecnica costruttiva in X-Lam – sistema costruttivo a secco - con quella tradizionale – sistema costruttivo a umido. Questo confronto non sarà fatto su tutta l'opera ma solo sul blocco A, successivamente definito, al fine di avere un numero limitato di elementi da confrontare e quindi un grado di controllo e precisione maggiore.

L'analisi svolta consta nella determinazione e nel confronto dei costi e dei tempi di costruzione di tale opera realizzata con i due differenti sistemi costruttivi.

1. Introduzione

In una condizione di risorse circoscritte, forte mutamento climatico, età media in salita, minor numero di nascite ed elevata presenza di immigrati, occorre oltre ad una grande elasticità nelle scelte determinanti per realizzare città sostenibili e vivibili per tutti, una visione complessiva di tutto il processo, partendo dalla scala urbana fino a giungere al particolare esecutivo.

Nel corso degli ultimi decenni il settore dell'edilizia è in continua evoluzione nella ricerca di prestazioni energetiche e sostenibili che possano corrispondere ai fabbisogni moderni tra i quali ritroviamo il contrasto alle crescenti problematiche in merito al cambiamento climatico che impongono di porre sempre maggiore attenzione alle modalità di sfruttamento delle risorse ambientali e all'abbattimento di CO2 proveniente in quantità elevate dalla produzione di materiali da costruzione come acciaio, cemento e vetro.

L'incremento della domanda di energia, gli obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile posti nell'Agenda 2030 ed il recepimento da parte degli Stati Membri UE della Direttiva Europea 2018/844 nota con l'acronimo EPBD - Energy Performance of Buildings Directive - che promuove l'efficienza e il rendimento energetico degli edifici, mostrano con trasparenza l'esigenza di provvedimenti radicali orientati all'innovazione energetica e ambientale, allo sviluppo sostenibile e all'impiego di fonti di energia rinnovabili nel settore dell'edilizia.

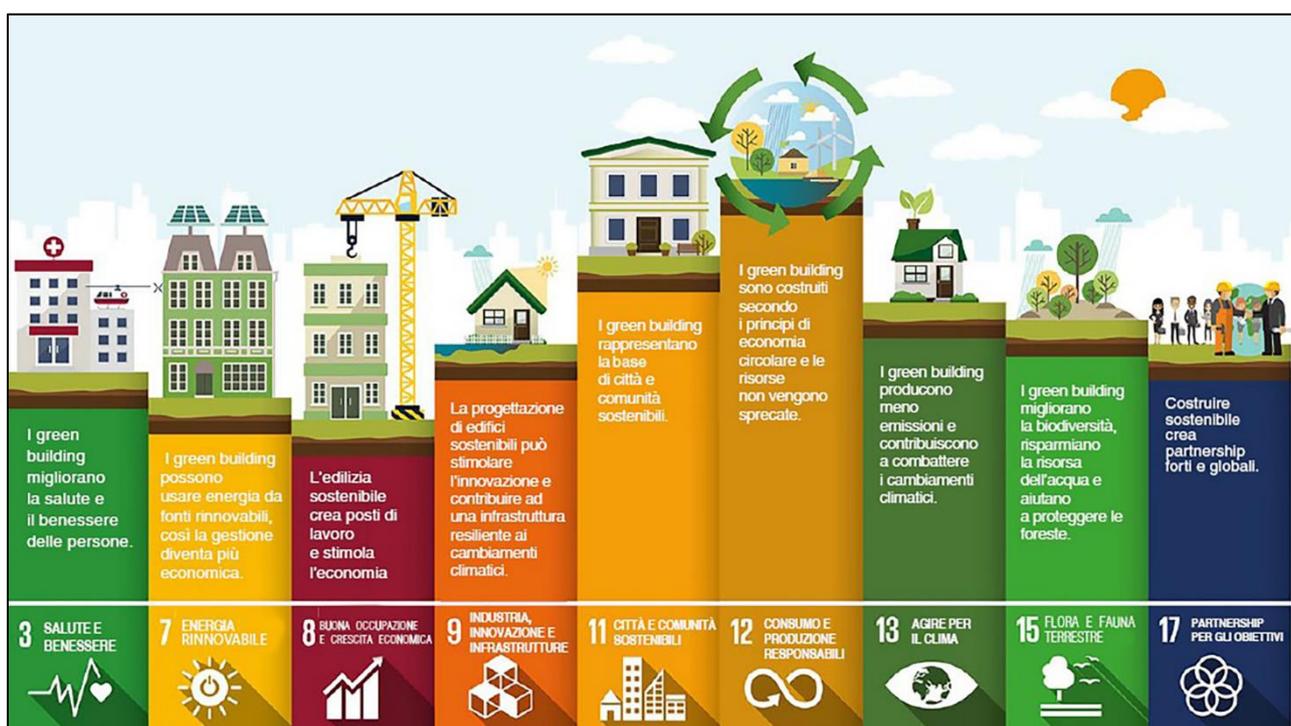


Figura 1 - I 9 Sustainable Development Goals in cui l'edilizia può contribuire in maniera significativa.

L'innovazione energetica e ambientale e la sostenibilità edilizia danno la possibilità di ridurre gli impatti del processo edilizio sulla condizione ambientale, sociale ed economico e offrono concreti dispositivi concettuali e operativi, con cui è possibile riportare in moto il settore.

Alla fine del 2019 la Global Alliance for Buildings and Construction presenta alla XXV Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici – nota come COP25 o Conferenza delle Parti dell'UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) – un rapporto in cui si afferma che in Europa gli edifici e l'intero settore delle costruzioni sono responsabili del 36% delle emissioni annuali di CO₂, del 40% del consumo di energia, del 50% delle estrazioni di materie prime, del 21% di acqua potabile e interessa 18 milioni di posti di lavoro.

Inoltre, la crisi legata al COVID-19 ha riportato un accrescimento della domanda da parte dei consumatori di prodotti e modi sostenibili di condurre gli affari. Dettaglianti e grossisti hanno operato come interfaccia necessaria con i consumatori finali, svolgendo un ruolo chiave nell'anticipare e incoraggiare la domanda di prodotti e imballaggi più sostenibili, riciclabili e/o riutilizzabili. Dettaglianti e grossisti si adoperano operosamente da molti anni per l'incremento del consumo sostenibile e limitare le emissioni di CO₂ nelle loro operazioni e catene di rifornimento. Hanno però dovuto combattere contro numerose sfide nel favorire questo passaggio in un settore contraddistinto da costi fissi elevati e margini bassi.

La Commissione europea ha presentato a Bruxelles mercoledì 15 dicembre 2021 le sue attese proposte legislative riservate all'efficienza energetica nell'edilizia pubblica e privata. Il fine è quello di limitare le emissioni dannose di questo settore particolarmente inquinante, e a questo proposito il programma di lavoro 2021 della Commissione europea ha annunciato la politica ambientale "Fit for 55" che punta alla riduzione della CO₂ del 55% entro il 2030, rispetto ai dati del 1990 per realizzare un'Europa climaticamente neutra entro il 2050.

Le misure innovative inserite dalla proposta presumono che nel 2030 per tutti gli stabili in classe energetica G dovranno essere realizzati provvedimenti di efficientamento per rientrare almeno nella classe F, e nella E nel 2033. Gli edifici pubblici dovranno anticipare i suddetti termini al 2027 e al 2030.¹

¹ Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni, Il Green Deal europeo (COM(2019) 640 final)-Allegato alla comunicazione sul Green Deal europeo, pagina 2.

In tale ottica, l'approccio alla realizzazione degli edifici e alla riqualificazione di quelli esistenti segue sempre di più un modello di sviluppo edilizio sostenibile. Sicuramente, l'uso della metodologia BIM nei processi edilizi, la costruzione di elementi modulari off-site e l'impiego di materiali poco inquinanti e rinnovabili sono parte integrante e promotrice di questa grande transizione verso un'edilizia sostenibile.

2. Sistemi costruttivi in legno

In questo capitolo verranno descritti i più noti sistemi costruttivi presenti per le strutture in legno. Possiamo individuare più tipologie di costruzioni di legno, poiché è possibile distinguerle per le costruzioni di tipo leggero e costruzioni di tipo massiccio in base alla struttura portante delle pareti. Infatti, la differenza effettiva la ritroviamo nello strato isolante che, nella struttura di tipo massiccio, è distaccato ma accostato alla struttura portante, nelle costruzioni di legno di tipo leggero, isolamento e struttura portante vengono collocati nello stesso piano.

Al fine di realizzare la struttura portante sono adoperati nelle due circostanze prodotti del tutto diversi: gli elementi portanti delle costruzioni di tipo leggero sono di tipo lineare accoppiati a pannellature sottili; gli elementi utilizzati per le costruzioni di tipo massiccio sono pannelli portanti piani di dimensioni molto grandi e in questo caso non è necessaria alcuna barriera al vapore e detengono una massa più elevata e, pertanto, anche un'alta capacità di immagazzinamento di energia termica. Sia in un caso che nell'altro si potranno progettare tanto le facciate esterne quanto il rivestimento interno.

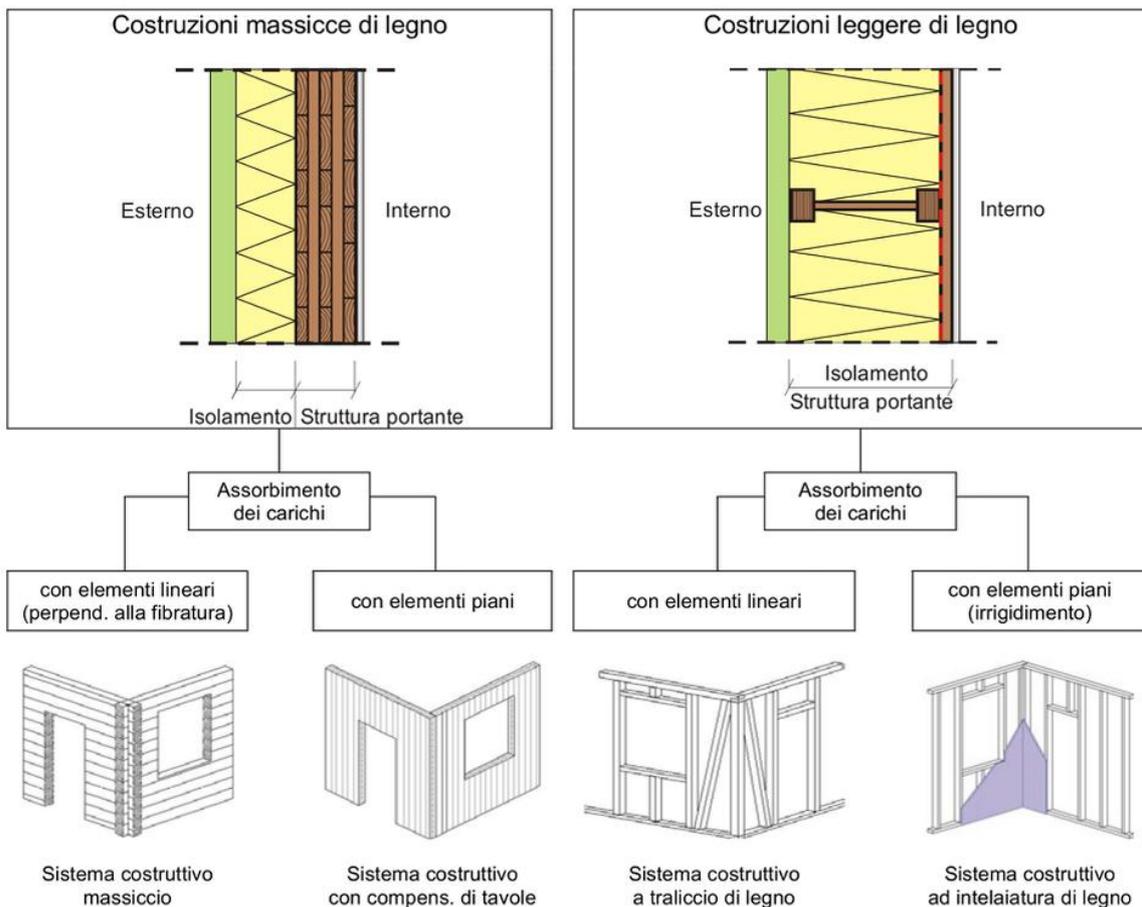


Figura 2 - Suddivisione di base dei sistemi costruttivi di legno

Vediamo adesso la varietà di sistemi costruttivi in legno: ad oggi la tipologia costruttiva più propagata resta quella della tradizionale costruzione intelaiata di legno, ideata con elementi piani assemblati tra più componenti per la produzione di solai e pareti, ma costruire con il legno significa doversi interfacciare con una vasta gamma di prodotti (legno massiccio, legno lamellare, compositi di fibre incollate, pannelli multistrato, etc.) di origine comune, ma assai distinti tra loro per struttura, comportamento e campo di applicazione.

Pertanto, analizzeremo di seguito i diversi sistemi costruttivi in legno che sono: costruzioni a tronchi sovrapposti o blocchi massicci, costruzioni a pannelli di legno, costruzioni a telaio, costruzioni a traliccio e costruzioni intelaiate.

2.1 Sistema costruttivo massiccio: Blockbau

La descrizione di legno massiccio strutturale si riferisce ai segati riservati a strutture portanti, ricavati dal legno tondo attraverso taglio parallelo all'asse del tronco e possibile piallatura, senza superfici incollate e senza giunti a pettine. In Europa centrale le specie legnose adoperate sono soprattutto le Conifere locali quali l'abete rosso, l'abete bianco, il pino, il larice e la douglasia. Per usi tipici viene utilizzato anche il legno delle Latifoglie indigene, soprattutto quercia, faggio, frassino, castagno e robinia.

Gli elementi massicci vengono collocati orizzontalmente e montati per produrre una parete a sua volta massiccia. Compiono una doppia funzione: portante e di irrigidimento. Gli elementi compositivi della struttura sono modellati nella parte inferiore per allargare la superficie di contatto. Il legame degli elementi allo spigolo dell'edificio avviene attraverso intagli o connessioni di carpenteria tradizionale.

Una casa in tronchi massicci, o "blockbau", è paragonabile agli immobili con costruzione muraria in pietra, anche se l'involucro è conseguito con materiali da costruzione, tipi di lavorazione e modalità di posa del tutto distinti.

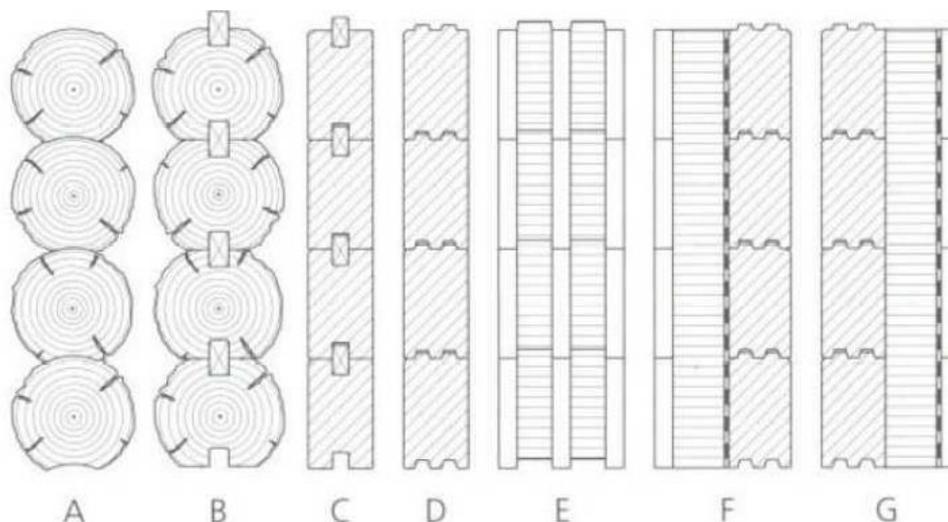
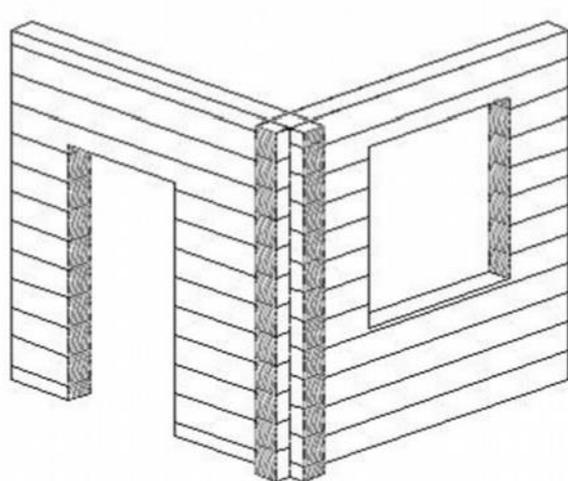


Figura 3 – Schemi costruttivi delle pareti in tronchi

Ciò che muta e contraddistingue l'uso di questo tipo di costruzione, generandone i diversi tipi di espressioni, è il tipo di taglio o squadratura dei singoli tronchi.

Nella figura successiva possiamo osservare come gli elementi siano per lo più collegati con spinotti di legno allo spigolo di una parete massiccia dove specialmente ai lati delle aperture per le finestre, vengono battuti spinotti a sezione quadrata in fori circolari.



Sistema costruttivo massiccio

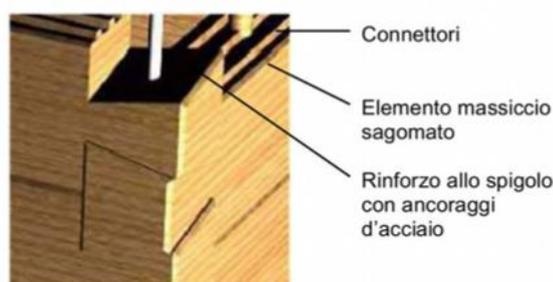
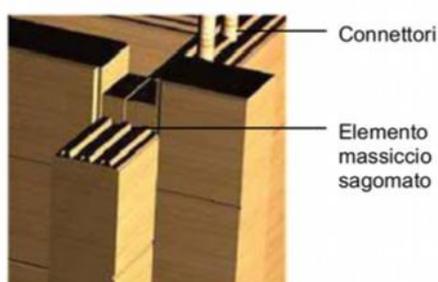
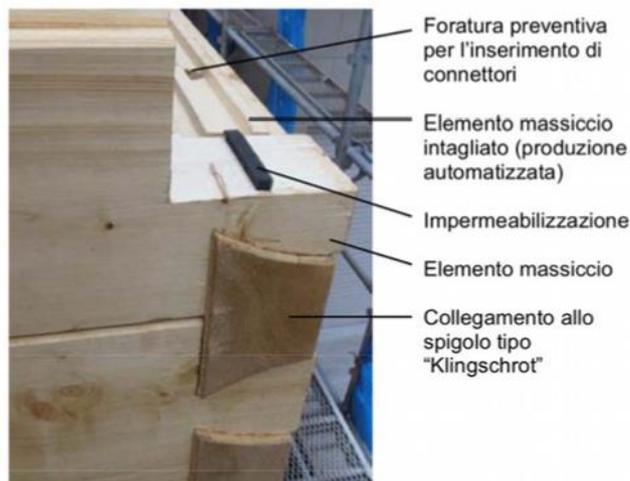


Figura 4 - Altri tipi di collegamenti allo spigolo per il sistema costruttivo massiccio

Nella progettazione di costruzioni massicce bisogna considerare le caratteristiche del materiale. Nel caso di trasmissione dei carichi verticali, gli elementi massicci vengono sollecitati a compressione perpendicolare alla fibratura.

Affinché vengano ridotti o eliminati i problemi in merito agli assestamenti si possono prevedere zone di deformazione a scomparsa tramite l'inserimento di una "trave flottante" o una cavità d'aria di alcuni centimetri adiacenti gli architravi, oppure realizzare il giunto con una struttura muraria o con controventi a struttura reticolare moderatamente rigidi per dare alla parete massiccia la possibilità di assestarsi liberamente, oppure evitare colonne portanti congiunte rigidamente alle pareti, ovvero valutare l'adattamento della parete massiccia nella progettazione e nella posa in opera di impianti o compiere i piastrellamenti su rivestimenti non vincolati alla parete.

Questa tecnologia è definita "sistema chiuso", poiché ogni parete ha una mansione portante; il legno impiegato è quello di larice o di abete rosso. Questo metodo presenta lo svantaggio di servirsi di un gran numero di tronchi lunghi e dritti, con derivati costi alquanto cospicui e con l'esigenza di isolare le pareti.

2.2 Sistema costruttivo a telaio in legno

Questo tipo di costruzione antichissima si è sviluppata sin dai tempi del primo neolitico. Oltre al metodo di disporre tronchi d'albero orizzontalmente l'uno sull'altro (costruzione massiccia), uno dei primi modi di costruire edifici consisteva nel sistema "trilitico": due montanti verticali, sormontati da un'asta orizzontale creando un portale (costruzione di palafitte). Le pareti tra questi pali venivano completate con intrecci ed argilla.

I primi templi greci e gli ordini architettonici furono costruiti in legno. Il sistema, anche noto come sistema costruttivo ad ossatura portante o a gabbia, consente grande flessibilità e versatilità d'uso.

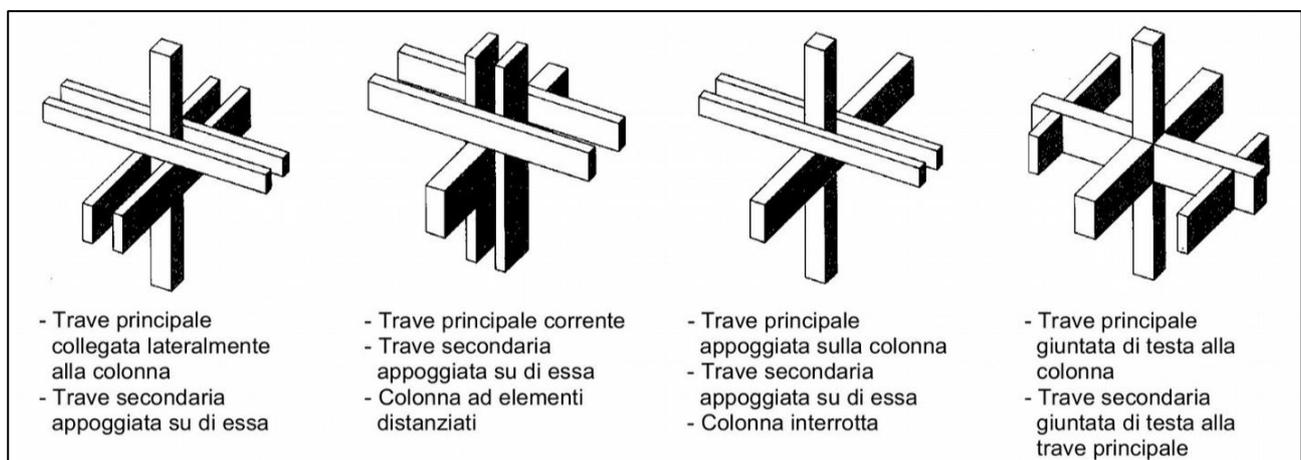


Figura 5 - Realizzazioni dei nodi nelle costruzioni ad ossatura portante di legno

Le più recenti costruzioni a telaio in legno sono state create sin dalla fine degli anni '60 soprattutto in Europa, ed in Giappone dall'inizio degli anni '80.

Grazie all'utilizzo e all'introduzione del legno lamellare incollato fu possibile progettare piante di edifici tanto grandi fino a loro piacimento, grazie all'aumento dei possibili interassi di travi e colonne, ampi spazi per la concezione dello spazio interno ed il suo utilizzo.²

Colonne e travi sono collocate a grande distanza l'una dall'altra (interasse) affinché sia possibile inserire facciate e pareti divisorie realizzate a piacimento. Sopra o in mezzo alla struttura portante principale vengono introdotti gli elementi portanti secondari, che possono essere travi e puntoni (in presenza di luci ridotte anche tavoloni) o elementi di tipo piano di legno compensato di tavole (o per luci ridotte pannelli in legno).

² <https://www.studioandreini.com/blog/92-sistema-costruttivo-ad-ossatura-portante-grande-flessibilita-nella-scelta-degli-elementi.html>

Travi e pilastri assolvono la funzione portante della struttura, lasciando ampi spazi liberi aperti, che possono essere tamponati a piacimento con forme e materiali arbitrarie.

I tamponamenti possono essere realizzati con sistemi costruttivi a piacimento come elementi intelaiati, elementi di legno compensato di tavole, costruzioni con vetro ma anche murature.

I solai sono composti da travature in legno.

Per il fatto che il sistema costruttivo ad ossatura portante permette grande elasticità nella preferenza degli elementi di tamponamento (eventualmente senza alcuna funzione portante), esso può essere definito piuttosto come tipo di struttura portante, che come tipo di costruzione.

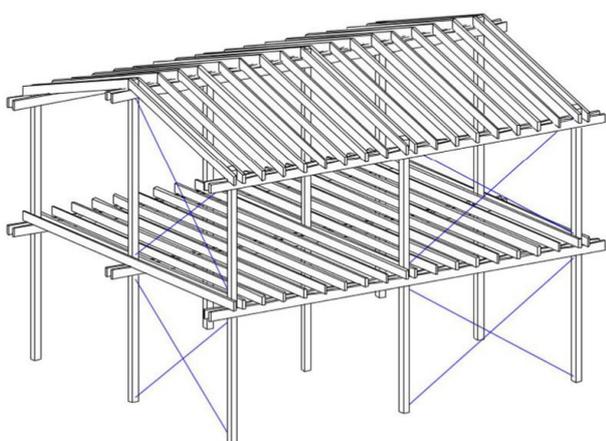


Figura 6 - Sistema costruttivo in telaio di legno

Le particolarità del sistema costruttivo in telaio di legno sono:

- la ripartizione in pianta delle pareti interscambiabile e pareti agevolmente rimovibili;
- la libertà di programmazione sulla base di reticoli e moduli mutabili;
- l'ossatura portante e pareti non portanti svincolati da essa;
- la struttura portante grossomodo prontamente riconoscibile;
- gli elementi costruttivi portanti per la maggior parte composti da legno lamellare incollato;
- l'utilizzo di mezzi di connessione d'acciaio;
- l'alto grado di prefabbricazione;
- l'irrigidimento soprattutto attraverso solai con comportamento a lastra, diagonali di acciaio o di legno oppure lastre di parete.

Per quel che concerne il confronto tra costruzioni a telaio di legno e costruzioni intelaiate di legno si può notare che, nelle costruzioni intelaiate, vengono compiute piastre per le quali non vige alcuna divisione tra elementi portanti e di tamponamento. Nelle costruzioni a telaio di

legno, i carichi sono assimilati da elementi strutturali di tipo lineare, che possono rimanere a vista a prescindere dagli elementi di tamponamento.

Gli edifici a telaio di legno sono per lo più costruiti secondo un reticolo orizzontale e, sovente, anche secondo uno verticale. Il reticolo adoperato influisce sulla disposizione degli elementi e la ripartizione degli spazi, definisce la posizione delle colonne portanti e la lunghezza delle travi, inoltre definisce le luci libere nella direzione portante principale ed in quella secondaria. Durante la fase della progettazione bisogna scegliere un modulo di base ed il reticolo ottenuto come multiplo di tale modulo.

Il reticolo viene ricavato in base all'utilizzazione degli spazi, alle dimensioni della struttura e dei singoli locali, all'organizzazione architettonica e ai desideri del committente. La grandezza del modulo di base può essere determinata ex novo in base alle esigenze del fabbricato in base alle priorità che si hanno.

Sovente, le dimensioni del reticolo nelle strutture a telaio di legno sono:

- 120/120 cm;
- 120/360 cm;
- 125/125 cm;
- 360/360 cm;
- 480/480 cm.

Possiamo affermare che le luci libere nelle direzioni portanti principale e secondaria siano un multiplo delle dimensioni del reticolo, che possono essere regolari o anche irregolari.

In base al tipo di costruzione, le luci delle travi principali sono contenute tra 3,0 m e 8,0 m. Luci comprese tra 3,5 m e 4,5 m (5,0 m) si sono svelate finanziariamente più economiche e appropriate in relazione ai carichi che abitualmente lavorano su solai di edifici impiegati a civile abitazione o ufficio. Solitamente viene segnalato come nodo il "punto" in cui si incontrano (almeno) due aste. Quest'ultimo dovrà collegare le aste l'una con l'altra ammettendo la propagazione delle forze tra di loro. Nel metodo costruttivo a telaio di legno si identificano differenti varietà di costruzioni, che si distinguono tra loro in base alle strutture delle colonne, delle travi e degli elementi di connessione.

La scelta del sistema costruttivo scaturisce da una parte dagli aspetti architettonici e del reticolo in pianta, dall'altra parte dai carichi: ragion per cui si individua prima il reticolo in pianta e si pre-dimensiona la struttura portante principale, per poi individuare il tipo di costruzione a telaio di legno più idoneo.

2.3 Sistema costruttivo ad intelaiatura di legno: Platform - frame

Il Platform Frame è un sistema costruttivo in legno sviluppato alla fine dell'800 in Nord Europa e successivamente diffuso in tutto il Nord America.

Questo sistema costruttivo è basato su una struttura in telaio in legno che ottimizza la capacità di prefabbricazione del già esistente sistema "Balloon Frame" permettendo la costruzione di edifici a più piani grazie all'interruzione dei pilastri, detti montanti - che a differenza nel sistema Balloon frame proseguono per due piani consecutivi - alla soletta del primo piano.

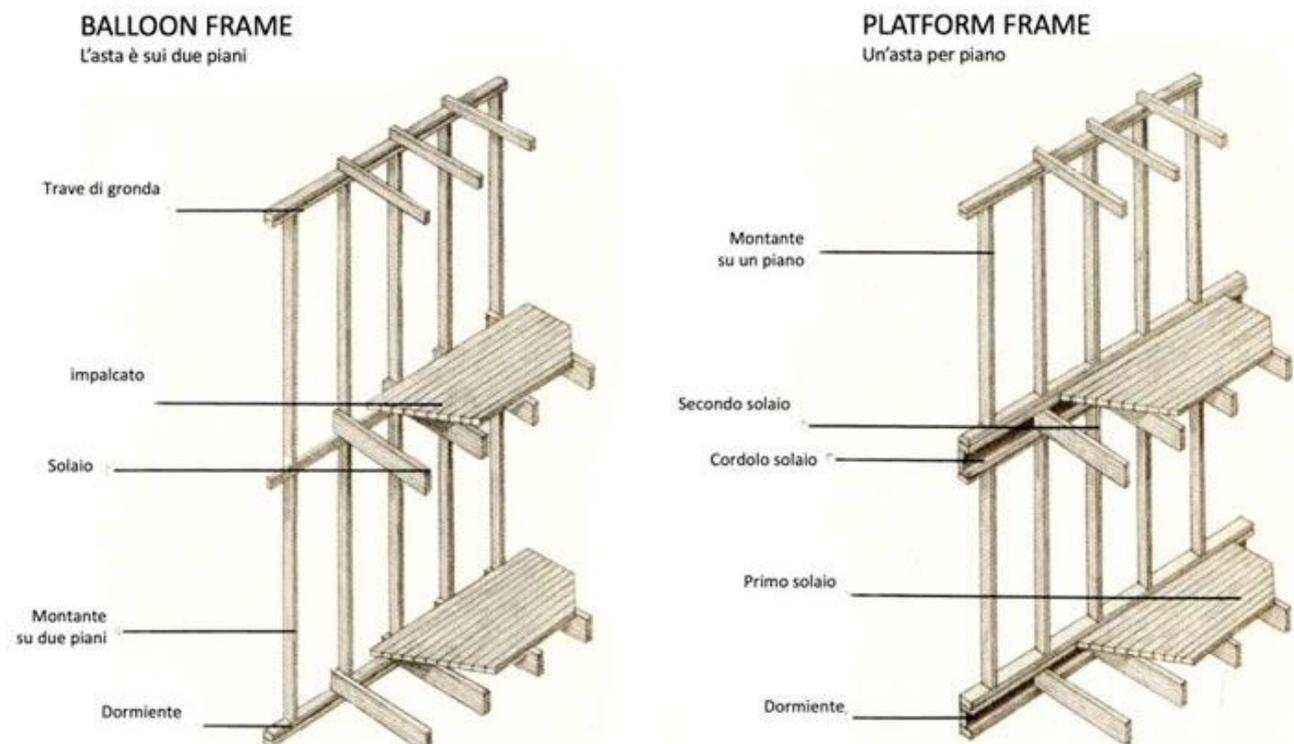


Figura 7 - Sistemi costruttivi Balloon Frame (a sinistra) e Platform Frame (a destra)

Il *Balloon Frame* permetteva la realizzazione di costruzioni in legno alte quanto le dimensioni delle tavole disponibili in quell'epoca, generalmente corrispondenti a due o raramente a tre piani fuori terra. Questa tecnica utilizza tavole lunghe e sottili, alte quanto la parete da realizzare, disposte a un interasse di circa 45-50 centimetri per formare una fitta struttura a telaio che rappresenta la parte portante della struttura in legno, successivamente controventata con altre tavole inclinate a 45° o 60°. I solai interpiano, invece, sono formati dai medesimi elementi che si sovrappongono su un dormiente che funge da cordolo perimetrale. Altre tavole formano, invece, la struttura sia della scala interna con relative alzate e pedate, che della copertura.

Ma proprio il bisogno di una tecnologia leggera e rapida per la costruzione di nuovi insediamenti in via di crescita e la simultanea produzione industriale di chiodi a basso costo, fecero da promotore ad una rapida evoluzione del Platform Frame.

Questa nuova tecnica costruttiva, invece, consisteva nel realizzare i piani di un edificio uno per volta. Il primo solaio svolge la funzione da piattaforma per la costruzione del secondo, così come i successivi. Infatti, una volta posizionate tutte le pareti e messo il solaio, sullo stesso vengono poste le pareti del piano superiore e così via, di conseguenza, il solaio sottostante funge da basamento per il piano successivo (da qui il nome Platform Frame), incrementando il livello di sicurezza in cantiere.

Le pareti sono costruite direttamente in opere e successivamente fissate sopra il rivestimento del solaio oppure semplicemente costruite in stabilimento per poi essere assemblate in cantiere.

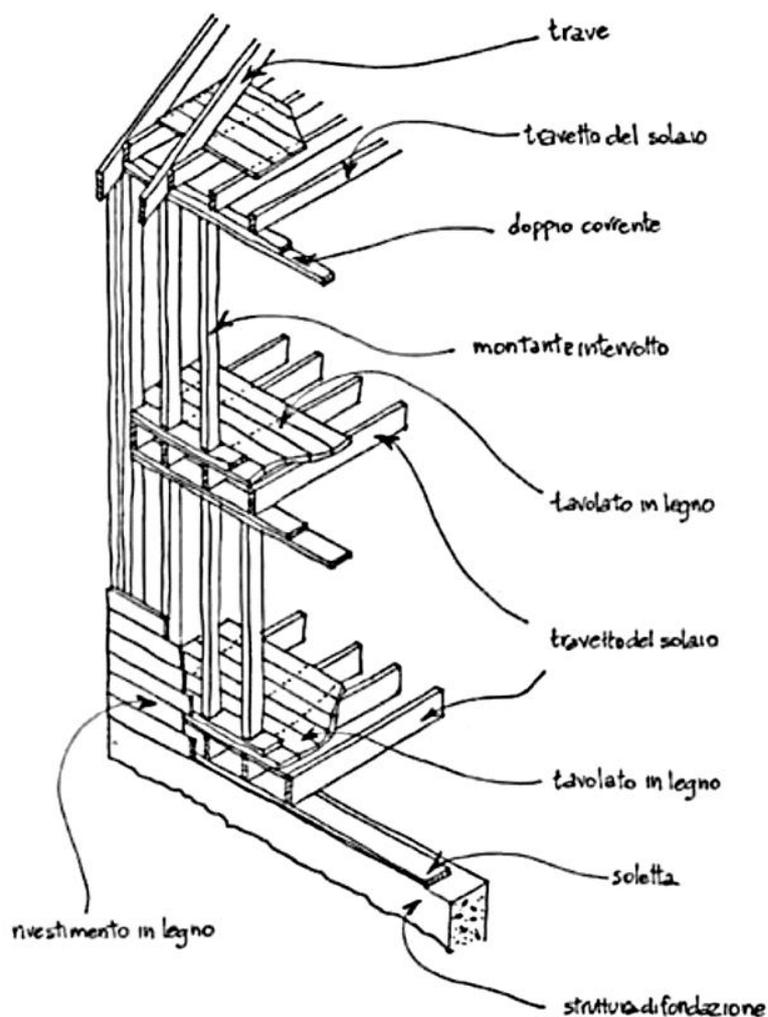


Figura 8 - Schema Platform frame

2.3.1 *Il meccanismo di funzionamento*

Come precedentemente appurato, il sistema Platform frame presenta una struttura portante costituita da un telaio leggero formato da legname.

Il principio di funzionamento statico è relativamente semplice: i carichi verticali e orizzontali che siano di vento o di sisma vengono scaricati alle fondazioni tramite le pareti, i solai, i montanti e tutti gli altri componenti che assemblati e collegati insieme formano un telaio a struttura scatolare. Le pareti, infatti, sono costruite con montanti verticali, di numero e sezione prevista dal progetto strutturale, fissati a travi orizzontali sia in alto che in basso, controventati da compensati fenolici certificati, oppure con lastre di OSB (Oriented Structural Board) di spessore adeguato, mediante chiodatura.



Figura 9 - Lastra OBS su struttura a Platform Frame

Sovente, una struttura in legno senza alcun tipo di accorgimento per la propria stabilità, se sottoposta a carichi trasversali anche di modesta entità, presenta deformazioni non accettabili; bisogna quindi irrigidire la struttura nei confronti di tali azioni con sistemi stabilizzanti e/o con controventi.

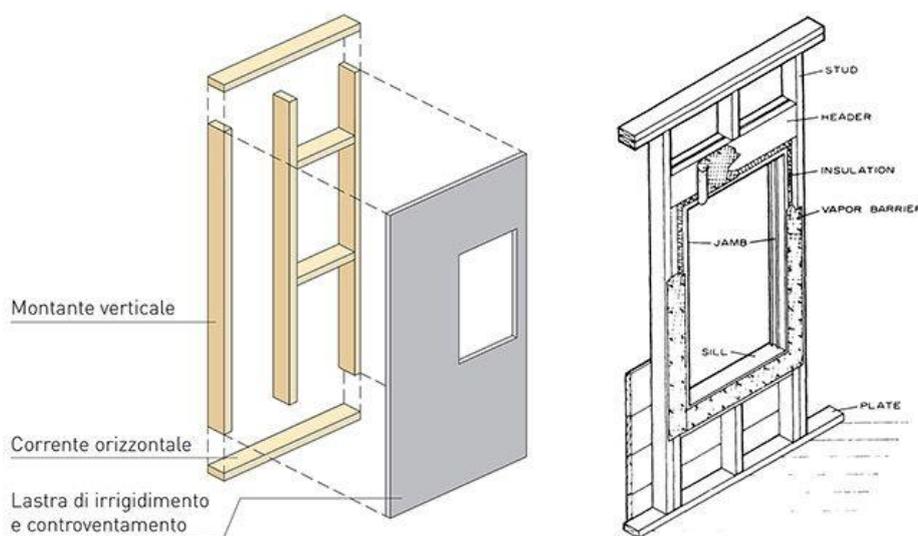


Figura 10 - Sistemi di irrigidimento della struttura in legno

La stabilizzazione e il controventamento di una struttura sono aspetti di primaria importanza nella progettazione di una costruzione di legno, in quanto intervengono in modo rilevante nella concezione strutturale del progetto oltre che nella sua caratterizzazione. Di fatti, mentre nelle costruzioni ad ossatura portante i carichi sono assorbiti da elementi di tipo lineare – montanti e travi orizzontali – nelle costruzioni intelaiate, essendo il sistema costruttivo a lastra, gli elementi portanti sono strettamente connessi a quelli di controventamento e stabilizzazione.

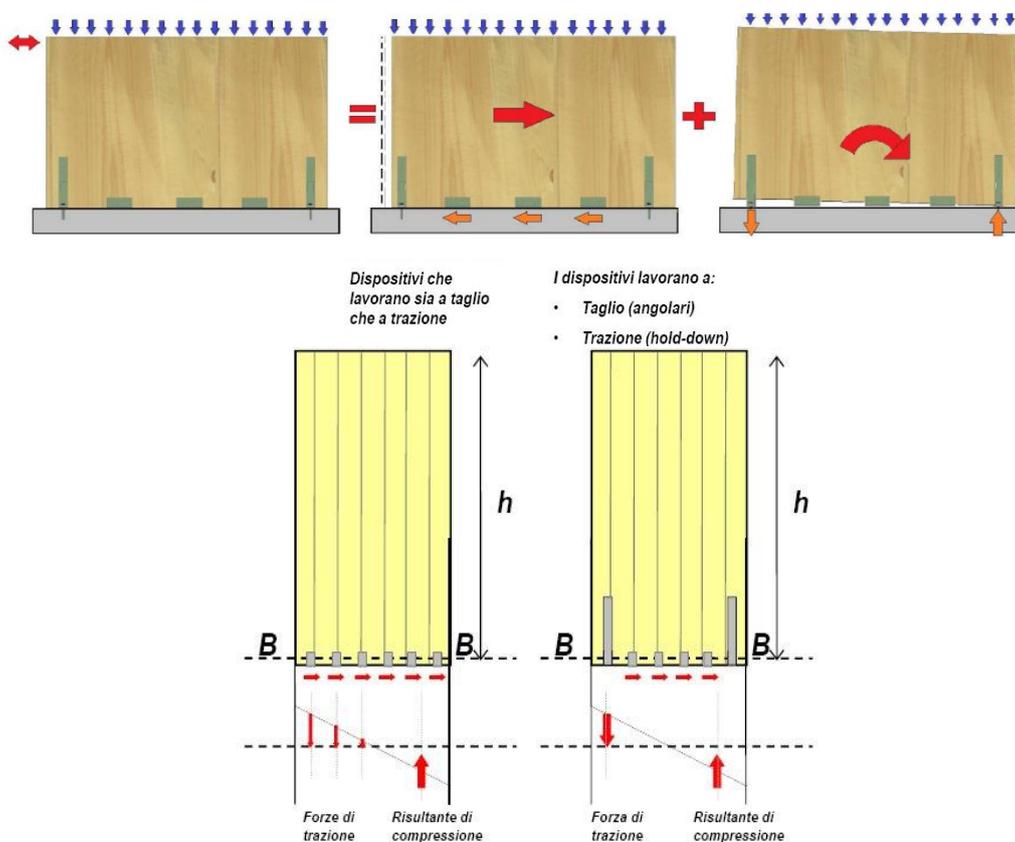


Figura 11 – Schema semplificato delle forze agenti interne e posizionamento dei dispositivi di collegamento con le

2.3.2 Caratteristiche e posa in opera

La struttura a Platform frame si collega al terreno tramite un elemento di separazione del piano di posa dalle strutture verticali; generalmente, consiste in un semplice solaio aereo contro-terra o in un cordolo in C.A. Qualora il pannello sia prefabbricato in officina, il collegamento tra la struttura portante e il sistema di fondazione avverrebbe tramite piastre e angolari.

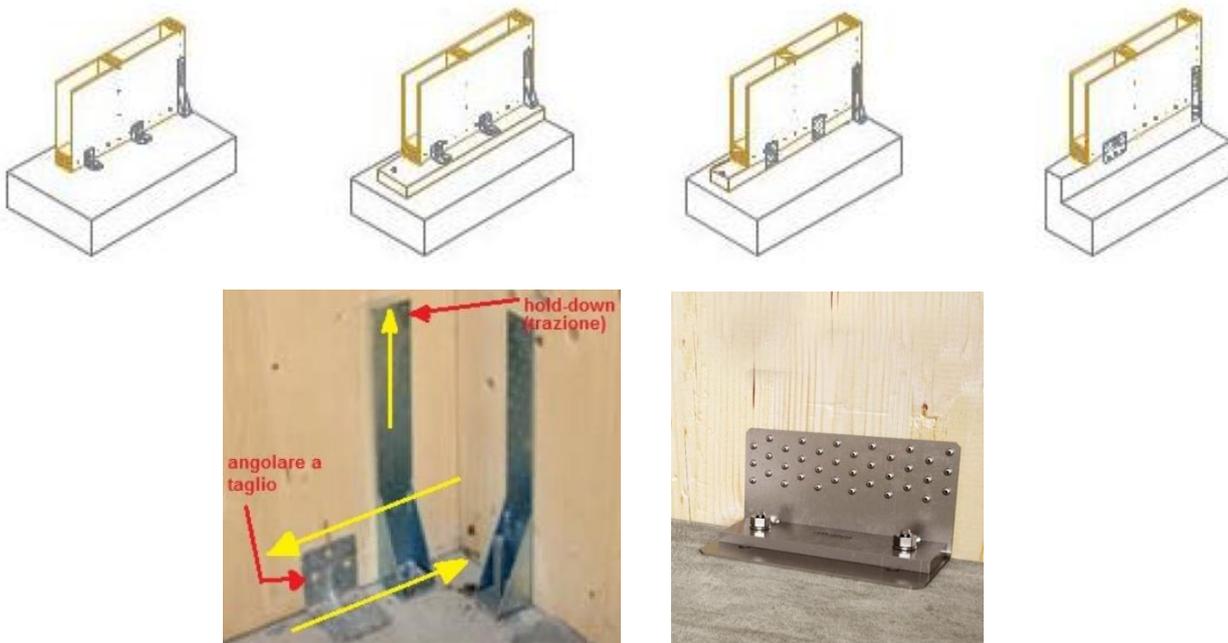


Figura 12 – Dispositivi di collegamento alle fondazioni: Hold-down (a sinistra), Angolari (a destra)

Ai fini di contrastare le azioni ribaltanti vengono poste alle estremità delle pareti e in corrispondenza delle aperture, gli hold-down; ovvero, delle piastre angolari allungate collegate con chiodi al telaio della parete e con barre tira-fondo in acciaio amarrate nella fondazione. Al contempo per aumentare la resistenza allo scorrimento e agli sforzi di taglio si utilizzano degli angolari, a lati uguali, che collegano le pareti alla fondazione.

Particolare attenzione richiede la struttura della copertura che può essere realizzata secondo tre differenti modalità: con incavallature leggere, con falsi puntoni su colmareccio o con pannelli intelaiati.

Differentemente dal colmareccio e dai falsi puntoni, tecnica in cui una trave di colmo poggiate sulle pareti perimetrali sorregge i puntoni, le incavallature sono costituite da travature collegate tra di loro tramite piastre chiodate.

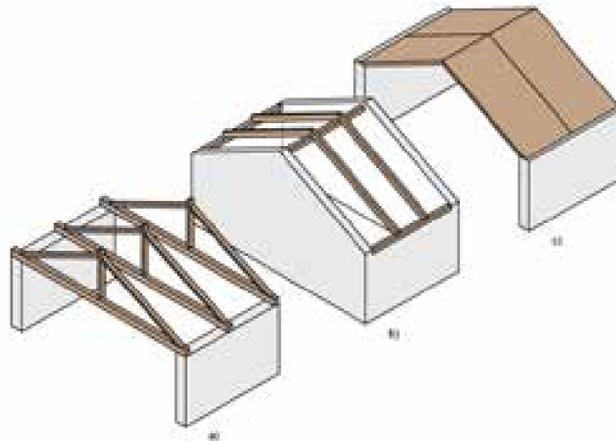


Figura 13 - Schema di soluzioni costruttive per copertura: incavallature leggere (a), falsi puntoni su colmareccio (b) e pannelli intelaiati (c)

La copertura a pannelli intelaiati è quella più ricorrente nei sistemi interamente prefabbricati in officina e nelle soluzioni tipologiche che prevedono il sottotetto abitato e con tetto microventilato. La soluzione costruttiva a incavallature leggere invece è ricorrente nelle configurazioni con sottotetto areato, che implica l'isolamento termico e acustico dell'ultimo solaio. Il procedimento a colmareccio e falsi puntoni è ottimale quando si voglia avere un locale sottotetto abitabile con travi a vista.

Le coperture piane sono in genere realizzate con le stesse tecniche costruttive dei solai intermedi con l'unica variante consistente in una maggior coibentazione per la necessità di avere prestazioni termiche analoghe a quelle delle pareti esterne.

I pannelli possono essere realizzati interamente in opera o fuori opera, con differenti livelli di prefabbricazione. Per quanto riguarda i segati, vengono impiegate sezioni standard di spessore variabile 5-8 cm, e di profondità 10-18 cm le cui dimensioni dipendono sia dalle verifiche statiche sia dallo spessore di isolante che si vuole interporre nella parete.

I montanti sono connessi fra loro mediante mezzi di collegamento semplici come graffe, cambrette, viti e chiodi.

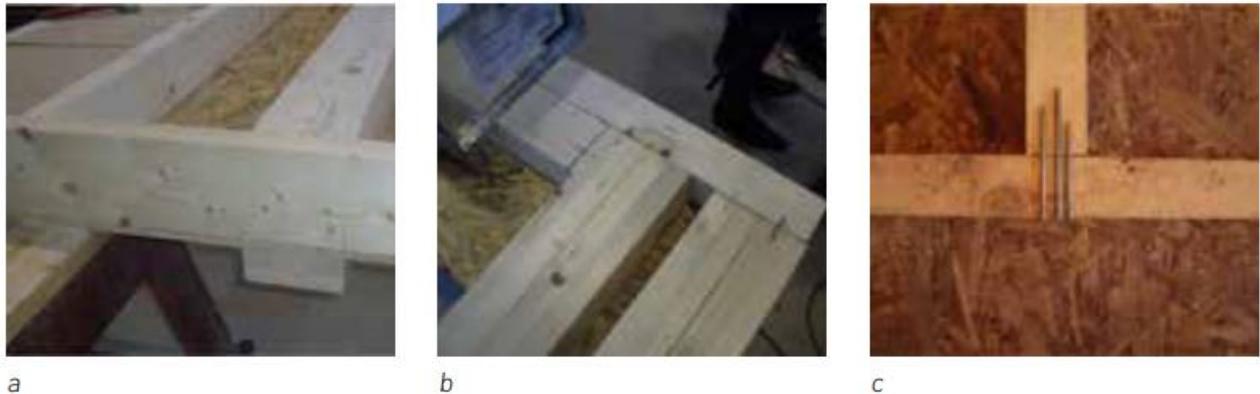


Figura 14 - Connessioni degli elementi lineari con: viti (a), cambrette (b) e chiodi (c)

I pannelli di rivestimento strutturale vengono collegati all'intelaiatura tramite chiodi ad aderenza migliorata, di diametro dai 3 ai 3,5 mm, disposti generalmente ad interasse di 100-200 mm in corrispondenza dei bordi del pannello e raddoppiati sui bordi esterni ed in prossimità delle aperture (porte e finestre). Se i pannelli sono realizzati in opera, i telai vengono assemblati direttamente in prossimità dell'area di posa e rivestiti con una lastra che ha anche funzione controventante provvisoria/definitiva, quindi eretti e fissati provvisoriamente. Successivamente viene posto al loro interno l'isolante ed, eventualmente, le canalizzazioni per gli impianti.

Le ulteriori fasi della posa in opera consistono nella solidarizzazione dei pannelli e nella predisposizione della lastra interna di chiusura, sulla quale potrà essere apposta la finitura, in aderenza o su supporto. Il lato esterno del pannello avrà una finitura a cappotto intonacato o a parete ventilata.



Figura 15 - Telaio: realizzato in opera (sinistra) e prefabbricato (destra)

Nel caso di pannelli prefabbricati, a seconda del numero delle lavorazioni che si vogliono trasferire in officina, si avrà un diverso livello di pre-assemblaggio, da un minimo dell'intelaiatura con una lastra a una soluzione intermedia con la finitura su ambo le facce, la predisposizione del freno vapore e telo antivento, fino al pannello completo di impianti e serramenti.

Questo permette la rapida realizzazione della costruzione con una notevole riduzione dei tempi di cantiere e il veloce montaggio.

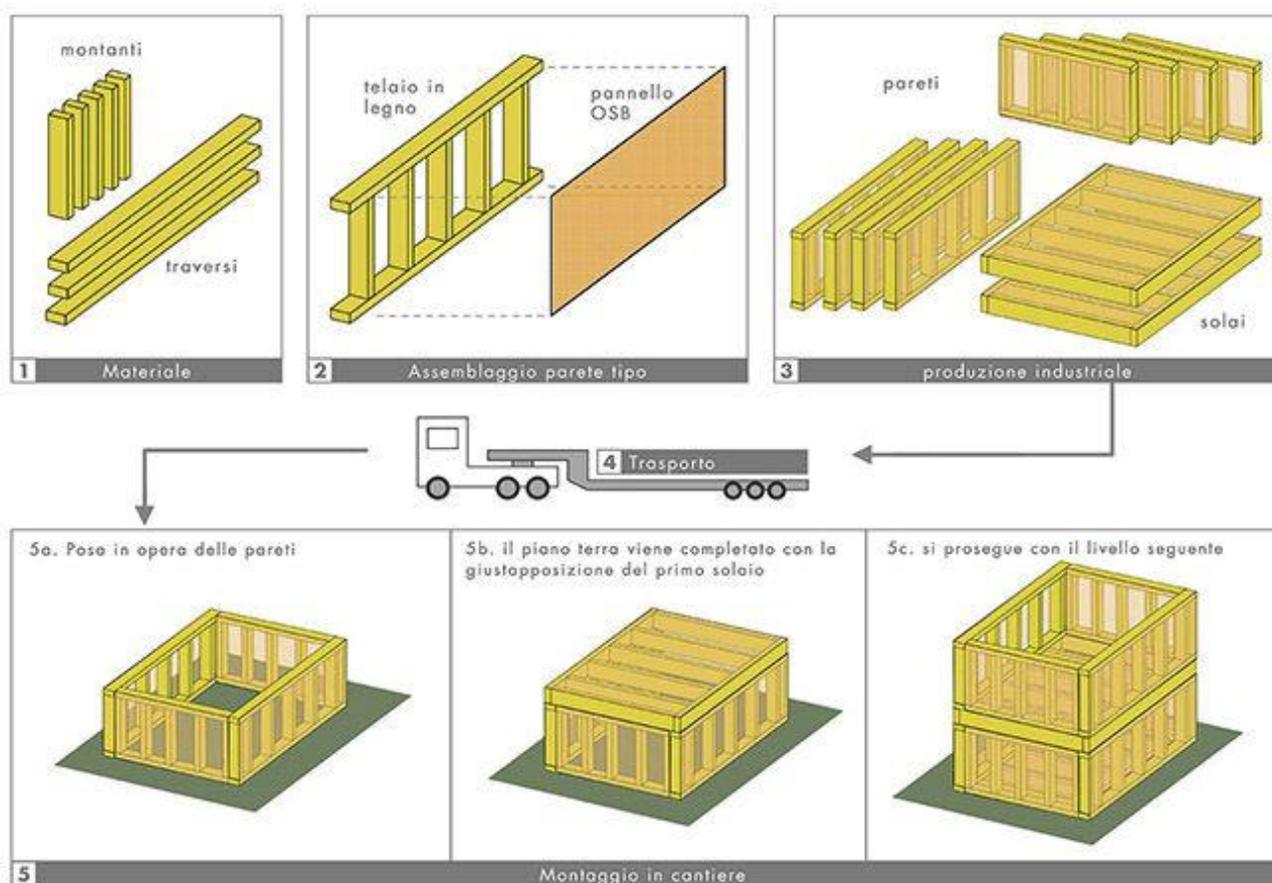


Figura 16 – Fase di montaggio del sistema costruttivo Platform frame

2.3.3 Impianti

Per l'installazione degli impianti ci sono diverse possibilità a dipendenza del tipo di impianti, del tipo di costruzione e del suo uso, e ancora delle dimensioni della costruzione. I principi sono però sempre gli stessi e possono essere riassunti nel modo seguente:

1. Il collegamento verticale fra i diversi piani dell'edificio (sottosuolo o scantinato – dove di regola si trovano gli elementi principali dell'impiantistica – con uno o più piani superiori) avviene di regola in un apposito vano tecnico che forma un collegamento continuo e verticale fra i vari piani. In caso di edifici di grande superficie è possibile prevedere più vani di questo tipo e in caso di esigenze di protezione incendio più elevate devono essere previste delle barriere antincendio efficaci anche all'interno di questi vani tecnici. In prossimità di questi vani tecnici sono di regola disposte cucine, bagni e gli altri servizi, in modo da ridurre il percorso degli elementi di scarico più ingombranti.

2. Il collegamento degli impianti nei singoli piani è disposto all'interno degli elementi di solaio, o nel pacchetto del pavimento, o ancora fra il controsoffitto e il solaio. All'interno degli elementi del solaio la disposizione degli impianti nella direzione parallela alla travatura è senz'altro possibile, mentre nella direzione ad essa perpendicolare occorre forare tutte le travi.

Per le pareti vale lo stesso principio, con la possibilità di disporre un vano tecnico nelle pareti formato da una spaziatura di 30 fino a 40 mm fra la struttura della parete e il rivestimento finale della stessa (cartongesso o altro materiale). Tale vano tecnico non è necessario su tutte le pareti e comunque si limita ad un lato della parete, in quanto l'attraversamento della parete è comunque sempre possibile.

Un'attenzione particolare, tuttavia, va posta alle pareti esterne, nelle quali si dispone all'interno il materiale per l'isolamento termico e, verso la parte interna della parete, un telo che funziona da freno a vapore. In questo caso l'attraversamento di questi strati può comunque costituire un ponte termico ed un attraversamento di aria, che può favorire la formazione di condense interstiziali. Anche le scatole per i tubi di corrente elettrica, distributori idro-sanitari e altri inserti nella intercapedine interna, devono essere a tenuta per non creare problemi con flussi d'aria trasversali.

Va notato che tutti gli impianti posizionati all'interno degli elementi di parete e di solaio devono essere posati già in fase di produzione dei pannelli e quindi, nel caso normale della prefabbricazione, non sul cantiere ma in officina. Una pianificazione dettagliata e definitiva diventa quindi indispensabile.

Questo è spesso un elemento vantaggioso per tutto il progetto, in quanto permette comunque di evitare che le decisioni di progetto dell'impiantistica siano prese direttamente sul cantiere. Gli elementi posti nei vani ricavati nel pacchetto del pavimento o sulle pareti, possono, invece, essere montati e posati direttamente sul cantiere. Anche in questo caso è caldamente consigliabile provvedere alla progettazione esatta prima dell'inizio del montaggio, in modo da eseguire in fase di prefabbricazione tutta la lavorazione degli elementi di legno della struttura, comprese la preparazione per l'impiantistica (fori di attraversamento, interruttori, ...).

2.4 Sistema costruttivo con compensato di tavole: Tecnologia X-LAM

2.4.1 *Nascita*

La nascita di questa nuova tecnologia costruttiva si ebbe intorno alla fine degli anni '90, in Austria e in Germania, in Europa, nei primi anni 2000, dopo un lento inizio, l'utilizzo di X-Lam è progressivamente aumentato. Ciò può essere ricondotto in larga parte alla diffusione di movimenti di "green building" e ad una maggiore attenzione nei confronti dell'ambiente e dell'efficienza dei materiali, con un approccio costruttivo sempre più ecosostenibile.

Attualmente sono centinaia gli edifici e le strutture in tutto il mondo realizzati utilizzando questo materiale. La presenza di X-Lam in Europa ha dimostrato la sua competitività nella realizzazione di edifici a media altezza e grattacieli grazie alla facilità di movimentazione durante la costruzione e all'alto livello di prefabbricazione. Questo è un chiaro esempio dei molti vantaggi offerti al settore delle costruzioni.

Un altro contributo alla sua diffusione è dovuto al fatto che X-Lam, a differenza del classico legno lamellare che offre un sostegno strutturale lineare e unidirezionale, grazie a una sovrapposizione incrociata delle lamelle che vanno a costituire il pannello ha la capacità di offrire un sostegno strutturale bidirezionale che gli dona il potenziale per sostituire calcestruzzo, muratura e acciaio.

2.4.2 *Realizzazione pannello X-Lam*

La produzione dei pannelli X-Lam avviene sulla base delle lavorazioni seguenti:

- Taglio delle tavole o delle lamelle che attraverso un controllo visivo o meccanico permette di rivelare diverse imperfezioni (ad esempio i nodi);
- Tali imperfezioni vengono eliminate tramite dei tagli e successivamente le lamelle vengono unite in direzione delle fibre tramite un giunto a pettine;
- Essiccazione affinché il tasso d'umidità durante l'incollatura sia sotto il 12% con un margine di tolleranza del $2 \pm 3\%$;
- Classificazione: si eliminano le parti di qualità troppo scadente tramite la troncatura dell'elemento. Si procede poi con l'applicazione alla tavola di una classe di resistenza³;
- Realizzazione dei giunti longitudinali delle lamelle: le singole lamelle vengono fresate con taglio a pettine tramite la stessa lavorazione del legno lamellare;

³ Normative di riferimento EN 14081 e EN 338.

- Le lamelle vengono accostate così da formare il primo strato del pannello X-Lam;
- Realizzazione dei giunti trasversali delle tavole: a seconda di chi le produce le tavole possono essere o incollate una all'altra anche in direzione trasversale o collegate per formare una superficie omogenea senza che il giunto tra una tavola e l'altra sia visibile.
- Il secondo strato viene realizzato allo stesso modo e viene poi incollato sul primo ruotato di 90°, così facendo le fibre risultano incrociate.
- Incollaggio dei vari strati.

Tale iter viene svolto per tutti gli strati a seguire con l'accortezza che ogni strato sia ruotato nel piano di 90° rispetto a quello precedente.

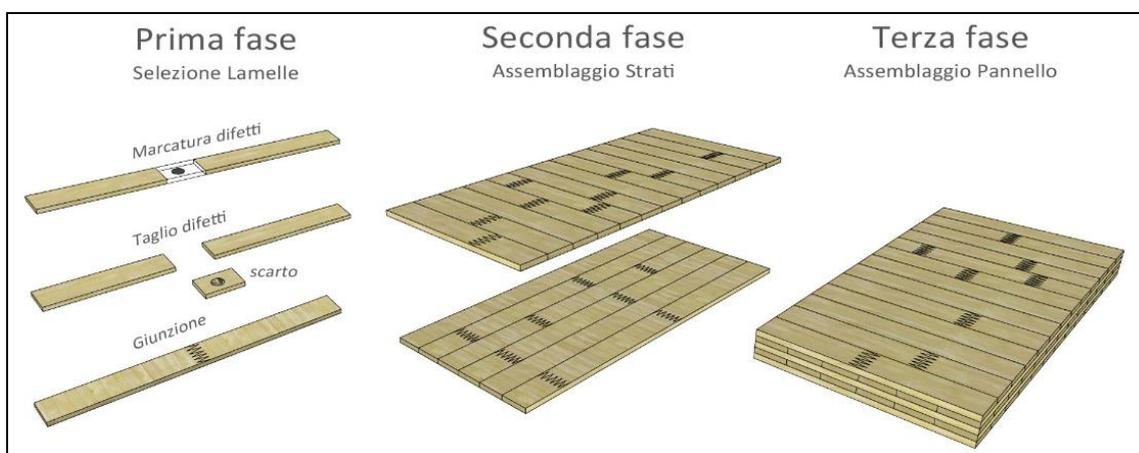


Figura 17 - Fasi di realizzazione del pannello X-Lam

Le tavole utilizzate per la produzione dei pannelli devono essere certificate e devono rispettare gli stessi criteri per la realizzazione del legno lamellare incollato; pertanto, il materiale deve appartenere ad una precisa classe di resistenza.

2.4.3 Dimensioni e formati dell'X-Lam

I pannelli X-Lam possono essere definiti come grandi pannelli se rapportati al loro utilizzo per realizzare elementi strutturali per l'edilizia. Non avendo a disposizione una sua precisazione universale ogni fornitore sviluppa e definisce la propria offerta a seconda delle risorse di cui dispone del prodotto X-Lam.

In linea di massima possiamo affermare che i pannelli X-Lam sono fruibili in dimensioni che possono raggiungere i 24,0 m in una direzione, i 4,80 m nell'altra e uno spessore di 500 mm.

Il taglio dei pannelli viene realizzato in stabilimento, attraverso l'utilizzo di macchine a controllo numerico computerizzate, (CNC) in grado di assicurare un ridottissimo margine di errore e una netta diminuzione dei tempi di lavorazione.

La produzione su misura, sulla base del progetto architettonico esecutivo è uno dei punti di forza del prodotto X-Lam, infatti, il pannello arriva in cantiere già predisposto per l'inserimento di finestre, porte e altri elementi costruttivi, con un elevato risparmio di tempi e costi.

Addirittura, X-Lam fornisce la possibilità di abbattere ulteriormente queste variabili assemblando gli infissi già in fase di produzione, permettendo di far arrivare in cantiere un pannello che necessita esclusivamente della posa e delle finiture se previste.

2.4.4 Analisi del Materiale

Le caratteristiche meccaniche del pannello X-Lam scaturiscono soprattutto dalla stratigrafia dell'elemento; infatti, esso dipende dal comportamento strutturale del legno delle singole tavole che lo compongono. Tali strati sono considerati unidirezionali, in funzione della direzione della fibratura.

Grazie al collegamento rigido tra i singoli strati si ha un'amplificazione delle prestazioni naturali del materiale. Considerando i singoli strati da cui il pannello è composto possono essere definite le peculiarità meccaniche dell'X-Lam.

Se l'incollaggio permette di ottenere stabilità dimensionale - in quanto impone la stessa deformazione ai differenti strati, ottenendo così che questi impediscano l'un l'altro la variazione dimensionale - l'utilizzo di strati aventi alternate direzioni di fibratura permette il contemporaneo raggiungimento di un comportamento a lastra e a piastra.

Possiamo analizzare la piastra descrivendola come una griglia di elementi inflessi, i quali possono avere peculiarità meccaniche differenti nelle due direzioni del piano. Questo elemento consente di ripartire i carichi nelle due direzioni del suo piano, ottenendo il massimo rendimento da tutto il materiale fruibile limitando così le pressioni locali all'interno della piastra e permettendo ai carichi di essere distribuiti uniformemente su tutto il suo perimetro.

La parete è composta da una lastra verticale che ha la funzione di elemento compresso per le forze assiali verticali e di lastra controventata per contrastare le forze orizzontali nel piano della parete. Il pannello X-Lam può essere utilizzato per entrambe le funzioni.

Un edificio X-Lam è pertanto la conseguenza di un accostamento di elementi di questo tipo collegati meccanicamente fra loro fino a creare strutture portanti tridimensionali anche dette strutture scatolari.

2.4.5 Prestazioni

Il pannello X-Lam offre innumerevoli prestazioni le più importanti delle quali sono sicuramente la resistenza a fuoco e sisma, la durabilità, la possibilità di prefabbricazione, il comfort termo-igrometrico, l'isolamento acustico.

2.4.6 Resistenza al fuoco

A differenza di quanto si possa pensare il legno pur essendo un materiale combustibile, presenta una buona resistenza al fuoco. È raro che le strutture in legno facciano da combustibile negli incendi, anzi manifestano un comportamento migliore di altri materiali. Il legno tende a bruciare lentamente e il processo di carbonizzazione avviene dall'esterno verso l'interno, la parte interna non intaccata dalla carbonizzazione conserva la sua efficienza strutturale nonostante l'elevata temperatura. La rottura avviene lentamente, solo quando la sezione utile è talmente ridotta da non poter sopportare più il carico.

Possiamo affermare che la perdita di efficienza del legno non avvenga per via del degrado fisico-meccanico ma per la riduzione della sezione utile.

In ogni caso, tenendo conto dei pacchetti costruttivi comunemente impiegati per solai e pareti le strutture portanti di legno sono solitamente protette dai materiali di rivestimento interni ed esterni che conferiscono un ulteriore grado di protezione al fuoco alle strutture portanti.

2.4.7 Protezione antisismica

Un edificio realizzato in X-Lam possiede tutte le caratteristiche adatte a resistere alle azioni sismiche. La struttura in X-Lam formata da più pannelli uniti tra di loro presenta un comportamento scatolare, punto di forza della struttura, che in caso di azioni sismiche, si comporta in maniera omogenea e compatta, rispondendo alle sollecitazioni nel piano di ogni singolo pannello in tutte le direzioni. Importante è anche il materiale che oltre ad avere ottime caratteristiche meccaniche è molto più leggero rispetto al calcestruzzo e alla muratura.

A parità di volume il legno ha una massa inferiore. Poiché l'azione sismica è proporzionale alla massa della struttura, questa tipologia risente molto meno le sollecitazioni e le azioni del sisma.

I collegamenti tra i diversi pannelli avvengono con elementi metallici che rappresentano la parte duttile della struttura. Essi preservano la rottura dei pannelli snervandosi e plasticizzandosi, evitando il collasso della struttura.

2.4.8 Prestazioni termiche e acustiche

Negli ultimi decenni la tendenza a progettare edifici dalle prestazioni termiche sempre più elevate ha portato a riconsiderare il legno come ottimo materiale edilizio in grado di coniugare la sempre più crescente prefabbricazione nel mondo delle costruzioni e le ottime prestazioni termiche.

Al fine di ottenere le prestazioni richieste gioca un ruolo fondamentale la conduttività di ogni singolo elemento.

Il pannello X-Lam essendo interamente in legno presenta una conduttività di per sé molto buona, se confrontata con materiali più comunemente usati per le costruzioni. Questo parametro non basta ai fini della determinazione del comfort ambientale.

Il decreto legislativo prevede un valore minimo di massa superficiale di 230 kg/mq per le pareti verticali, orizzontali e inclinate. Per sopperire a questo deficit da parte di questo materiale entrano in gioco altri fattori come la costante di tempo t che permette la capacità di una parete di poter smorzare e ritardare l'escursione termica esterna.

Tuttavia, da analisi svolte si evince che nonostante la massa superficiale bassa la parete in legno accoppiata ai diversi strati isolanti conferiscono condizioni di comfort positive, se non addirittura migliori rispetto ad altri materiali.

Il legno presentato possiede un elevato calore specifico e una maggiore resistenza termica, che vanno a compensare la ridotta massa. Questo lo rende un ottimo materiale per poter ottenere le elevate prestazioni termiche richieste.

Il potere fonoisolante di un singolo elemento varia in funzione di tre grandezze fondamentali quali la massa, l'elasticità e lo smorzamento.

Come detto precedentemente il legno non presenta un'elevata massa superficiale, per questo è buona prassi che il legno venga accostato ad altri materiali che contribuiscano al miglioramento delle prestazioni.

2.4.9 Ecosostenibilità

La scelta di costruire un edificio in legno ha un impatto anche sull'ambiente, il legno X-Lam è un materiale rinnovabile, verde e sostenibile.

Oggi, i sistemi di certificazioni permettono di sapere se il materiale proviene da foreste gestite in maniera sostenibile e legale, senza danni all'ambiente nel rispetto delle norme vigenti, assicurandone la rintracciabilità dei prodotti legnosi commercializzati e trasformati.

Impiantando degli alberi per sopperire al disboscamento necessario si può assicurare un equilibrio nell'ecosistema, migliorando il bilancio di CO₂ nell'atmosfera.

2.4.10 Recupero fine vita

A differenza delle strutture tradizionali in calcestruzzo o muratura, l'applicazione di X-Lam può ridurre la produzione di rifiuti associati alla costruzione e demolizione di nuovi edifici, gli impatti ambientali associati a X-Lam nella fase di fine ciclo possono essere significativamente ridotti quando si evita lo smaltimento nelle discariche e si riutilizzano i pannelli X-Lam dopo lo smantellamento.

Nell'eventualità questo non fosse possibile, in conformità alla legge per lo smaltimento dei rifiuti, può essere fonte di produzione di energia termoelettrica grazie al suo elevato potere calorifico.

3. Scelta del progetto ed esempi noti

Dato il forte impatto ambientale di tutto il settore edilizio la necessità di rivolgersi sempre più all'utilizzo di materiali e processi costruttivi ecosostenibili è diventata inderogabile andando a modificare l'approccio nella realizzazione degli edifici.

Pertanto, oggetto di questo elaborato è una scuola dell'infanzia da me progettata ritenendo vantaggioso l'utilizzo del legno, essendo questo un potenziale materiale alternativo alle più diffuse tecniche di costruzione. In particolare, verranno analizzate le tecniche costruttive per realizzare quelli che definiamo "edifici in legno" tenendo conto dei cambiamenti apportati dall'uomo a tale materiale affinché possa essere adattato alle proprie esigenze e alla compatibilità con gli altri materiali utili alla costruzione di strutture ecosostenibili.

In questo capitolo verranno presentate e confrontate diverse strutture di edilizia scolastica realizzate in legno, così da poter evidenziare cosa hanno in comune tali opere e, in seguito a quest'analisi, estrapolare le migliori tecnologie utili ai fini di una buona progettazione con l'utilizzo di questo materiale. Dal confronto è emerso che una delle tecnologie più utilizzate per la realizzazione di questa tipologia di edifici è quella conosciuta a livello mondiale come CLT (Cross Laminated Timber), ma comunemente chiamata, soprattutto in Italia, X-Lam.

3.1 Nido d'infanzia – Mario Cucinella

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Guastalla (RE)
Tipologia funzionale	Educazione – Nido d'Infanzia
N° Bambini	Max 120
Progettista architettonico	Mario Cucinella
Anno di costruzione	2014 – 2015
Superficie Lorda	1.400 mq
Tipologia costruttiva	Legno di abete – Telai in legno lamellare
Classe energetica	CasaClima A
Costo dell'opera	2'270'000 €
Emissioni CO2 annue	1'294 kg/annuo

Descrizione Opera

Questa struttura è stata realizzata con l'utilizzo di materiali naturali o riciclati a basso impatto ambientale. In particolare, oltre alla fondazione in cemento armato, la struttura portante è interamente costituita da telai in legno lamellare. La struttura è composta da molti elementi verticali in legno, che costituiscono le caratteristiche strutturali dell'edificio, e che richiamano filari di alberi e dei percorsi dei terreni agricoli, tipici delle zone circostanti conferendo il senso complessivo di leggerezza, e modificando l'immagine tipica della scuola monolitica. Il contatto diretto tra la luce naturale e gli spazi interni ed esterni è l'elemento guida del progetto.

Tecnologie ad alta efficienza energetica utilizzate

L'ottimizzazione delle superfici trasparenti ha reso possibile il raggiungimento del 5,5% del fattore di luce diurna negli spazi educativi.

Il riscaldamento, raffrescamento e l'acqua calda sanitaria sono garantiti per il 40% da un impianto solare termico oltre che da un impianto fotovoltaico avente una potenza massima di 35kWp che copre un fabbisogno di energia pari al 60%. Nel progetto è stato previsto un sistema di raccolta delle acque meteoriche situato in copertura, l'acqua raccolta viene utilizzata per usi sanitari, pulizie ed irrigazione.

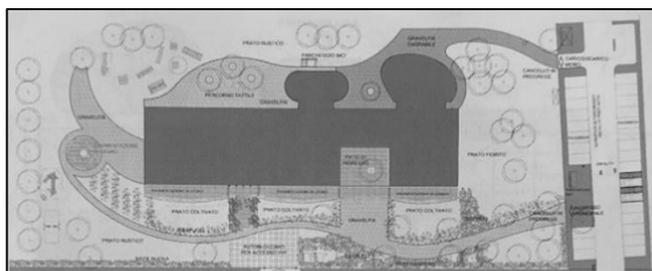


Figura 20 – Planimetria Generale

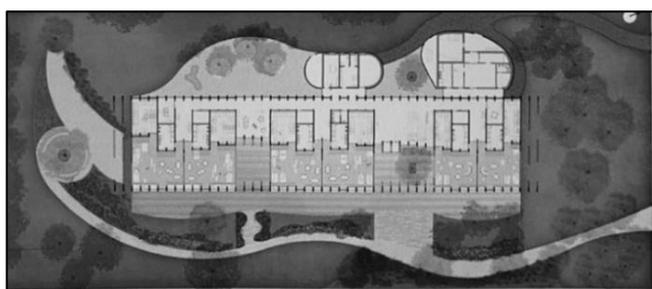


Figura 19 – Pianta piano terra

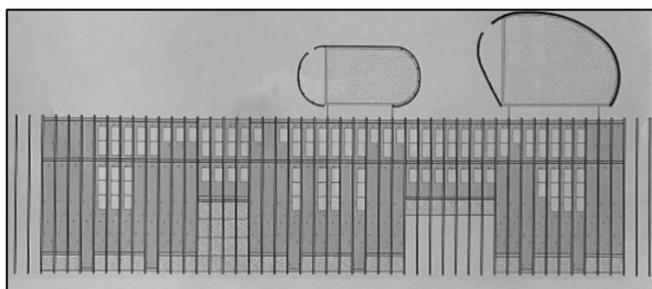


Figura 18 – Pianta copertura

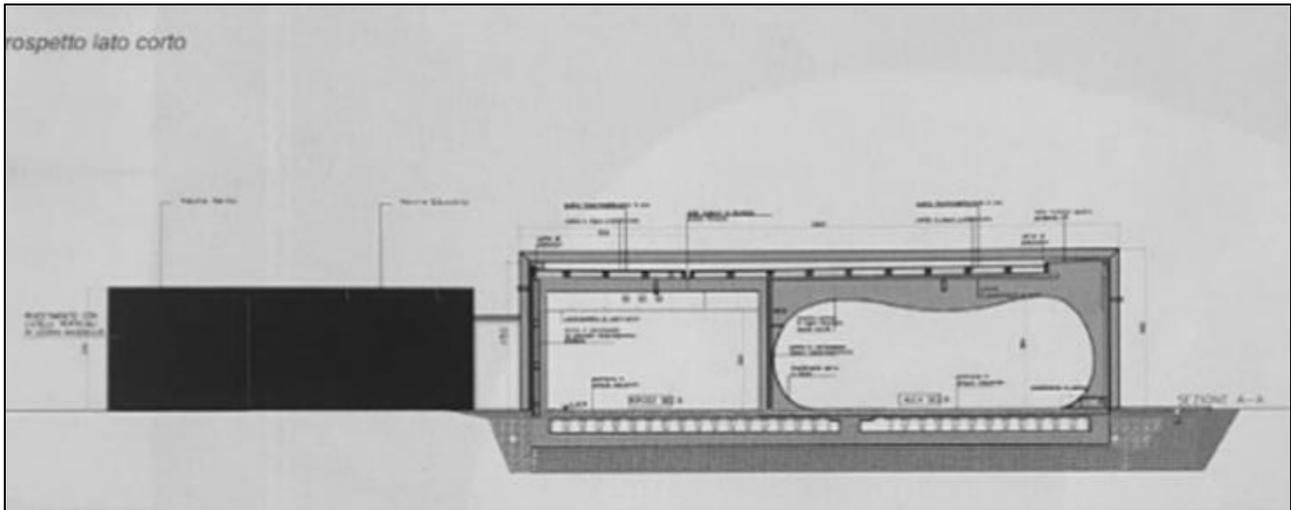


Figura 22 – Sezione lato corto

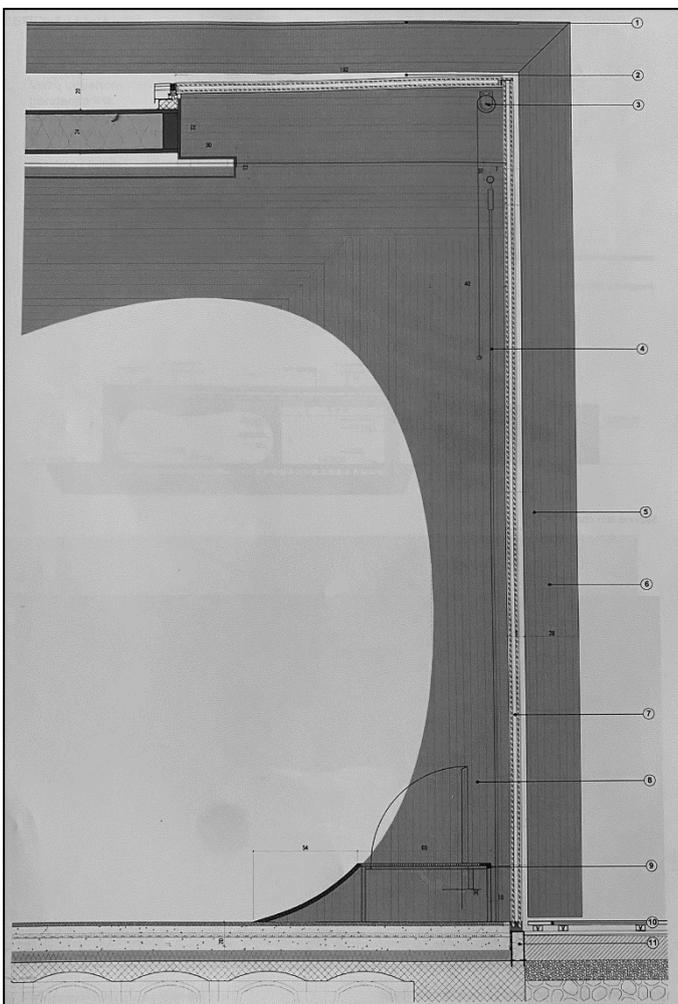


Figura 21 – Particolare costruttivo

1. Scossalina metallica arretrata rispetto al filo esterno;
2. Vetro superiore traslucido 88,2/20 Argon 88,2 pendenza 4%;
3. Tenda interna filtrante motorizzata con doppia fermata tessuto filtrante;
4. Controvento in metallo tirante diametro 16 mm tipo Halfe;
5. Staffa di fissaggio del portale esterno;
6. Pilastro esterno in legno lamellare;
7. Vetro verticale trasparente 66,2/20 argon 66,2 bassoemissivo;
8. Portale interno in legno lamellare sagomato;
9. Mobile contenitore con sportello;
10. Pavimento in doghe ricomposto;
11. Isolamento tipo Styrodur densità 35 kg/m³.

3.2 Scuola d'infanzia – Colucci & Patners

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Cascina (PI)
Tipologia funzionale	Educazione – scuola d'Infanzia
N° Bambini	Max 66
Progettista architettonico	Studio associato di architettura Colucci&Partners
Anno di costruzione	2012 – 2013
Superficie Lorda	740 mq
Tipologia costruttiva	LegnoX-Lam
Classe energetica	CasaClima A
Costo dell'opera	1'095'800 €
Emissioni CO2 annue	2.12 gCO2/m ² a

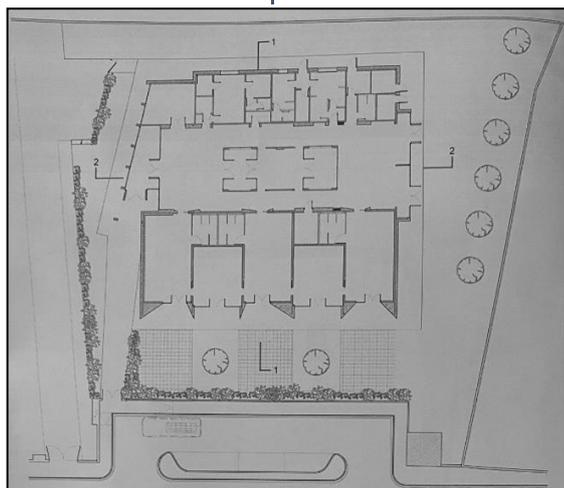


Figura 24 – Pianta piano terra

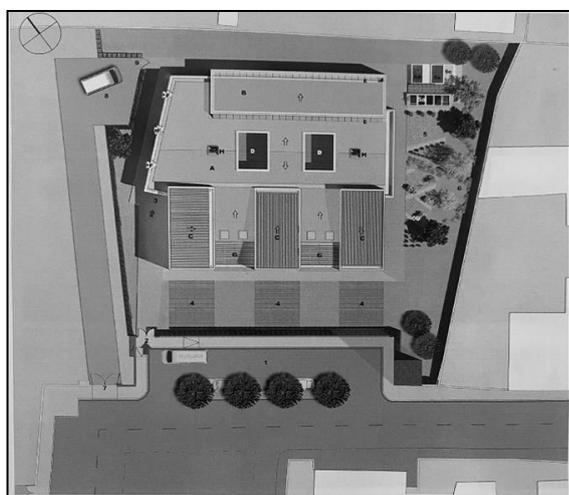


Figura 23 – Planimetria generale

Descrizione Opera

L'edificio è composto da tre blocchi principali posti sul lato sud dell'edificio ed un volume sul lato nord che contiene i servizi, caratterizzato dal rivestimento esterno in larice.

Il nucleo centrale dell'edificio è l'agorà, dove i bambini di tutte le parti si riuniscono per le attività comuni, i laboratori, gli spazi espositivi, le serre e per il pranzo.

I tre volumi, più alti rispetto al resto dell'edificio, definiscono le tre parti della scuola e stabiliscono un rapporto diretto con lo spazio prospiciente l'esterno al fine di avere uno stretto contatto con lo spazio circostante

Tecnologie utilizzate

L'edificio è dotato di un impianto fotovoltaico per una superficie pari a circa 200 m² e una potenza che si aggira intorno ai 14 kW.

A questo si aggiunge un impianto di tre turbine eoliche a rotazione verticale "verdi e silenziose", per tanto sia di giorno che di notte la produzione di energia è garantita.

L'edificio è anche dotato di un sistema per il recupero delle acque meteoriche che vengono raccolte in una cisterna di 5000 lt. L'acqua raccolta poi viene ridistribuita nelle cassette di sciacquo dei servizi igienici.

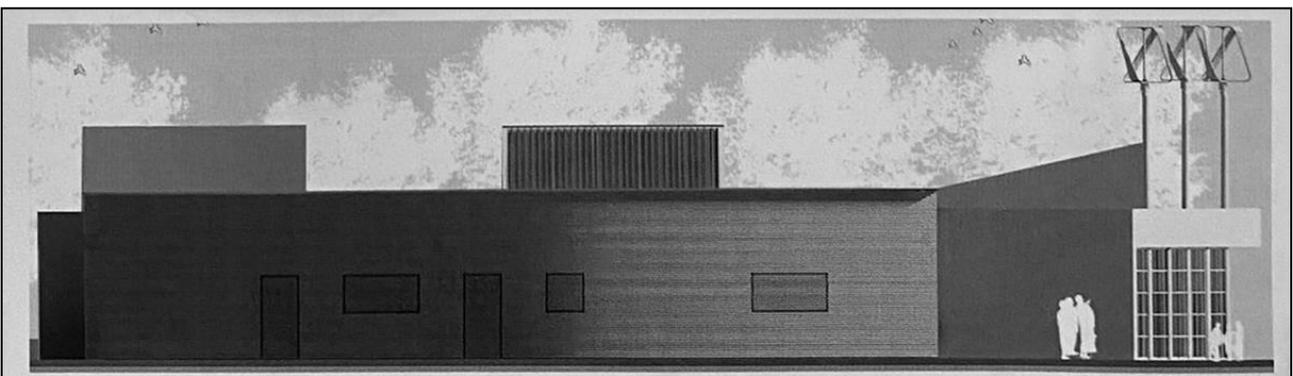
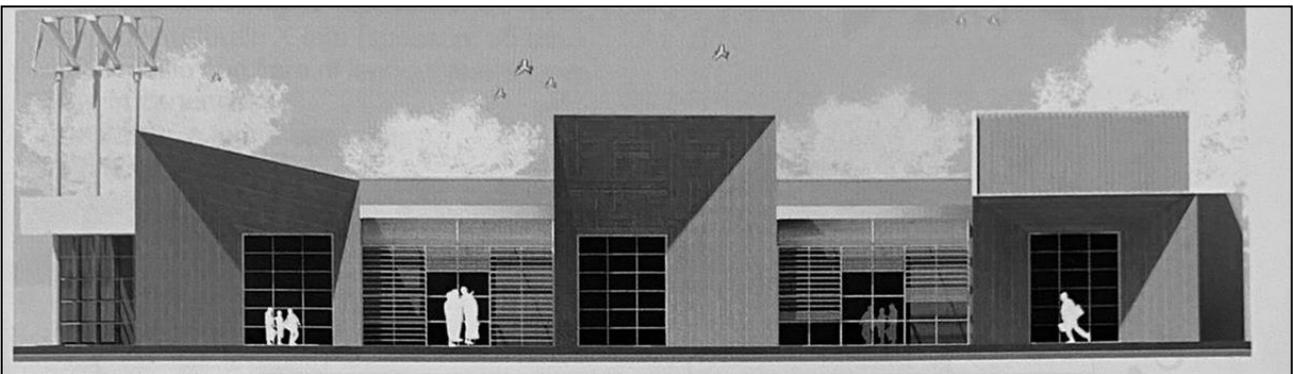
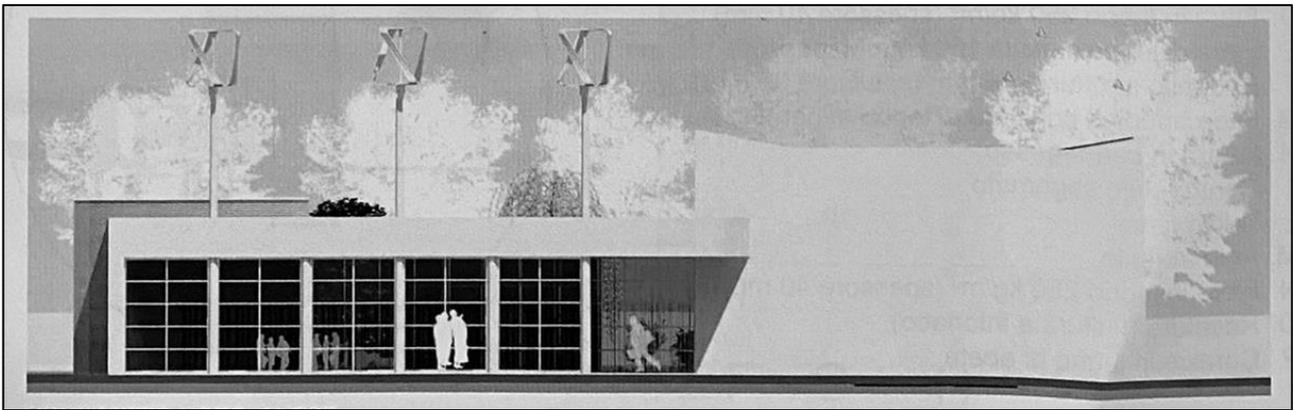
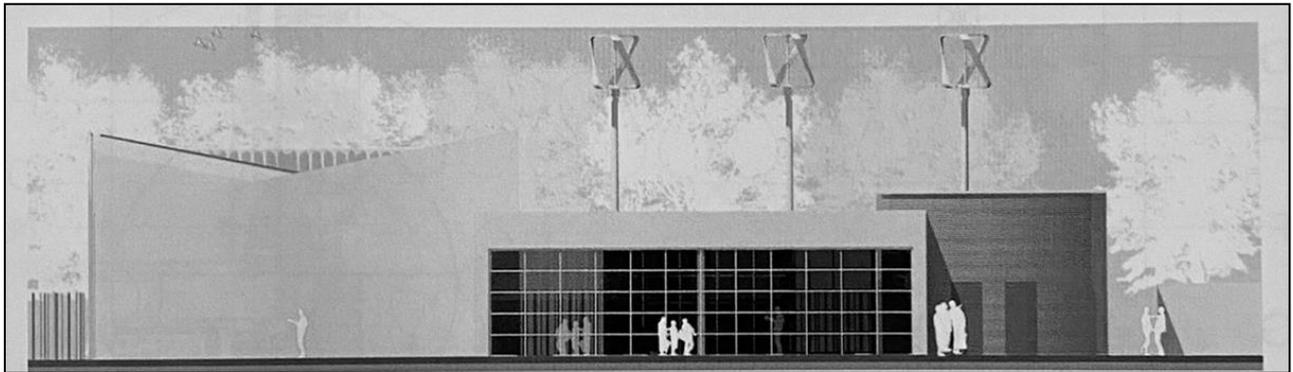


Figura 25 - Prospetti

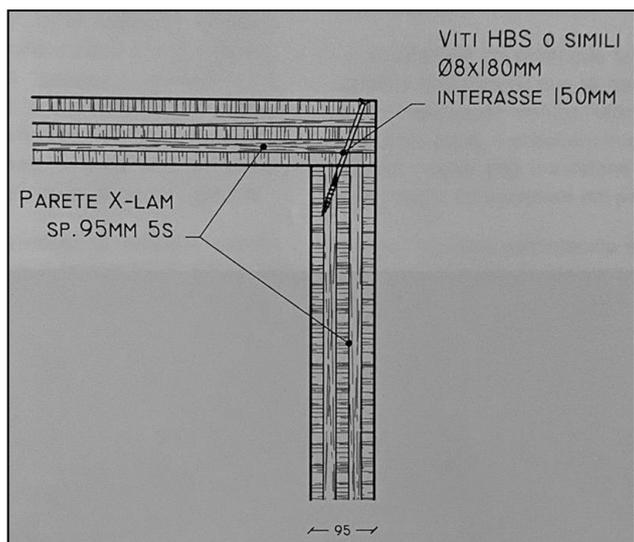


Figura 27 - Dettaglio connessione pareti ortogonali

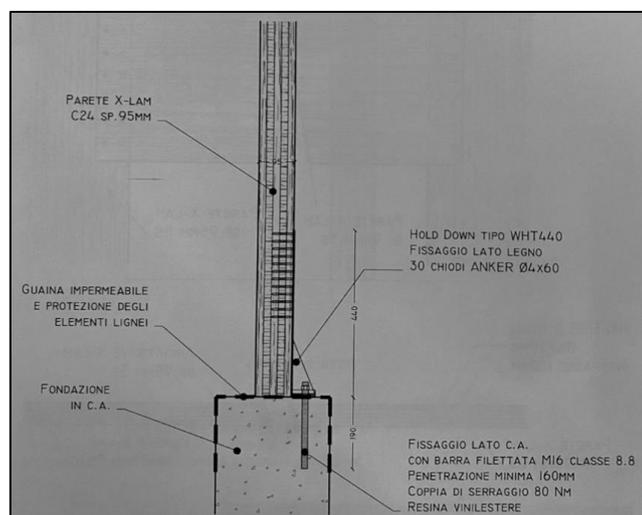


Figura 26 - Dettaglio connessione parete - fondazione

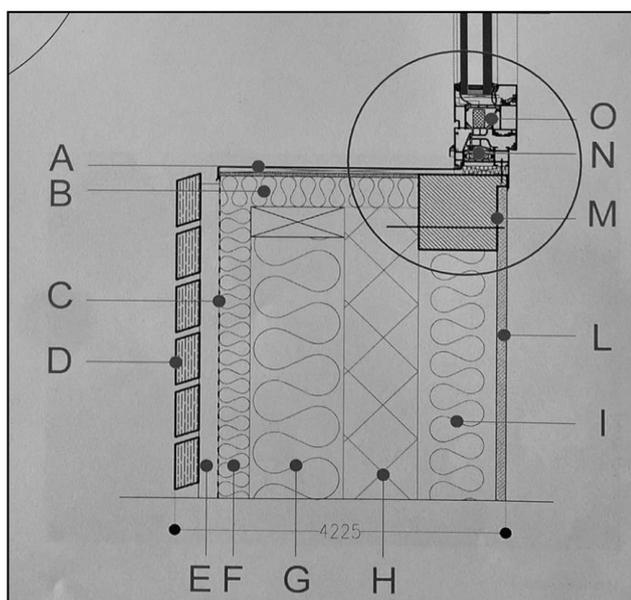


Figura 28 - Dettaglio attacco su rivestimento esterno

Come si evince in figura le viti sono state inserite con un determinato angolo di inclinazione così da poter garantire un saldo collegamento con gli strati a fibratura parallela.

Per evitare il fenomeno dell'umidità di risalita l'appoggio a terra della parete è stato protetto con della guaina risvoltata sulla fondazione, questo permette una maggiore durabilità del materiale.

- A. Scossalina 8/10 RAL 9010 incollata su rasatura
- B. Fibra in legno 250 kg/m³ (spessore 40 mm) o pannello XPS e rasatura
- C. Telo di protezione vento e acqua
- D. Dogato il legno larice
- E. Listello in abete 25x40 mm
- F. Fibra di legno 250 Kg/m³ (spessore 40 mm)
- G. Fibra di legno 160 Kg/m³ (spessore 120 mm)
- H. Pannello strutturale X-Lam (spessore 95 mm)
- I. Intercapedine con fibra di legno mineralizzata
- L. Lastra in cartongesso
- M. Controtelaio in legno sagomato
- N. Telaio fisso

3.3 Scuola materna – Arch. Ado Furland, Arch. Vittorio Pierini

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Sequals (PN)
Tipologia funzionale	Educazione – scuola d'Infanzia
N° Bambini	44
Progettista architettonico	Arch. Ado Furlan, Arch. Vittorio Pierini
Anno di costruzione	2012 – 2014
Superficie Lorda	830 mq
Tipologia costruttiva	Struttura portante in legno X-Lam
Classe energetica	CasaClima A
Costo dell'opera	1'091'678,78 €
Emissioni CO2 annue	7,84 t CO2

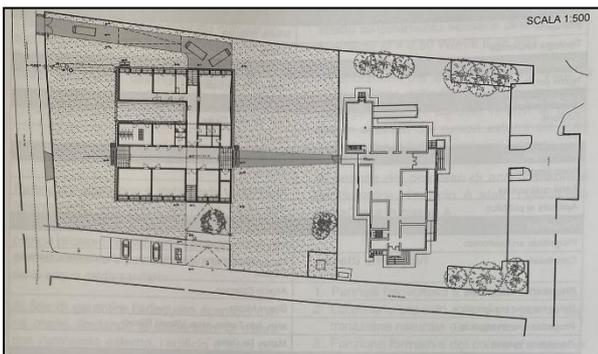


Figura 31 – Planimetria generale

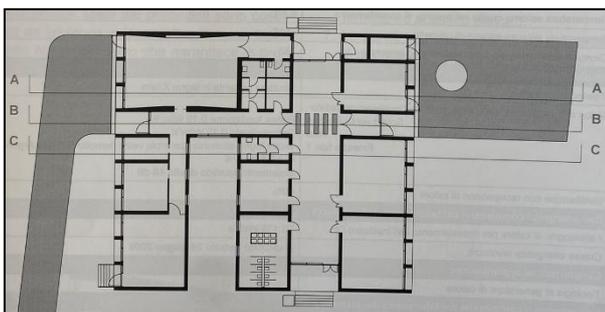


Figura 30 – Pianta piano terra

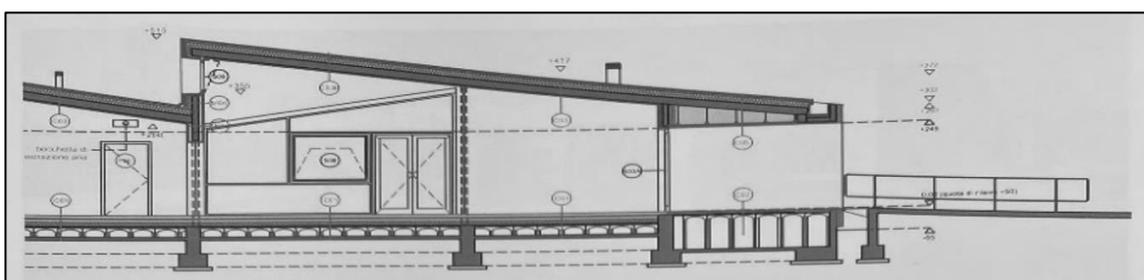


Figura 29 – Sezione lato corto

Descrizione Opera

La parte est-ovest dell'edificio è scandita da una serie di tetti a falde di diverse dimensioni e pendenze così da richiamare lo skyline delle montagne vicine, che cambiano a seconda dell'ambiente e li rappresentano spazialmente.

La facciata è realizzata comprimendo parte dei muri e delle finestre fino al bordo dell'edificio per rendere più spesse le aperture, che diventano veri e propri telescopi aperti sul paesaggio circostante.

Seleziona individualmente le caratteristiche cromatiche del pavimento e del soffitto, in modo che tutte le pareti possano essere utilizzate per l'insegnamento, proprio come un film in un film, racconterà le attività quotidiane dei bambini attraverso dipinti, testi e opere didattiche.

Tecnologie utilizzate

L'edificio è stato dotato di un impianto ad alta efficienza con pompa di calore utilizzato per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento a pavimento. Le pareti trasparenti sono costituite da serramenti dotate di telaio in legno/Alluminio e triplo vetro basso emissivo in grado di garantire un buon isolamento termico e acustico. È stato adottato un sistema di ricambio d'aria meccanico controllato in grado di garantire determinati standard per quanto riguarda la qualità dell'aria.

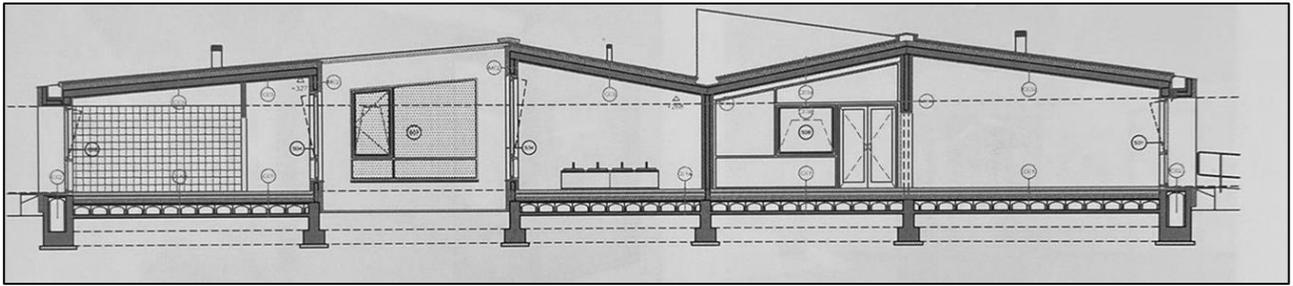


Figura 34 - Sezione lato lungo

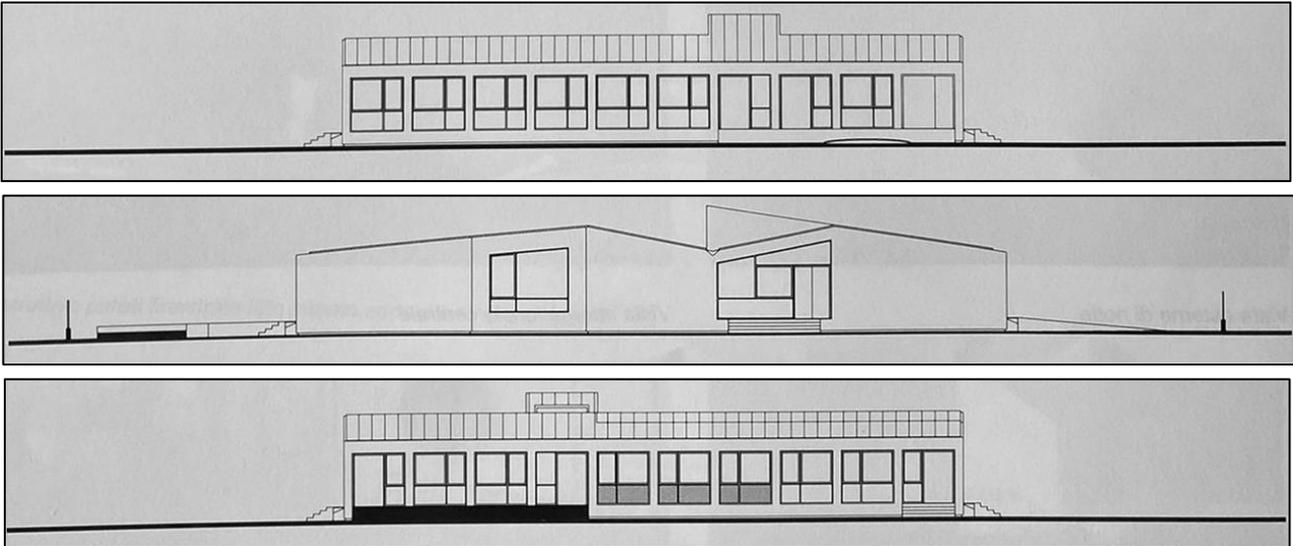


Figura 34 - Prospetti

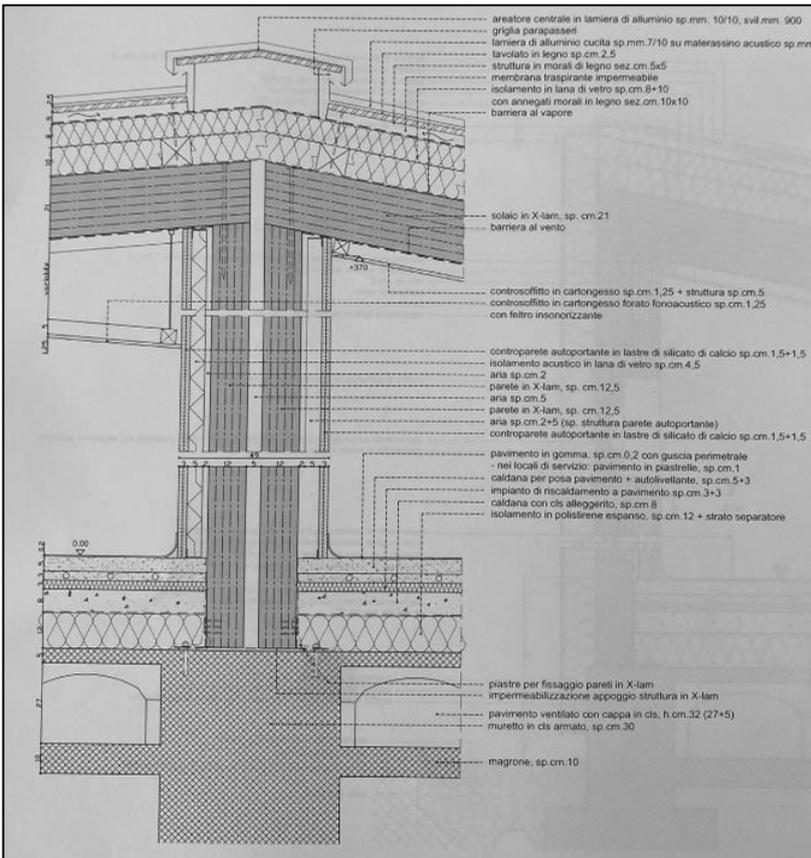


Figura 34 - Particolare costruttivo

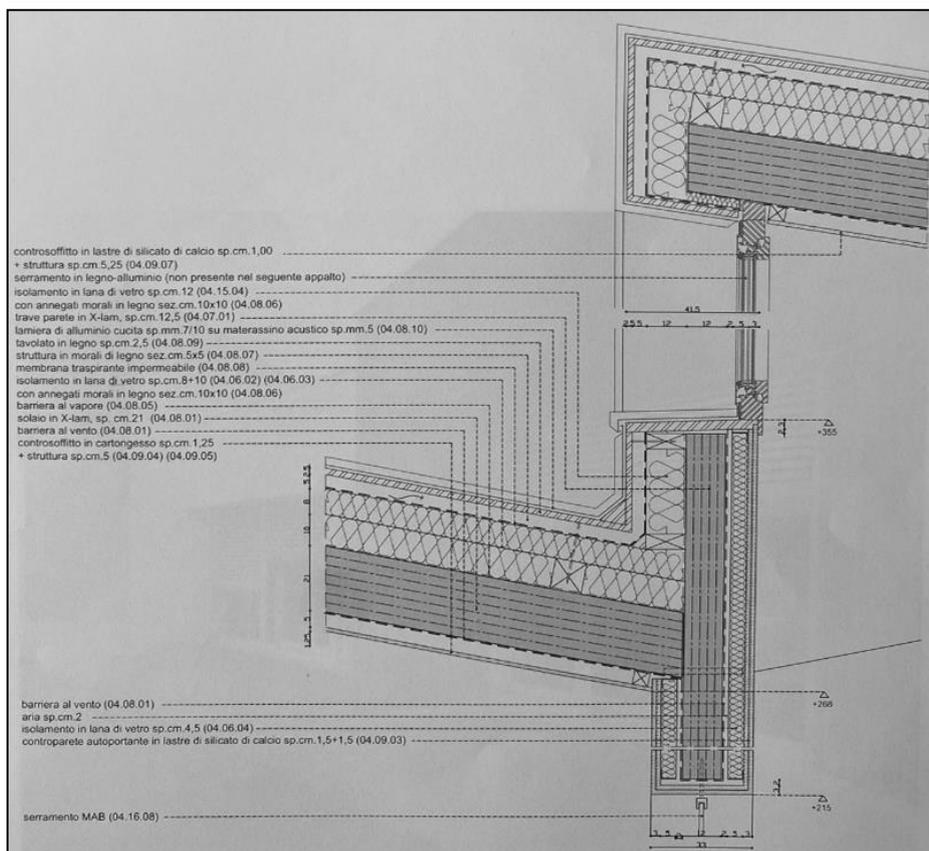
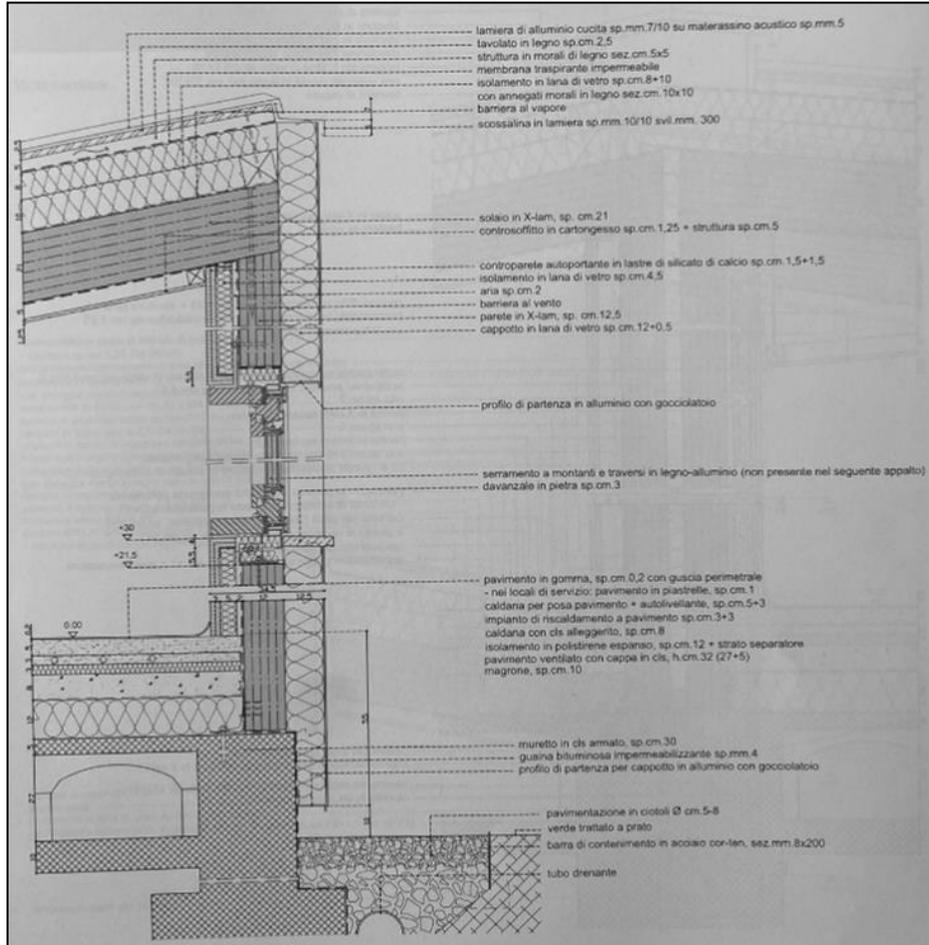


Figura 35 - Particolari costruttivi

3.4 Scuola KIGA – Arch. Michael Tribus

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Merano (Trentini-Alto-Adige)
Tipologia funzionale	Scuola Materna
N° Bambini	--
Progettista architettonico	Arch. Michael Tribus
Anno di costruzione	2009
Superficie Lorda	914 mq
Tipologia costruttiva	A telaio in legno(Platform frame)
Classe energetica	CasaClima A
Costo dell'opera	1'300'000,00 €
Emissioni CO2 annue	37,8 kg/m ² a

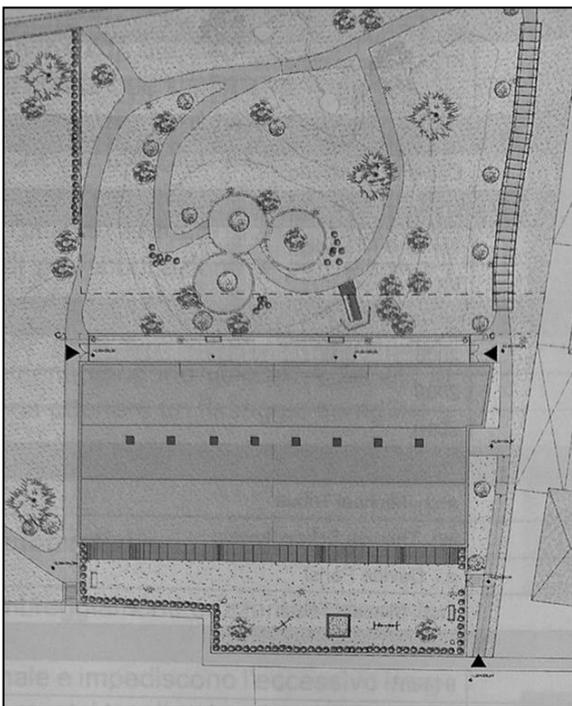


Figura 36 – Planimetria generale

Descrizione Opera

Dal punto di vista architettonico l'edificio si presenta come un semplice corpo monolitico. Questa struttura molto particolare dal punto di vista costruttivo presenta un alto livello di prefabbricazione, questo ha permesso di rendere la struttura molto flessibile soprattutto dal punto di vista organizzativo delle aule in quanto a seconda delle esigenze si può passare da un minimo di 4 aule ad un massimo di 8.

Tecnologie utilizzate

In questo progetto sono stati utilizzati serramenti basso emissivi grado di garantire un isolamento termico ed acustico molto elevato, schermati con ombreggianti orizzontali in modo da poter sfruttare gli apporti solari nel periodo invernale e impedendo l'eccessivo irraggiamento in quello estivo. La ventilazione è meccanica controllata con la presenza di un recuperatore di calore ed un'alta efficienza, mentre per il riscaldamento sono stati utilizzati radiatori a parete.

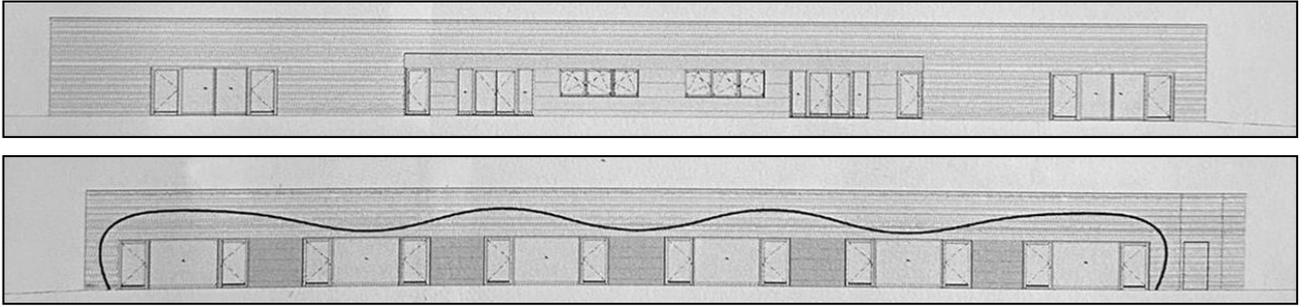


Figura 38 - Prospetti

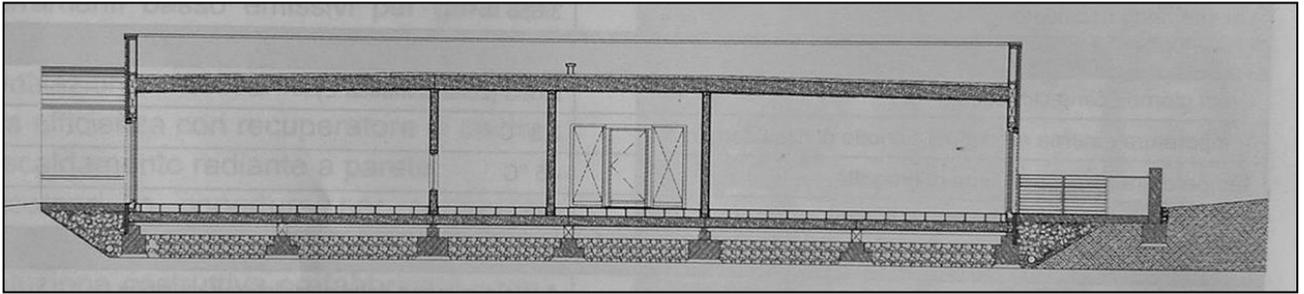


Figura 37 - Sezione trasversale

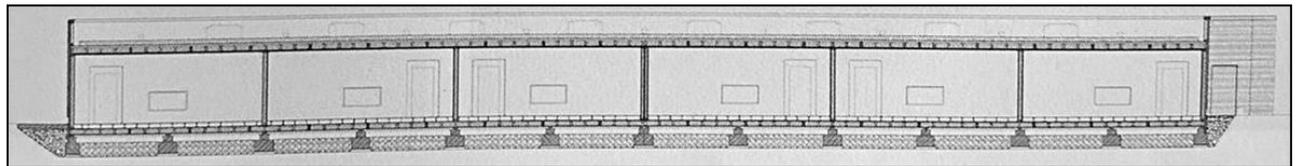


Figura 39 - Sezione longitudinale

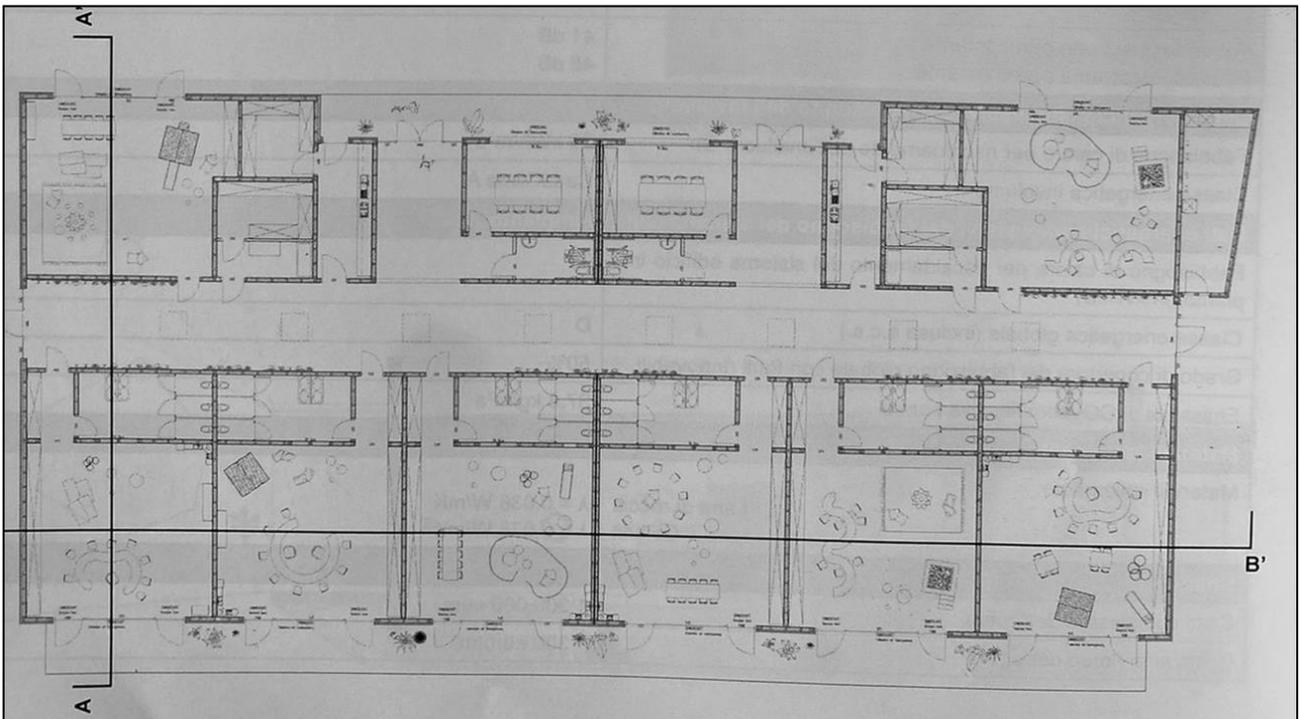


Figura 40 - Pianta piano terra

DETTAGLIO SEZIONE PARETE LATO SUD-OVEST

listelli in legno per rivestimento facciata ventilata
membrana di tenuta all'aria
pannello isolante in legno e cemento
isolamento riempitivo struttura a telaio in legno
pannello osb
finitura interna in fibrogesso



Vista cantiere

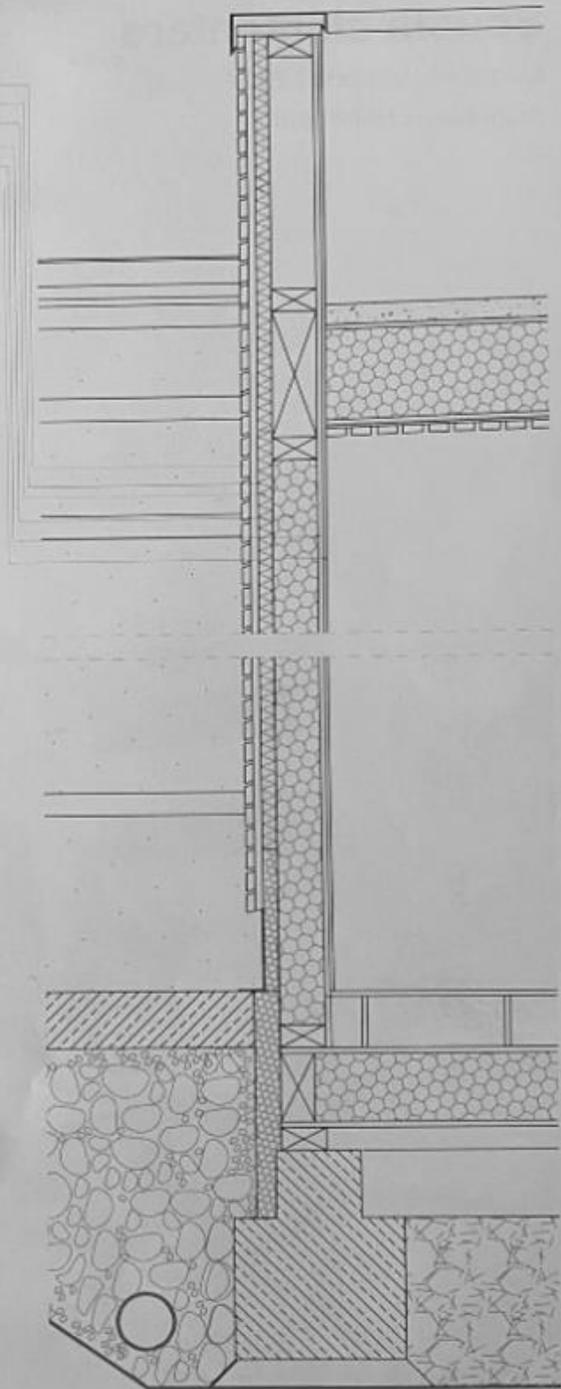
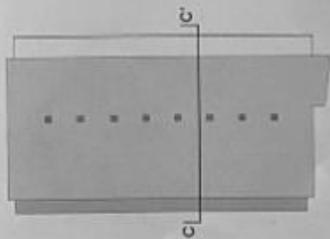


Figura 41 - Particolare costruttivo

3.5 Scuola materna comunale – Arch. Giambattista Pomatto

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Comune di Mazze (TO)
Tipologia funzionale	Scuola Materna
N° Bambini	120
Progettista architettonico	Arch. Giambattista Pomatto
Anno di costruzione	2009
Superficie Lorda	1'115,42 mq
Tipologia costruttiva	X-Lam e copertura a travi e tavolato
Classe energetica	CasaClima A
Costo dell'opera	1'840'000,00 €
Emissioni CO2 annue	3,675 t

Descrizione Opera

L'edificio didattico della scuola dell'infanzia di Mazzè, in provincia di Torino, è composto da 4 sezioni in grado di accogliere un totale di 120 bambini ed è organizzato in due blocchi, est ed ovest. Il blocco est è dedicato interamente alle attività didattiche mentre quello ovest è destinato ai servizi.

L'edificio è caratterizzato dall'esistenza di una struttura interamente in legno, con pannelli X-Lam e materiali ecologici come finiture.

Tecnologie utilizzate

Per generare energia elettrica sono stati installati pannelli fotovoltaici che producono una potenza di 13 kWp, e l'impianto di riscaldamento è costituito da un generatore a pompa di calore con captazione delle acque di falda e da un sistema di ventilazione meccanica controllata.

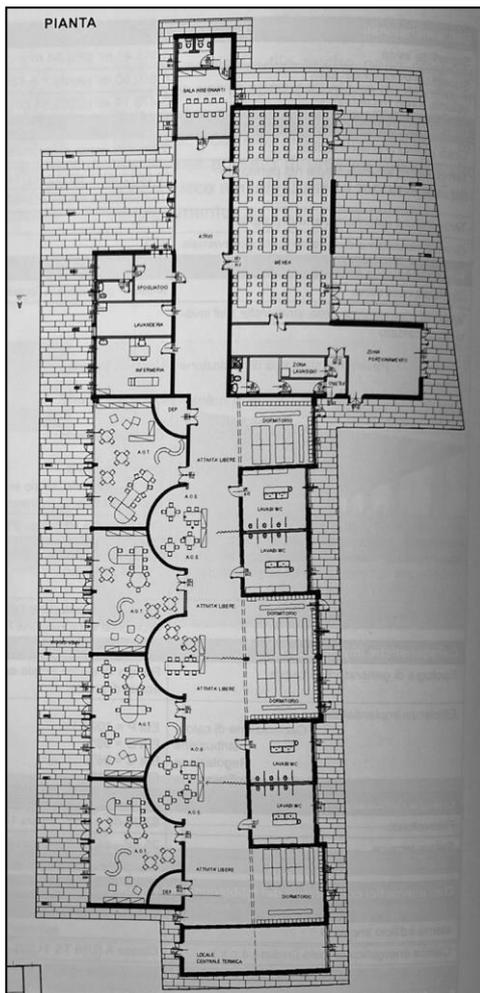


Figura 42 – Pianta

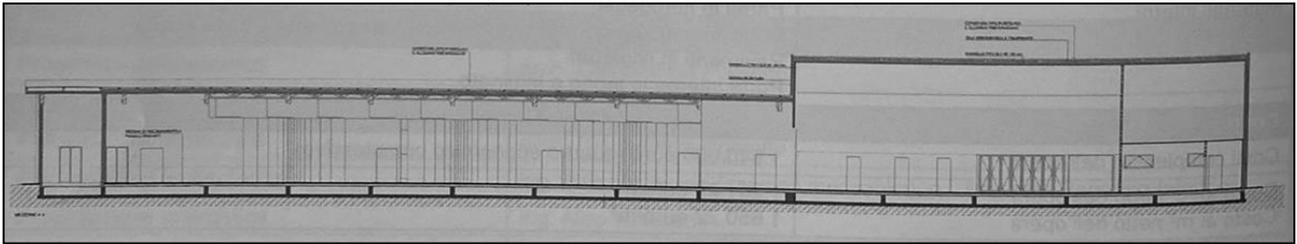


Figura 45 - Sezione longitudinale

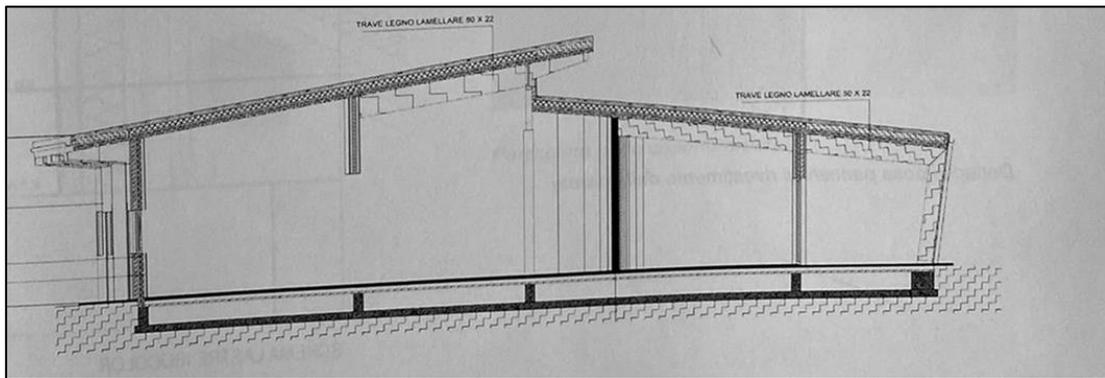
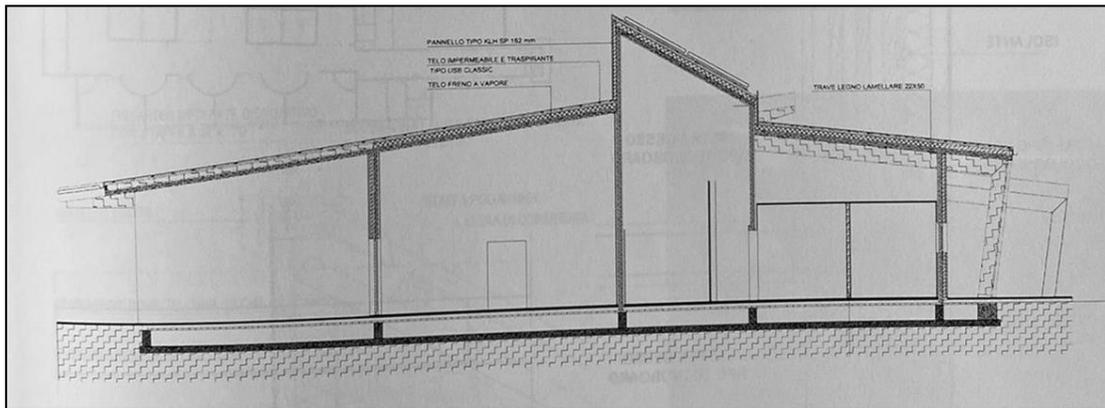


Figura 44 - Sezioni trasversali

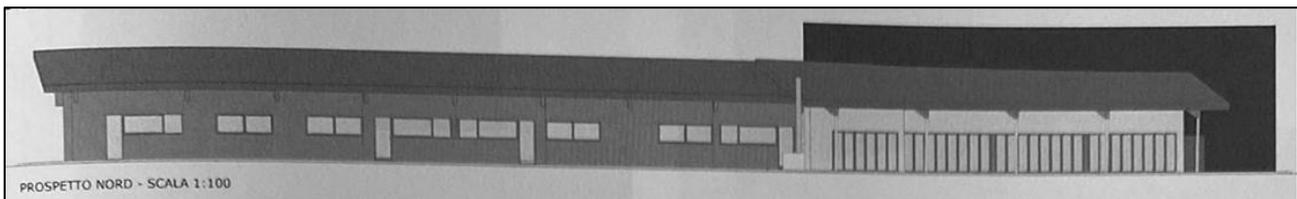


Figura 43 - Prospetti

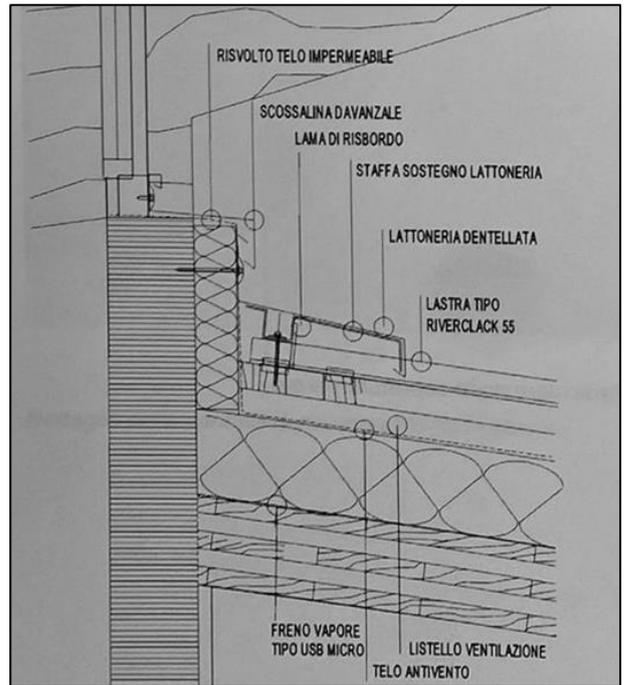
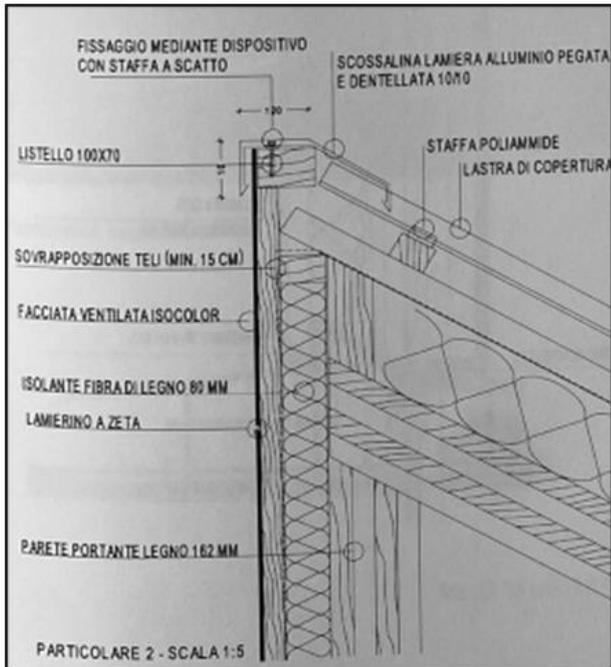
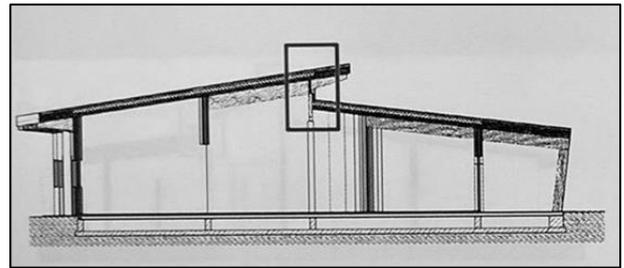
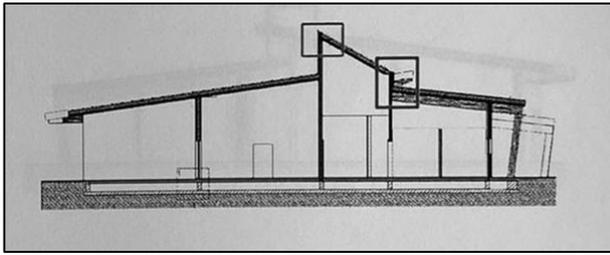


Figura 47 - Particolare costruttivo copertura-parete

Figura 48 - Particolare costruttivo finestra-copertura

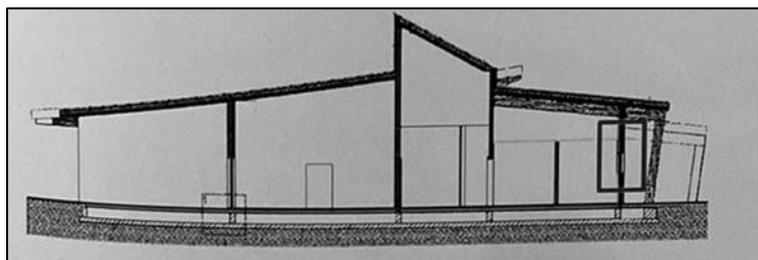


Figura 46 - Particolare costruttivo finestra-parete

3.6 Scuola materna e asilo nido – Archh. Antonio D’Alessandro e Francesca Maruccia

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Bolzano
Tipologia funzionale	Scuola Materna e asilo
N° Bambini	128
Progettista architettonico	Arch. Antonio D’Alessandro – Arch. Francesca Mamuccari
Anno di costruzione	2012 - 2017
Superficie Lorda	2’443,00 mq
Tipologia costruttiva	Legno X-Lam
Classe energetica	CasaClima A
Costo dell’opera	5’591’070,18 €
Emissioni CO2 annue	--

Descrizione Opera

La Nuova costruzione è provvista di 2 sezioni di asilo nido (28 bambini) e quattro sezioni di scuola materna (100 bambini) che ospiteranno complessivamente 128 bambini.

La costruzione si sviluppa su tre livelli. Il piano interrato è stato realizzato in calcestruzzo armato mentre i due piani fuori terra sono realizzati interamente in legno e si compone di due principali corpi: asilo nido e scuola materna, collegati attraverso un volume a “ponte”.

Il corpo scuola materna presenta in pianta una forma a L, mentre il corpo asilo nido presenta una forma in pianta rettangolare.

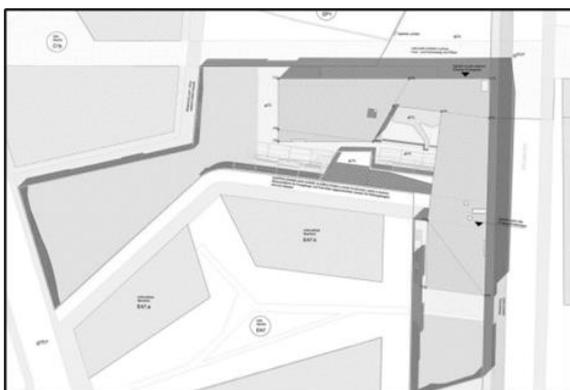


Figura 50 – Planimetria generale



Figura 49 – Planimetria generale

Tecnologie utilizzate

L’edificio non presenta elementi per la produzione di energia rinnovabile perché è direttamente collegata alla rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento.

È stato pensato un impianto di riscaldamento a pavimento e a parete ed un impianto di ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore affinché sia garantita una buona qualità dell’aria.

Gli infissi sono in legno lamellare e le dimensioni riescono a garantire in tutti gli ambienti un fattore di illuminazione pari ad almeno un sesto della superficie dell’ambiente.

L’acqua piovana raccolta in cisterne viene poi utilizzata per l’irrigazione del verde.



Figura 52 - Pianta piano primo

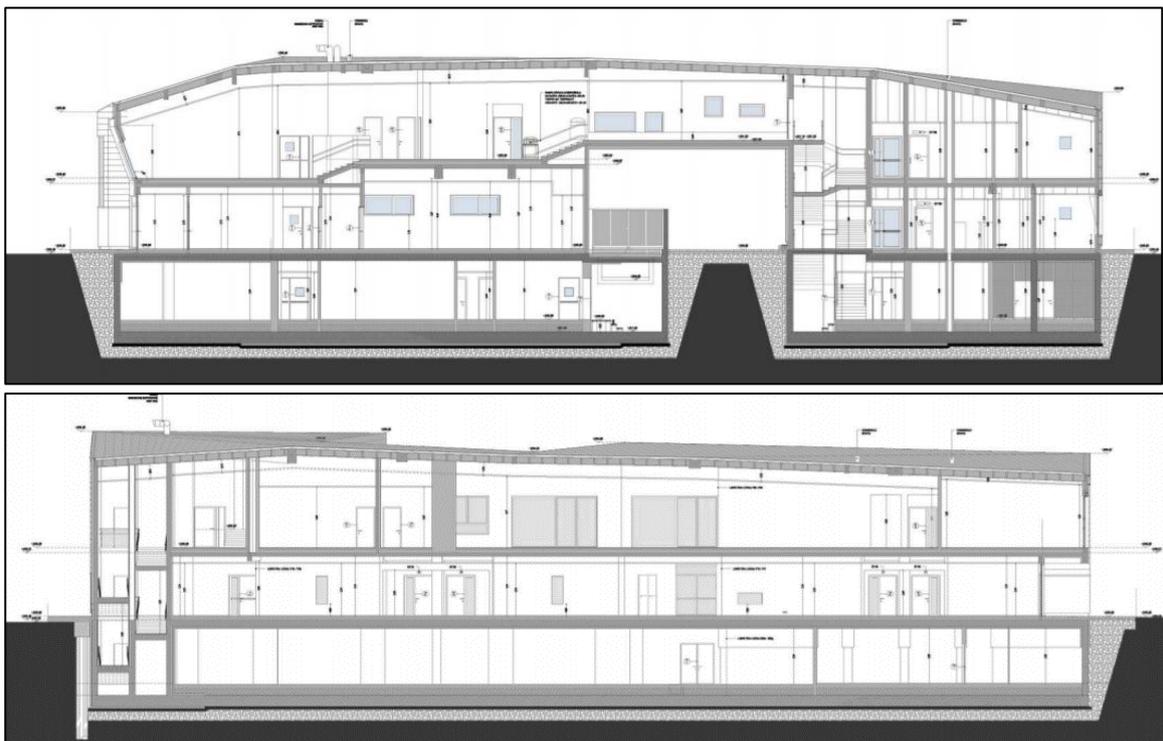


Figura 51 - Sezioni longitudinali

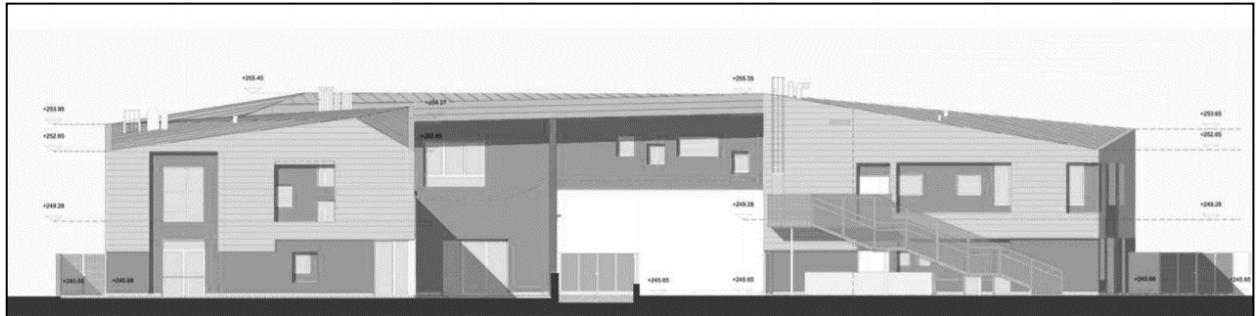


Figura 53 - Prospetti

3.7 Asilo nido “BabyLife” – Studio di architettura o2arch

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Milano
Tipologia funzionale	Asilo nido
N° Bambini	72
Progettista architettonico	o2arch
Anno di costruzione	2017 - 2018
Superficie Lorda	1000,00 mq
Tipologia costruttiva	Legno X-Lam
Classe energetica	LEED Platinum
Costo dell'opera	3'500'000,00 €
Emissioni CO2 annue	--

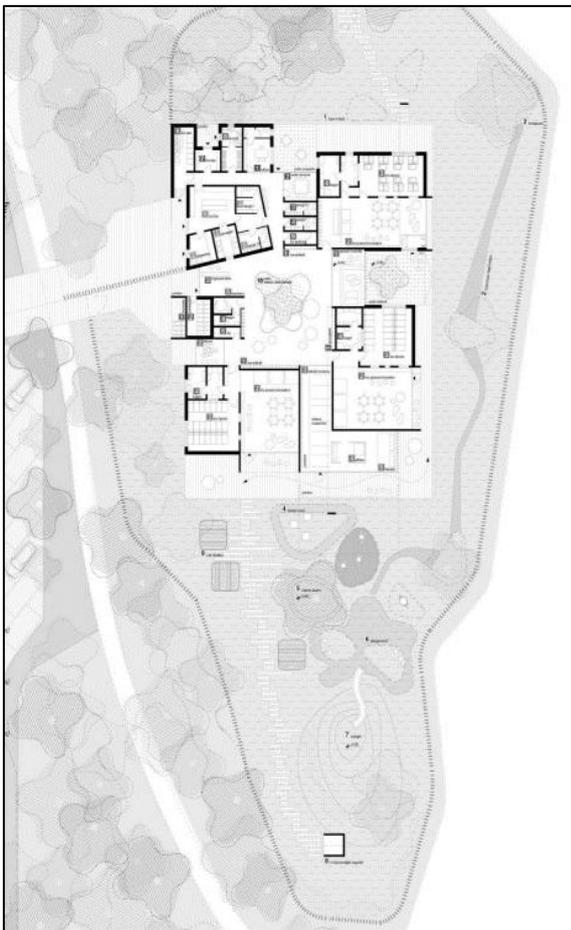


Figura 54 – Planimetria generale

Descrizione Opera

Per la struttura verticale e orizzontale dell'edificio è stato previsto l'utilizzo di pannelli in legno X-Lam, un sistema innovativo che presenta vantaggi sotto molti aspetti, come l'efficienza termica, infatti, il valore di isolamento termico del legno presenta delle prestazioni molto alte rispetto a quello di altri materiali.

Per il rivestimento esterno della parete ventilata sono stati scelti due tipi di materiali per garantire la diversità dell'edificio: pannelli compositi in alluminio per pareti bianche e rivestimento in eco-board per pareti color legno. Infine, per la copertura è previsto l'utilizzo di un pannello sandwich composto da elementi isolanti.

Il vantaggio di questo pannello è che ha buone proprietà isolanti e un'elevata resistenza al fuoco anche per spessori ridotti.

I materiali interni rispecchiano le esigenze di comfort e funzionalità. Il rivestimento principale delle tre diverse parti di pavimento, delle pareti e del soffitto è interamente in legno.

Tecnologie utilizzate

Particolare attenzione è rivolta alla ricerca del miglior rapporto con la posizione e il clima locale, l'orientamento dell'edificio, l'uso di energie rinnovabili per un maggior risparmio energetico, la valorizzazione delle acque piovane che vengono raccolte e riutilizzate per i servizi igienici, l'ottimizzazione dei sistemi di produzione del calore, l'isolamento termico degli edifici ed infine l'illuminazione e la climatizzazione naturale.

L'ottimizzazione e il corretto utilizzo dell'illuminazione naturale possono garantire condizioni ambientali visivamente salutari negli spazi chiusi e ridurre, ove possibile, l'utilizzo di sorgenti luminose artificiali.

3.8 Nuova scuola dell'infanzia "Pietro Nenni" – Studio Arch. Nuova Tecnologia s.r.l.

TABELLA DESCRITTIVA

Luogo	Bagnolo Mella (BS)
Tipologia funzionale	Scuola dell'Infanzia
N° Bambini	250
Progettista architettonico	Nuova Tecnologia srl
Anno di costruzione	2016 - 2017
Superficie Lorda	2'500,00 mq di copertura
Tipologia costruttiva	Legno lamellare
Classe energetica	LEED Platinum
Costo dell'opera	4'260'000,00 €
Emissioni CO2 annue	--

Descrizione Opera

L'edificio, disposto su un unico piano, realizzato con strutture prefabbricate in legno, è composto da 8 aule con servizi aggiuntivi, spazi comuni, ingressi, mense e cucine, che può ospitare fino a 300 persone, non si fa riferimento alla vecchia scuola tradizionale ma ad una scuola come luogo di incontro nell'insegnamento, tenendo conto degli utenti effettivi, della loro scala e delle loro esigenze specifiche.

Il colore è utilizzato per identificare i vari percorsi e le varie aule destinate ai bambini. La luce è la principale fonte di energia, sono stati installati appositi attenuatori di luce che si attivano automaticamente quando necessario.

La percezione degli spazi esterni dall'interno fa sì che si creino luoghi di aggregazione e percezione dei cambiamenti delle stagioni.

Tecnologie utilizzate

L'intera struttura portante è realizzata in legno lamellare prefabbricato di tipo sandwich, che presenta ottime prestazioni acustiche e sismiche. I pannelli periferici sono invertiti con cartongesso a doppio strato per coprire il sistema.

Le finestre sono progettate per limitare la dispersione, dovuta anche all'utilizzo di vetri con elevato isolamento acustico passivo, elevato isolamento termico ed eccellenti proprietà di schermatura della luce. L'impianto fotovoltaico sul tetto può generare fino a 80 kilowatt di energia elettrica, mentre l'illuminazione artificiale è interamente a LED.

Il bagno, l'impianto antincendio e l'acqua di irrigazione provengono tutti da cisterne di accumulo dell'acqua piovana.



Figura 57 - Prospetto Principale



Figura 58 - Prospetto Posteriore

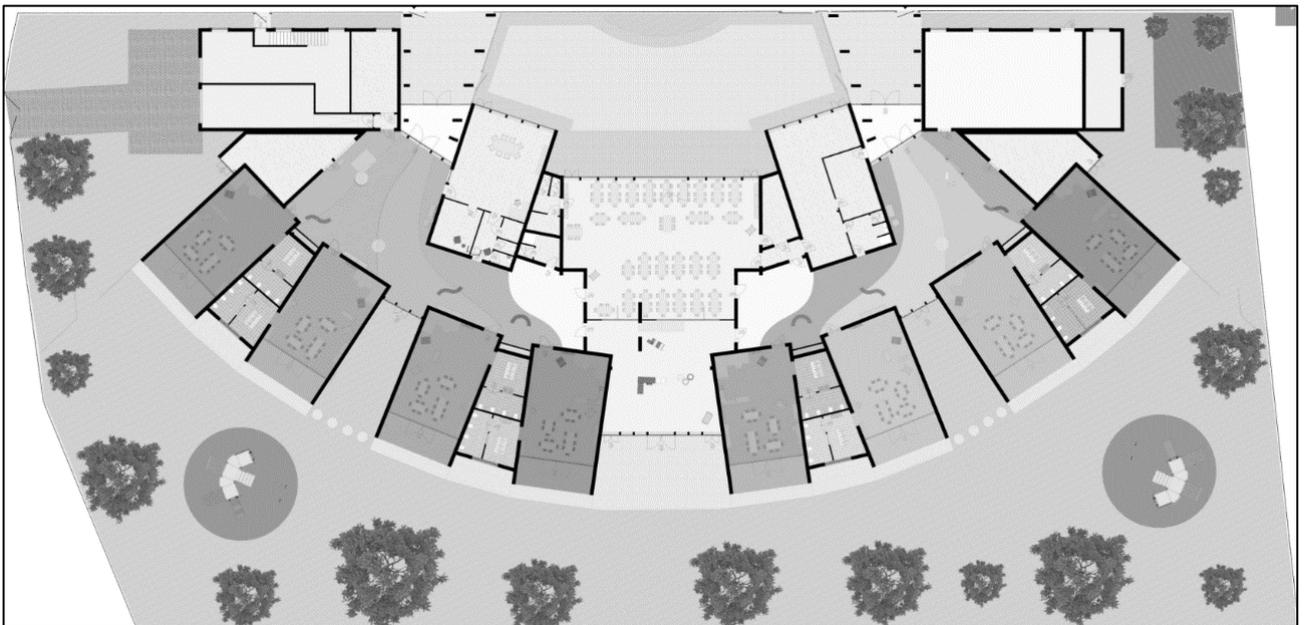


Figura 59 - Pianta piano terra

3.9 Tabella di confronto

<i>TABELLA RIASSUNTIVA</i>							
<i>Scuola</i>	<i>Località</i>	<i>Anno costruzione</i>	<i>Superficie m²</i>	<i>Costo €</i>	<i>Costo €/mq</i>	<i>Classe energetica</i>	<i>Tecnologia costruttiva</i>
<i>Scuola dell'infanzia</i>	Merano (Trentino-Alto Adige)	2009	914	1.300.000	1'422,32	CasaclimaA	Platform frame
<i>Scuola dell'infanzia</i>	Mazzè (TO)	2009	1.115	1.840.000	1'649,60	CasaclimaA	Legno X-Lam
<i>Scuola dell'infanzia</i>	Cascina (PI)	2012-2013	740	1.095.800	1'480,81	CasaclimaA	Legno X-Lam
<i>Scuola dell'infanzia</i>	Sequals (PN)	2012-2014	830	1.091.678	1'315,27	CasaclimaA	Legno X-Lam
<i>Nido d'infanzia</i>	Guastalla (RE)	2014-2015	1400	2.270.000	1'621,42	CasaclimaA	Legno lamellare
<i>Scuola d'infanzia</i>	Bolzano	2015-2017	2.443	5.891.070	2'411,40	CasaclimaA	Legno X-Lam
<i>Scuola dell'infanzia</i>	Bagnolo Mella (BS)	2016-2017	2500	4.260.000	1'704,00	LEED Platinum	Legno lamellare
<i>Asilo nido</i>	Milano	2017-2018	1000	3.500.000	3'500,00	LEED Platinum	Legno X-Lam

4. Il caso studio: la scuola d'infanzia "SO.LE."

4.1 Inquadramento urbanistico

4.1.1 *Comune di Mappano*

L'intervento oggetto di studio interessa Mappano diventato comune nel 2013. Non essendosi ancora dotato di un Piano regolatore Generale Comunale, le norme vigenti sono quelle del P.R.G.C 2001 Caselle approvato con D.G.R. n. 2-2009 del 22/01/01 e s.m.i. con le relative Norme Tecniche di Attuazione e le Schede Normative. L'area è inserita in un contesto urbano prevalentemente residenziale più esattamente nel distretto DR5, classificata come zona territoriale omogenea SE Servizi a livello comunale compresa tra le Aree destinate ad impianti pubblici ed attrezzature di interesse pubblico.

Mappano aspira a divenire un modello di riferimento nella definizione di un rapporto armonioso tra comunità ed ambiente, e intende rincorrere questo obiettivo attraverso la ricerca di un rapporto tra la popolazione, l'edificato, l'ambiente, il paesaggio, i linguaggi dell'architettura, comprovati sull'equilibrio ecosistemico ed ambientale e la promozione di attività ad elevata innovazione e sperimentazione di modelli abitativi, energetici, edilizi e architettonici, dell'abitare l'ambiente e il paesaggio.

Dal punto di vista pedagogico i cambiamenti intervenuti nel passaggio dalla società industriale alla società della conoscenza rimandano anche nell'ambito dell'educazione scolastica, che richiede oggi metodi, scenari d'uso, strumenti e spazi contraddistinti.

La premessa culturale da cui prende le mosse il progetto è la considerazione degli spazi scolastici e della loro organizzazione in funzione del "fare scuola" e del rapporto tra spazio e modalità di apprendimento- costituito da spazi aula, spazi connettivi come ingressi, corridoi, spazi comuni - attento a conciliare istanze di apprendimento e istanze relazionali, bisogni individuali e bisogni sociali. Si intende dare vita ad un paesaggio mutevole, continuamente in stato di flusso, che rispetti l'età dei bambini accolti e le loro complesse e mutevoli trasformazioni inserendo alcuni elementi che aiutano un edificio a diventare un'entità sociale: una buona visuale, illuminazione naturale, chiarezza organizzativa e trasparenza di ogni interno ed esterno grazie all'utilizzo delle vetrate. Lo spazio oltre la classe diventa uno spazio di apprendimento che ospita numerosi angoli di scoperta e di lavoro, stimolante e allo stesso tempo familiare e mai monotono.

4.1.2 Area di progetto

Il lotto è ubicato al confine dell'infanzia è delimitato a nord e a ovest dalla viabilità, a sud confina con un parcheggio pubblico mentre ad est confina con la scuola elementare.



Figura 6o – Particolare del P.R.G. del Comune di Mappano

Parametri urbanistici di riferimento per la zona D.R.5

U.T. (Indice di utilizzazione territoriale)	0.3 mq/mq
I.C.T. (Indice copertura territoriale)	< 34%
Altezza massima edifici	14,5 m

4.1.3 Dimensionamento superficie minima

Per quanto riguarda la superficie minima necessaria per la realizzazione del lotto del polo scolastico, si fa riferimento alla tabella 2 del DM 18 dicembre 1975.⁴

TABELLA 2 - AMPIEZZA MINIMA DELL'AREA NECESSARIA ALLA COSTRUZIONE DI UN EDIFICIO SCOLASTICO PER TIPI DI SCUOLE E PER NUMERO DI CLASSI (Riferimento al testo 2.1.2.)

Numero classi o sezioni	Scuola materna		
	superficie totale m ²	per sezione m ²	per alunno m ²
1	1.500	1.500	50
2	1.500	750	25
3	2.250	750	25
4	3.000	750	25
5	3.750	750	25
6	4.500	750	25
7	5.250	750	25
8	6.000	750	25
9	6.750	750	25

Figura 61 - Tabella ampiezza minima necessaria

La dimensione minima nel rispetto della succitata normativa di settore per la realizzazione di una scuola dell'infanzia di 5 sezioni e 150 alunni è: m² 3.750,00.

Per quanto riguarda il dimensionamento di massima degli edifici, invece, si fa riferimento alla tabella 3/B del DM 18 dicembre 1975.⁵

TABELLA 3/B - SUPERFICI LORDE PER SEZIONE, PER CLASSE, PER ALUNNO
A seconda del tipo di scuola: per sezione fino a 30 alunni, per classe fino a 25 alunni comprensive di tutti i locali dell'edificio e delle murature, considerate le palestre di tipo A1 e A2 a seconda dei casi, ed esclusi l'alloggio del custode, l'alloggio per l'insegnante, gli uffici per le direzioni didattiche e le palestre del tipo B (riferimento 3.5.1.).

Numero sezioni	Numero alunni	Scuola materna	
		m ² /sezione	m ² /alunno
3	90	210	7,00
4	120	203	6,77
5	150	202	6,73
6	180	200	6,67
7	210	199	6,63
8	240	199	6,63
9	270	198	6,60

Figura 62 - Superfici lorde

La superficie lorda necessaria totale è pari: 6,73 m²/alunno x 150 alunni = 1.009,5 m²

⁴ Decreto ministeriale (Ministero dei lavori pubblici) 18 Dicembre 1975, Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica.

⁵ Ibidem.

4.1.4 Verifica degli standard urbanistici

Con riferimento alle N.T.A. del P.R.G. del Comune di Caselle vigente, si propone una verifica puramente indicativa degli standard urbanistici, utilizzando come riferimento i minimi dimensionali ricavati dall'applicazione del DM 18 dicembre 1975 di cui al precedente paragrafo.

La tabella di seguito riporta i valori dei parametri urbanistici.

PARAMETRO	VALORE
<i>S.T.</i>	6'005,00 mq
<i>S.U. minima</i>	1'009,50 mq
<i>S.U. progetto</i>	1'161,00 mq

Ricordando che l'indice di utilizzazione territoriale/fondiarie U.T. è pari al rapporto tra la superficie utile di progetto e la superficie territoriale, risulta pari a:

$$U.T. = \frac{S.U.}{S.T.} = \frac{1.161,00 \text{ m}^2}{6.005,00 \text{ m}^2} = 0.19 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^2}$$

Verifica degli standard urbanistici

PARAMETRO	VALORE DI PROGETTO	VALORE LIMITE	VERIFICA
<i>U.T.</i>	0.19 mq/mq	0.3 mq/mq	<i>Verificata</i>
<i>I.C.T.</i>		< 34%	<i>Verificata</i>
<i>Altezza massima edifici</i>	5 m	14,5 m	<i>Verificata</i>

Ricordiamo inoltre che:

- S.T. rappresenta la superficie territoriale/fondiarie;
- S.U. rappresenta la superficie utile;
- U.T. rappresenta l'indice di utilizzazione territoriale/fondiarie;
- I.C.T. rappresenta l'indice di copertura territoriale/fondiarie.

4.1.5 Dimensionamento teorico degli spazi funzionali

Il dimensionamento complessivo degli spazi funzionali della scuola dell'infanzia, sia per quanto riguarda le superfici da destinare alle sezioni che per quanto riguarda le superfici per servizi generali, è stato effettuato per n. 5 sezioni di 30 alunni ciascuno, ossia per 150 alunni, utilizzando i parametri indicati dal DM 18 dicembre 1975.

CALCOLO SUPERFICI MINIME

SPAZI		Mq/alunno	N° alunni	Mq
PER ATTIVITÀ ORDINATE	Attività a tavolino	1.80	150	270.00
	Attività speciali	0.40	150	60.00
PER ATTIVITÀ LIBERE		0.90	150	135.00
PER ATTIVITÀ PRATICHE	Spogliatoio	0.50	150	75.00
	Locale lavabi	0.67	150	100.50
	Deposito	0.13	150	19.50
PER MENSA	Mensa	0.40	150	60.00
	Cucina	0.35	150	52.50
ASSISTENZA	Assistenti	0.17	150	25.50
	Spogliatoi insegnanti	0.07	150	10.50
	Piccola lavanderia	0.04	150	6.00
CONNETTIVO		1.24	150	186.00
SUPERFICI MINIME				1000.50
Incidenza muratura		5%		50.03
TOTALE SUPERFICIE MINIMA				1050.53

CALCOLO SUPERFICI MINIME PER SINGOLA SEZIONE

<i>SPAZI</i>		<i>Mq/alunno</i>	<i>N° alunni</i>	<i>Mq</i>
<i>PER ATTIVITÀ ORDINATE</i>	<i>Attività a tavolino</i>	1.80	30	54.00
	<i>Attività speciali</i>	0.40	30	12.00
<i>PER ATTIVITÀ PRATICHE</i>	Spogliatoio	0.50	30	15.00
	Locale lavabi	0.67	30	20.10
	Deposito	0.13	30	3.90
SUPERFICIE MINIMA SEZIONE				150.00

Al fine di aumentare il comfort e la vivibilità degli ambienti, si è deciso di aggiungere una sezione così da poter distribuire gli alunni in 6 sezioni composte da 25 bambini ognuna.

CALCOLO SUPERFICI MINIME PER SINGOLA SEZIONE

<i>SPAZI</i>		<i>Mq/alunno</i>	<i>N° alunni</i>	<i>Mq</i>
<i>PER ATTIVITÀ ORDINATE</i>	<i>Attività a tavolino</i>	1.80	25	45.00
	<i>Attività speciali</i>	0.40	25	10.00
<i>PER ATTIVITÀ PRATICHE</i>	Spogliatoio	0.50	25	12.50
	Locale lavabi	0.67	25	16.75
	Deposito	0.13	25	3.25
SUPERFICIE MINIMA SEZIONE				87,50

4.2 Il progetto architettonico

La nuova scuola dell'infanzia "SO.LE." prevista all'interno del territorio di Mappano alla via Don Murialdo angolo Via Generale viene a definirsi come risultante diretta di fattori contestuali come la forma e le dimensioni del lotto, la presenza di edifici circostanti, i fattori distributivi funzionali e le caratteristiche fisiche-prestazionali dell'edificio.

In funzione a tutte le componenti enunciate precedentemente, il progetto è stato ideato e progettato in modo da poter realizzare un organismo edilizio sostenibile ed efficiente.



Figura 63 – Planimetria generale

L'edificio è stato progettato pensando ad un organismo edilizio sostenibile. Per questo il protagonista di questo progetto è il legno, materiale reperibile in natura ed a basso impatto ambientale. Con uno sguardo al futuro questo materiale oltre ad essere un ottimo materiale da costruzione non sarà soggetto alla futura carbon-tax a differenza di calcestruzzo e acciaio, che porterà a favorirlo come materiale da costruzione. In grado di ridurre al minimo lo spreco di energia e di essere al contempo ecosostenibile grazie all'utilizzo di materiali reperibili in natura, quindi a basso impatto ambientale.

4.2.1 Studio funzionale degli spazi

L'edificio si estende su un unico livello per una superficie di circa 1150mq e presenta una forma allungata lungo l'asse nord-sud che richiama la sagoma del lotto in forma pressoché rettangolare.

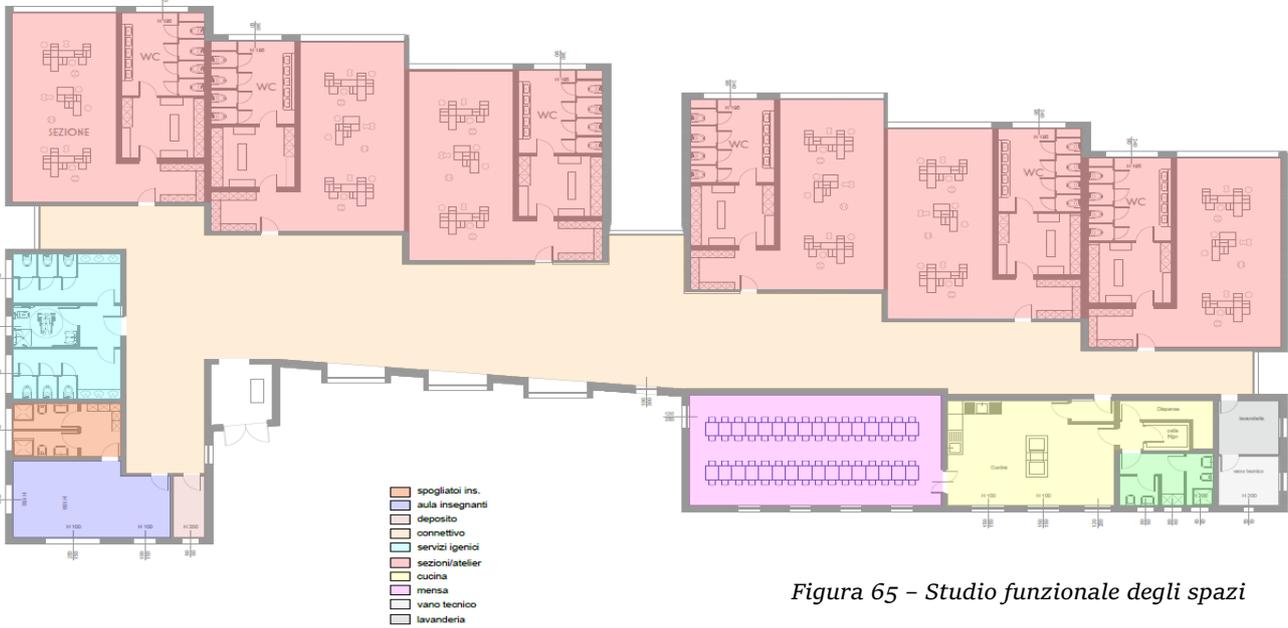


Figura 65 - Studio funzionale degli spazi

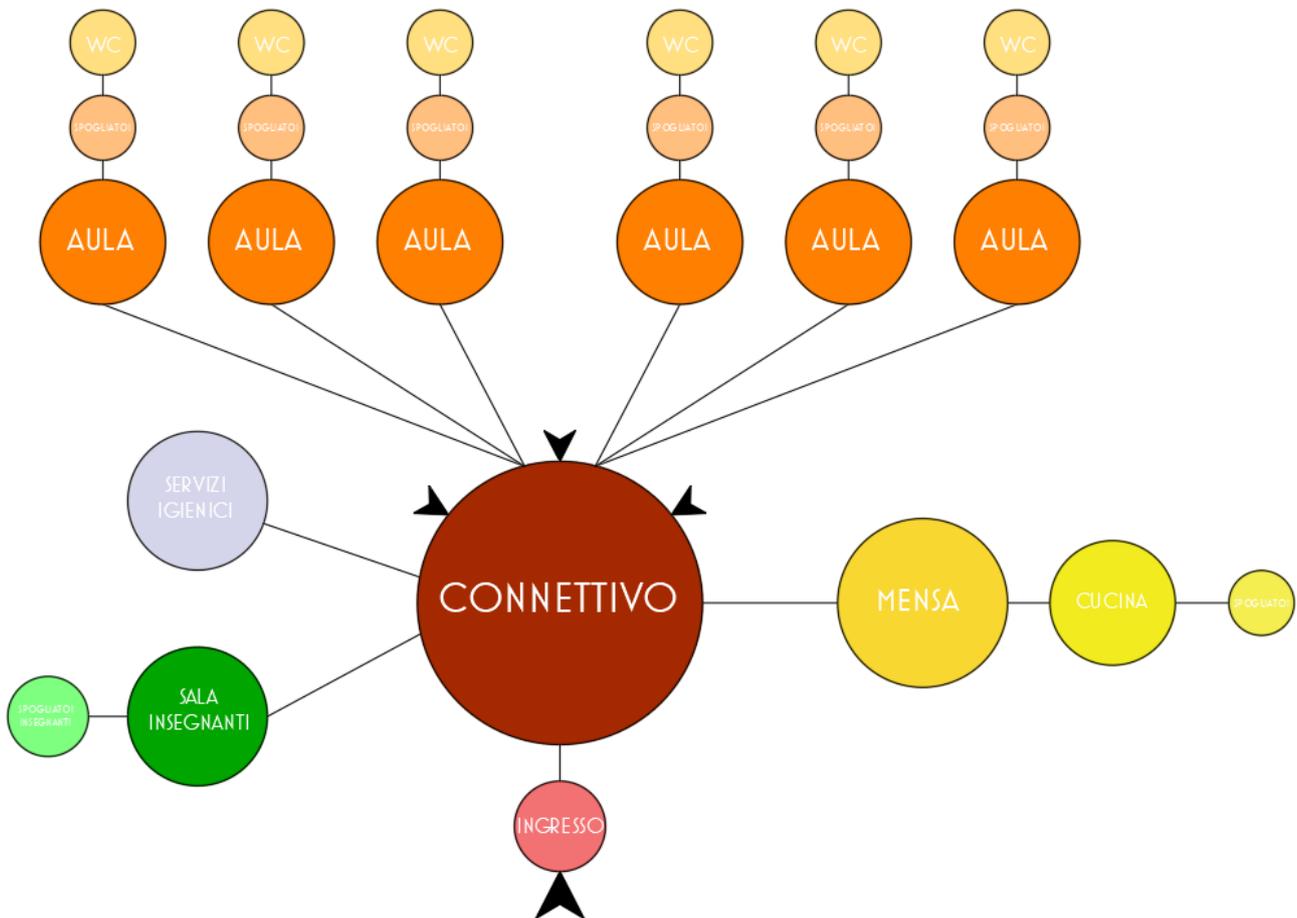


Figura 64 - Organigramma spaziale

Si possono distinguere 4 corpi principali:

1. Uno spazio dedicato interamente ai bambini che si compone di 6 sezioni della stessa dimensione, ognuna avente il proprio bagno e spogliatoio realizzati per soddisfare le esigenze dei più piccoli. Le diverse sezioni si trovano vicine tra loro e sono orientate verso est, dotate tutte di grandi vetrate che offrono la possibilità di uscire direttamente nello stesso cortile, pensato per le attività ludiche all'aperto. Il lato est rappresenta la parte interna dell'edificio che concede una migliore riservatezza e un'ottima illuminazione naturale fin dalle prime ore del giorno.
2. Il secondo spazio è dedicato al pranzo, dotato di una sala adibita a mensa pensata per la metà degli alunni al fine di alleggerire il carico di lavoro agli operatori che svolgeranno le loro mansioni in due turni, la cucina, i servizi destinati agli addetti alla mensa scolastica e una piccola lavanderia riservata agli indumenti degli alunni.
3. Il terzo spazio è pensato per gli adulti, siano essi educatori o genitori o altri operatori presenti all'interno della scuola, ed è a sua volta suddiviso in due sezioni: una sala insegnanti dotata di spogliatoio con armadietti per poter riporre gli effetti personali, bagni e docce, e una seconda area dotata di servizi igienici pensati per gli adulti e per i disabili.
4. Il quarto spazio è il cuore della struttura composto da un ampio connettivo che, oltre a fornire un collegamento tra tutte le sezioni, diventa punto di incontro per tutti i bambini: è qui che si svolgeranno diverse attività, da quelle collettive a quelle individuali quali la ricreazione, recite, veglioni, feste invernali. Il connettivo è inoltre dotato di finestre con seduta per permettere ai bambini di consumare la loro merenda godendo del panorama esterno.

Proprio a proposito del panorama esterno, dedicheremo adesso qualche rigo alla descrizione dell'atrio che circonda la struttura scolastica in legno, considerata parte integrante del progetto dell'intero complesso scolastico e progettata contestualmente all'edificio. 76 mq di verde, dotati di tre cancelli di sicurezza: sul lato ovest sono presenti due entrate, una riservata ai bambini e un'altra agli operatori della mensa, che hanno l'accesso diretto alla cucina dall'esterno; il lato sud presenta la terza entrata destinata ai mezzi di soccorso.

Trattandosi di una scuola per l'infanzia, si intende valorizzare il potenziale educativo del cortile inserendo proprio all'interno della programmazione scolastica, oltre alla pratica sportiva all'aperto anche attività didattiche come orti e laboratori, delle vere e proprie *aule verdi*.

4.2.2 Piante

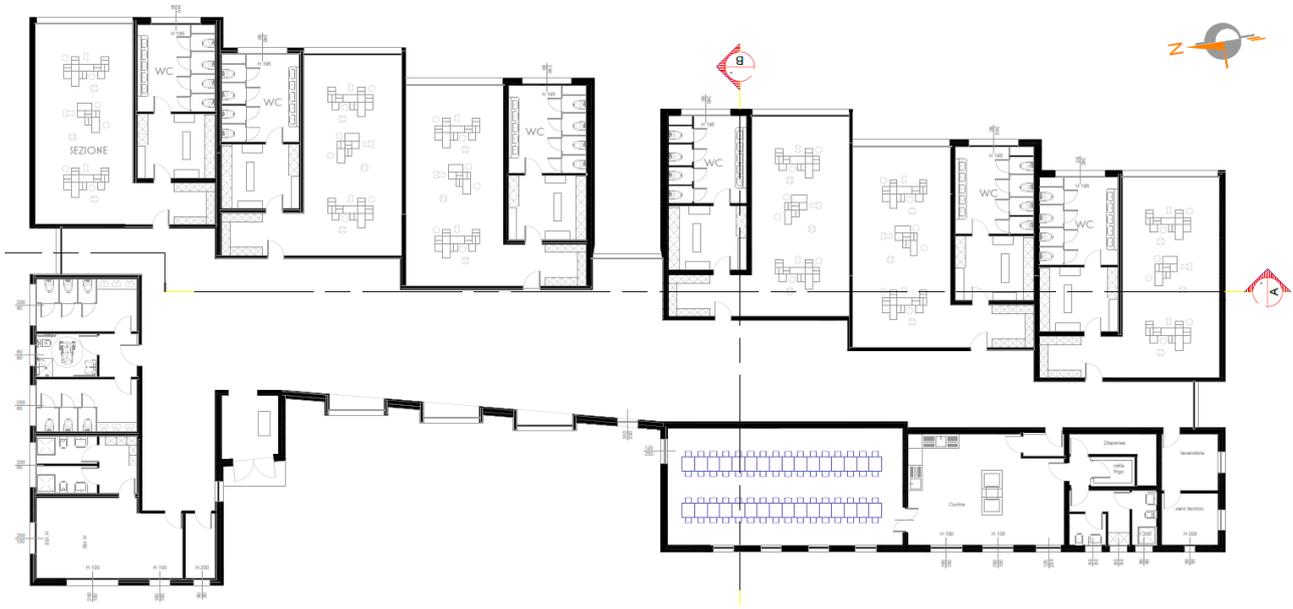


Figura 66 - Pianta Piano Terra

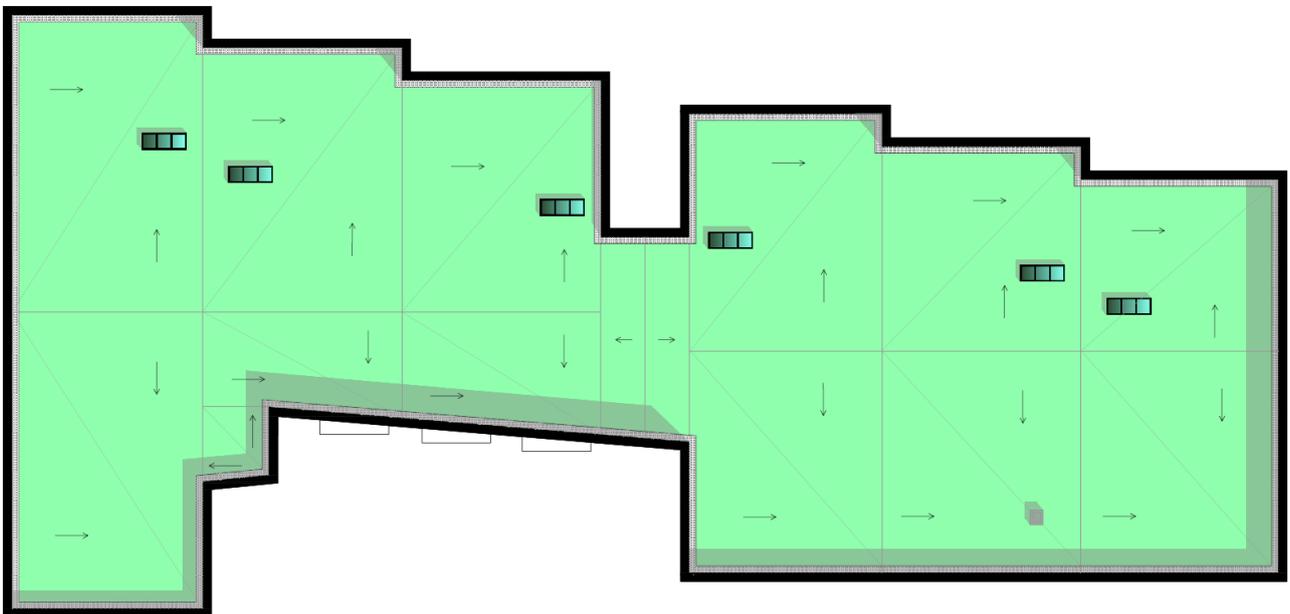


Figura 67 - Pianta Copertura

4.2.3 Sezioni

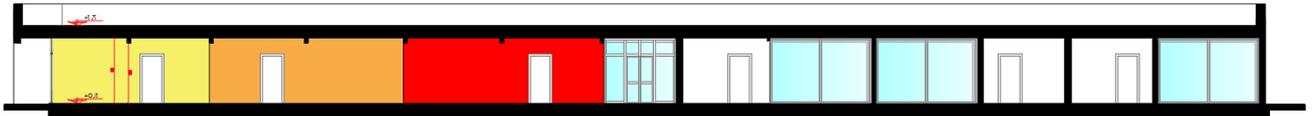


Figura 68 - Sezione Longitudinale

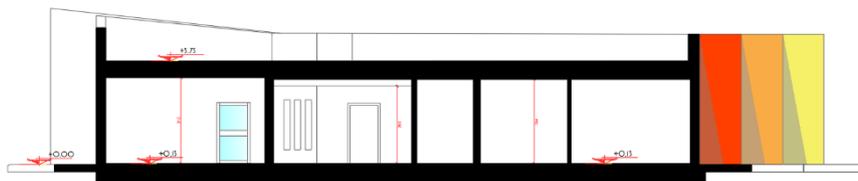


Figura 69 - Sezione Trasversale

4.2.4 Prospetti



Figura 70 - Prospetti dell'edificio

4.2.5 *Render*



Figura 71 - Render



Figura 72 - Render

5 Il sistema tecnologico

5.1 La struttura portante

In questo paragrafo viene presentata una breve descrizione tecnica delle parti dell'edificio per giustificare le scelte progettuali attuate in merito alla stratigrafia dei paramenti verticali e delle suddivisioni orizzontali tenendo conto dei requisiti termici dei componenti.

Dal punto di vista costruttivo il progetto prevede una fondazione del tipo superficiale a platea realizzata con calcestruzzo e annessa armatura.

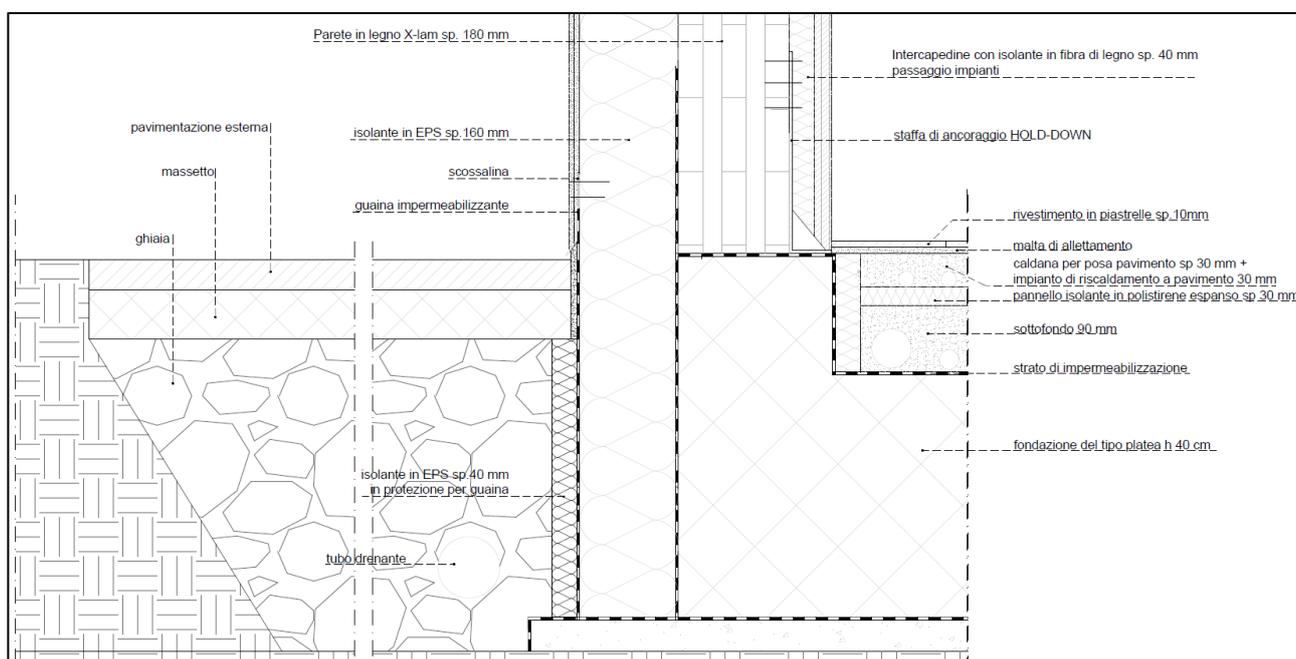


Figura 73 - Particolare costruttivo Fondazione-Parete

La struttura portante interamente in legno è composta da pannelli multistrato del tipo X-Lam.

La struttura in legno è realizzata in conformità alla normativa italiana del D.M 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", NTC08 e alla normativa europea UNI EN 1995-1-1: 2009: Eurocodice 5.

Nello specifico il progetto prevede:

- Pareti esterne strutturali in legno, realizzate mediante pannelli multistrato incollato (tecnologia X-Lam) di spessore 120/180 mm, a 5 strati;
- Pareti interne strutturali in legno, realizzate mediante pannelli multistrato incollato (tecnologia X-Lam) di spessore 120/180 mm, a 5 strati;

Le pareti presentano diversi tipi di finiture distinte tra: non a vista e a vista residenziale. Per finiture non a vista intendiamo quelle utilizzate quando i pannelli sono destinati ad essere rivestiti, potrebbero essere presenti nodi, fessurazioni, sacche di resina, tracce di piallatura.

La qualità non a vista viene consigliata solo per elementi costruttivi non visibili, rivestiti su entrambi i lati.

Per finiture *a vista residenziale* vengono utilizzate lamelle di qualità AB, giuntate a pettine e incollate sulla larghezza. La qualità viene eseguita sul lato frontale del pannello e levigata.

Tutti i collegamenti tra gli elementi in legno della struttura e tra gli stessi e la struttura portante in c.a. sono realizzati mediante elementi di fissaggio in acciaio.

Il legno impiegato presenta le seguenti caratteristiche:

- Durabilità classe d'uso 1 e 2 secondo EN 1995-1-1;
- Tipo di legname abete rosso;
- Struttura pannello composta da 3-5-7 strati, in base alle necessità statiche;
- Classe di resistenza C24 secondo norma EN338;
- Umidità del legno 12% (+/- 2%) alla partenza;
- Diverse di superfici, non a vista, a vista industriale, a vista residenziale;
- Peso 5,5 kN/m³ secondo la norma ONORM B 1991-1-1:2011 per i calcoli statici
500 kg/m³ per il calcolo del peso di trasporto;
- Conduttività termica $\lambda = 0.12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ secondo la norma EN ISO 10456;
- Capacità termica $c_p = 1600 \text{ T/(kg}\cdot\text{K)}$ secondo la norma EN ISO 10456;
- Resistenza alla diffusione del vapore $\mu =$ da 300 (secco) a 46 (umido) secondo
norma EN ISO 12572;
- Resistenza al fuoco Euroclasse D-s2, d0;
- Velocità di combustione;

Nel progetto sono presenti diversi pacchetti tecnologici murari. Il muro perimetrale, a contatto con l'esterno è composto da un primo strato di intonaco, un secondo strato di isolamento in fibra di legno dello spessore di 160 mm fissati alla struttura portante, pannello di X-Lam dello spessore di 120-180 mm.

L'interno invece si compone di uno strato di isolante dello spessore di 40 mm, questo spessore oltre a contenere l'isolante è utilizzato per il passaggio degli impianti, chiusi da due strati di gesso rivestito dello spessore totale di 25 mm fissati ad una struttura metallica precedentemente ancorata al pannello X-Lam.

In linea con la scelta di realizzare una struttura in legno, per quanto riguarda l'isolamento delle pareti esterne, si prevede l'impiego di pannelli in fibra di legno.

La fibra di legno ha evidenziato caratteristiche altrettanto valide per isolare sia dal freddo invernale, sia dal caldo estivo gli edifici posti a latitudini più basse.

L'isolante scelto presenta ottime prestazioni termo-acustico, e ha la capacità di accumulare calore, caratteristica particolarmente apprezzata nei mesi caldi.

L'applicazione come cappotto esterno e sul tetto in zone calde, permette agli edifici di beneficiare di uno sfasamento termico di almeno 12 h che significa, a livello pratico, un utilizzo minimo dei condizionatori d'aria per contenere la temperatura interna degli ambienti.

Il tipo di intonaco scelto, intonaco di calce e gesso per interni ed intonaco per cappotto per esterni, presentano ottime caratteristiche di idrorepellenza, ritenzione del colore, buona resistenza all'abrasione e allo sfregamento, ottima copertura e potere mascherante, elevata permeabilità al vapor d'acqua.

5.1.1 Stratigrafie

Facendo riferimento alla tavola numero 9 in allegato, vengono elencate tutte le stratigrafie all'interno del progetto.

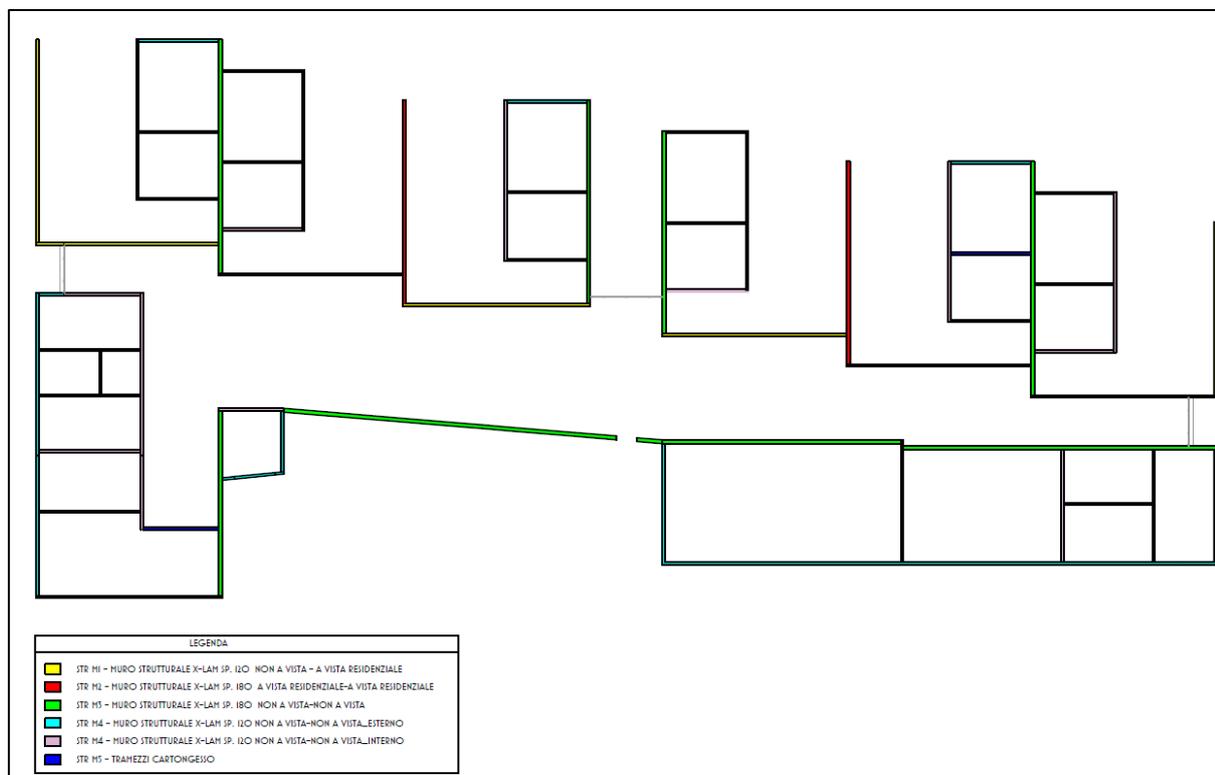


Figura 74 - Estratto dalla TAV.9

Stratigrafia parete esterna spessore 30 cm non a vista - a vista residenziale

Codice stratigrafia: STRM1

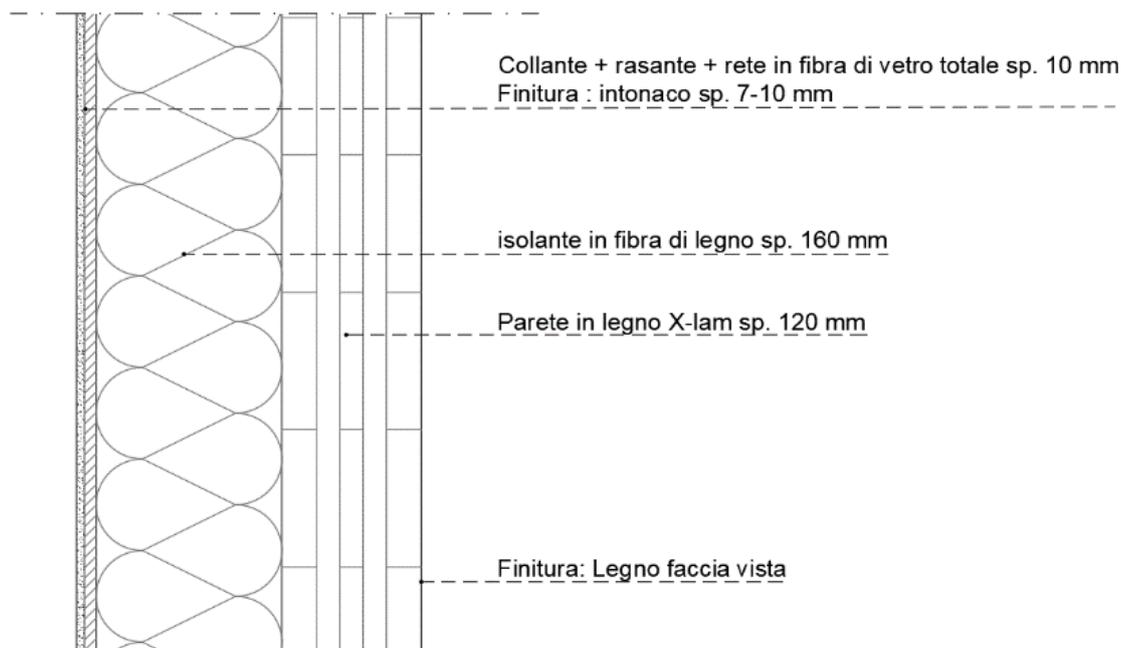


Figura 75 - Stratigrafia STRM1

Stratigrafia parete interna spessore 18 cm a vista residenziale – a vista residenziale

Codice stratigrafia: STRM2

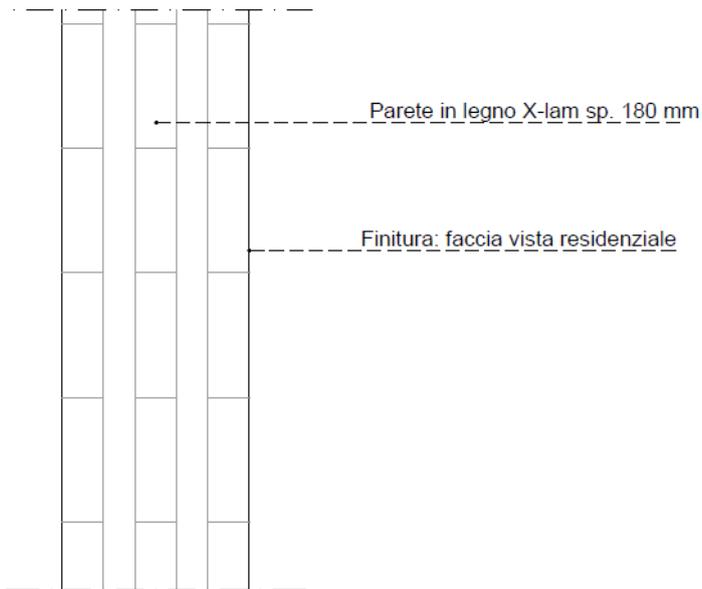


Figura 76 – Stratigrafia STRM2

Stratigrafia parete interna spessore 29 cm non a vista residenziale – non a vista residenziale

Codice stratigrafia: STRM3

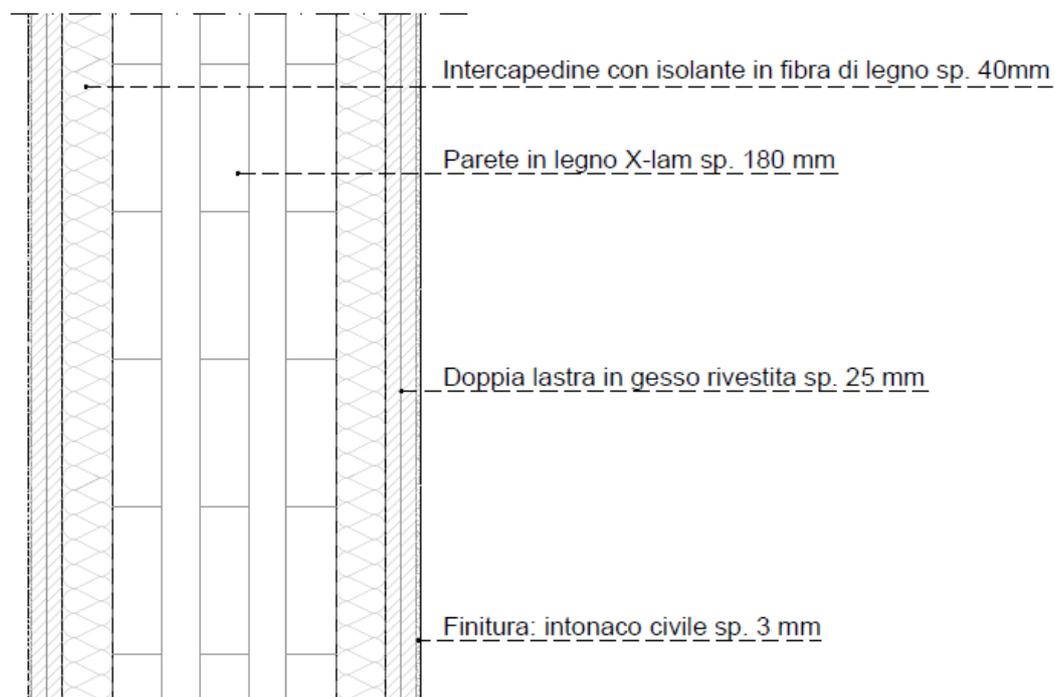


Figura 77 – Stratigrafia STRM3

Stratigrafia parete interna spessore 25 cm non a vista residenziale – non a vista residenziale

Codice stratigrafia: STRM4

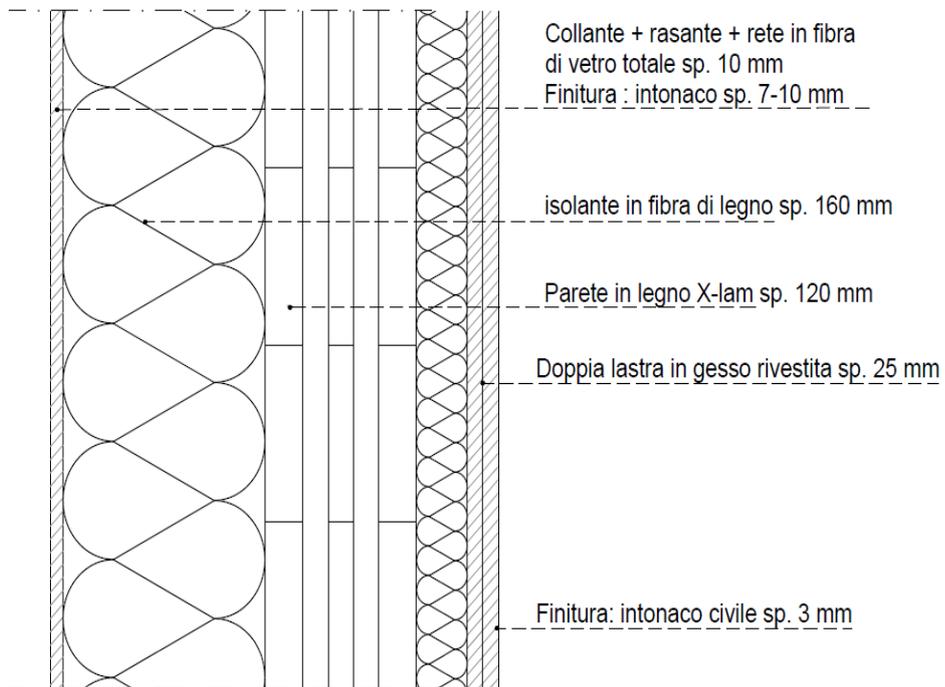


Figura 79 – Stratigrafia STRM4

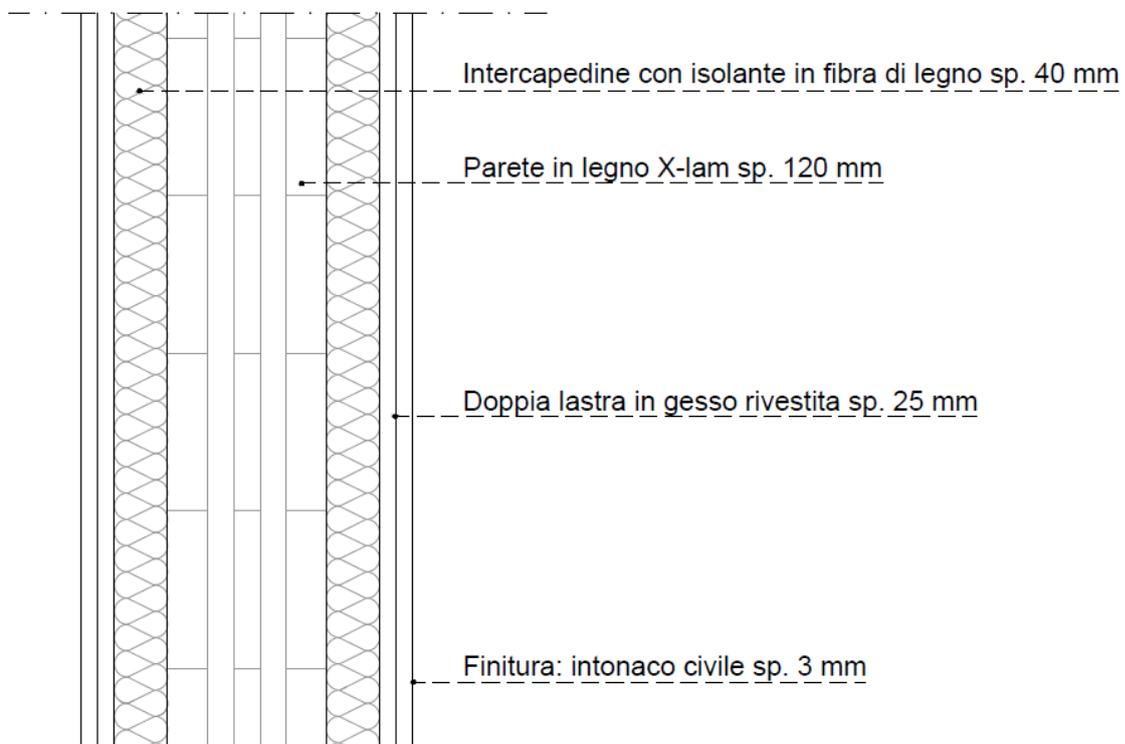


Figura 78 – Stratigrafia STRM5

5.1.2 Caratteristiche termo-igrometriche

Nel seguente sotto-paragrafo vengono riportate le caratteristiche termo-igrometriche, il calcolo della trasmittanza termica e la verifica anticondensa della stratigrafia tra l'ambiente interno climatizzato e quello esterno. Il calcolo svolto con l'ausilio del software termico NAMIRIAL Termo segue principi e limiti del Decreto Interministeriale del 26 giugno 2015, meglio noto come "Decreto requisiti minimi".

La stratigrafia in analisi è la STRM4. La tabella seguente riporta per ogni strato le proprie caratteristiche termo-igrometriche.

N	Descrizione	Spessore	λ	C	δ	$\delta p \times 10^{12}$	R
	dall'interno verso l'esterno	[cm]	[W/mK]	[W/m ² K]	[kg/m ³]	[kg/msPa]	[m ² K/W]
1	Intonaco di finitura premiscelato	0,5	0,36		1.600	19,3	0,014
2	Cartongesso in lastre	1,3	0,21		900	24,125	0,06
3	Cartongesso in lastre	1,3	0,21		900	24,125	0,06
4	Isolante in fibra di legno	4	0,038		160	38,6	1,053
5	Legname (450 kg/m ³)	12	0,12		450	3,86	1
6	Isolante in fibra di legno	16	0,038		160	38,6	4,211
7	Intonaco di finitura premiscelato	1	0,36		1.600	19,3	0,028
Spessore totale		36					
Resistenza superficiale interna							0,13
Resistenza superficiale esterna							0,04
Trasmittanza termica [W/m ² K]		0,152	Resistenza termica totale				6,594
Trasmittanza termica periodica [W/m ² K]		0,005					
Sfasamento [h]		20					
Smorzamento		0,035					
Capacità termica interna [kJ/m ² K]		30,785					
Massa superficiale [kg/m ²]		132,5					

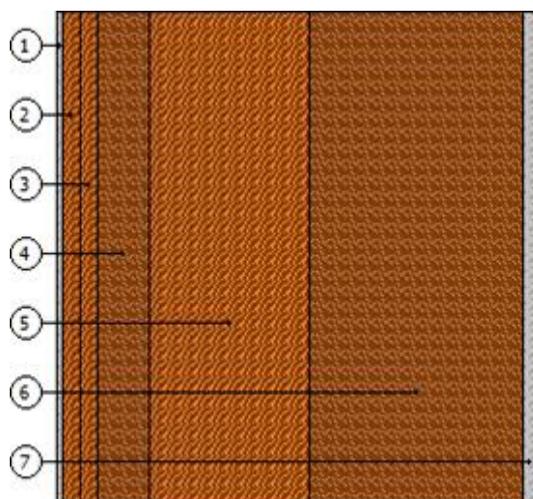
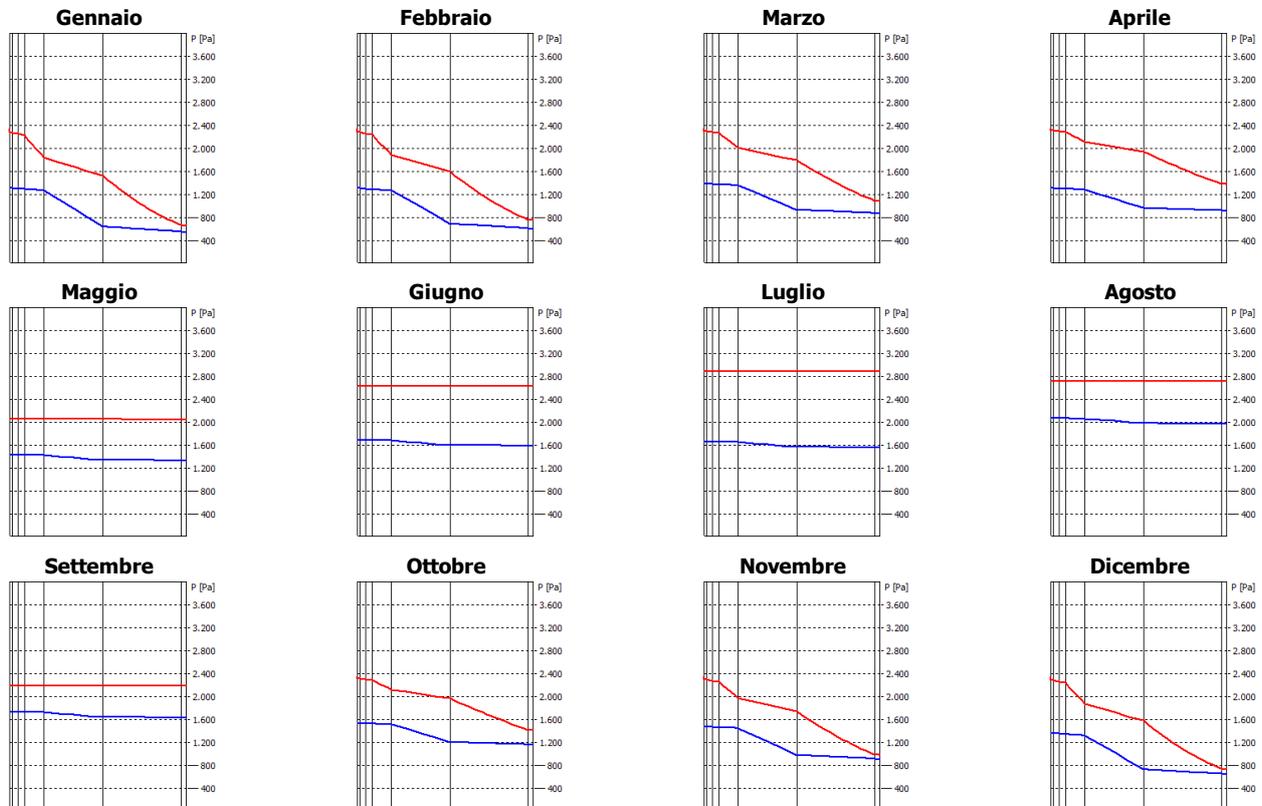


Figura 80 - Rappresentazione grafica della stratigrafia in esame

N	Descrizione	μ	Spessore	R
dall'interno verso l'esterno			[cm]	[m ² K/W]
1	Intonaco di finitura premiscelato	10	0,5	0,014
2	Cartongesso in lastre	8	1,3	0,06
3	Cartongesso in lastre	8	1,3	0,06
4	Isolante in fibra di legno	5	4	1,053
5	Legname (450 kg/m ³)	50	12	1
6	Isolante in fibra di legno	5	16	4,211
7	Intonaco di finitura premiscelato	10	1	0,028
Resistenza superficiale interna				0,13
Resistenza superficiale esterna				0,04
Totale			36	6,594

Mese	T _i [°C]	P _i [Pa]	T _e [°C]	P _e [Pa]	T _{si} [°C]	T _{si,min} [°C]	f _{Rs,min}	g _c [kg/m ²]	M _a [kg/m ²]
Gennaio	20	1321	1	547	19,3	14,5	0,7105	0	0
Febbraio	20	1312	2,9	606	19,4	14,4	0,6725	0	0
Marzo	20	1393	8,1	871	19,6	15,3	0,6072	0	0
Aprile	20	1311	11,7	917	19,7	14,4	0,3227	0	0
Maggio	18	1431	17,8	1331	0	0	0	0	0
Giugno	21,9	1688	21,9	1588	0	0	0	0	0
Luglio	23,4	1657	23,4	1557	0	0	0	0	0
Agosto	22,4	2068	22,4	1968	0	0	0	0	0
Settembre	18,9	1730	18,9	1630	0	0	0	0	0
Ottobre	20	1538	12,1	1158	19,7	16,9	0,6049	0	0
Novembre	20	1482	6,6	907	19,5	16,3	0,7238	0	0
Dicembre	20	1365	2,4	641	19,3	15	0,7167	0	0



Dall'analisi svolta risulta un fattore f_{Rsi} Struttura pari a 0,963. Inoltre, la struttura non presenta rischi di formazione muffe e non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

5.2 Le Chiusure

5.2.1 Chiusura orizzontale: tetto verde

La copertura prevede un tetto verde di tipo estensivo. Questa tipologia di tetto verde simile a un manto d'erba non richiede una forte manutenzione. Oltre ad abbellire l'estetica dell'edificio questa tipologia di copertura presenta innumerevoli vantaggi, ad esempio un perfetto isolamento termico, contribuisce a mantenere gli ambienti sottostanti freschi d'estate e caldi d'inverno.

Migliorano notevolmente la qualità dell'aria oltre alla mitigazione microclimatica, riducono l'inquinamento acustico, assorbono l'elettrosmog, crea una vera e propria barriera protettiva del solaio, non solo dal punto di vista meccanico, ma anche dal punto di vista degli sbalzi termici di gelo e disgelo.

Un tetto verde permette di ridurre notevolmente il deflusso dell'acqua piovana, risparmiare energia e incoraggiare la biodiversità in città.

La struttura portante della copertura è invece costituita pannelli x-lam a 7 strati dello spessore di 20 cm.

Codice stratigrafico: STRC1

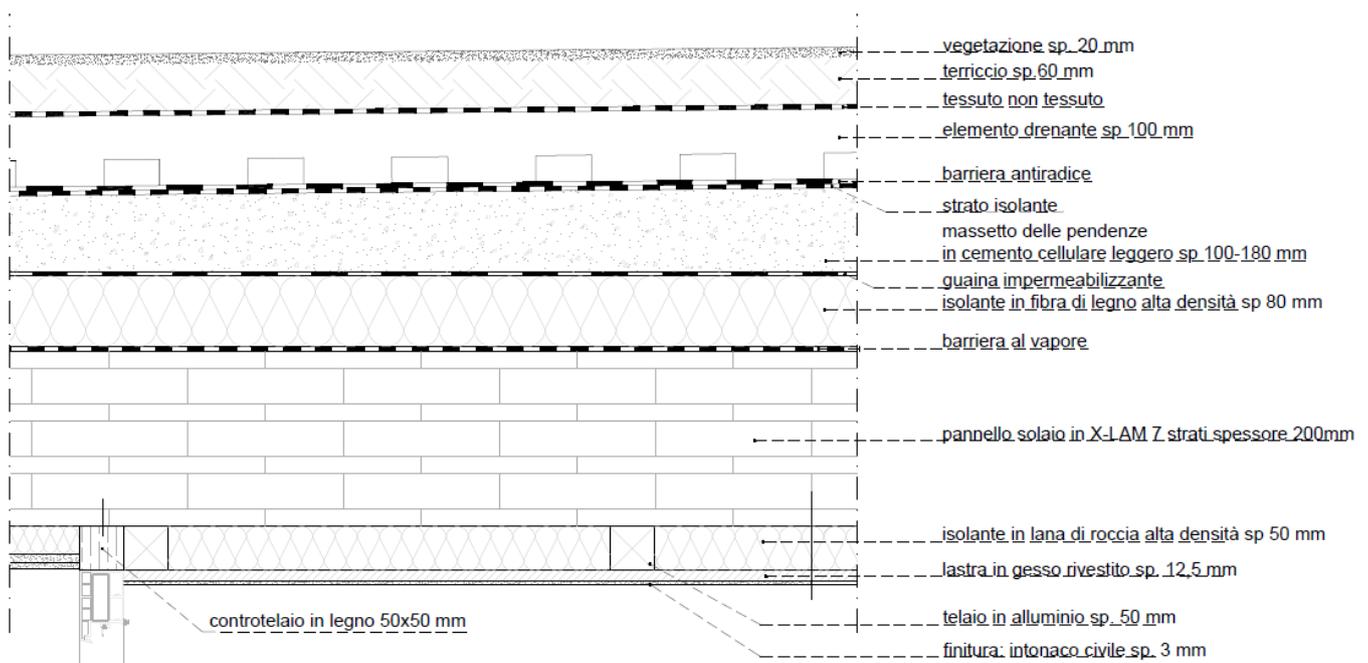


Figura 81 – Stratigrafia STRC1

La seguente tabella riporta lo spessore e il peso specifico di ogni strato della stratigrafia STRC1.

<i>ELEMENTI SEZIONE SOLAIO</i>	<i>N° ELEMENTI [-]</i>	<i>LARGHEZZA [m]</i>	<i>SPESSORE [m]</i>	<i>PESO SPECIFICO [kN/m³]</i>
<i>Vegetazione - Terriccio</i>	1	1	0.08	17
<i>Elemento drenante</i>	1	1	0.1	--
<i>Caldana pendenze</i>	1	1	0.08	14
<i>Isolamento</i>	1	1	0.08	0.25
<i>Pannello X-Lam</i>	1	1	0.2	5

Definiti gli spessori ed il peso specifico è stata predisposta una semplice analisi dei carichi della stratigrafia per poter definire il peso al metro quadro gravante sulla struttura portante.

<i>ANALISI DEI CARICHI (per 1 m² di solaio)</i>		
<i>G1</i>	<i>Carichi permanenti strutturali</i>	<i>[kN/m²]</i>
	<i>Pannello X-Lam di spessore 200mm</i>	<i>Compresi nel programma di calcolo</i>
		-
	<i>Totale G1</i>	-
<i>G2</i>	<i>Carichi permanenti non strutturali</i>	<i>[kN/m²]</i>
	<i>Terriccio</i>	<i>0.08 x1 x1 x17</i>
	<i>Strato drenante</i>	<i>Scheda tecnica</i>
	<i>CLS alleggerito</i>	<i>0.1 x1 x1 x14</i>
	<i>Isolante</i>	<i>1 x1 x0.1 x0.25</i>
	<i>Totale G2</i>	<i>2.82</i>
<i>Q</i>	<i>Carichi variabili</i>	<i>[kN/m²]</i>
	<i>H - Copertura sola manutenzione</i>	<i>0.5</i>
	<i>Totale Q</i>	<i>0.50</i>
<i>TOTALE CARICO per 1 m²</i>		<i>3.32</i>

5.2.2 Chiusure verticali trasparenti: gli infissi

Sono stati scelti due tipi differenti di infissi. Sul lato rivolto a nord si è pensato di utilizzare infissi in PVC con vetri basso emissivi, in grado di far passare calore così da poter scaldare gli ambienti meno soleggiati durante tutta la giornata. Mentre sui restanti 3 lati la scelta è ricaduta su infissi con vetri selettivi, affinché si possa godere di luce naturale, ma soprattutto capaci di bloccare le radiazioni ed evitare il surriscaldamento degli ambienti.

Vetro basso emissivo

Poiché l'esposizione delle finestre è a nordovest dell'edificio, si è scelto di utilizzare doppi vetri basso emissivi; la configurazione e la trasmittanza sono stati ottenuti dal software di calcolo online "GlassAdvisor".

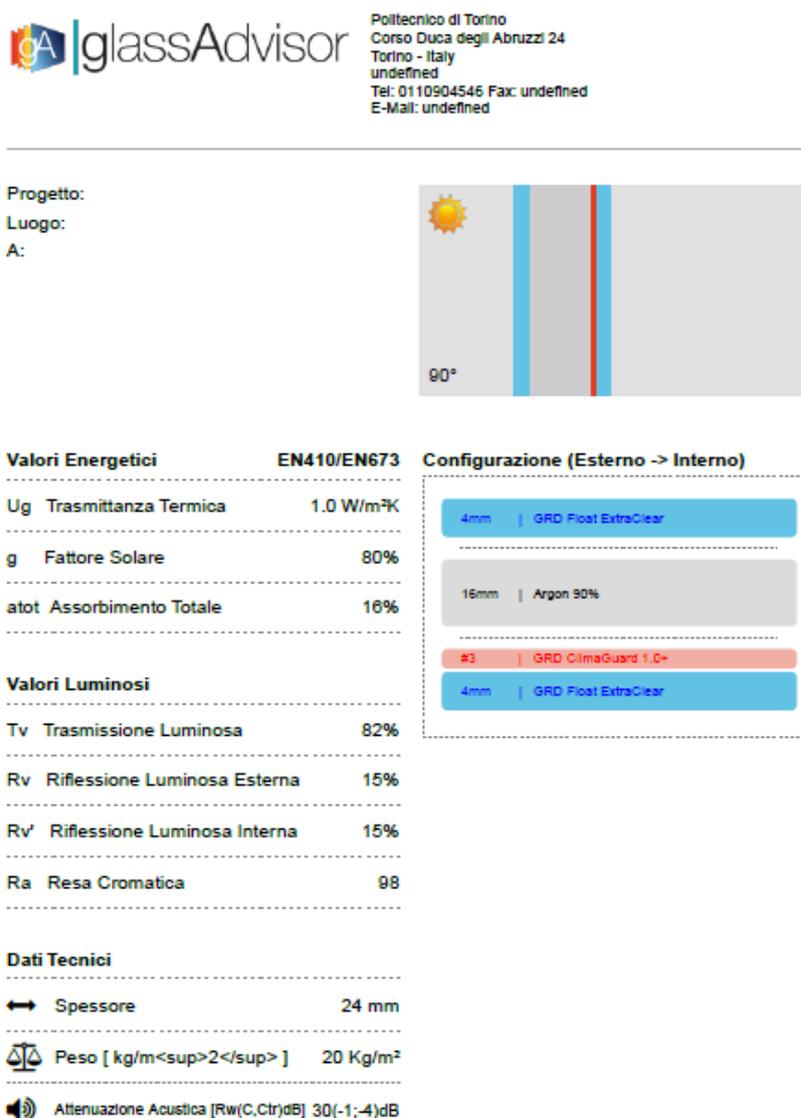


Figura 82 – Report sul vetro basso-emissivo

Vetro selettivo

Per la parete vetrata si è scelto di utilizzare un doppio vetro selettivo; di seguito si riporta la configurazione e la trasmittanza ottenuta grazie al software di calcolo online “GlassAdvisor”.

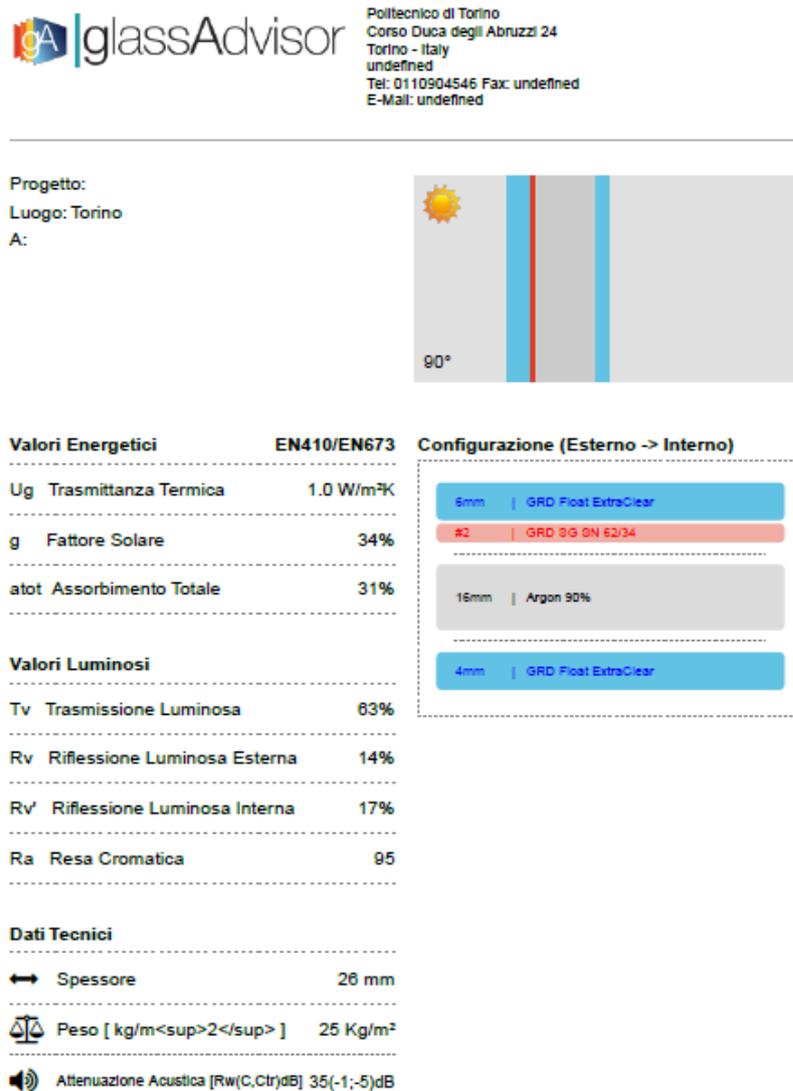


Figura 83 – Report sul vetro selettivo

Caratteristiche termiche dell'infisso

Di seguito vengono riportate tutte le caratteristiche termiche di un infisso in PVC – con dimensioni 110x150 cm – tra le varie caratteristiche termiche ricordiamo che:

- A_g Rappresenta l'area del vetro;
- A_f Rappresenta l'area del telaio;
- l_g Rappresenta il perimetro della superficie vetrata;
- U_g È la Trasmittanza termica dell'elemento vetrato;
- U_f È la Trasmittanza termica del telaio;
- Ψ Trasmittanza lineica (nulla in caso di vetro singolo);
- U_w Trasmittanza del componente trasparente senza chiusura oscurante;
- U_{w+shut} Trasmittanza del componente trasparente con chiusura oscurante;
- $U_{w,corr}$ Trasmittanza ridotta del componente trasparente e della chiusura oscurante;
- $g_{gl,n}$ È il Fattore di trasmissione solare normale del vetro

Parametro	Valore	Unità di misura
A_g	1,306	m^2
A_f	0,344	m^2
l_g	4,640	m
U_g	1,200	W/m^2K
U_f	1,000	W/m^2K
Ψ	0,060	W/mK
U_w	1,327	W/m^2K
U_{w+shut}	1,327	W/m^2K
$U_{w,corr}$	1,327	W/m^2K
$g_{gl,n}$	0,75	-

Tutte le parti trasparenti sono state dotate di oscuranti e frangisole. Al fine di aumentare l'ombreggiamento delle sezioni, che presentano vere e proprie pareti trasparenti, sono state inserite due file di alberi caducifoglie lungo il lato est in prossimità dei suddetti ambienti.

Questi alberi hanno la particolare capacità di perdere la chioma durante i mesi freddi, mesi in cui si ha un minor apporto di luce durante la giornata. Viceversa, nei mesi più caldi presenta una rigogliosa chioma in grado di infrangere e filtrare la luce solare, comportandosi da veri e propri oscuranti naturali.

Ponti termici

Causati dalla discontinuità dei materiali progettati ed impiegati per la realizzazione della struttura oppure dalla discontinuità dovuta alla “forma” stessa della struttura – in tal caso definita discontinuità geometrica – i ponti termici sono tra le principali cause di potenziale degrado della struttura e di riduzione delle prestazioni di efficienza energetica dell’edificio.

Infatti, possiamo definire ponti termici dei punti critici in ogni parte dell’involucro edilizio in cui si presentano delle dispersioni termiche che provocano differenze di temperatura e quindi la formazione di condensa e muffe. L’errata progettazione/esecuzione dei particolari edilizi può essere fonte di discomfort termico con relative formazioni di muffe e condensazioni superficiali che avere un riscontro economico negativo per gli aumenti dei consumi energetici.

Grazie al recepimento delle Direttive Europee 2002/91/CE e 2010/31/UE in Italia con il D.M. 26/06/2015, si rende obbligatoria la valutazione dei ponti termici nella progettazione di un nuovo edificio o nella ristrutturazione di uno esistente.

In particolar modo, negli involucri edilizi realizzati con elementi off-site – come i pannelli X-Lam, scelti in questo progetto – la principale fonte di ponti termici è la mancata continuità materica tra gli elementi isolanti. È di fondamentale importanza che, qualora fossero presenti delle interruzioni, gli strati isolanti vengano posti in maniera tale da formare una barriera continua.

A tale ragione si è deciso di affrontare un’analisi di massima tra il muro perimetrale e l’infisso; punto in cui è presente una doppia discontinuità materica.

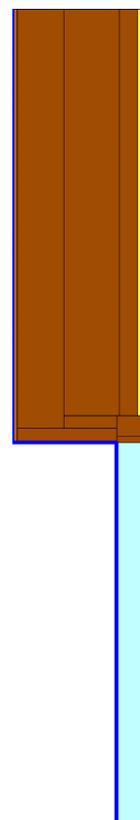


Figura 84 – Modello geometrico del ponte termico

La seguente tabella mostra oltre ai materiali utilizzati la loro conduttività termica, simboleggiata da λ ed espressa in W/mK.

	Materiale	λ [W/mK]
1	Intonaco di finitura premiscelato	0,360
2	Cartongesso in lastre	0,210
3	Isolante in fibra di legno	0,038
4	Legname (450 kg/m ³)	0,120
5	Infissi in PVC 4 + 20 + 4	0,092

Mentre la tabella successiva evidenzia le condizioni al contorno dell'ambiente circostante, riportando la temperatura ambientale (θ , espressa in °C) e la resistenza superficiale del materiale a contatto con l'ambiente (R_s , espressa in m²K/W).

	Confine	θ [°C]	R_s [m ² K/W]
1	Ambiente esterno	1,01	0,040
2	Ambiente interno riscaldato	20,00	0,130

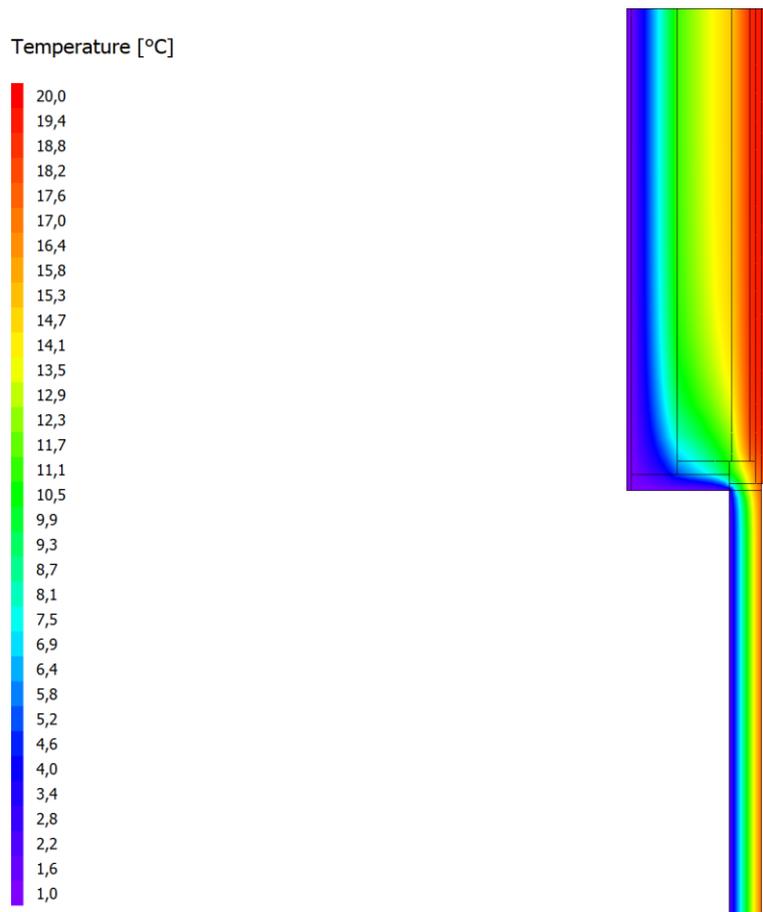


Figura 85 - Distribuzione delle temperature all'interno del modello

Dal calcolo svolto dal software i dati termo-fisici risultano essere i seguenti:

- Flusso termico Φ 24,36 W/m
- Coefficiente di accoppiamento L2D 1,28 W/mK
- Trasmittanza lineica interna ψ_i 0,009 W/mK
- Trasmittanza lineica esterna ψ_e 0,009 W/mK

La tabella di seguito riportata è il risultato del calcolo termoigrometrico svolto dal software; mostra oltre che al valore della Trasmittanza termica del componente (U) anche la lunghezza considerata - per il calcolo della trasmittanza lineica interna (L_{int}) ed esterna (L_{ext}) - e il coefficiente di scambio termico con i locali non riscaldati (b_{tr}) che ovviamente risulta essere nullo in quanto il nodo analizzato separa l'ambiente interno con quello esterno.

	U [W/m ² K]	L_{int} [m]	L_{ext} [m]	b_{tr}
1	0,199	1,00	1,00	---
2	1,074	1,00	1,00	---

Successivamente è stata effettuata la verifica formazione della muffa, ponendosi nella condizione più critica ovvero nel caso di alloggi senza ventilazione meccanica controllata, edifici con indice di affollamento non noto (classe di vapore).

Mese	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	p_e [Pa]	Δp [Pa]	p_i [Pa]	$p_{sat}(\theta_{si})$ [Pa]	$\theta_{si,min}$ [°C]	θ_i [°C]	$f_{Rsi,min}$
Ottobre	12,11	81,99	1.158	380	1.538	1.922	16,88	20,00	0,6049
Novembre	6,61	93,01	907	575	1.482	1.853	16,30	20,00	0,7238
Dicembre	2,41	88,21	641	724	1.365	1.706	15,02	20,00	0,7167
Gennaio	1,01	83,19	547	774	1.321	1.651	14,50	20,00	0,7105
Febbraio	2,91	80,45	606	707	1.312	1.640	14,40	20,00	0,6725
Marzo	8,11	80,60	871	522	1.393	1.741	15,33	20,00	0,6072
Aprile	11,71	66,63	917	394	1.311	1.638	14,39	20,00	0,3227

Dove nella precedente tabella:

- θ_e è la temperatura esterna;
- ϕ_e è l'umidità relativa esterna;
- p_e è la pressione parziale di vapore acqueo esterna;
- Δp è la differenza di pressione parziale di vapore acqueo fra interno e esterno;
- p_i è la pressione parziale di vapore acqueo interna;
- $p_{sat}(\theta_{si})$ è la pressione di saturazione minima accettabile;
- $\theta_{si,min}$ è la temperatura superficiale minima accettabile;
- θ_i è la temperatura interna;
- $f_{Rsi,min}$ è il fattore di temperatura minimo.

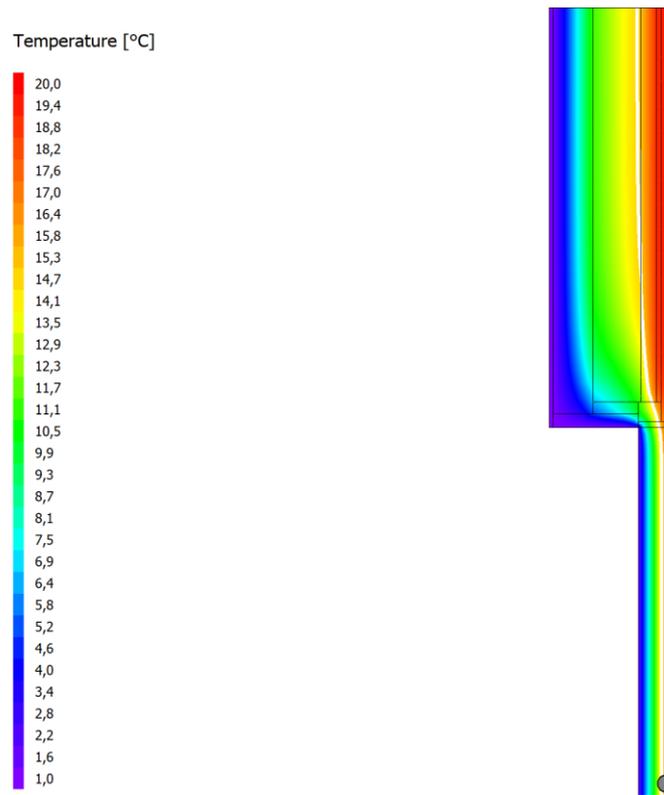


Figura 86 – Distribuzione delle temperature e isoterma della temperatura limite

Ad ogni modo, dai calcoli svolti risulta che:

- Mese critico Novembre
- Fattore di temperatura massimo $f_{Rsi,max}$ 0,7238
- Fattore di temperatura f_{Rsi} 0,8603
- Rischio formazione muffe ASSENTE

5.3 Gli impianti tecnologici

5.3.1 Considerazioni sugli impianti elettrici e idrosanitari

La realizzazione dell'impianti di riscaldamento avviene in sequenza alla posa delle pareti, sfruttando gli spazi ricavati nel vano tecnico interno delle pareti e nel pacchetto di sottofondo e solaio. Per gli impianti di distribuzione idrica e di scarico, vengono utilizzate le medesime tecnologie applicate nei sistemi tradizionali, sfruttando gli spazi ed i passaggi ricavati nei vani tecnici delle pareti e dei sottofondi. Un'attenzione particolare è riservata all'insonorizzazione delle tubazioni utilizzando adeguati sistemi di progettazione.



Figura 87 - Passaggio degli impianti

5.3.2 Raccolta e recupero acque piovane

Un'ulteriore soluzione ecosostenibile pensata per questo progetto è il recupero delle acque meteoriche a scopo irriguo e destinata ad usi che non necessitano di acqua potabile come pulizie, scarico wc, lavatrice. L'acqua piovana recuperata è una preziosa riserva idrica per evitare sprechi ed avere a disposizione acqua di qualità priva di cloro, di carbonati come calcare e altri metalli. Inoltre, viene alleggerita la rete di smaltimento fognario, aumentando l'efficienza dei sistemi di depurazione.

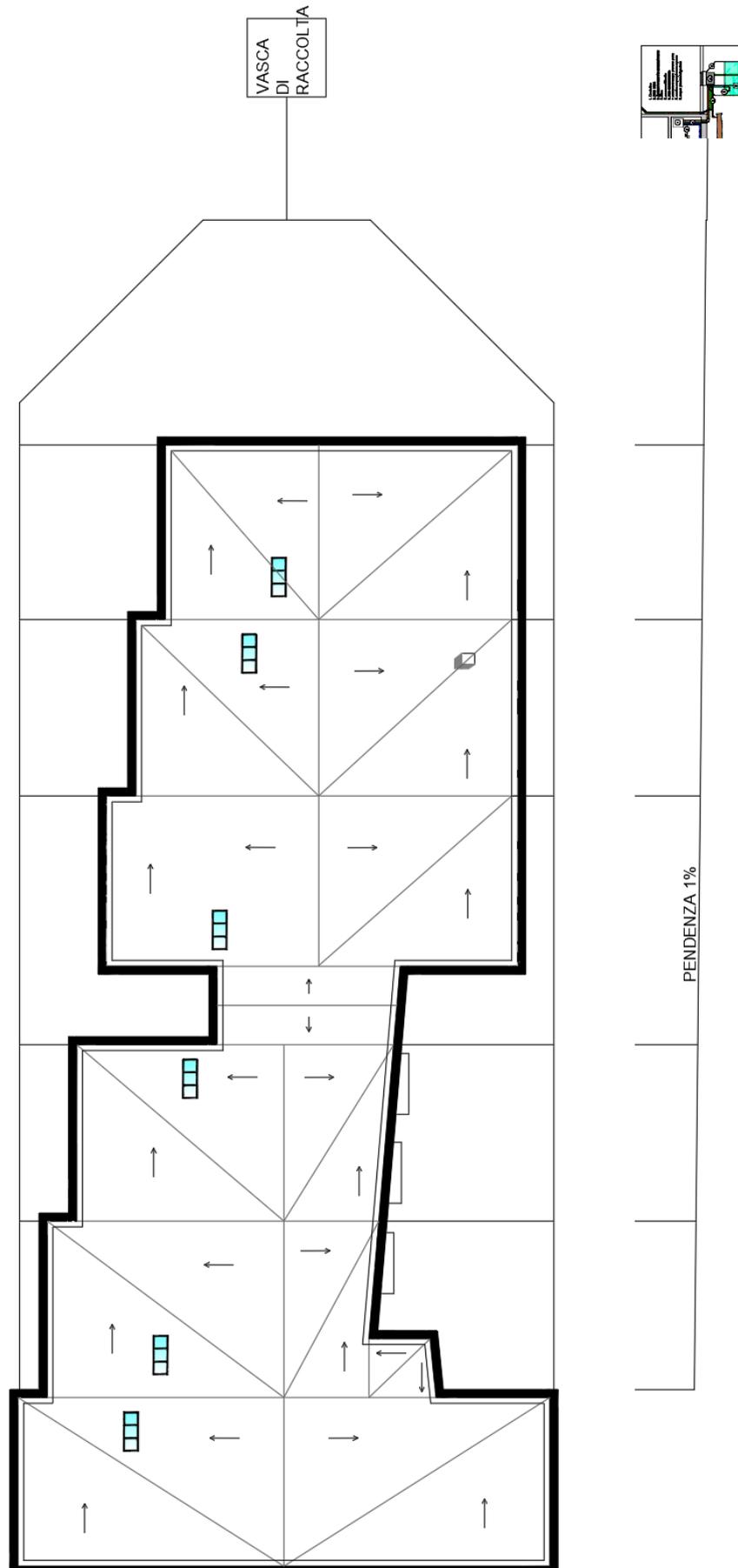


Figura 88 - Schema di scarico e accumulo delle acque meteoriche.

5.4 Dimensionamento degli elementi strutturali

5.4.1 Predimensionamento

Il predimensionamento degli elementi strutturali in legno X-Lam viene svolto con apposite tabelle – messe a disposizione da aziende leader nel settore delle costruzioni in legno – suddivise in base alla tipologia di elemento e allo schema statico rappresentativo.

I dati di input del dimensionamento di massima sono:

- Tipologia di elemento;
- Schema statico rappresentativo;
- Altezza parete l o per meglio dire la lunghezza libera di inflessione;
- Carico permanente $g_{2,k}$ lineare o a metro quadro (in funzione della tipologia di elemento);
- Carico Variabile n_k lineare o a metro quadro (in funzione della tipologia di elemento).

Un ulteriore parametro obbligatorio da considerare al momento del predimensionamento è la resistenza al fuoco dell'elemento categorizzata nelle tabelle come classi di resistenza: R0, R30, R60, R90 e R120.

È fondamentale ricordare che la destinazione d'uso dell'immobile progettato è quella di scuola dell'infanzia e che, come tale, rientra secondo il DPR 151/2011 nelle attività n.67 ovvero scuole di ogni ordine, grado e tipo con oltre 100 persone presenti. Inoltre, secondo il Decreto Ministeriale del 26 agosto 1992 definito "Norme di prevenzioni incendi per l'edilizia scolastica" la resistenza al fuoco minima da garantire è R60 come riportato al punto 3.0:

"[...] Le predette strutture dovranno comunque essere realizzate in modo da garantire una resistenza al fuoco di almeno R 60 (strutture portanti) e REI 60 (strutture separanti) per edifici con altezza antincendi fino a 24 m [...]"

Le schede che seguiranno sono quelle utilizzate per il predimensionamento di:

- Parete interna;
- Parete esterna;
- Solaio di copertura.

Anticipatamente, possiamo affermare che a favore di sicurezza si è deciso di sovradimensionare appositamente la sezione del solaio di copertura in quanto:

1. La stratigrafia è caratterizzata dalla presenza di uno strato di terreno che essendo permeabile può implementare il proprio carico permanente durante le giornate piovose;
2. Lo stesso strato potrebbe essere soggetto di un possibile mal livellamento e quindi presentare una distribuzione del carico non uniforme;
3. Il committente potrebbe decidere di implementare il proprio fabbisogno energetico installando un impianto fotovoltaico.

Parete interna. I requisiti prestazionali per il dimensionamento di massima della parete interna sono:

- Altezza di 3.10m;
- Resistenza al fuoco almeno R60.

TABELLE DI PREDIMENSIONAMENTO

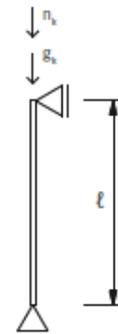
2.2 COMBUSTIONE BILATERALE (PER PARETI INTERNE)

Secondo ETA-06/0138

ONORM EN 1995-1-1:2019 e ONORM B 1995-1-1:2019

ONORM EN 1995-1-2:2011 e ONORM B 1995-1-2:2011

Spessori minimi dei pannelli per diversi valori di resistenza al fuoco (R 0 a R 60)



Carico permanente	Carico variabile	ALTEZZA PARETE (lunghezza libera di inflessione l)					
		2,73 m			2,95 m		
$g_{2,k}$	n_k	R 0	R 30	R 60	R 0	R 30	R 60
[kN/m]	[kN/m]						
10,00	10,00	3s 60 DT	3s 80 DT	7s 180 DT	3s 60 DT	3s 80 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
20,00	10,00	3s 60 DT	3s 80 DT	7s 180 DT	3s 60 DT	3s 90 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
30,00	10,00	3s 60 DT	3s 90 DT	7s 180 DT	3s 60 DT	3s 90 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
40,00	10,00	3s 60 DT	3s 100 DT	7s 180 DT	3s 60 DT	3s 100 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
50,00	10,00	3s 60 DT	3s 100 DT	7s 180 DT	3s 60 DT	3s 100 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
60,00	10,00	3s 60 DT	3s 110 DT	7s 180 DT	3s 70 DT	3s 110 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
60,00	10,00	3s 70 DT	3s 110 DT	7s 180 DT	3s 70 DT	3s 110 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						
60,00	10,00	3s 70 DT	3s 110 DT	7s 180 DT	3s 80 DT	3s 110 DT	7s 180 DT
	20,00						
	30,00						
	40,00						
	50,00						

Poiché la parete interna deve rispondere ai requisiti prestazionali precedentemente definiti viene scelto un elemento a 7 strati di spessore 180mm (7s 180DT)

Parete esterna. I requisiti prestazionali per il dimensionamento di massima della parete esterna sono:

- Altezza di 3.10m;
- Resistenza al fuoco almeno R60;
- Carico permanente circa 10 kN/m.

TABELLE DI PREDIMENSIONAMENTO

03 KLH® AD USO PARETE RIVESTITA

3.1 COMBUSTIONE UNILATERALE (PER PARETI ESTERNE)

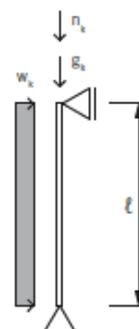
Secondo ETA-06/0138

ONORM EN 1995-1-1:2019 e ONORM B 1995-1-1:2019

ONORM EN 1995-1-2:2011 e ONORM B 1995-1-2:2011

Pressione del vento: $w_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Dimensioni minime dei pannelli per diversi valori di resistenza al fuoco (R 30 a R 120) con pannello di cartongesso antincendio 15 mm (GKF) sul lato sollecitato dal fuoco



Carico permanente	Carico variabile	ALTEZZA PARETE (lunghezza libera di inflessione l)							
		2,73 m				2,95 m			
$R_{2,k}$	n_k	R 30	R 60	R 90	R 120	R 30	R 60	R 90	R 120
[kN/m]	[kN/m]								
10,00	10,00	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 110 DT	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 110 DT
	20,00								
	30,00								
	40,00								
	50,00								
20,00	10,00	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 110 DT	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 110 DT
	20,00								
	30,00								
	40,00								
	50,00								
30,00	10,00	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 110 DT	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 110 DT
	20,00								
	30,00								
	40,00								
	50,00								
40,00	10,00	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 120 DT	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 120 DT
	20,00								
	30,00								
	40,00								
	50,00								
50,00	10,00	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 120 DT	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 120 DT
	20,00								
	30,00								
	40,00								
	50,00								
60,00	10,00	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 120 DT	3s 80 DT	3s 80 DT	3s 120 DT	5s 120 DT
	20,00								
	30,00								
	40,00								
	50,00								

Poiché la parete esterna deve rispondere ai requisiti prestazionali precedentemente definiti viene scelto un elemento a 3 strati di spessore 120mm (5s 120DT).

Solaio di copertura I requisiti prestazionali per il dimensionamento di massima del solaio di copertura sono:

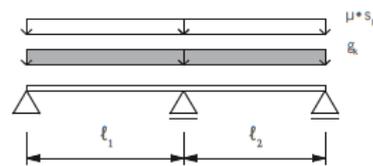
- Schema statico rappresentativo con trave a due campate semplicemente appoggiata;
- Lunghezza dell'appoggio massimo di circa 6m;
- Resistenza al fuoco almeno R60;
- Carico permanente circa 2.5 kN/m²;
- Carico variabile di circa 2 kN/m².

TABELLE DI PREDIMENSIONAMENTO

07 KLH® PER TETTO – TRAVE SU TRE APPOGGI

Secondo ETA-06/0138
 ÖNORM EN 1995-1-1:2019 e ÖNORM B 1995-1-1:2019
 ÖNORM EN 1995-1-2:2011 e ÖNORM B 1995-1-2:2011

Carico da neve distribuito uniformemente su entrambe le campate
 Spessori minimi dei pannelli per le campate indicate



Carico permanente g _{2,k} [kN/m ²]	Carico da neve sul tetto s = μ*s _k [kN/m ²]	CAMPATA DELLA TRAVE SU DUE APPOGGI ℓ				
		3,00 m	4,00 m	5,00 m	6,00 m	7,00 m
0,50	1,00	3s 60 DL	3s 80 DL	3s 100 DL	3s 120 DL	5s 140 DL
	2,00		3s 90 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL
	3,00	3s 80 DL		3s 100 DL	5s 130 DL	5s 150 DL
	4,00		3s 110 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	5s 200 DL
	5,00	3s 90 DL		5s 150 DL	5s 180 DL	
	6,00	3s 100 DL	5s 130 DL	5s 160 DL	5s 200 DL	7ss 220 DL
	7,00		5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL	7ss 240 DL
1,00	1,00		3s 90 DL	3s 100 DL	5s 140 DL	5s 160 DL
	2,00	3s 80 DL	3s 100 DL	3s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL
	3,00		3s 110 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 200 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	7ss 200 DL
	5,00			5s 160 DL	5s 190 DL	
	6,00	3s 100 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL
1,50	1,00		3s 90 DL	3s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL
	2,00	3s 80 DL	3s 100 DL	5s 130 DL	5s 160 DL	5s 190 DL
	3,00		3s 110 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	5s 200 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	
	5,00	3s 100 DL	5s 130 DL	5s 160 DL	5s 200 DL	7ss 220 DL
	6,00		5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL	7ss 240 DL
	7,00	3s 110 DL		5s 180 DL	7ss 210 DL	
2,00	1,00		3s 100 DL	5s 130 DL	5s 160 DL	5s 200 DL
	2,00	3s 80 DL	3s 110 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	
	3,00	3s 90 DL	3s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	7ss 200 DL
	4,00			5s 160 DL	5s 200 DL	
	5,00	3s 100 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL	7ss 220 DL
	6,00		5s 140 DL		7ss 200 DL	7ss 240 DL
	7,00	3s 110 DL		5s 180 DL	7ss 210 DL	
2,50	1,00	3s 80 DL	3s 110 DL	5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL
	2,00	3s 90 DL	3s 120 DL	5s 150 DL	5s 180 DL	
	3,00			5s 150 DL	5s 190 DL	7ss 220 DL
	4,00	3s 100 DL	5s 130 DL	5s 160 DL	5s 200 DL	
	5,00		5s 140 DL	5s 170 DL	7ss 200 DL	7ss 240 DL
	6,00	3s 110 DL		5s 180 DL		
	7,00		5s 150 DL	5s 190 DL	7ss 220 DL	7ss 260 DL

Il solaio di copertura deve rispondere ai requisiti prestazionali precedentemente definiti viene quindi scelto un elemento a 5 strati di spessore 180mm (5s 180 DL); ma come precedentemente definito la scelta è ricaduto su un elemento a 7 strati di spessore 200mm (7s 200 DL).

5.4.2 Verifica del predimensionamento

Per procedere alla verifica del predimensionamento verrà eseguita una semplice analisi statica che prevede oltre all'analisi dei carichi precedentemente definita, il calcolo analitico del carico vento e del carico neve.

Per determinare i seguenti carichi si è seguita la Normativa Tecnica per le Costruzioni vigenti, ovvero la NTC2018.

CARICO VENTO.

La struttura è sita nel Comune di Mappano, nella provincia di Torino, in zona priva di ostacoli, con un'altezza $z=4,00$ m a livello del solaio piano.

Il sito dove sorge la costruzione ha un'altitudine $a_s = 236$ m s.l.m. e dista dalla costa più di 40 km. Per il calcolo del carico vento sul solaio di copertura si ipotizza che la pressione del vento sia agente nella direzione perpendicolare alla copertura.

Tab. 3.3.I -Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Dalla tabella fornita dalla normativa si ricavano i seguenti valori:

- $V_{b,0} = 25$ m/s
- $a_0 = 1000$ m
- $K_a = 0,40$
- $V_b = V_{b0}$ per $a_s < a_0$
- $V_{b0} = 25$ m/s

Il passaggio successivo prevede il calcolo della pressione cinetica di riferimento q_b espressa in N/m^2 e data dalla formula:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot r \cdot v_{2b}^2$$

In cui r è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Sostituendo si ottiene:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 625 = 390,62 \frac{N}{m^2}$$

Definito il valore di q_b , è stata calcolata la classe di rugosità del terreno in base alle caratteristiche urbanistiche della località. Viene quindi assegnata la classe di rugosità B come riporta la seguente tabella.

Tab. 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate,)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30° . Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30° , dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

Successivamente viene calcolata la categoria di esposizione in funzione:

- della zona di appartenenza del sito (Zona 1);
- della classe di rugosità (Classe B);
- dell'altimetria (236 m s.l.m.);
- della distanza dalla costa (> 40 km).

Nella tabella seguente si riportano i parametri per la definizione del coefficiente di esposizione che corrisponde alla categoria IV.

ZONE 1,2,3,4,5						
		costa			500m	750m
	mare					
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

Date le caratteristiche topografiche e orografiche del sito dove sorge la costruzione - sito pianeggiante - viene assunto un coefficiente di topografia c_t unitario.

Successivamente è stato svolto il calcolo del coefficiente di esposizione c_e .

Per determinare tale coefficiente è fondamentale definire alcuni parametri tabellari che sono in funzione della categoria di esposizione, in questo caso Categoria IV.

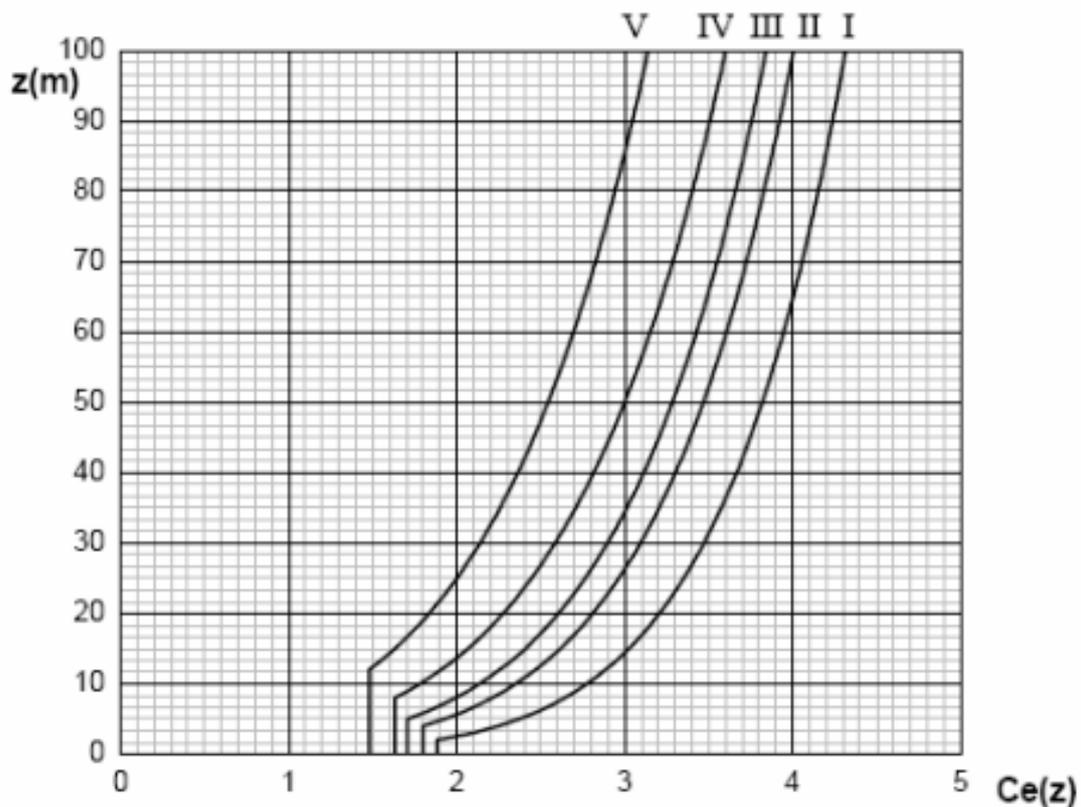
Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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

La precedente tabella presente in normativa fornisce per la categoria IV i seguenti parametri:

- $K_r = 0,22$
- $z_0 = 0,30$ m
- $z_{min} = 8,00$ m

Viene quindi calcolato il coefficiente di esposizione per l'altezza del solaio di copertura $z = 4$ m. Essendo l'altezza della copertura minore di z_{min} (8,00 m), il coefficiente di esposizione viene determinato graficamente con il seguente diagramma presente in normativa.



Conoscendo il valore dell'altezza $z = 4,00$ m e la Categoria di esposizione (IV), si ottiene un valore di:

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) = 1,6 \quad \text{per } z < z_{min}$$

Si prosegue con la definizione del coefficiente dinamico c_d che si assume unitario.

Successivamente si affronta il calcolo del coefficiente di forma c_p . Nel caso specifico per la definizione dei coefficienti di forma interni ed esterni, si sfruttano le seguenti ipotesi:

1. angolo di inclinazione $\alpha < 20$;
2. superficie delle aperture inferiore a 1/3 di quella totale;

Pertanto, i coefficienti di forma risultano i seguenti:

$$c_{p_e} = -0,4$$

$$c_{p_i} = \pm 0,2$$

Avendo definito tutti i vari coefficienti e la pressione cinetica di riferimento, possiamo quindi calcolare l'azione del vento in direzione y . È stato quindi introdotto un sistema di riferimento convenzionale, per cui si intende direzione del vento positiva lungo y verso l'alto.

Si può alla fine determinare la pressione del vento come:

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

Ma considerando che in questo caso l'angolo di inclinazione della falda è inferiore ai 20° si assume:

$$c_{p_e} = -0,4.$$

Inoltre, il coefficiente di pressione nella combinazione più gravosa è pari a:

$$c_p = c_{p_e} + c_{p_i} = -0,4 - 0,2 = -0,6$$

Se ipotizzassimo di assegnare una pressione costante a tutta la falda, pari a quella corrispondente alla quota $z = 4,00$ m, si ottiene:

$$P = 390,62 \cdot 1,60 (-0,6) \cdot 1 = -374,4 \frac{N}{m^2}$$

CARICO NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato secondo normativa tecnica NTC18 mediante la seguente espressione:

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

Il carico della neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento della neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni per le varie zone indicate nella figura di seguito riportata.

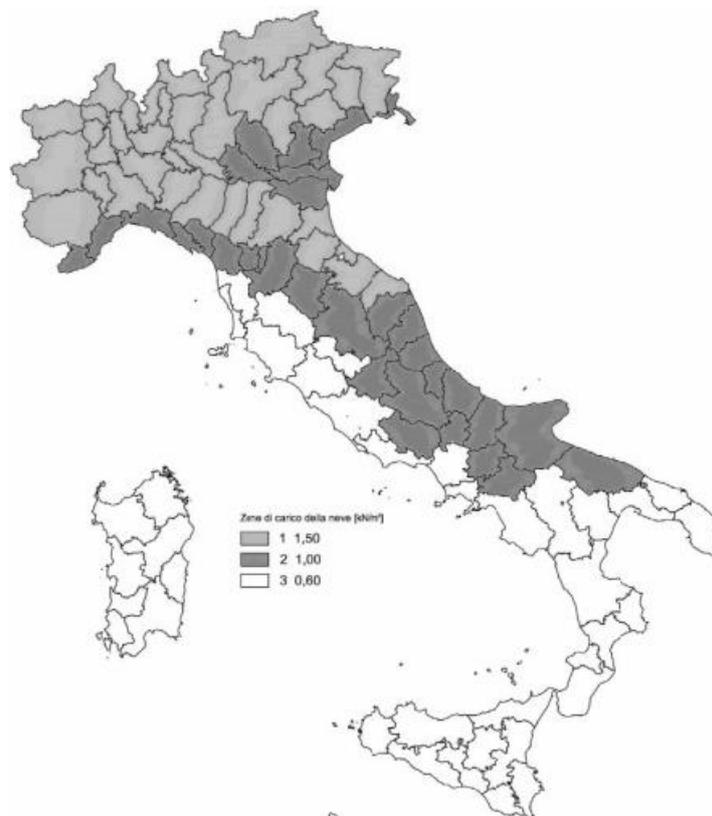


Figura 89 – Zonizzazione per il carico neve

Tale zonazione non tiene conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, devono essere definiti singolarmente.

Il sito di interesse all'interno del comune di Mappano ricade in zona I - Alpina:

- $q_{sk} = 1,50 \frac{kN}{m^2}$ per $a_s \leq 200 m$
- $q_{sk} = 1,39 \left[1 + \left(\frac{a_s}{728} \right)^2 \right] \frac{kN}{m^2}$ per $a_s \geq 200 m$

Essendo il valore di riferimento del carico della neve al suolo a_s pari a:

$$a_s = 236 \text{ s.l.m.}$$

Quindi il valore del... risulta essere pari a:

$$q_{sk} = 1,39 \left[1 + \left(\frac{236}{728} \right)^2 \right] \frac{kN}{m^2} = 1,53 \frac{kN}{m^2}$$

Si procede successivamente al calcolo del coefficiente di forma delle coperture secondo la tabella si seguito riportata e presente all'interno della normativa tecnica:

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Figura 90 - Tabella per la stima del coefficiente di forma della copertura

Essendo una copertura piana quella dell'edificio in esame, l'angolo di inclinazione della copertura di progetto risulta essere quindi pari ad $\alpha = 0^\circ$.

Dalla precedente considerazione possiamo dedurre che il coefficiente di forma della copertura risulta essere pari a $\mu_1 = 0,80$.

Di seguito viene definito il coefficiente di esposizione C_E , che tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera secondo la seguente tabella.

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

Figura 91 - Tabella per la definizione del coefficiente di esposizione

Il sito di interesse presenta un'esposizione normale per questo il coefficiente di esposizione è posto pari a $C_E = 1$.

Per ultimo, bisogna definire il coefficiente termico C_t che tiene conto della riduzione del carico della neve, a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione.

Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura.

In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere posto $C_t = 1$.

Avendo definito tutti i vari coefficienti si passa al calcolo del carico neve che risulta essere pari a:

$$q_s = q_{sk} * \mu_1 * C_E * C_t$$
$$q_s = 153 * 0,8 * 1 * 1 = 1,22 \frac{kN}{m^2}.$$

ANALISI STATICA

Con l'utilizzo del software gratuito "CLTdesigner" sono stati effettuati i calcoli per la verifica statica del solaio di copertura. Di seguito vengono riportati i risultati elaborati dal programma.

Verifica dell'elemento strutturale a 7 strati di spessore 200 mm (7s 200 DL)

Schema statico. Come mostra la figura di seguito, per la verifica del generico elemento 7s 200 DL è stato definito uno schema statico di trave a due campate semplicemente appoggiata e con luci pari a:

- $L_1 = 5 \text{ m}$
- $L_2 = 4 \text{ m}$

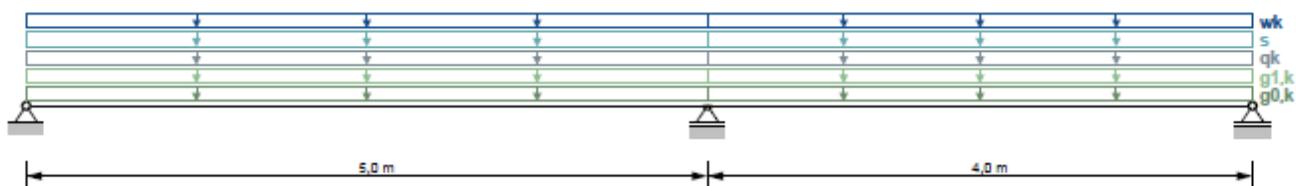


Figura 92 - Schema statico del pannello 7s 200 DL preso in esame

Appoggi. Gli appoggi sono stati modellati come risultano dalla seguente tabella

Appoggi	x	Larghezza
A	0,0 m	0,12 m
B	5,0 m	0,12 m
C	9,0 m	0,09 m

Figura 93 - Impostazioni degli appoggi

Sezione resistente. Come abbondantemente definito, la sezione resistente è formata da sette strati di lamelle in legno di differente altezza e orientazione, ma con uno spessore complessivo di 200 mm.

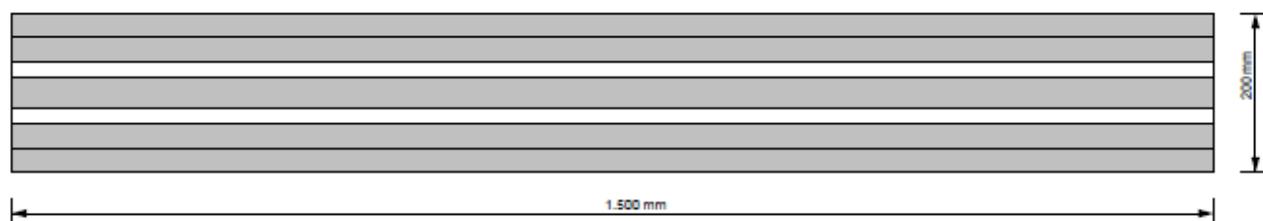


Figura 94 - Rappresentazione della sezione resistente.

Stratigrafia e caratteristiche meccaniche. Come mostra la tabella di seguito la sezione resistente è costituita da 7 strati di lamelle in legno con differente altezza e orientazione.

Lamella	Altezza	Orientazione	Materiale
# 1	30 mm	0	C24-KLH
# 2	30 mm	0	C24-KLH
# 3	20 mm	90	C24-KLH
# 4	40 mm	0	C24-KLH
# 5	20 mm	90	C24-KLH
# 6	30 mm	0	C24-KLH
# 7	30 mm	0	C24-KLH

Figura 95 – Stratigrafia della sezione resistente

È importante specificare che uno strato con orientazione 0 è genericamente uno strato che è parallelo alla luce; mentre uno strato con orientazione a 90 presenta le fibre perpendicolari alla luce.

La tabella successiva invece, mostra le caratteristiche meccaniche del materiale scelto; ovvero un legno di classe C24-KLH.

Parametri del materiale per	C24-KLH
resistenza a flessione [N/mm ²]	$k_{sys} \cdot 24,0$
resistenza a trazione parallela [N/mm ²]	16,5
resistenza a trazione perpendicolare [N/mm ²]	0,12
resistenza a compressione parallela [N/mm ²]	24,0
resistenza a compressione perpendicolare [N/mm ²]	2,7
resistenza a taglio [N/mm ²]	2,7
resistenza a taglio trasversale [N/mm ²]	1,2
modulo di elasticità parallela [N/mm ²]	12.000,0
5%-frattile del modulo di elasticità parallela [N/mm ²]	10.000,0
modulo di elasticità perpendicolare [N/mm ²]	0,0
modulo di taglio [N/mm ²]	690,0
modulo di taglio trasversale [N/mm ²]	50,0
densità [kg/m ³]	350,0
valore medio densità [kg/m ³]	420,0

Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_M = 1,25$

Coefficiente di sistema per XLAM $k_{sys} = 1,1$

Figura 96 – Caratteristiche meccaniche del legno C24-KLH

Valori sezionali

EA_{ef}	2,88E9 N
EI_{ef}	1,133E13 N·mm ²
GA_{ef}	3,609E7 N

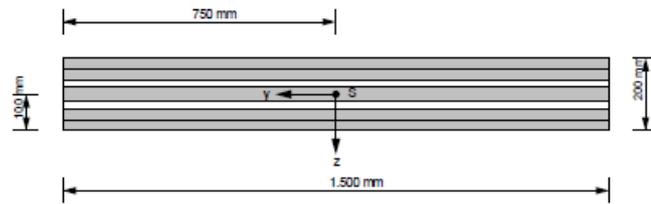


Figura 97 – Valori sezionali

Carichi

Campata	$g_{0,k}$	$g_{1,k}$	q_k	Categoria	s_k	Altitudine/Regioni	w_k
1	1,65 kN/m	3,16 kN/m ²	0,5 kN/m ²	H	1,2kN/m ²	<1000m	0,374 kN/m ²
2	1,65 kN/m	3,16 kN/m ²	0,5 kN/m ²	H	1,2kN/m ²	<1000m	0,374 kN/m ²

Coefficiente di sicurezza parziale:

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

Posizione del carico:

Peso proprio: globale
 Carichi permanenti: globale
 Carico variabili: per campata
 Neve: per campata
 Vento: globale

Combinazioni:

Coefficienti dei carichi: secondo EN

Combinazione di carichi riaprtiti e carichi concentrati:

q_k e Q_k sono considerati come un gruppo di casi di carico

s e S sono considerati come un gruppo di casi di carico

w_k e W_k sono considerati come un gruppo di casi di carico

Indicazioni sulle vibrazioni

Esigenze normali

Smorzamento: 1,0 %

Il calcolo delle vibrazioni avviene tenendo conto della rigidezza del solaio.

Spessore del solaio: 5,0 cm

Modulo E del solaio: 26.000,0 N/mm²

Rigidezza flessionale del solaio: 270,83 kNm²/m

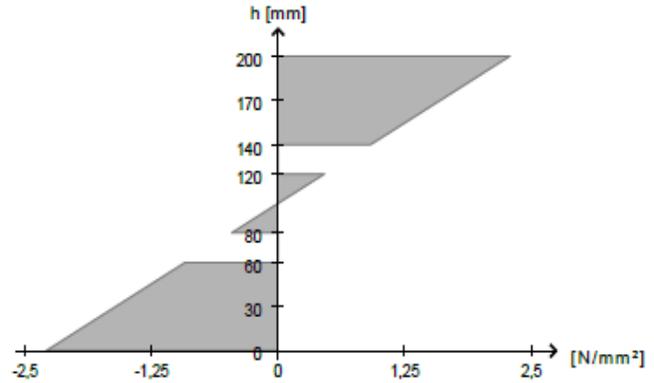
Condizioni di appoggio: su 2 lati

Larghezza perpendicolarmente alla luce: 1,55 m

VERIFICA ALLO SLU: RISULTATI OTTENUTI.

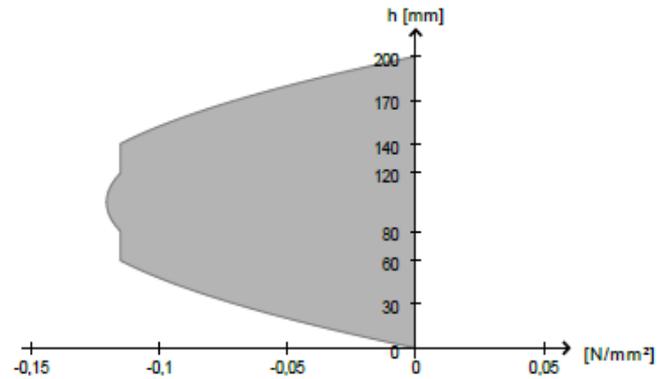
Flessione

Grado di sfruttamento	18,1 %
k_{mod}	0,6
con x	5,0 m
E_k	1
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k}$



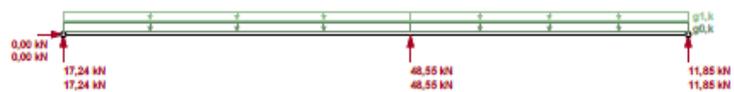
Taglio

Grado di sfruttamento	20,0 %
k_{mod}	0,6
con x	5,0 m
E_k	1
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k}$



Pressione di contatto

Grado di sfruttamento	13,4 %
k_{mod}	0,6
con x	5,0 m
E_k	1
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k}$



VERIFICA ALLO SLE: RISULTATI OTTENUTI.

Freccia

Valori limite secondo EN 1995-1-1

Deformazione iniziale $w_{inst\ t=0}$: $l/300$ (4,1 mm, 24,8 %)

Deformazione finale $w_{net,fin\ t=inf}$: $l/250$ (6,6 mm, 33,1 %)

Deformazione finale $w_{fin\ t=inf}$: $l/150$ (6,6 mm, 19,9 %)

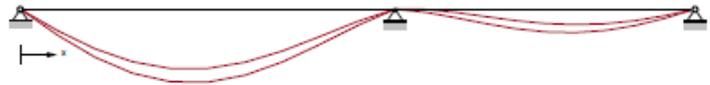
Valori limite secondo ON B 1995-1-1/NA:2014-11-15

Deformazione iniziale $w_{inst\ t=0}$: $l/300$ (4,1 mm, 24,8 %)

Deformazione finale $w_{net,fin\ t=inf}$: $l/250$ (5,4 mm, 27,1 %)

Deformazione finale $w_{fin\ t=inf}$: $l/150$ (6,6 mm, 19,9 %)

Grado di sfruttamento	33,1 %
w_{max}	6,6 mm
k_{def}	0,85
con x	2,5 m
E_k	27
Deformazione finale $w_{net,fin\ t=inf}$ ($l/250$)	



Vibrazione: Verifica secondo EN 1995-1-1

Frequenza propria: $f_1 = 9,18\text{ Hz} > 8,0\text{ Hz}$

Rigidezza: $w_{1kN} = 0,286\text{ mm} < 2,00\text{ mm}$

Velocità/Impulso unitario: $v = 1,756\text{ mm/s} < 10,56\text{ mm/s}$

---> Verifica delle oscillazioni riuscita (87,1 %)

Vibrazione: Verifica secondo ON B 1995-1-1/NA:2014-11-15

Frequenza propria: $f_1 = 9,18\text{ Hz} > 6,0\text{ Hz}$

Rigidezza: $w_{1kN} = 0,286\text{ mm} < 0,50\text{ mm}$

---> Verifica delle oscillazioni riuscita (65,4 %)

Vibrazione: Verifica secondo DIN 1052

$w_{perm} = 2,93\text{ mm} \leq 6,0\text{ mm}$ ---> Verifica delle oscillazioni riuscita (48,9 %)

Vibrazione: Verifica secondo Hamm-Richter

Frequenza propria: $f_1 = 8,43\text{ Hz} > 6,0\text{ Hz}$

Rigidezza: $w_{2kN} = 0,43\text{ mm} < 1,00\text{ mm}$

---> Verifica delle vibrazioni riuscita (71,1 %)

Vibrazione: Verifica modificata secondo Hamm-Richter

Frequenza propria: $f_1 = 9,7\text{ Hz} > 6,0\text{ Hz}$

Rigidezza: $w_{2kN} = 0,43\text{ mm} < 1,00\text{ mm}$

---> Verifica delle vibrazioni riuscita (61,8 %)

6 La cantierizzazione del progetto

A differenza delle tecniche costruttive tradizionali o più comunemente usate, quali cemento armato e muratura, la realizzazione di strutture con pannelli X-Lam introduce un nuovo concetto: quello dell'edilizia off-site.

Si tratta di un approccio rivolto quasi interamente alla prefabbricazione, quindi alla possibilità di spostare diverse lavorazioni più o meno pericolose dal cantiere alle fabbriche e di conseguenza la possibilità di avere manodopera specializzata, lavorare in ambienti ad atmosfera controllata a discapito delle condizioni climatiche esterne ed infine un grado maggiore di dettaglio e precisione.

6.1 Approvvigionamento, trasporto e stoccaggio del materiale

Per i cantieri in cui si utilizza il legno come materiale da costruzione assume un ruolo di particolare importanza l'approvvigionamento e il trasporto del materiale.

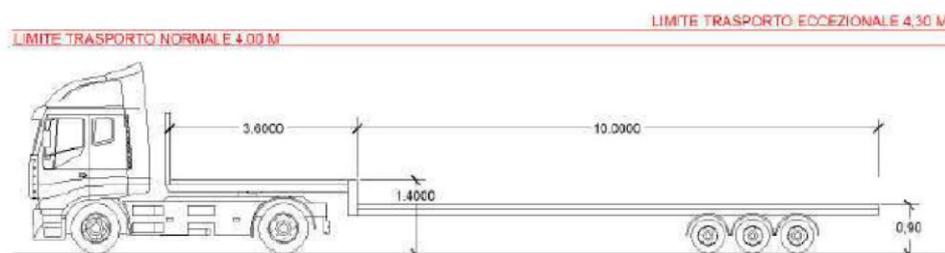
Il primo influisce sulla logistica del cantiere avendo consegne variabili in base alle disponibilità delle varie tipologie di prodotto e dei fornitori.

È buona prassi quindi, programmare in maniera precisa l'arrivo della materia prima in base alla capacità delle aree di stoccaggio, in modo da evitare la carenza di materiale o l'accumularsi di merce che non può essere prontamente utilizzata nel processo di costruzione.

L'approvvigionamento non deve quindi superare la capacità di utilizzo del cantiere.

Le dimensioni dei pannelli causano dei vincoli in fase di trasporto, in quanto per rimanere nei limiti del trasporto "normale" le pareti devono essere necessariamente suddivise in più pannelli con altezza massima di 3,10m e lunghezza massima di 10m.

Tali pannelli arrivati e posati in cantiere, verranno assemblati mediante giunzioni in grado di assicurare la continuità della parete.



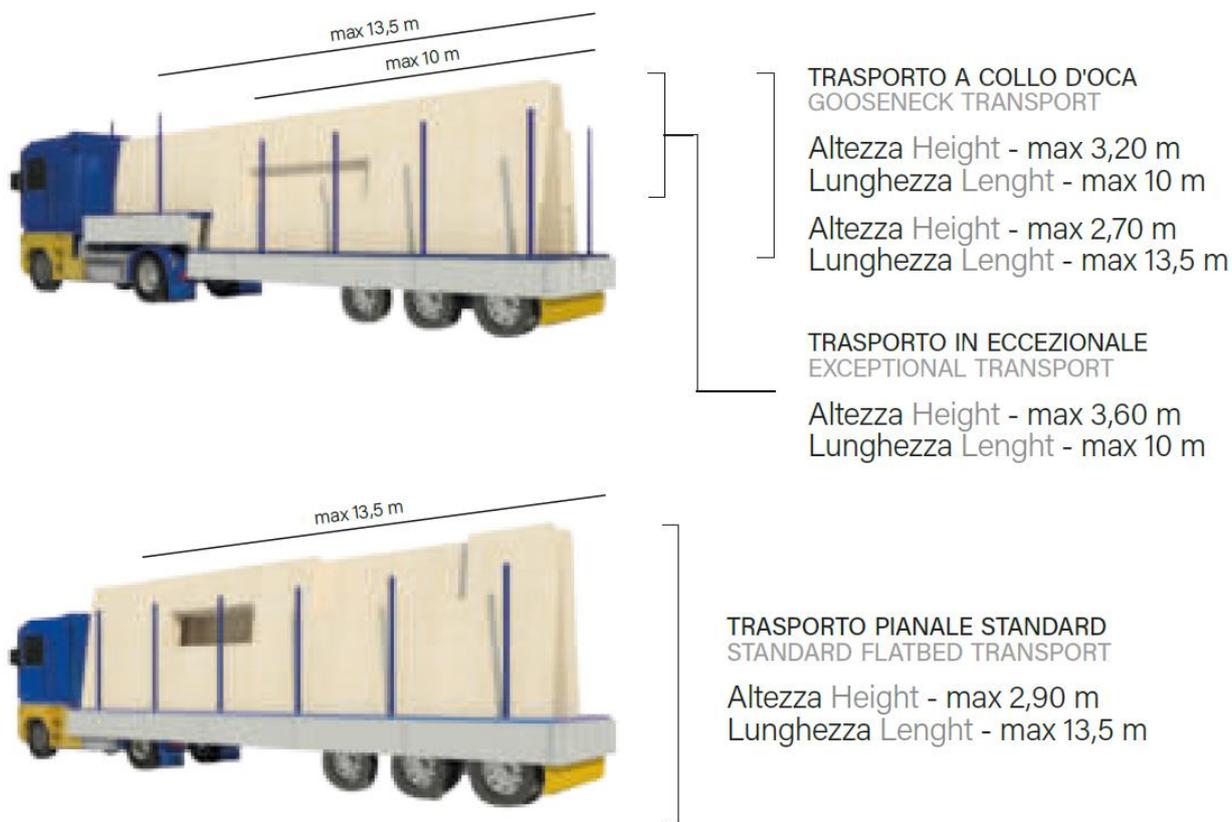


Figura 98 - Possibili configurazioni per il trasporto

Rispetto ai cantieri tradizionali, in quelli con struttura portante in legno l'area di stoccaggio ha un ruolo meno importante data la rapidità di esecuzione delle fasi costruttive.

Infatti, è preferibile dislocare il materiale in prossimità dell'area di montaggio collocando opportunamente le pareti in posizione verticale, mentre le piastre in orizzontale con l'accortezza che i materiali siano sempre ben protetti dagli agenti atmosferici al fine di evitare deterioramenti.

* Sistema di cassa scaricabile, appositamente studiati

* Off-load storage system, specially designed

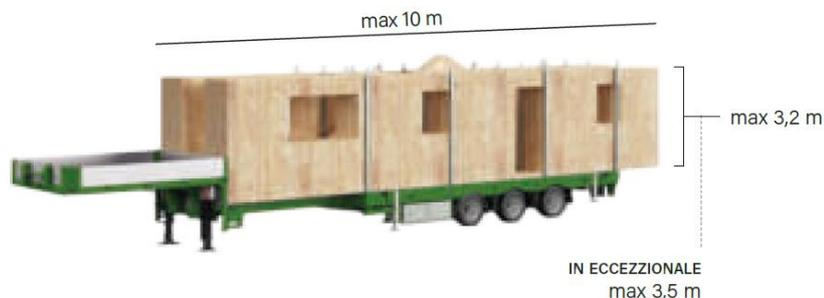


Figura 99 - Sistema di cassa scaricabile

6.2 Fasi di cantiere e logistica

Al fine della realizzazione dell'intervento edilizio in progetto – della scuola dell'infanzia “SO.LE” – sono necessarie e da prevedere le sotto riportate operazioni di cantiere e fasi lavorative.

In particolare, le macro-lavorazioni che si dovranno succedere secondo un ordine logico-costruttivo sono:

- Allestimento del cantiere;
- Scavi di sbancamento;
- Realizzazione delle fondazioni e del cordolo per la posa delle pareti;
- Montaggio della pannellatura verticale;
- Montaggio opere provvisorie;
- Posa in opera delle travature;
- Posa in opera dei pannelli di solaio da copertura;
- Impianti tecnologici;
- Opere di finitura e decorative;
- Sistemazione delle aree verdi;
- Rimozione delle attrezzature e degli apprestamenti di cantiere.

È fondamentale considerare in tutti i cantieri, ma specialmente in questo, la logica costruttiva con cui gli elementi tecnici vengono realizzati, poiché da essi dipendono gli ordini, gli approvvigionamenti in cantiere, le specifiche lavorazioni e la pianificazione e programmazione generale.

Bisogna altresì specificare che la successione delle fasi di lavorazioni durante la costruzione dell'opera potrebbe subire delle variazioni o ripetersi, poiché pensata, suddivisa ed attuata per porzioni di fabbricato.

La scelta di suddividere il cantiere in quattro zone di costruzione nasce da considerazioni tecnico-funzionali e costruttive. Infatti, tale disarticolazione funzionale-spaziale consta nell'individuazione all'interno dell'organismo edilizio di elementi spaziali omogenei secondo i quali è possibile suddividere l'intervento. L'intero organismo edilizio è stato quindi disarticolato spazialmente in quattro blocchi secondo criteri ed esigenze specifiche del progetto stesso.

Tali criteri seguono da una parte una scelta architettonica-progettuale che prevede degli spazi modulari progettati a blocchi come strutture scatolari indipendenti ma tra di loro connessi e dall'altra dei principi tecnologici-costruttivi basati sulla tecnica costruttiva scelta: elementi portanti prefabbricati in legno.

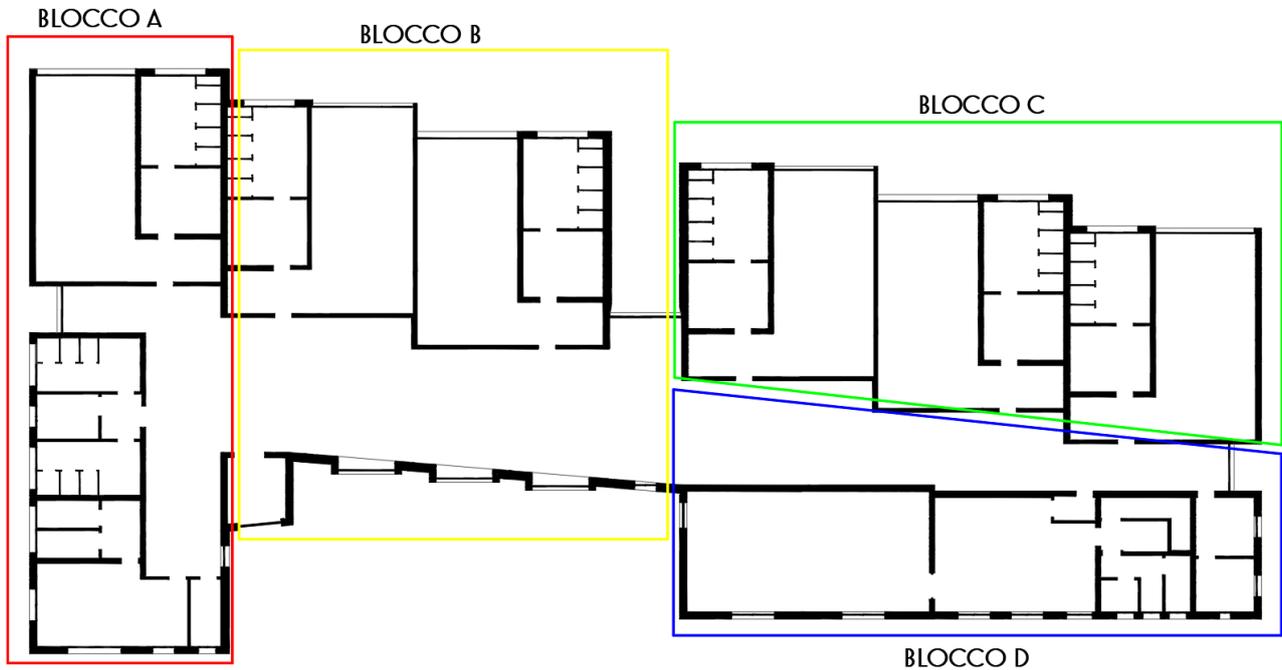


Figura 100 - Identificazione dei quattro blocchi costruttivi

Ad avvalorare ulteriormente la cantierizzazione del progetto caratterizzata dalla disarticolazione funzionale-spaziale è la posa in opera dei solai di copertura; anch'essi elementi progettati in moduli prefabbricati secondo una logica architettonica in grado da un lato di coprire ed isolare ognuno dei quattro blocchi e contemporaneamente evitare una possibile sospensione del cantiere da cause di agenti atmosferici; permettendo così, l'eventuale anticipazione delle fasi di lavorazione interne.

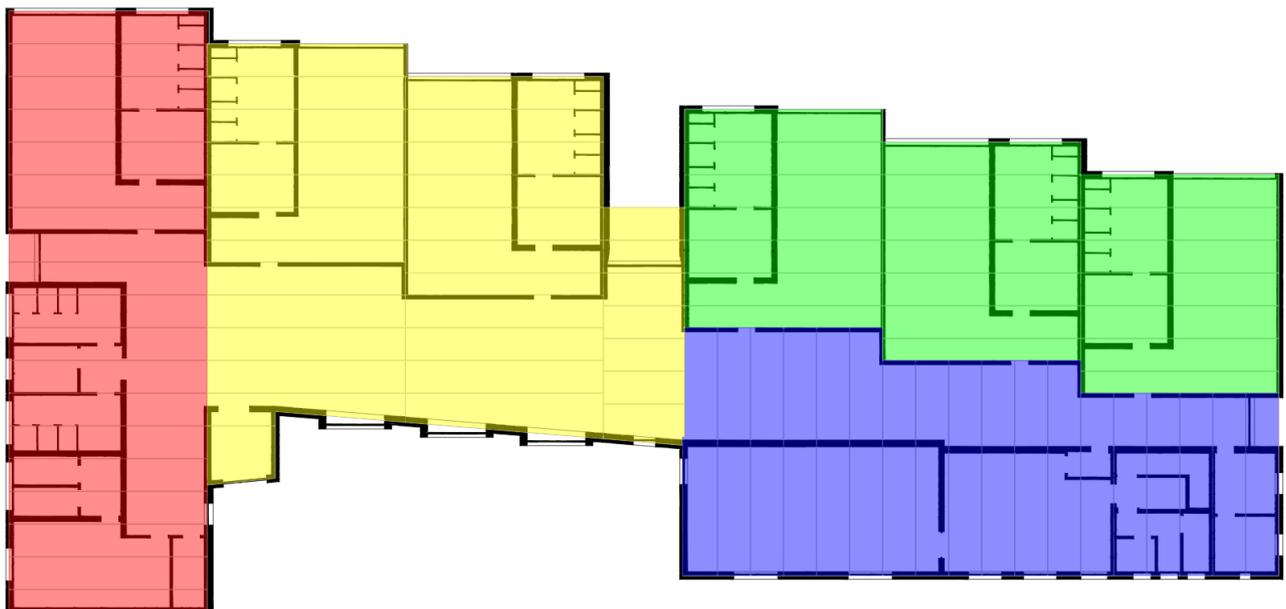


Figura 101 - Zonizzazione del progetto nei 4 blocchi in funzione della posa in opera dei solai

Tra le varie zone di cantiere si è deciso di analizzare e quindi di porre maggiore attenzione al blocco A. La porzione dell'organismo edilizio preso in considerazione è formato principalmente da tre elementi tecnici: le pareti portanti (interne ed esterne), le travi ed i solai di copertura.

Come buona pratica di programmazione ed pianificazione delle attività di cantiere insegna, è stata strutturata una WBS - *Work Breakdown Structure* - secondo un'assegnazione a tutti gli elementi che compongono il blocco di codice univoco in grado di identificare e posizionare nello spazio e nel tempo ogni singolo elemento.

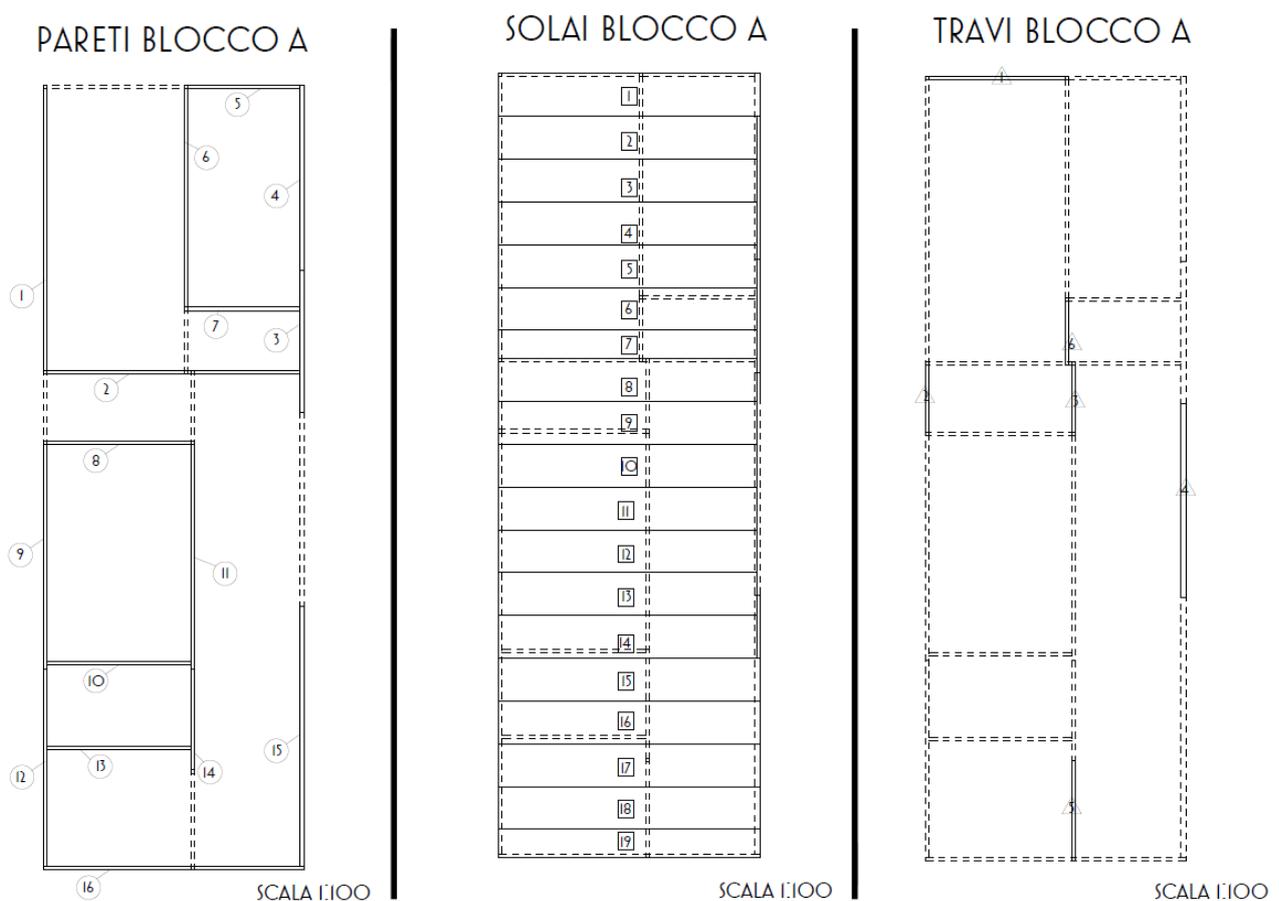


Figura 102 - Identificazione degli elementi del blocco A

Suddiviso il blocco A secondo i vari elementi che lo compongono, per un maggiore controllo in fase di esecuzione sono state create le distinte per tutti i tre tipi di elementi.

Distinta MURI

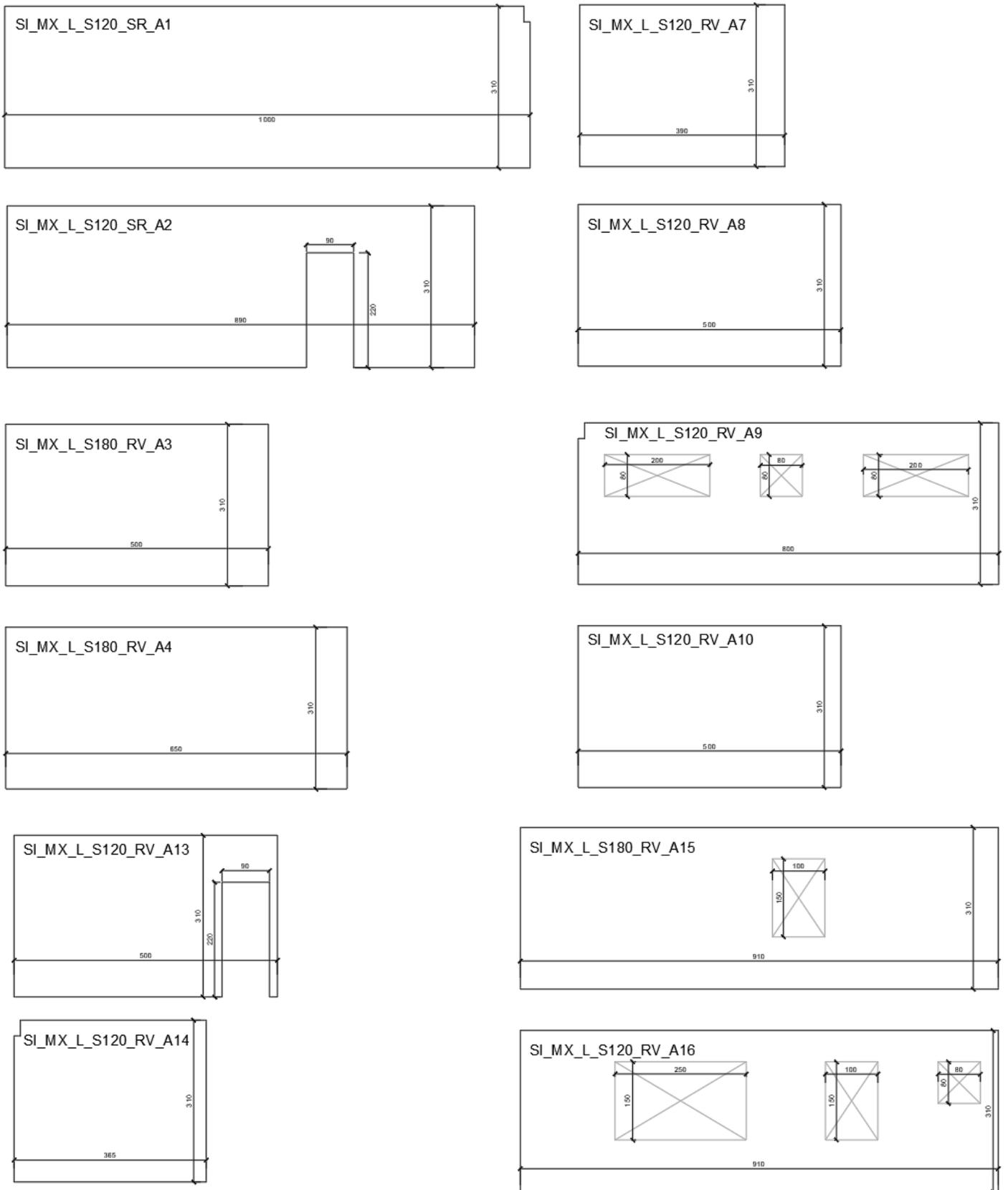
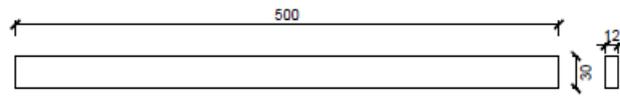


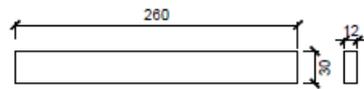
Figura 103 - Distinta dei muri del blocco A

Distinta TRAVI

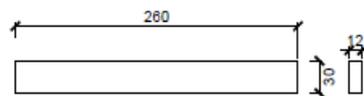
SI_TRV_L_S120_FV_A1



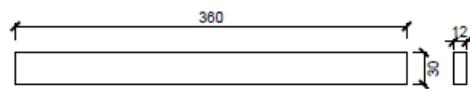
SI_TRV_L_S120_FV_A2



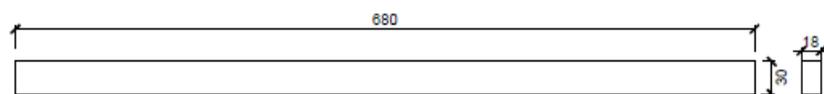
SI_TRV_L_S120_FV_A3



SI_TRV_L_S120_FV_A4



SI_TRV_L_S180_FV_A5



SI_TRV_L_S120_FV_A6

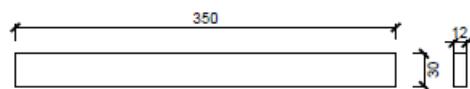


Figura 104 - Distinta delle travi del blocco A

Distinta elemeti SOLAIO DI COPERTURA

100	SI_SX_L_S200_RV_A1	910
100	SI_SX_L_S200_RV_A2	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A3	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A4	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A5	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A6	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A7	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A8	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A9	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A19	910
100	SI_SX_L_S200_RV_A10	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A11	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A12	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A13	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A14	900
100	SI_SX_L_S200_RV_A15	910
100	SI_SX_L_S200_RV_A16	910
100	SI_SX_L_S200_RV_A17	910
100	SI_SX_L_S200_RV_A18	910

Figura 105 - Distinta degli elementi del solaio di copertura

Come si può notare dalle distinte degli elementi portanti, alcuni di essi presentano delle sagomature perimetrali dovuti ad un'attenta progettazione e all'uso sempre più comune di macchine a controllo numerico dette CNC - *computerized numerical control* - che offrono l'opportunità di creare elementi con un ordine di precisione millimetrico. Offrono inoltre la possibilità di forare l'elemento per l'inserimento di infissi o di impianti.

6.3 Fasi di realizzazione struttura portante

6.3.1 Struttura di fondazione

La struttura di fondazione realizzata in opera prevede una platea armata per l'intera superficie di progetto e presenta in corrispondenza delle pareti strutturali dei cordoli rettangolari in CA. In modo particolare in questo progetto, si deve assicurare la completa planarità dell'opera per il corretto montaggio degli elementi strutturali in legno al fine di limitare l'uso degli spessori e il raccordo di fessure e dislivelli. Inoltre, essendo gli elementi strutturali prefabbricati è necessario e indispensabile adoperare con la massima precisione e con livelli di tolleranza di massimo 1 cm.

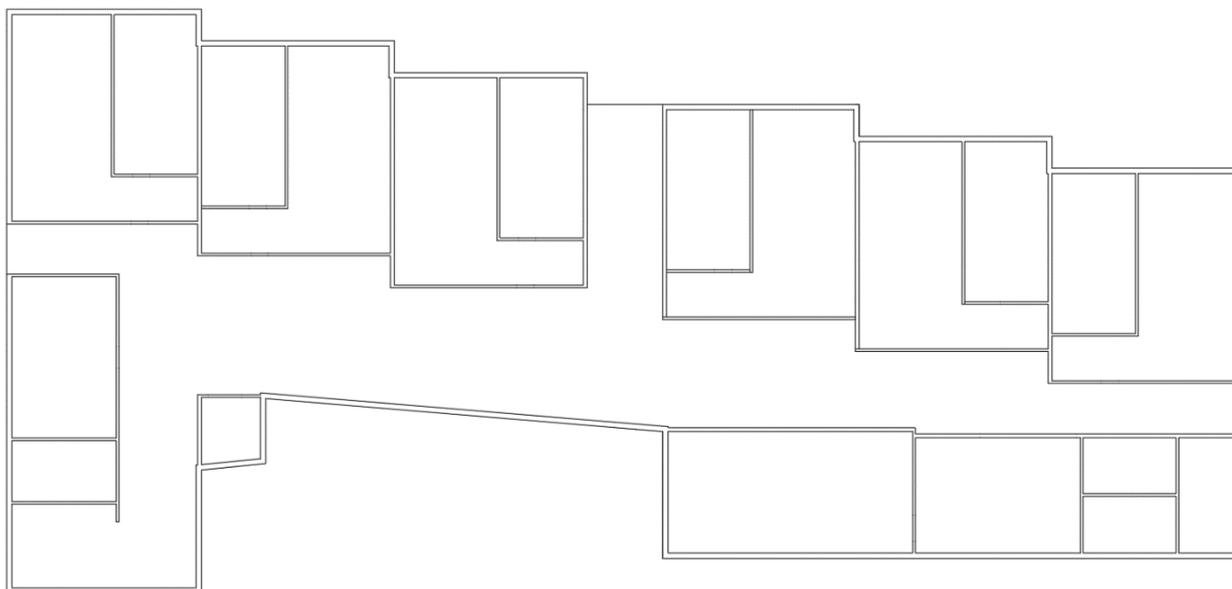


Figura 106 – Schema di rappresentazione dei cordoli di fondazione

Tra la struttura di legno e la fondazione in c.a. è previsto uno strato di impermeabilizzazione che deve risvoltare sulla struttura di fondazione (e non sulla parete di legno) per evitare le trappole di umidità.

Il cordolo di fondazione è stato dimensionato considerando oltre che lo spessore della parete portante da sorreggere anche degli elementi di ancoraggio tra i due. Di fatto, presenta un'opportuna altezza utile per staccare la struttura in legno rispetto alla quota esterna e uno strato di impermeabilizzazione al fine di annullare punti di contatto e umidità di risalita.

6.3.2 Collegamenti fondazione-parete

Il collegamento delle pareti alle fondazioni può essere effettuato in diversi modi:

- A. Viene stesa sulla fondazione una guaina per impedire all'umidità di risalire e sulla stessa viene poggiata la parete;
- B. In fase di esecuzione delle fondazioni vengono lasciate delle dime di ripresa per la realizzazione del cordolo in calcestruzzo e successivamente viene stesa una guaina bituminosa che fa da barriera all'umidità di risalita, le pareti vengono poi poggiate sul cordolo e fissate con angolari metallici sia alla fondazione che al cordolo stesso;
- C. Viene stesa sulla platea di fondazione una guaina bituminosa in modo da impedire l'umidità di risalita sulla quale viene posata un'asse di legno, generalmente costituita da una specie legnosa avente caratteristiche specifiche avanzate, ossia il larice, collegato alla fondazione con tira-fondi e resine. Le pareti vengono poggiate sul cordolo e fissate alla fondazione.

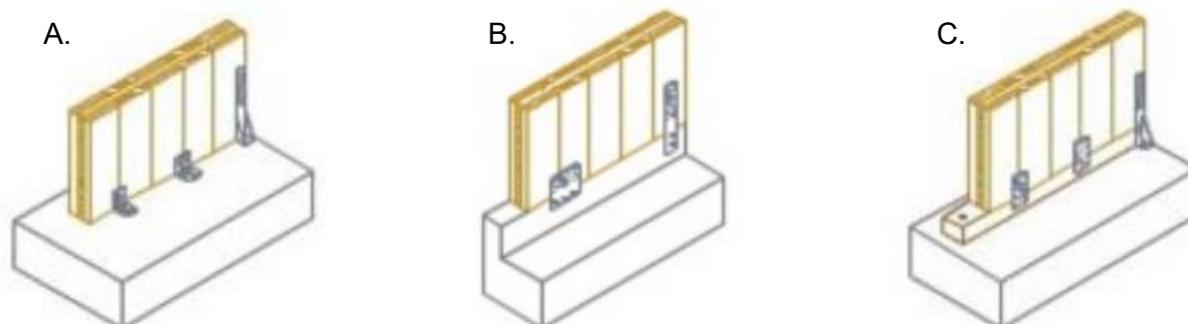


Figura 107 - Tipologie di collegamento tra fondazione e parete in X-Lam

Tra le tre diverse tipologie di collegamento fondazione - parete in X-Lam nel seguente progetto si è scelto di adoperare quella di tipo B.

Esistono diversi tipi di angolari metallici per i collegamenti della parete alla fondazione che svolgono funzioni differenti.

Tra i tanti è presente l'*hold-down*, ovvero un elemento metallico che viene posto ai lati esterni della parete e fissato con chiodi o viti, mentre l'ancoraggio alla fondazione avviene tramite barre filettate in acciaio inserite in fori sigillati con resina epossidica o con malta cementizia. Questo elemento di collegamento impedisce il ribaltamento della parete.

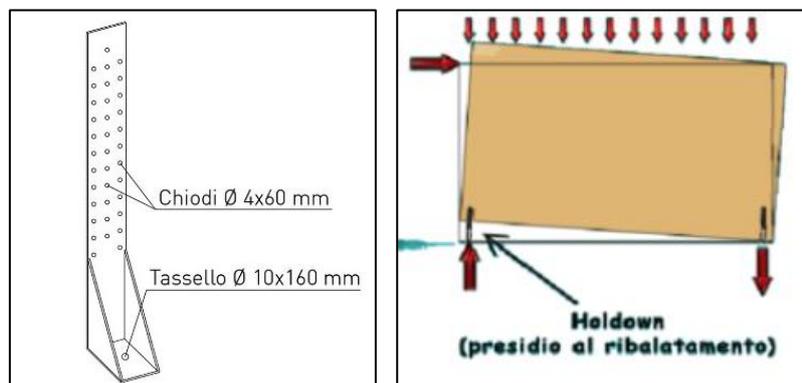


Figura 108 - Elemento di ancoraggio HOLD-DOWN

Altro elemento di collegamento fondamentale è l'angolare metallico semplice posto sull'intera lunghezza della parete ed utilizzato per evitare lo scorrimento della stessa.

Questo tipo di angolare è fissato alla parete con chiodi o viti e alla fondazione con tira-fondi in acciaio.

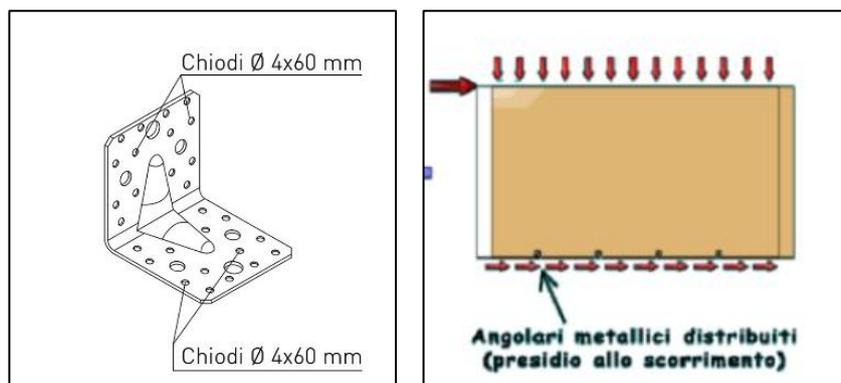


Figura 109 - Elemento di collegamento Angolare metallico semplice

6.3.3 Posa e collegamento tra pareti

Le pareti vengono realizzate o con un unico elemento dotato di tutte le aperture per porte e finestre con l'unica limitazione sulla lunghezza data dalle esigenze di trasporto. Lo stesso elemento potrebbe anche essere realizzato mediante l'assemblaggio di più pannelli, collegati tra loro meccanicamente per mezzo di strisce di pannello multistrato o con giunti a mezzo legno tra i pannelli e viti o chiodi.

Una volta in cantiere le pareti in X-Lam vengono poggiate sulla fondazione e collegate attraverso dei giunti in modo da garantire la continuità strutturale dei diversi elementi verticali.

Il giunto è strutturalmente pensato come cerniera lungo tutta l'altezza del pannello, mentre le connessioni effettuate agli spigoli dell'edificio garantiscono un comportamento scatolare della struttura.

Di seguito sono state riportate le più diffuse tipologie di giunti utilizzabili:

A. Collegamento parete-parete tramite viti di ancoraggio incrociate

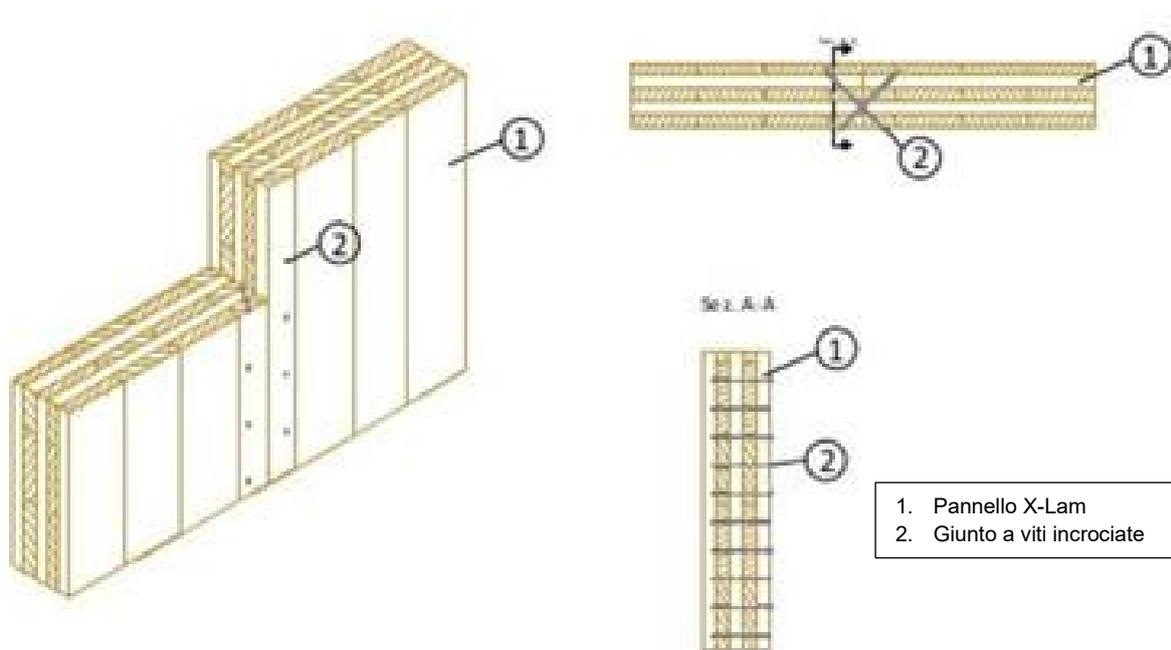


Figura 110 - Collegamento parete-parete con viti di ancoraggio incrociate

B. Collegamento parete-parete a mezzo-legno con viti di ancoraggio;

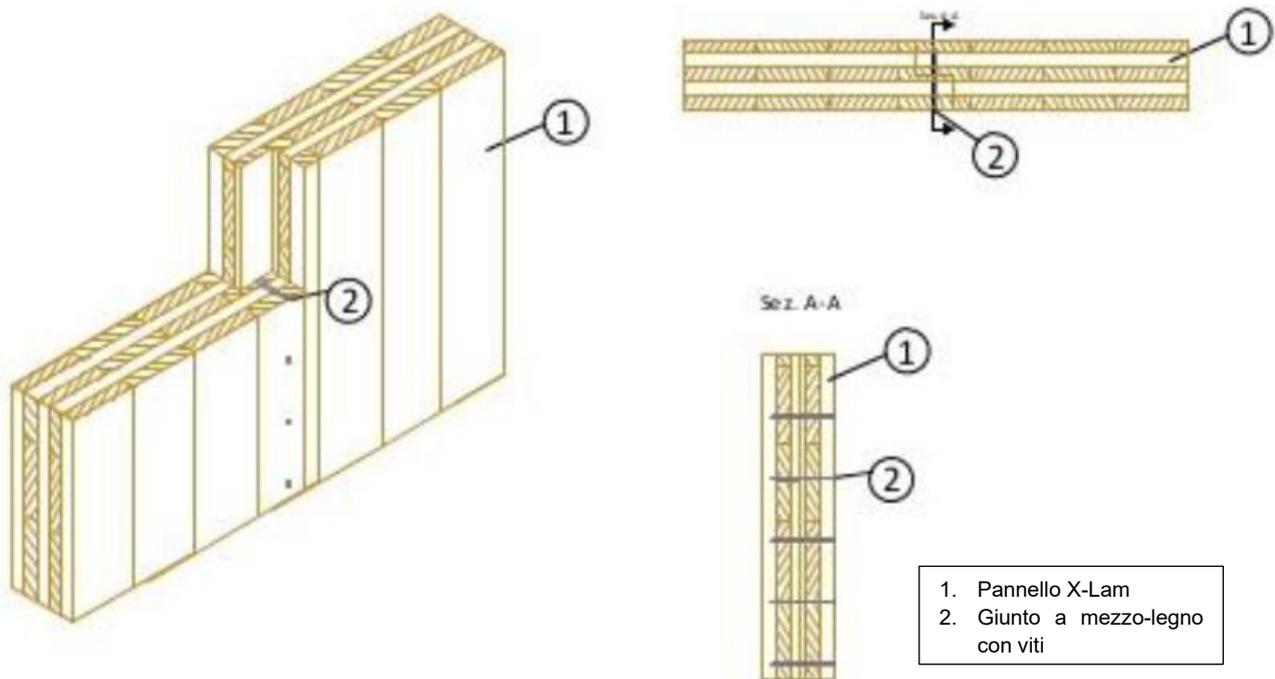


Figura 111 – Collegamento parete-parete a mezzo-legno con viti

C. Collegamento parete-parete tramite tavola coprigiunto chiodata

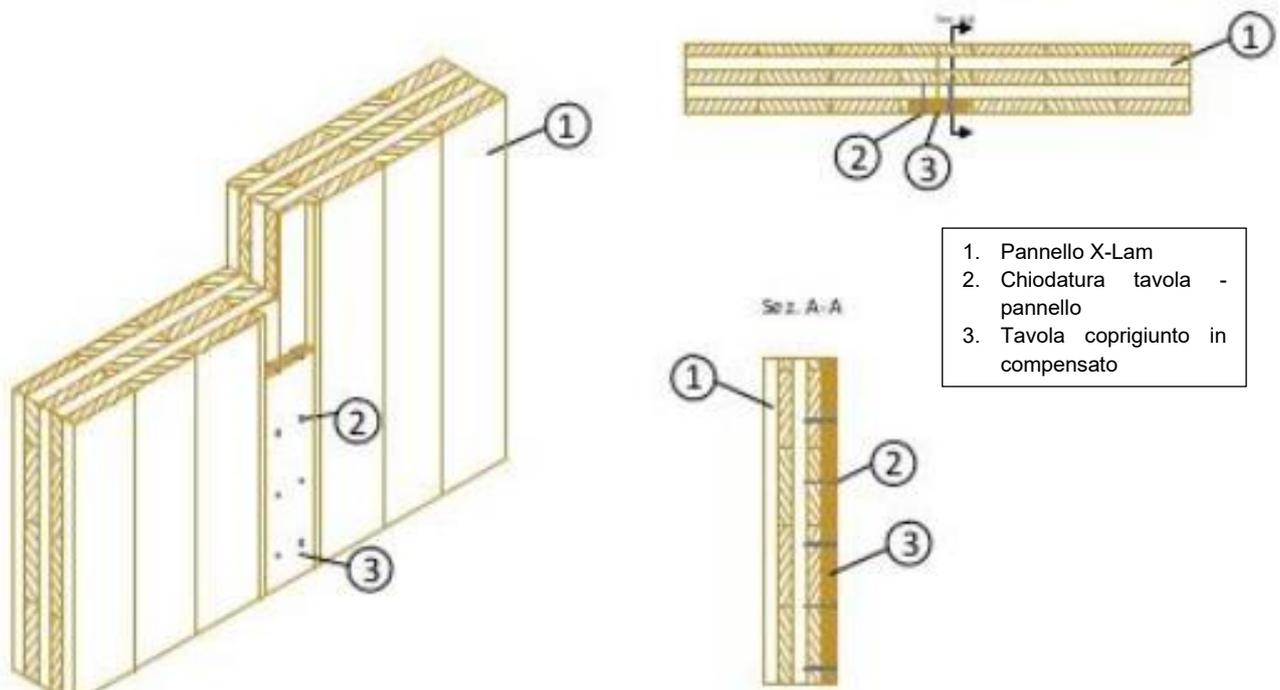


Figura 112 – Collegamento parete-parete con tavola coprigiunto

D. Collegamento parete-parete d'angolo tramite viti di ancoraggio;

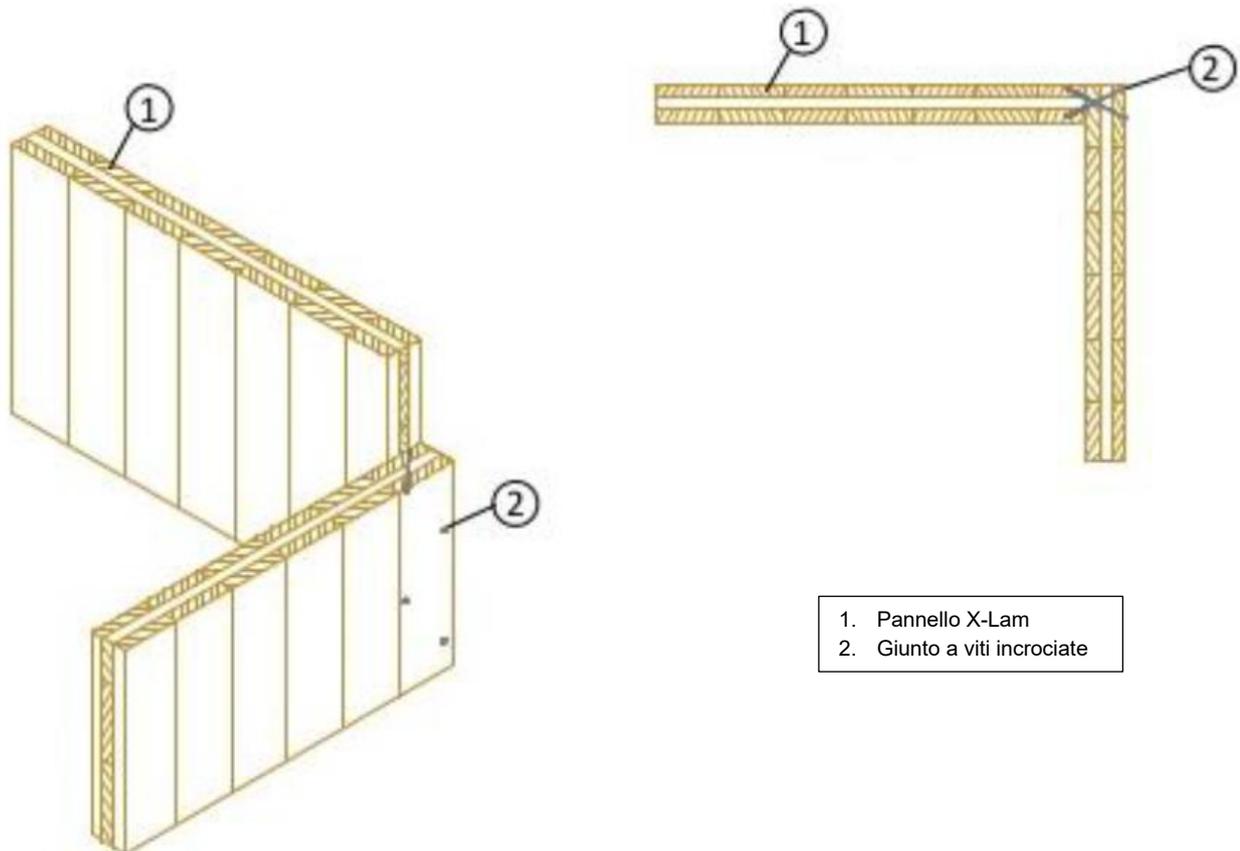


Figura 113 - Collegamento parete angolare con viti di ancoraggio

E. Collegamento parete-parete d'incrocio tramite viti di ancoraggio;

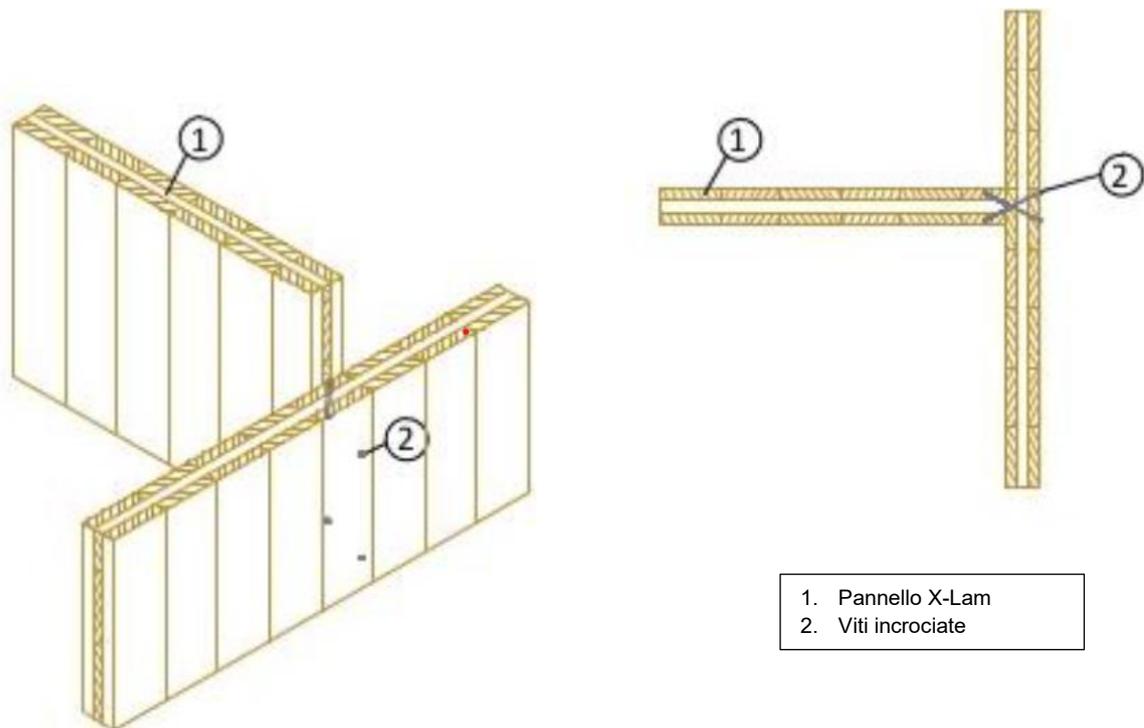


Figura 114 - Collegamento di parete-parete d'incrocio con viti incrociate

6.3.4 Posa solaio di copertura

Per quanto riguarda i solai, per questioni logistiche legate al trasporto, vengono realizzati in elementi dalle dimensioni trasversali ridotte che necessitano l'utilizzo di giunti tra i pannelli per tutta la loro lunghezza, creando un diaframma continuo.

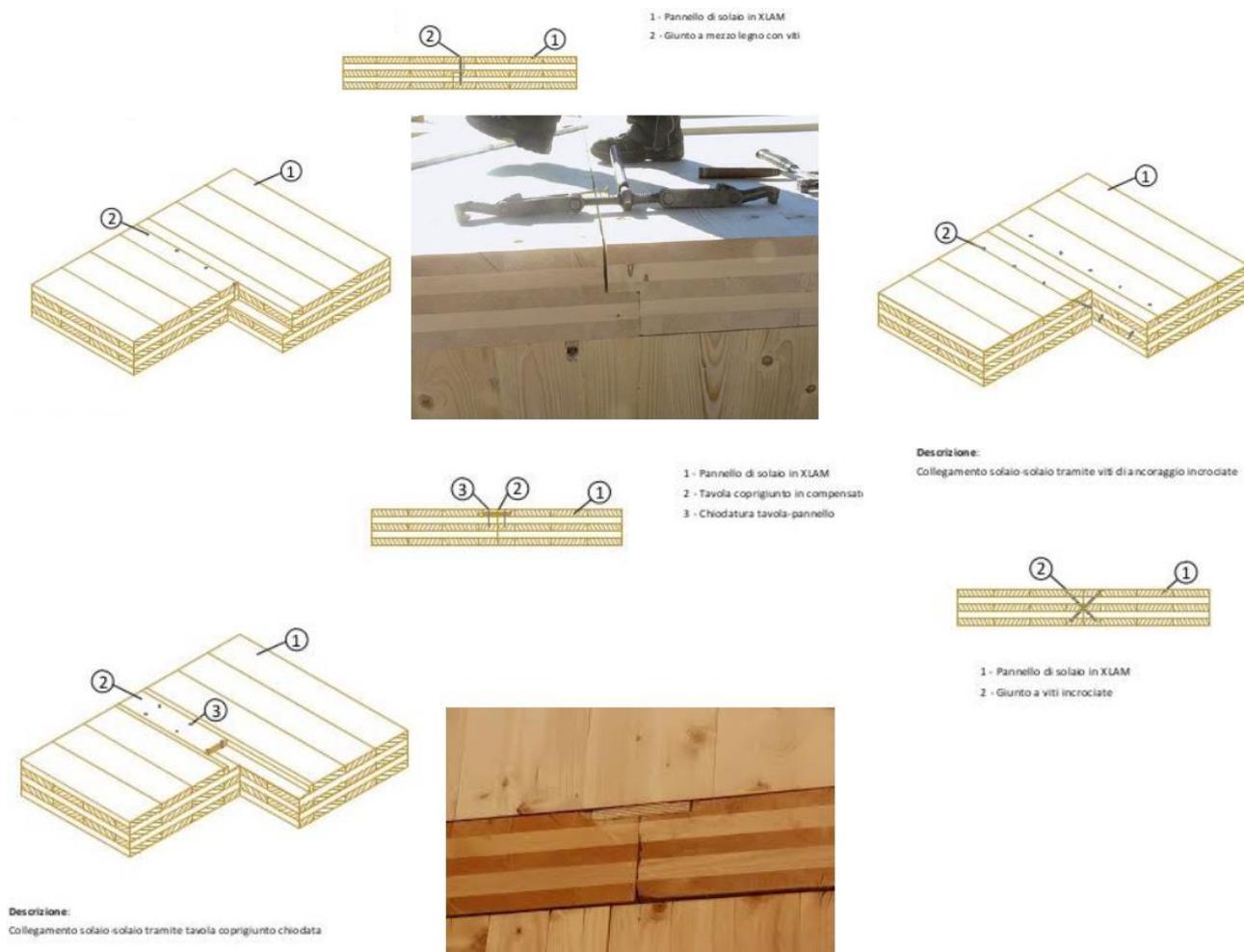


Figura 115 - Esempi di collegamento tra elementi di solaio di copertura

Come mostra l'immagine la tipologia di collegamento tra gli elementi del solaio di copertura risultano simili ai collegamenti parete-parete.

Ovviamente trattandosi di collegamenti con cui può essere trasferito il taglio e non la flessione, la direzione delle giunzioni deve necessariamente essere parallela alla direzione portante del solaio.

6.3.5 *Accorgimenti costruttivi*

Durante la messa in opera degli elementi costruttivi bisogna tener conto di alcuni aspetti fondamentali quali la tenuta all'aria e al vento e l'isolamento acustico.

Nelle edificazioni a secco – come quelle in legno in progetto – è importante ostacolare fughe dall'ambiente interno verso l'esterno e l'ingresso d'aria dall'esterno cercando di rendere la costruzione ermetica al fine di impedire che vi siano dispersioni termiche della struttura, formazione di condensa e ponti acustici.

Questo aspetto influisce direttamente sulla durata del materiale, sul comfort termico e sul consumo energetico e, qualora non dovesse essere preso in considerazione ne risentirebbe l'edificio che sarebbe sì, ben isolato, ma poco efficiente e dispendioso.

Per evitare questi fenomeni, si fa particolare attenzione ai punti deboli della tenuta all'aria, ovvero tutti quei punti più critici come la giunzione fra pareti esterne e pareti interne, solai e tetti o in corrispondenza di finestre e lucernari o laddove vi sia un perforamento del telo o una sua interruzione.

Questi punti vengono sigillati con nastri mono-adesivi o espandenti come in figura.



Figura 116 – Esempio di sigillanti con nastro mono-adesivi

Diversamente, per ovviare alla problematica dei rumori impattanti e dunque isolare acusticamente la struttura dall'ambiente disturbante all'ambiente disturbato dal calpestio, dalla caduta di oggetti o vibrazioni di elettrodomestici, è necessario contrastare la trasmissione del suono per vibrazione interponendo tra le giunzioni materiali utili ad attenuare il moto oscillatorio originato dall'urto al momento stesso dell'impatto.

Nonostante gli accorgimenti impiegati a tale scopo potrebbero tuttavia rimanere dei ponti acustici in corrispondenza delle connessioni metalliche che possono essere attutiti inserendo speciali materassini per il taglio acustico degli angolari metallici e viti da legno perfezionate con cuscinetti elastici come nella seguente figura.

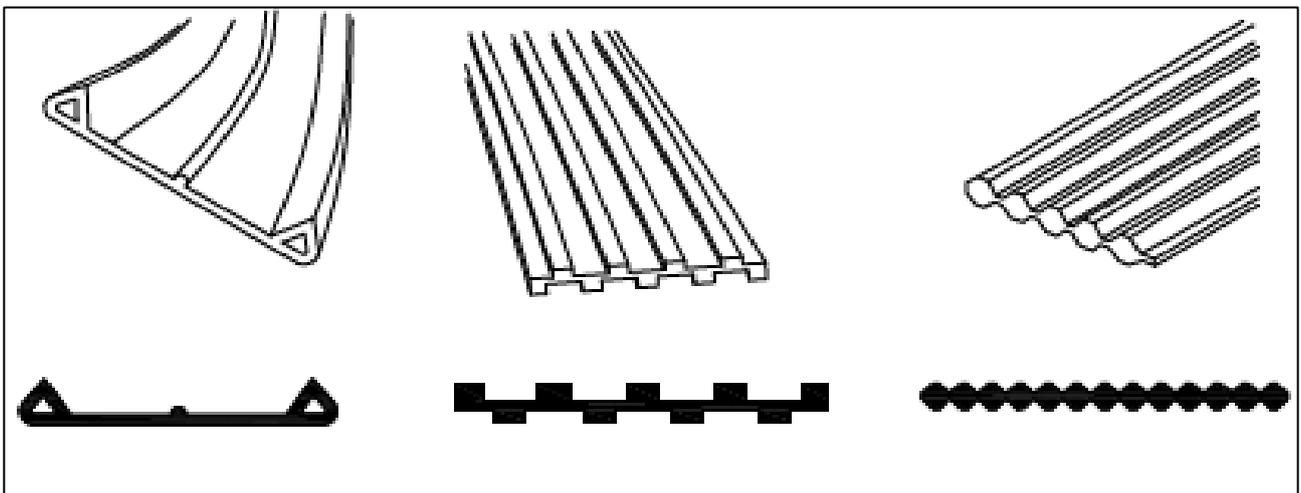


Figura 117 - Esempi di cuscinetti elastici

6.3.6 Diagramma di Gantt

In questo sotto paragrafo è presente il diagramma di Gantt sviluppato con il software OpenSource “Gantt Project” per le lavorazioni previste del solo blocco A.

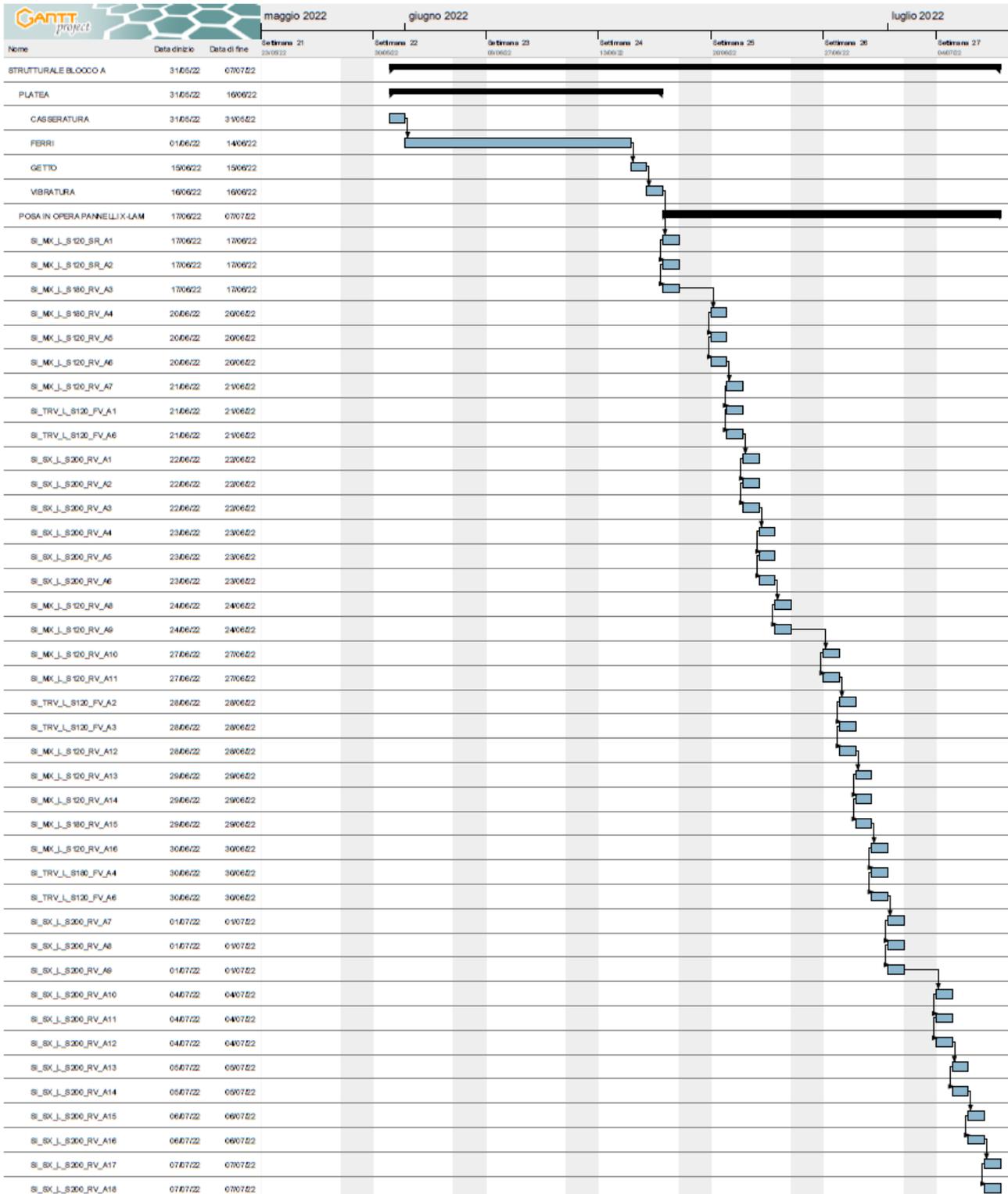


Figura 118 – Diagramma di Gantt

6.4 Confronto tra sistemi costruttivi: secco vs umido

Questo paragrafo mette a confronto in termini di tempi e costi due sistemi costruttivi: quello degli elementi a secco, come quello in legno previsto in questo progetto e quello tradizionale ad umido che adopera elementi portanti in conglomerato cementizio armato.

È necessario precisare che il confronto svolto tra i vari sistemi costruttivi avverrà considerando solo blocco A e non dell'intera opera.

Una prima considerazione può essere fatta su una caratteristica fisica del materiale: la densità. Potrebbe sembrare scontato la differenza di densità del materiale - 475 kg/m³ del pannello X-Lam contro i 2500 kg/m³ del CLS - comporta una mobilitazione di elementi con pesi notevolmente più ridotti e quindi una riduzione dei costi dovuta all'utilizzo di macchinari più leggeri.

6.4.1 Sistema costruttivo in C.A.

Per poter confrontare i due sistemi è stato necessario riprogettare il blocco A con una differente tecnologia costruttiva: quella del Calcestruzzo Armato.

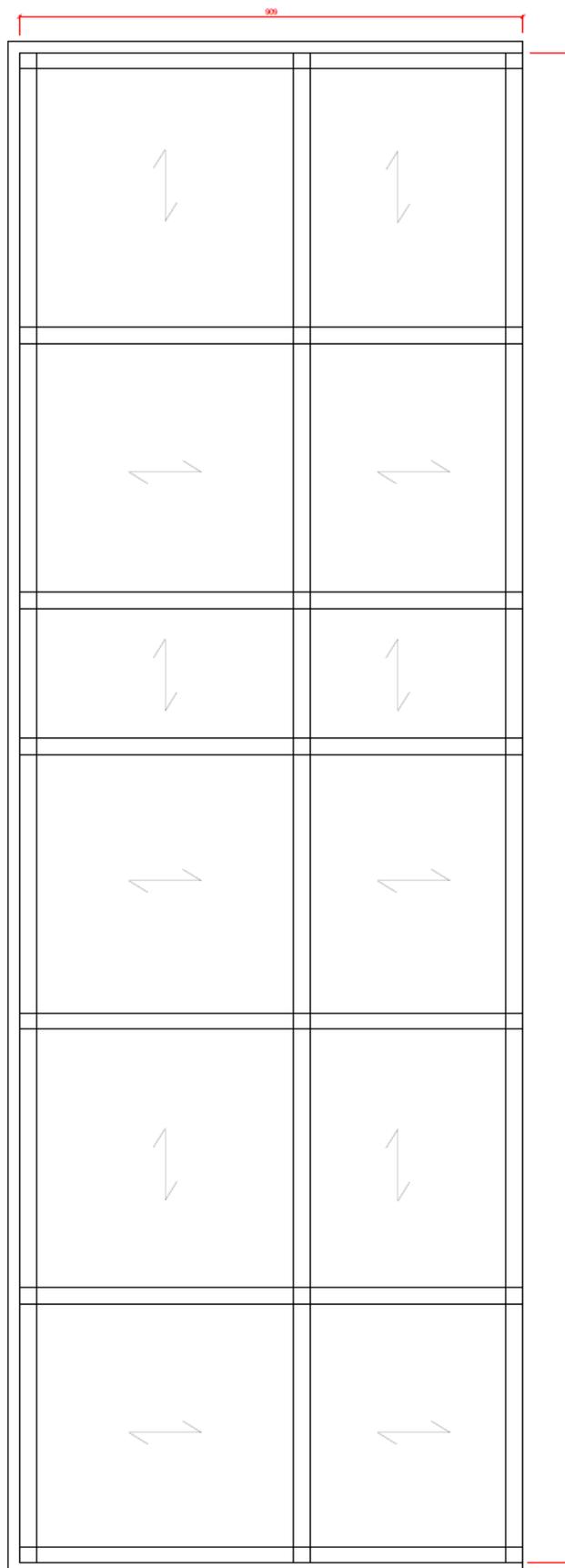
Tale tecnologia prevede i seguenti elementi:

- Pilastrini 30x30 (h = 305 cm);
- Travi 30x40;
- Solaio in latero cemento gettato in opera spessore 20+4 cm.
- Muri di tamponamento da 30cm;
- Tramezzi interni da 12cm.

Per un confronto più attendibile è stato generato un layout che seguisse la medesima struttura di fondazione e la stessa distribuzione spazio-funzionale del progetto in legno.

Si è quindi calcolato in maniera approssimata la quantità di calcestruzzo e di acciaio per le armature impiegate; mentre per quanto riguarda gli altri materiali, si sono considerati gli stessi delle stratigrafie precedenti.

Nell'immagine di seguito riportata vengono evidenziati le quantità di materiali impiegati.



CALCOLO VOLUME CLS

pilastrì: $0,3 \times 0,3 = 0,09 \text{ mq}$
 $0,09 \times 3,05 = 0,275 \text{ mc}$
 $0,275 \times 21 = 5,77 \text{ mc}$ 6 mc

travi: $4,65 + 3,55 = 8,20 \text{ m}$
 $0,30 \times 0,40 = 0,12 \text{ mq}$
 $0,12 \times 8,20 = 0,98 \text{ mc}$ 1 mc
 $1 \times 7 = 7 \text{ mc}$
 $0,3 \times 0,4 = 0,12 \text{ mq}$
 $0,12 \times 27,50 = 3,30 \text{ mc}$
 $3,30 \times 3 = 9,90 \text{ mc}$

soffitto: $0,08 \times 1 = 0,08 \text{ mc/mq}$
 $0,08 \times 208 = 16,64 \text{ mc}$

CALCOLO AREA CASSEFORMI

pilastrì: $0,3 \times 4 = 1,2 \text{ m}$
 $1,2 \times 3,05 = 3,66 \text{ mq}$
 $3,66 \times 21 = 76,86 \text{ mq}$

travi: $4,65 + 3,55 = 8,20 \text{ m}$
 $0,30 \times 8,20 = 2,46 \text{ mq}$
 $2,46 \times 7 = 17,22 \text{ mq}$
 $0,3 \times 27,50 = 8,25 \text{ mq}$
 $8,25 \times 3 = 24,75 \text{ mq}$
 $73,20 \times 0,40 = 29,30 \text{ mq}$

Figura 119 – Schema e quantità della struttura in C.A.

6.4.2 *Stima dei costi*

Al fine di ottenere una stima dei costi reali per la realizzazione della sola struttura in legno prevista nel blocco A, si è proceduto seguendo il presente schema:

1. Redazione di tabella in Excel con la distinta dei diversi elementi strutturali X-Lam;
2. Calcolo del volume di legno di ogni singolo elemento;
3. Individuazione della voce dal prezzario della regione Piemonte 2021;
4. Individuazione del costo unitario relativo alla voce del prezzario;
5. Determinazione del costo di costruzione e di posa in opera per elemento, ottenuto come prodotto tra il volume e il costo unitario dello stesso;
6. Determinazione del costo totale di costruzione e posa in opera, ottenuto come somma di tutte le voci di costo previste per il blocco A.

La tabella successiva mostra il risultato del suddetto metodo applicato per la struttura in legno che ammonta a 112'933.41 €.

Differentemente, per determinare il costo di costruzione della struttura in cemento armato è stato necessario sviluppare il computo metrico estimativo basato sulle voci del prezzario della Regione Piemonte 2021. È bene precisare che per le quantità relative all'armatura degli elementi strutturali, si è considerato in linea di massima una quota pari al 2% del volume dello stesso.

Con tali considerazioni il costo relativo alla struttura in CA ammonta a 83'281.93€

6.4.3 *Stima dei tempi*

Non esiste un metodo univoco per calcolare la tempistica del cantiere; per questo motivo è stata impostata un'analisi per la stima delle ore in base alle entità di lavoro/risorse.

Dopo aver definito accuratamente tutte le macrolavorazioni e le rispettive sottofasi si prosegue con il seguente iter valido per la stima dei tempi sia per le strutture a secco che per quelle umide:

1. Identificazione voce della singola lavorazione nel prezzario della Regione Piemonte 2021;
2. Identificazione nella voce di prezzario del costo della singola di lavorazione K_{lav} ;
3. Identificazione nella voce di prezzario della percentuale di manodopera della singola lavorazione $\%MO_{lav}$;
4. Definizione della Squadra Operativa;
5. Definizione del Costo medio orario della squadra operativa $\bar{K}_{S.O.}$;
6. Definizione del numero di ore lavorative giornaliere h_{lav} ;
7. Definizione del costo della manodopera per ogni singola lavorazione $K_{MO_{lav}}$;
8. Definizione del costo giornaliero della manodopera per ogni singola lavorazione K_{ggMO} ;
9. Definizione degli uomini giorno UG ;
10. Definizione della durata della singola lavorazione t_{lav} ;
11. Definizione della durata totale t_{Tot} .

Viene eseguito analiticamente l'iter per il calcolo delle tempistiche per la realizzazione della struttura in legno e successivamente riportato in tabella.

1. Identificazione voce della singola lavorazione nel prezzario della Regione Piemonte 2021.

Come mostra l'immagine successiva, nel caso specifico in esame – per la costruzione del solo blocco A in strutture a secco – si sono state identificate tre differenti voci di prezzario dovute a:

- Pannello X-Lam da 5 strati;
- Pannello X-Lam da 7 strati;
- Travi in legno

Elemento	Codice	Descrizione	U.M.	Euro	% MO
Pannello X-Lam	01.A17.A71	Fornitura e posa in opera di pannelli strutturali in legno multistrato XLAM in tavole di legno di abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>) o di larice (<i>Larix decidua</i>) a 3, 5 e 7 strati incrociati. Il prodotto dovrà avere marcatura CE per i prodotti da costruzione e relativa dichiarazione di Prestazione (DoP) come previsto dal regolamento UE n. 305/2011 o, qualora non sussista l'obbligo di marcatura CE, qualificati secondo le NTC in vigore. Sono compresi nel prezzo la lavorazione dei pannelli con centro di taglio a controllo numerico, i tagli, gli sfridi, i fori per porte e finestre. Nel prezzo sono inclusi gli oneri per l'idonea ferramenta provvisoria necessaria per il trasporto e la movimentazione nell'ambito del cantiere, il montaggio a cura di personale specializzato, eventuali lavorazioni di incastro e accoppiamento, le viti, gli angolari, le staffe per il fissaggio della struttura, gli idonei profili per l'abbattimento acustico, i tappi in legno per il mascheramento dei punti di fissaggio, perfettamente allineati, la nastratura e quant'altro per garantire la perfetta sigillatura all'aria. Nel prezzo è compreso il trasporto in cantiere ma non il trattamento con prodotto impregnante che verrà compensato a parte. Il prodotto deve essere accompagnato dai disegni costruttivi di cantiere, dalle istruzioni di montaggio e dall'eventuale piano di manutenzione, forniti dal produttore o dal progettista e accettati dalla D.L. In accordo alla normativa vigente, la ditta esecutrice delle lavorazioni che non sia anche produttrice, dovrà essere accreditata presso il Servizio Tecnico Centrale del CSLPP come centro di trasformazione di elementi strutturali in legno ed essere in possesso dell'attestato di qualificazione.			
	01.A17.A71.010	a 5 strati, in legno di abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>)	m ³	1 221.42 €	27.84%
	01.A17.A71.015	a 7 strati, in legno di abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>)	m ³	1 192.53 €	28.52%
Travi	01.A17.A70	Fornitura e posa in opera di travi, travetti e simili in legno lamellare con le lavorazioni e ferramenta occorrenti, nessuna opera esclusa; Escluso il nolo di gru			
	01.A17.A70.010	In abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>) per edifici industriali	m ³	1 566.79 €	8.68%

Figura 120 – Stralcio del prezzario della Regione Piemonte 2021 per le sole voci interessate

2. Identificazione nella voce di prezziario del costo della singola di lavorazione K_{lav} .

Per ogni lavorazione si è proceduto ad identificare il costo della singola lavorazione in Euro, definito come il costo unitario per la quantità richiesta.

In particolare i costi della lavorazione, come mostrato dalla successiva tabella risultano essere:

- Pannello X-Lam da 5 strati: $54'319,72\text{€}$
- Pannello X-Lam da 7 strati: $59'232,97\text{€}$
- Travi in legno: $1'551,12\text{€}$

Elemento	Codice	Descrizione	U.M.	Euro [€/m ³]	Quantità [m ³]	Costo K_{lav} [€]
Pannello X-Lam	01.A17.A71	Fornitura e posa in opera di pannelli strutturali in legno multistrato XLAM in tavole di legno di abete (Picea abies, Abies alba) o di larice (Larix decidua) a 3, 5 e 7 strati incrociati. Il prodotto dovrà avere marcatura CE per i prodotti da costruzione e relativa dichiarazione di Prestazione (DoP) come previsto dal regolamento UE n. 305/2011 o, qualora non sussista l'obbligo di marcatura CE, qualificati secondo le NTC in vigore. Sono compresi nel prezzo la lavorazione dei pannelli con centro di taglio a controllo numerico, i tagli, gli sfridi, i fori per porte e finestre. Nel prezzo sono inclusi gli oneri per l'ideale ferramenta provvisoria necessaria per il trasporto e la movimentazione nell'ambito del cantiere, il montaggio a cura di personale specializzato, eventuali lavorazioni di incastro e accoppiamento, le viti, gli angolari, le staffe per il fissaggio della struttura, gli idonei profili per l'abbattimento acustico, i tappi in legno per il mascheramento dei punti di fissaggio, perfettamente allineati, la nastratura e quant'altro per garantire la perfetta sigillatura all'aria. Nel prezzo è compreso il trasporto in cantiere ma non il trattamento con prodotto impregnante che verrà compensato a parte. Il prodotto deve essere accompagnato dai disegni costruttivi di cantiere, dalle istruzioni di montaggio e dall'eventuale piano di manutenzione, forniti dal produttore o dal progettista e accettati dalla D.L. In accordo alla normativa vigente, la ditta esecutrice delle lavorazioni che non sia anche produttrice, dovrà essere accreditata presso il Servizio Tecnico Centrale del CSLLPP come centro di trasformazione di elementi strutturali in legno ed essere in possesso dell'attestato di qualificazione.				
	01.A17.A71.010	a 5 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	m ³	1 221.42 €	44.47	54 319.72 €
	01.A17.A71.015	a 7 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	m ³	1 192.53 €	49.67	59 232.97 €
Travi	01.A17.A70	Fornitura e posa in opera di travi, travetti e simili in legno lamellare con le lavorazioni e ferramenta occorrenti, nessuna opera esclusa; Escluso il nolo di gru				
	01.A17.A70.010	In abete (Picea abies, Abies alba) per edifici industriali	m ³	1 566.79 €	0.99	1 551.12 €

Figura 121 – Definizione del costo delle singole lavorazioni

3. Identificazione nella voce di prezzo della percentuale di manodopera della singola lavorazione $\%MO_{lav}$

Elemento	Codice	Descrizione	% MO
Pannello X-Lam	01.A17.A71	Fornitura e posa in opera di pannelli strutturali in legno multistrato XLAM in tavole di legno di abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>) o di larice (<i>Larix decidua</i>) a 3, 5 e 7 strati incrociati. Il prodotto dovrà avere marcatura CE per i prodotti da costruzione e relativa dichiarazione di Prestazione (DoP) come previsto dal regolamento UE n. 305/2011 o, qualora non sussista l'obbligo di marcatura CE, qualificati secondo le NTC in vigore. Sono compresi nel prezzo la lavorazione dei pannelli con centro di taglio a controllo numerico, i tagli, gli sfridi, i fori per porte e finestre. Nel prezzo sono inclusi gli oneri per l'idonea ferramenta provvisoria necessaria per il trasporto e la movimentazione nell'ambito del cantiere, il montaggio a cura di personale specializzato, eventuali lavorazioni di incastro e accoppiamento, le viti, gli angolari, le staffe per il fissaggio della struttura, gli idonei profili per l'abbattimento acustico, i tappi in legno per il mascheramento dei punti di fissaggio, perfettamente allineati, la nastratura e quant'altro per garantire la perfetta sigillatura all'aria. Nel prezzo è compreso il trasporto in cantiere ma non il trattamento con prodotto impregnante che verrà compensato a parte. Il prodotto deve essere accompagnato dai disegni costruttivi di cantiere, dalle istruzioni di montaggio e dall'eventuale piano di manutenzione, forniti dal produttore o dal progettista e accettati dalla D.L. In accordo alla normativa vigente, la ditta esecutrice delle lavorazioni che non sia anche produttrice, dovrà essere accreditata presso il Servizio Tecnico Centrale del CSLPP come centro di trasformazione di elementi strutturali in legno ed essere in possesso dell'attestato di qualificazione.	
	01.A17.A71.010	a 5 strati, in legno di abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>)	27.84%
	01.A17.A71.015	a 7 strati, in legno di abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>)	28.52%
Travi	01.A17.A70	Fornitura e posa in opera di travi, travetti e simili in legno lamellare con le lavorazioni e ferramenta occorrenti, nessuna opera esclusa; Escluso il nolo di gru	
	01.A17.A70.010	In abete (<i>Picea abies</i> , <i>Abies alba</i>) per edifici industriali	8.68%

Figura 122 – Stralcio dal prezzo della Regione Piemonte con incidenza percentuale di manodopera sulle lavorazioni interessate

4. Definizione della Squadra Operativa

Dovuto alla peculiarità del sistema costruttivo, la squadra operativa tipo è stata pensata come composta da 5 operai così suddivisi:

- 1 operaio di IV livello (Capo-squadra);
- 3 operai specializzati per il montaggio degli elementi prefabbricati
- 1 operaio specializzato per la movimentazione degli elementi.

5. Definizione del Costo medio orario della squadra operativa $\bar{K}_{S.O.}$.

Una volta definita la Squadra-Tipo è fondamentale a fine del calcolo delle tempistiche identificare dall'apposita voce da prezziario il costo orario unitario del singolo lavoratore e quello medio della squadra operativa $\bar{K}_{S.O.}$.

N.	Operaio	Costo [€/h]
1	IV livello	38.90 €
4	Specializzato	36.91 €
$\bar{K}_{S.O.}$	Costo medio squadra operativa	37.31 €

Figura 123 – Calcolo del costo medio orario della squadra operativa

Bisogna precisare che le lavorazioni – e quindi le tariffe degli operai – sono state pensate solo in ore diurne di giorni feriali.

6. Definizione del numero di ore lavorative giornaliere h_{lav}

Inoltre è necessario definire il numero ed i turni previsti in cantiere. Nel caso specifico preso in esame è stato deciso di operare su un unico turno di 8 ore lavorative.

7. Definizione del costo della manodopera per ogni singola lavorazione $K_{MO_{lav}}$.

Il costo della manodopera per ogni lavorazione $K_{MO_{lav}}$ è dato dal rapporto tra la percentuale della manodopera relativa alla singola lavorazione $\%MO_{lav}$ ed il costo K_{lav} della stessa depurato da l'utile d'impresa (per una quota pari al 10%) e dalle spese generali (per una quota pari al 15%) K_{lavDEP} .

ELEMENTO	CODICE DEL PREZZARIO REGIONE PIEMONTE 2021	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA	COSTO SINGOLA LAVORAZIONE	UTILE D'IMPRESA	SPESE GENERALI	COSTO LAVORAZIONE DEPURATO	INCIDENZA DELLA MANODOPERA	COSTO DELLA MANODOPERA
			K_{lav}	-10%	-15%	K_{lavDEP}	$\%MO_{lav}$	$K_{MO_{lav}}$
Pannelli X-Lam	01.A17.A71.010	a 5 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	54 319.72 €	5 431.97 €	8 147.96 €	40 739.79 €	27.84%	11 341.96 €
	01.A17.A71.015	a 7 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	59 232.97 €	5 923.30 €	8 884.94 €	44 424.72 €	28.52%	12 669.93 €
Travi in legno	01.A17.A70.010	In abete (Picea abies, Abies alba) per edifici industriali	1 551.12 €	155.11 €	232.67 €	1 163.34 €	8.68%	100.98 €

Figura 124 - Determinazione del costo della manodopera per le lavorazioni indicate

8. Definizione del costo giornaliero della manodopera per ogni singola lavorazione K_{ggMO} .

Il costo giornaliero della manodopera per ogni singola lavorazione K_{ggMO} è definito come prodotto tra il costo medio della squadra operativa $\bar{K}_{S.O.}$ per le ore di lavorazione giornaliera h_{lav} .

$$K_{ggMO} = \bar{K}_{S.O.} \cdot h_{lav} = 37,31 \cdot 8 = \mathbf{298.46 \text{ €/gg}}$$

9. Definizione degli Uomini-Giorno UG .

Il calcolo per la durata delle lavorazioni prosegue con la definizione degli uominigiorno; ovvero del numero complessivo presunto delle giornate lavorative impiegate nel cantiere.

Gli Uomini-Giorno vengono definiti come il rapporto tra il costo della manodopera delle singole lavorazioni $K_{MO_{lav}}$ e il costo giornaliero della manodopera K_{ggMO} .

$$UG = \frac{K_{MO_{lav}}}{K_{ggMO}} \left[\frac{\text{n. uomini}}{\text{gg}} \right]$$

La seguente tabella mostra il calcolo degli Uomini-Giorno per ogni lavorazione.

ELEMENTO	CODICE DEL PREZZARIO REGIONE PIEMONTE 2021	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA	COSTO DELLA MANODOPERA	COSTO GIORNALIERO DELLA MANODOPERA	UOMINI GIORNO
			$K_{MO_{lav}}$	K_{ggMO}	UG
Pannelli X-Lam	01.A17.A71.010	a 5 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	11 341.96 €	298.48 €	38.00
	01.A17.A71.015	a 7 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	12 669.93 €	298.48 €	42.45
Travi in legno	01.A17.A70.010	In abete (Picea abies, Abies alba) per edifici industriali	100.98 €	298.48 €	0.34

Figura 125 – Definizione degli Uomini-Giorno

10. Definizione della durata della singola lavorazione t_{lav} .

Per determinare la durata della singola lavorazione t_{lav} è sufficiente dividere il numero degli Uomini-Giorno (UG) per il numero degli operai presente nella squadra operativa (n_{SO}) che nel caso in esame risulta essere cinque.

11. Definizione della durata totale t_{Tot} .

Definita la durata di ogni singola lavorazione, la durata totale pre la realizzazione del blocco A con tecnologia costruttiva a secco – pannelli portanti in legno X-Lam – è determinata come banale somma algebrica dei valori di t_{lav} . Come mostra la tabella seguente la durata complessiva delle lavorazioni è di circa 16 giorni; è necessario specificare che il valore numerico della durata delle lavorazioni deve sempre essere arrotondato per eccesso.

ELEMENTO	CODICE DEL PREZZARIO REGIONE PIEMONTE 2021	DESCRIZIONE DELLA TIPOLOGIA	UOMINI GIORNO	NUMERO COMPONENTI SQUADRA OPERATIVA	DURATA SINGOLE LAVORAZIONI (GG)
			UG	n_{SO}	t_{lav}
Pannelli X-Lam	01.A17.A71.010	a 5 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	38.00	5	7.50
	01.A17.A71.015	a 7 strati, in legno di abete (Picea abies, Abies alba)	42.45	5	8.20
Travi in legno	01.A17.A70.010	In abete (Picea abies, Abies alba) per edifici industriali	0.34	5	0.07
TOTALE DURATA LAVORAZIONI			t_{Tot}		15.77

Figura 126 – Definizione della durata delle lavorazioni (singole e complessive)

Di seguito viene riportata la tabella più dettagliata relativa al calcolo appena svolto per la struttura in tecnologia costruttiva a secco.

TABELLA STUTTURA IN LEGNO.

ABACO DEI MURI												
N°	POSIZIONE	ELEMENTO	BLOCCO	CODICE	MATERIALE	SAGOMATO	ALTEZZA [cm]	LARGHEZZA[cm]	SPESSORE[cm]	VOLUME	€/m3	€
1	1			SI_MX_L_S120_SR_A1	LEGNO	NO	310	1000	12	3,72	1221,42	4543,68
2	2			SI_MX_L_S120_SR_A2	LEGNO	SI	310	890	12	3,31	1221,42	4043,88
3	3			SI_MX_L_S180_RV_A3	LEGNO	NO	310	510	18	2,85	1221,42	3475,92
4	4			SI_MX_L_S180_RV_A4	LEGNO	NO	310	650	18	3,63	1221,42	4430,09
5	5			SI_MX_L_S120_RV_A5	LEGNO	SI	310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
6	6			SI_MX_L_S120_RV_A6	LEGNO	NO	310	790	12	2,94	1221,42	3589,51
7	7			SI_MX_L_S120_RV_A7	LEGNO	SI	310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
8	8	MURO	A	SI_MX_L_S120_RV_A8	LEGNO	NO	310	500	12	1,86	1221,42	2271,84
9	9			SI_MX_L_S120_RV_A9	LEGNO	SI	310	800	12	2,98	1221,42	3634,95
10	10			SI_MX_L_S120_RV_A10	LEGNO	NO	310	500	12	1,86	1221,42	2271,84
11	11			SI_MX_L_S120_RV_A11	LEGNO	SI	310	800	12	2,98	1221,42	3634,95
12	12			SI_MX_L_S120_RV_A12	LEGNO	SI	310	690	12	2,57	1221,42	3135,14
13	13			SI_MX_L_S120_RV_A13	LEGNO	SI	310	500	12	1,86	1221,42	2271,84
14	14			SI_MX_L_S120_RV_A14	LEGNO	SI	310	690	12	2,57	1221,42	3135,14
15	15			SI_MX_L_S180_RV_A15	LEGNO	SI	310	910	18	5,08	1221,42	6202,13
16	16			SI_MX_L_S120_RV_A16	LEGNO	SI	310	910	12	3,39	1221,42	4134,75
										TOTALE PARZIALE	54.319,72 €	
ABACO TRAVI												
N°	POSIZIONE	ELEMENTO	BLOCCO	CODICE	MATERIALE	SAGOMATO	ALTEZZA [cm]	LARGHEZZA[cm]	LUNGHEZZA[cm]	VOLUME	€/m3	€
1	1			SI_TRV_L_S120_FV_A1	LEGNO	NO	30	12	500	0,180	1566,79	282,02
2	2			SI_TRV_L_S120_FV_A2	LEGNO	NO	30	12	260	0,094	1566,79	146,65
3	3	TRAVE	A	SI_TRV_L_S120_FV_A3	LEGNO	NO	30	12	260	0,094	1566,79	146,65
4	4			SI_TRV_L_S180_FV_A4	LEGNO	NO	30	12	360	0,130	1566,79	203,06
5	5			SI_TRV_L_S180_FV_A5	LEGNO	NO	30	18	680	0,367	1566,79	575,33
6	6			SI_TRV_L_S120_FV_A6	LEGNO	NO	30	12	350	0,126	1566,79	197,42
										TOTALE PARZIALE	1.551,12 €	

Figura 127 – Stima dei costi di fornitura e posa in opera struttura X-Lam

ABACO SOLAIO												
N°	POSIZIONE	ELEMENTO	BLOCCO	CODICE	MATERIALE	SAGOMATO	LUGHEZZA [cm]	LARGHEZZA[cm]	SPESORE[cm]	VOLUME[m3]	€/m3	€
1	1			SI_SX_L_S200_RV_A1	LEGNO	SI	910	150	20	2,73	1192,53	3255,61
2	2			SI_SX_L_S200_RV_A2	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
3	3			SI_SX_L_S200_RV_A3	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
4	4			SI_SX_L_S200_RV_A4	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
5	5			SI_SX_L_S200_RV_A5	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
6	6			SI_SX_L_S200_RV_A6	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
7	7			SI_SX_L_S200_RV_A7	LEGNO	NO	900	100	20	1,80	1192,53	2146,55
8	8			SI_SX_L_S200_RV_A8	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
9	9			SI_SX_L_S200_RV_A9	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
10	10	SOLAIO	A	SI_SX_L_S200_RV_A10	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
11	11			SI_SX_L_S200_RV_A11	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
12	12			SI_SX_L_S200_RV_A12	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
13	13			SI_SX_L_S200_RV_A13	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
14	14			SI_SX_L_S200_RV_A14	LEGNO	NO	900	150	20	2,70	1192,53	3219,83
15	15			SI_SX_L_S200_RV_A15	LEGNO	SI	910	150	20	2,73	1192,53	3255,61
16	16			SI_SX_L_S200_RV_A16	LEGNO	NO	910	150	20	2,73	1192,53	3255,61
17	17			SI_SX_L_S200_RV_A17	LEGNO	NO	910	150	20	2,73	1192,53	3255,61
18	18			SI_SX_L_S200_RV_A18	LEGNO	NO	910	150	20	2,73	1192,53	3255,61
19	19			SI_SX_L_S200_RV_A19	LEGNO	NO	910	100	20	1,82	1192,53	2170,40
TOTALE PARZIALE											59.232,97 €	
Totale											115.103,81 €	

Figura 128 - Stima dei costi di fornitura e posa in opera struttura X-Lam

Dopo aver ottenuto il costo di costruzione, si prosegue con il calcolo dei tempi di realizzazione elencati nella tabella successiva.

VOCE D'OPERA	PREZZO DELLA VOCE K _{lav}	UTILE D'IPRESA	SPESE GENERALI	PREZZO DELLA VOCE D'OPERA - UT - SG	INCIDENZA % MANO D'OPERA	K _{MOlav} COSTI DELLA SOLA MANO D'OPERA	h _{lav} ORE GIORNALIERE DI LAVORO	K _{SO} COSTO ORARIO MANO D'OPERA	K _{GGMO} COSTO GIORNALIERO DELLAM.O.	UG UOMINI GIORNO	NUMERO COMPONENTI SQUADRA STANDARD	t _{lav} DURATA NORMALE DELLA VOCE D'OPERA (GG)
PARETI												
SI_MX_L_S120_SR_A1	4.543,68 €	454,37 €	681,55 €	3.407,76 €	27%	920,10 €	8	37,31 €	298,46 €	3,08	5	0,62
SI_MX_L_S120_SR_A2	4.043,88 €	404,39 €	606,58 €	3.032,91 €	27%	818,89 €	8	37,31 €	298,46 €	2,74	5	0,55
SI_MX_L_S180_RV_A3	3.475,92 €	347,59 €	521,39 €	2.606,94 €	27%	703,87 €	8	37,31 €	298,46 €	2,36	5	0,47
SI_MX_L_S180_RV_A4	4.430,09 €	443,01 €	664,51 €	3.322,57 €	27%	897,09 €	8	37,31 €	298,46 €	3,01	5	0,60
SI_MX_L_S120_RV_A5	1.772,04 €	177,20 €	265,81 €	1.329,03 €	27%	358,84 €	8	37,31 €	298,46 €	1,20	5	0,24
SI_MX_L_S120_RV_A6	3.589,51 €	358,95 €	538,43 €	2.692,13 €	27%	726,88 €	8	37,31 €	298,46 €	2,44	5	0,49
SI_MX_L_S120_RV_A7	1.772,04 €	177,20 €	265,81 €	1.329,03 €	27%	358,84 €	8	37,31 €	298,46 €	1,20	5	0,24
SI_MX_L_S120_RV_A8	2.271,84 €	227,18 €	340,78 €	1.703,88 €	27%	460,05 €	8	37,31 €	298,46 €	1,54	5	0,31
SI_MX_L_S120_RV_A9	3.634,95 €	363,49 €	545,24 €	2.726,21 €	27%	736,08 €	8	37,31 €	298,46 €	2,47	5	0,49
SI_MX_L_S120_RV_A10	2.271,84 €	227,18 €	340,78 €	1.703,88 €	27%	460,05 €	8	37,31 €	298,46 €	1,54	5	0,31
SI_MX_L_S120_RV_A11	3.634,95 €	363,49 €	545,24 €	2.726,21 €	27%	736,08 €	8	37,31 €	298,46 €	2,47	5	0,49
SI_MX_L_S120_RV_A12	3.135,14 €	313,51 €	470,27 €	2.351,36 €	27%	634,87 €	8	37,31 €	298,46 €	2,13	5	0,43
SI_MX_L_S120_RV_A13	2.271,84 €	227,18 €	340,78 €	1.703,88 €	27%	460,05 €	8	37,31 €	298,46 €	1,54	5	0,31
SI_MX_L_S120_RV_A14	3.135,14 €	313,51 €	470,27 €	2.351,36 €	27%	634,87 €	8	37,31 €	298,46 €	2,13	5	0,43
SI_MX_L_S180_RV_A15	6.202,13 €	620,21 €	930,32 €	4.651,59 €	27%	1.255,93 €	8	37,31 €	298,46 €	4,21	5	0,84
SI_MX_L_S120_RV_A16	4.134,75 €	413,48 €	620,21 €	3.101,06 €	27%	837,29 €	8	37,31 €	298,46 €	2,81	5	0,56
TRAVI												
SI_TRV_L_S120_FV_A1	282,02 €	28,20 €	42,30 €	211,52 €	9%	18,36 €	8	37,31 €	298,46 €	0,06	5	0,01
SI_TRV_L_S120_FV_A2	146,65 €	14,67 €	22,00 €	109,99 €	9%	9,55 €	8	37,31 €	298,46 €	0,03	5	0,01
SI_TRV_L_S120_FV_A3	146,65 €	14,67 €	22,00 €	109,99 €	9%	9,55 €	8	37,31 €	298,46 €	0,03	5	0,01
SI_TRV_L_S180_FV_A4	203,06 €	20,31 €	30,46 €	152,29 €	9%	13,22 €	8	37,31 €	298,46 €	0,04	5	0,01
SI_TRV_L_S180_FV_A5	575,33 €	57,53 €	86,30 €	431,49 €	9%	37,45 €	8	37,31 €	298,46 €	0,13	5	0,03
SI_TRV_L_S120_FV_A6	197,42 €	19,74 €	29,61 €	148,06 €	9%	12,85 €	8	37,31 €	298,46 €	0,04	5	0,01

Figura 129 - Calcolo dei tempi di realizzazione struttura portante in X-Lam

VOCE D'OPERA	PREZZO DELLA VOCE D'OPERA	UTILE D'IPRESA	SPESE GENERALI	PREZZO DELLA VOCE D'OPERA - UT - SG	INCIDENZA % MANO D'OPERA	K _{MDlav} COSTI DELLA SOLA MANO D'OPERA	h _{lav} ORE GIORNALIERE DI LAVORO	K _{SO} COSTO ORARIO MANO D'OPERA	K _{ggVO} COSTO GIORNALIERO DELL'AM.O.	UG UOMINI GIORNO	NUMERO COMPONENTI SQUADRA STANDARD	t _{lav} DURATA NORMALE DELLA VOCE D'OPERA (GG)
VOCE D'OPERA	K _{lav}				%MO _{lav}							
SOLAI												
SI_SX_L_S200_RV_A1	3.255,61 €	325,56 €	488,34 €	2.441,71 €	28%	683,68 €	8	37,31 €	298,46 €	2,29	5	0,46
SI_SX_L_S200_RV_A2	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A3	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A4	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A5	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A6	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A7	2.146,55 €	214,66 €	321,98 €	1.609,92 €	28%	450,78 €	8	37,31 €	298,46 €	1,51	5	0,30
SI_SX_L_S200_RV_A8	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A9	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A10	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A11	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A12	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A13	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A14	3.219,83 €	321,98 €	482,97 €	2.414,87 €	28%	676,16 €	8	37,31 €	298,46 €	2,27	5	0,45
SI_SX_L_S200_RV_A15	3.255,61 €	325,56 €	488,34 €	2.441,71 €	28%	683,68 €	8	37,31 €	298,46 €	2,29	5	0,46
SI_SX_L_S200_RV_A16	3.255,61 €	325,56 €	488,34 €	2.441,71 €	28%	683,68 €	8	37,31 €	298,46 €	2,29	5	0,46
SI_SX_L_S200_RV_A17	3.255,61 €	325,56 €	488,34 €	2.441,71 €	28%	683,68 €	8	37,31 €	298,46 €	2,29	5	0,46
SI_SX_L_S200_RV_A18	3.255,61 €	325,56 €	488,34 €	2.441,71 €	28%	683,68 €	8	37,31 €	298,46 €	2,29	5	0,46
SI_SX_L_S200_RV_A19	2.170,40 €	217,04 €	325,56 €	1.627,80 €	28%	455,78 €	8	37,31 €	298,46 €	1,53	5	0,31
TOTALE GIORNI MONTAGGIO STRUTTURA t_{tot}										15,77		

Figura 130 – Calcolo dei tempi di realizzazione struttura portante in X-Lam

Come si può vedere in tabella il tempo di realizzazione della parte strutturale con tecnica costruttiva a secco relativa al Blocco A è di soli 16 gg lavorativi.

Al fine ultimo del confronto è stato eseguito il medesimo metodo per il calcolo dei tempi di realizzazione del Blocco A. È stato calcolato il costo di costruzione dell'opera utilizzando anche in questo caso il prezzario della Regione Piemonte 2021 e successivamente è definito il tempo di realizzazione della stessa.

LAVORAZIONE	COMPUTO METRICO ESTIMATIVO BLOCCO A							
	n°	CODICE	DESCRIZIONE	U.D.M.	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [euro]	% MO	PREZZO TOTALE [euro]
FONDAZIONE								
Platea	1	01.A04.B20	Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206, per strutture di fondazione (plinti con altezza < 1.5 m. platee di fondazione e muri di spessore < 80 cm. cordoli, pali, travi rovesce, paratie) e muri interrati a contatto con terreni non aggressivi. Classe di esposizione ambientale XC2 (UNI 11104), classi di consistenza al getto S4 e S5 Dmax aggregati 32 mm. Cl 0.4. Fornitura a piè d'opera, escluso ogni altro onere. Classe di resistenza a compressione minima C25/30					
		01.A04.B20.005	Classe di resistenza a compressione minima C25/30	mc	104	92,14		9.582,56 €
260 mq * 0,40 m = 104 mc								
Cassaforma	2	01.A04.M00	Formazione di casseforme per getti in calcestruzzo semplice od armato per un'altezza fino a 3.00 m dal piano di appoggio delle armature di sostegno. nel prezzo si intendono compresi e compensati gli oneri per la fornitura al piano, le opere di banchinaggio, le armature di sostegno e controventamento, i distanziatori metallici completi di staffaggio, il taglio, lo sfrido, il materiale accessorio, le chiodature, il disarmo e la pulizia, l'abbassamento, lo sgombero e quanto altro necessario per dare il lavoro finito a regola d'arte. la misurazione verrà effettuata sulla superficie effettivamente a contatto con il conglomerato cementizio.					
		01.A04.M00.020	Realizzate con pannelli in legno multistrato	mq	29,75	25,7	86,45%	764,58 €
74,38 m perimetro * 0,40 m altezza = 29,75 mq								
Getto platea	3	01.A04.C03	Getto in opera di calcestruzzo cementizio eseguito direttamente da autobetoniera con apposita canaletta					
		01.A04.C03.010	In strutture di fondazione	mc	104	8,73	100,00%	907,92 €
260 mq * 0,4 m = 104 mc								
Acciai	4	01.A04.F10	Acciaio per calcestruzzo armato ordinario, laminato a caldo, classe tecnica B450C, saldabile ad alta duttilità, in accordo alla UNI EN 10080 e conforme al D.M. 14/01/2008, disposto in opera secondo gli schemi di esecuzione del progettista strutturista, compreso gli oneri per la sagomatura, la legatura e le eventuali saldature per giunzioni e lo sfrido					
		01.A04.F10.005	In barre ad aderenza migliorata ottenute nei diametri da 6 mm a 50 mm	kg	12246	1,45	49,28%	17.756,70 €
104 mc * 0,015 = 1,56 mc di armatura 7850 kg/mc * 1,56 mc = 12246 kg armature 12246 kg * 1,45 € = 17756,7 €								
Vibratura	5	01.A04.E00	Vibratura mediante vibratore ad immersione, compreso il compenso per la maggiore quantità di materiale impiegato, noleggio vibratore e consumo energia elettrica o combustibile					
		01.A04.E00.005	Di calcestruzzo cementizio armato	mc	104	8,98	71,30%	933,92 €
							TOTALE PARZIALE	29.945,68 €
PILASTRI								
calcestruzzo pilastri	6	01.A04.B30	Calcestruzzo a prestazione garantita in accordo alla UNI EN 206 per strutture di elevazione (pilastri, travi, solai in latero-cemento e a soletta piena, corpi scala e nuclei ascensore). Classe di esposizione ambientale XC1 (UNI 11104), classi di consistenza al getto S4 e S5, Dmax aggregati 32 mm, Cl 0.4. Fornitura a piè d'opera, escluso ogni altro onere. Classe di resistenza a compressione minima C25/30					
		01.A04.B30.005	Classe di resistenza a compressione minima C25/30	mc	6	95,94		575,64 €
casseratura pilastri	7	01.A04.H30	Casseratura per il contenimento dei getti per opere quali muri, pilastri, archi, volte, parapetti, cordoli, sottofondi, caldane, compreso il puntellamento e il disarmo, misurando esclusivamente lo sviluppo delle parti a contatto dei getti					
		01.A04.H30.005	In legname di qualunque forma	mq	76,86	32,39	92,90%	2.489,50 €
acciai pilastri	8	01.A04.F10	Acciaio per calcestruzzo armato ordinario, laminato a caldo, classe tecnica B450C, saldabile ad alta duttilità, in accordo alla UNI EN 10080 e conforme al D.M. 14/01/2008, disposto in opera secondo gli schemi di esecuzione del progettista strutturista, compreso gli oneri per la sagomatura, la legatura e le eventuali saldature per giunzioni e lo sfrido					
		01.A04.F10.005	In barre ad aderenza migliorata ottenute nei diametri da 6 mm a 50 mm 6(mc)*0,02*7850(kg/mq) = 942,00 (kg)	kg	942,00	1,45	49,28%	1.365,90 €
getto pilastri	9	01.A04.C30	Getto in opera di calcestruzzo cementizio preconfezionato eseguito con pompa compreso il nolo della stessa					
		01.A04.C30.015	In strutture armate	mc	6,00	25,73	43,96%	154,38 €
vibratura pilastri	10	01.A04.E00	Vibratura mediante vibratore ad immersione, compreso il compenso per la maggiore quantità di materiale impiegato, noleggio vibratore e consumo energia elettrica o combustibile					
		01.A04.E00.005	Di calcestruzzo cementizio armato	mc	6,00	8,98	71,30%	53,88 €
							TOTALE PARZIALE	4.639,30 €

LAVORAZIONE	COMPUTO METRICO ESTIMATIVO BLOCCO A							
	n°	CODICE	DESCRIZIONE	U.D.M.	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [euro]	% MO	PREZZO TOTALE [euro]
SOLAIO								
solaio blocchi in latero cemento	11	01.A07.E36	Realizzazione di solaio piano in laterocemento, ad armatura lenta, realizzato con travetti a traliccio e blocchi interposti in laterizio di alleggerimento a norma UNI 9730 2/a, compreso l'impalcato di sostegno provvisorio fino ad un'altezza di cm 350 dal piano d'appoggio, il getto di completamento in calcestruzzo Rck >= 25 N/mm², l'acciaio d'armatura dei travetti, la formazione di rompitratte ed ogni altra opera accessoria per la corretta posa in opera					
		01 01.A07.E36.025	Utilizzando blocchi 2/a UNI 9730-20x38x29, spessore 20+4=24 cm	m²	208	64,48	56,37%	13.411,84 €
rete elettrosaldata	12	01.A07.E55	Fornitura e posa di rete antisfondellamento zincata elettrosaldata diametro 1,8mm, maglia 25,4*25,4 mm, estesa sotto i solai con sovrapposizione minima 10 cm, ancorata con tasselli a percussione in acciaio pieno, corpo cilindrico ed estremità conica da 8 mm di diametro, l=135 mm, con rondelle di diametro maggiore di 40 mm, in ragione di un tassello massimo ogni 90 cm, su ciascun travetto ad interasse 50 cm.					
		01.A07.E55.005	mq	208	18,86	51,26%	3.922,88 €
vibratura solaio	13	01.A04.E00	Vibratura mediante vibratore ad immersione, compreso il compenso per la maggiore quantità di materiale impiegato, noleggio vibratore e consumo energia elettrica o combustibile					
		01.A04.E00.005	Di calcestruzzo cementizio armato	mc	16,64	8,98	71,30%	149,43 €
							TOTALE PARZIALE	17.484,15 €
TRAVI								
calcestruzzo travi	14	01.A04.B30	Calcestruzzo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1, con Classe di consistenza al getto S4, Dmax aggregati 32 mm, Cl 0,4, per strutture di elevazione (pilastri, travi, solai in latero-cemento e a soletta piena, corpi scala e nuclei ascensore); fornitura a piè d'opera, escluso ogni altro onere: all'interno di edifici in Classe di esposizione ambientale XC1 (UNI 11104).					
		01.A04.B30.005	Classe di resistenza a compressione minima C25/30	mc	17,00	95,94		1.630,98 €
Casseratura travi solo da sotto	15	01.A04.H30	Casseratura per il contenimento dei getti per opere quali muri, pilastri, archi, volte, parapetti, cordoli, sottofondi, caldane, compreso il puntellamento e il disarmo, misurando esclusivamente lo sviluppo delle parti a contatto dei getti					
		01.A04.H30.005	In legname di qualunque forma	mq	46,4	32,39	92,90%	1.502,90 €
acciai travi	16	01.A04.F10	Acciaio per calcestruzzo armato ordinario, laminato a caldo, classe tecnica B450C, saldabile ad alta duttilità, in accordo alla UNI EN 10080 e conforme al D.M. 14/01/2008, disposto in opera secondo gli schemi di esecuzione del progettista strutturista, compreso gli oneri per la sagomatura, la legatura e le eventuali saldature per giunzioni e lo sfrido					
		01.A04.F10.005	In barre ad aderenza migliorata ottenute nei diametri da 6 mm a 50 mm 17(mc)*0,02*7850/(kg/mc) = 2670,00 kg	kg	2670	1,45	49,28%	3.871,50 €
getto travi	17	01.A04.C30	Getto in opera di calcestruzzo cementizio preconfezionato eseguito con pompa compreso il nolo della stessa					
		01.A04.C30.015	In strutture armate	m³	17,00	25,73	43,96%	437,41 €
vibratura travi	18	01.A04.E00	Vibratura mediante vibratore ad immersione, compreso il compenso per la maggiore quantità di materiale impiegato, noleggio vibratore e consumo energia elettrica o combustibile					
		01.A04.E00.005	Di calcestruzzo cementizio armato	mc	17	8,98	71,30%	152,66 €
							TOTALE PARZIALE	7.595,45 €
MURI								
muri di tamponamento	19	01.A05.B80.025	Muratura di tamponamento mediante mattoni o blocchi in laterizio, con resistenza al fuoco classe REI 180, legati con giunti di malta per murature del tipo M2, esclusa l'asportazione delle parti lesionate Spessore cm 30	mq	194,64	74,94	56%	14.586,32 €
tramezzi	20	01.A06.A10.045	Tramezzi in mattoni legati con malta di calce In mattoni forati dello spessore di cm 12 e per una superficie complessiva di almeno m² 1m²53,08	mq	170,14	53,08	56%	9.031,03 €
							TOTALE PARZIALE	23.617,35 €
							COSTO TOTALE DI COSTRUZIONE BLOCCO A	83.281,92 €

VOCE D'OPERA	PREZZO DELLA VOCE D'OPERA	UTILE D'IMPRESA	SPESE GENERALI	PREZZO DELLA VOCE D'OPERA - UT-SG	INCIDENZA % MANO D'OPERA	COSTI DELLA SOLA MANO D'OPERA	ORE GIORNALIERE DI LAVORO	COSTO ORARIO MANO D'OPERA	COSTO GIORNALIERO DELL'AM.O.	UOMINI GIORNO	NUMERO COMPONENTI SQUADRA STANDARD	DURATA NORMALE DELLA VOCE D'OPERA (GG)
	K _{lav}				%Mo _{lav}	K _{Mo_{lav}}	h _{lav}	K _{SO}	K _{gg_{la}v}	UG		t _{lav}
cls platea	9.582,56 €	958,26 €	1.245,73 €	7.378,57 €	0%	- €	8	35,18 €	281,46 €	0,00	4	0,00
casseformi platea	764,58 €	76,46 €	99,39 €	588,72 €	86%	506,30 €	8	35,18 €	281,46 €	1,80	4	0,45
getto platea	907,92 €	90,79 €	118,03 €	699,10 €	100%	699,10 €	8	35,18 €	281,46 €	2,48	4	0,62
acciaio	17.756,70 €	1.775,67 €	2.308,37 €	13.672,66 €	49%	6.737,89 €	8	35,18 €	281,46 €	23,94	4	5,98
vibratura cls	933,92 €	93,39 €	121,41 €	719,12 €	71%	512,73 €	8	35,18 €	281,46 €	1,82	4	0,46
cls pilastri	575,64 €	57,56 €	74,83 €	443,24 €	0%	- €	8	35,18 €	281,46 €	0,00	4	0,00
casseformi pilastri	2.489,50 €	248,95 €	323,63 €	1.916,91 €	93%	1.780,81 €	8	35,18 €	281,46 €	6,33	4	1,58
acciai pilastri	1.365,90 €	136,59 €	177,57 €	1.051,74 €	49%	518,30 €	8	35,18 €	281,46 €	1,84	4	0,46
getto pilastri	154,38 €	15,44 €	20,07 €	118,87 €	44%	52,26 €	8	35,18 €	281,46 €	0,19	4	0,05
vibratura pilastri	53,88 €	5,39 €	7,00 €	41,49 €	71%	29,58 €	8	35,18 €	281,46 €	0,11	4	0,03
solai	13.411,84 €	1.341,18 €	1.743,54 €	10.327,12 €	80%	8.261,69 €	8	35,18 €	281,46 €	29,35	4	7,34
rete elettrosaldata solai	3.922,88 €	392,29 €	509,97 €	3.020,62 €	51%	1.548,37 €	8	35,18 €	281,46 €	5,50	4	1,38
getto solai	149,43 €	14,94 €	19,43 €	115,06 €	71%	82,04 €	8	35,18 €	281,46 €	0,29	4	0,07
cls travi	1.630,98 €	163,10 €	212,03 €	1.255,85 €	0%	- €	8	35,18 €	281,46 €	0,00	4	0,00
casseformi travi	1.502,90 €	150,29 €	195,38 €	1.157,23 €	93%	1.075,07 €	8	35,18 €	281,46 €	3,82	4	0,95
acciai travi	3.871,50 €	387,15 €	503,30 €	2.981,06 €	49%	1.469,06 €	8	35,18 €	281,46 €	5,22	4	1,30
getto travi	437,41 €	43,74 €	56,86 €	336,81 €	44%	148,06 €	8	35,18 €	281,46 €	0,53	4	0,13
vibratura travi	152,66 €	15,27 €	19,85 €	117,55 €	144%	169,22 €	8	35,18 €	281,44 €	0,60	4	0,15
muratura di tamponamento	14.586,32 €	1.458,63 €	1.896,22 €	11.231,47 €	56%	6.289,62 €	8	35,18 €	281,46 €	22,35	4	5,59
tramezzatura	9.031,03 €	903,10 €	1.174,03 €	6.953,89 €	56%	3.894,18 €	8	35,18 €	281,46 €	13,84	4	3,46
TOTALE											22,49	
23 gg lavorativi per la realizzazione del blocco A												
A questo tempo va aggiunto quello relativo all'asciugatura del calcestruzzo e al successivo disarmo delle strutture pari a 28 gg.												
Per un ammontare di											51 gg	

6.4.4 Risultati

Sistema costruttivo	Costi di realizzazione	Tempi di realizzazione
A secco X-lam	115'103,81 €	16 gg
A umido cls armato e muratura	83'281,92 €	51 gg

Figura 131 - Tabella riepilogativa

Dalla tabella è possibile affermare che la tecnica costruttiva con pannelli X-Lam comporta una notevole riduzione del tempo di realizzazione a scapito di un costo di realizzazione più elevato.

Il primo sistema sicuramente porterebbe a una rapida realizzazione dell'opera e a un suo rapido utilizzo, con un impatto minimo a livello ambientale ma con un costo decisamente più elevato. Invece, il secondo sistema costruttivo presenta costi più contenuti a discapito di una durata maggiore di realizzazione dell'opera e di un maggiore impatto a livello ambientale.

La scelta fra due sistemi costruttivi è quindi fortemente influenzata dagli obiettivi prefissati che si vogliono raggiungere e dalle scelte progettuali relative ad essi. In questo caso era quello di avere un basso impatto ambientale e di velocizzare i tempi di realizzazione dell'opera.

6.5 Ulteriori condiserazioni

6.5.1 Confronto dei tempi con metodo costruttivo pratico

Come risulta visibile dalla tabella per la realizzazione della struttura portante con tecnologia a secco del blocco A occorrono solamente 16 gg lavorativi.

Non esistendo un metodo univoco per la determinazione della durata complessiva delle lavorazioni, si è deciso di effettuare un'ulteriore analisi dei tempi basata su uno studio-pratico del montaggio degli elementi prefabbricati in legno svolto dall'azienda X-Lam Italia.

Tale studio afferma che è possibile montare edifici a due piani con le seguenti caratteristiche in soli due giorni e mezzo:

- Superficie complessiva pannelli a parete: 314 mq;
- Superficie complessica pannelli a solaio: 233 mq.

Con tali valori è stato possibile definire il numero di metriquadri medi montabili al giorno, che risulta essere pari a:

$$\frac{S}{t} = \frac{547}{2.5} = 218 \frac{mq}{gg}$$

Per affrontare il precedente calcolo si è considerata l'intera superficie di pannelli – senza distinzione tra quelli a parete e quelli a solaio – che risulta essere pari a 547 mq.

Il valore determinato può essere considerato come coefficiente proporzionale tra edifici simili. Infatti, applicando tale metodo al caso studio e ricordando che la superficie complessiva dei pannelli in legno del solo Blocco A è pari a 566 mq, si ottiene:

$$t_{mont_A} = \frac{S_{Bloc.A}}{\frac{S}{t}} = \frac{566}{218} = 2.66 \text{ gg} \approx \mathbf{3gg}$$

Ciò mostra che seguendo tale studio-pratico il blocco A potrebbe essere montato in soli 3 giorni; tempo di costruzione decisamente inferiore rispetto a quello determinato con il metodo precedente.

È necessario sottolineare però che il presente calcolo non tiene conto della squadra operativa impiegata; informazione di importanza fondamentale in quanto una minima variazione del numero dei componenti della stessa potrebbe influire pesantemente nel calcolo del tempo di montaggio.

6.5.2 Costo di realizzazione della struttura in X-Lam dell'intera opera

Come più volte specificato, tutte le analisi di confronto sono state eseguite considerando unicamente il Blocco A; per completezza si è deciso quindi di definire il costo di realizzazione della struttura portante in legno dell'intera opera.

Per fare ciò è stato necessario calcolare il volume totale di tutti gli elementi prefabbricati che compongono l'intera struttura e successivamente moltiplicarlo per il costo associato alla relativa voce di prezzo.

MURI BLOCCHI B,C,D							
ELEMENTO	BLOCCO	ALTEZZA [cm]	LARGHEZZA[cm]	SPESSORE[cm]	VOLUME	COSTO €/m3	COSTO €
MURO	A,B,C	310	1000	18	5,58	1221,42	6815,52
		310	1000	18	5,58	1221,42	6815,52
		310	1000	18	5,58	1221,42	6815,52
		310	1000	18	5,58	1221,42	6815,52
		310	1000	18	5,58	1221,42	6815,52
		310	1530	18	8,54	1221,42	10427,75
		310	1165	18	6,50	1221,42	7940,08
		310	1860	18	10,38	1221,42	12676,87
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1221,42	1772,04
		310	390	12	1,45	1222,42	1773,49
		310	390	12	1,45	1223,42	1774,94
		310	790	12	2,94	1224,42	3598,33
		310	790	12	2,94	1225,42	3601,26
		310	790	12	2,94	1226,42	3604,20
		310	790	12	2,94	1227,42	3607,14
		310	790	12	2,94	1228,42	3610,08
		310	900	12	3,35	1229,42	4116,10
		310	900	12	3,35	1230,42	4119,45
		310	900	12	3,35	1231,42	4122,79
		310	900	12	3,35	1232,42	4126,14
		310	900	12	3,35	1233,42	4129,49
		310	860	12	3,20	1234,42	3949,16
		310	550	12	2,05	1235,42	2527,67
		310	550	12	2,05	1236,42	2529,72
310	550	12	2,05	1237,42	2531,76		
310	435	12	1,62	1238,42	2004,01		
310	271	12	1,01	1239,42	1249,48		
310	600	12	2,23	1240,42	2768,62		
310	600	12	2,23	1241,42	2770,85		
310	300	12	1,12	1242,42	1386,54		
310	300	12	1,12	1243,42	1387,66		
310	320	12	1,19	1244,42	1481,36		
							146.068,85 €

TRAVI BLOCCHI B,C,D							
ELEMENTO	BLOCCO	ALTEZZA [cm]	LARGHEZZA[cm]	LUNGHEZZA[cm]	VOLUME	€/m3	€
TRAVI	A,B,C	30	12	700	0,252	1566,79	394,83
		30	12	620	0,223	1567,79	349,93
		30	12	540	0,194	1566,79	304,58
		30	12	420	0,151	1566,79	236,90
		30	12	270	0,097	1566,79	152,29
		30	12	270	0,097	1567,79	152,39
		30	18	585	0,316	1568,79	495,58
		30	18	660	0,356	1569,79	559,47
		30	18	540	0,292	1570,79	458,04
		30	18	390	0,211	1571,79	331,02
		30	18	270	0,146	1572,79	229,31
							1590,93
SOLAI BLOCCHI B,C,D							
ELEMENTO	BLOCCO	-	AREA[m2]	SPESSORE[cm]	VOLUME[m3]	COSTO €/m3	COSTO €
SOLAI	A,B,C		886,5	20,0	177,30	1192,53	211435,57
							211435,57
						Totale BLOCCHI B,C,D	359.095,34 €
						Totale BLOCCO A	115.103,81 €
COSTO TOTALE STRUTTURA IN PANNELLI X-LAM							474.199,15 €

Come riportato dalle precedenti tabelle il costo di realizzazione della struttura portante in legno Xl-Lam dell'opera è di 474'199,15 €.

6.5.3 Costo di costruzione dell'intera opera

Si è voluto infine stimare un probabile costo di costruzione dell'intera opera. L'aggettivo "probabile" è stato appositamente inserito per tenere conto che in questi ultimi mesi il mercato dell'edilizia risulta volatile in quanto sta subbendo notevoli variazioni del prezzo dei materiali.

Per stimare il costo di costruzione dell'intera opera si è proceduto con un'analisi per analogia di progetti simili, nel caso specifico tali progetti sono quelli presenti nei precedenti capitoli.

Tale analisi ha permesso di definire e determinare il parametro - costo di costruzione su superficie lorda edificata, espressa in €/mq - utile al fine di stimare il valore di costruzione dell'opera.

È bene precisare che tale tecnica di stima, seppur poco accurata, può essere considerata attendibile in quanto i progetti scelti presentano un notevole numero di caratteristiche tecnico-costruttive analoghe le une dall'altre. La seguente tabella riporta le caratteristiche delle varie scuole presentate al capitolo 3.

TABELLA RIASSUNTIVA							
Scuola	Località	Anno costruzione	Superficie m ²	Costo €	Costo €/mq	Classe energetica	Tecnologia costruttiva
Scuola dell'infanzia	Merano (Trentino-Alto Adige)	2009	914	1.300.000	1'422,32	CasaclimaA	Platform frame
Scuola dell'infanzia	Mazzè (TO)	2009	1.115	1.840.000	1'649,60	CasaclimaA	Legno X-Lam
Scuola dell'infanzia	Cascina (PI)	2012-2013	740	1.095.800	1'480,81	CasaclimaA	Legno X-Lam
Scuola dell'infanzia	Sequals (PN)	2012-2014	830	1.091.678	1'315,27	CasaclimaA	Legno X-Lam
Nido d'infanzia	Guastalla (RE)	2014-2015	1400	2.270.000	1'621,42	CasaclimaA	Legno lamellare
Scuola d'infanzia	Bolzano	2015-2017	2.443	5.891.070	2'411,40	CasaclimaA	Legno X-Lam
Scuola dell'infanzia	Bagnolo Mella (BS)	2016-2017	2500	4.260.000	1'704,00	LEED Platinum	Legno lamellare
Asilo nido	Milano	2017-2018	1000	3.500.000	3'500,00	LEED Platinum	Legno X-Lam

Considerando tutto ciò precedentemente riportato, tra le diverse scuole presentate si è deciso di considerare nel calcolo della stima dei costi di costruzione le seguenti scuole:

- Scuola materna comunale – Arch. Giambattista Pomatto in Mazze (TO)
- Scuola d’infanzia – Colucci & Partners Architettura in Cascina (PI)
- Scuola materna – Arch. Ado Furland e Arch. Vittorio Pierini in Sequals (PN)

In quanto presentano sistema costruttivo portante con tecnologia in legno X-Lam.

Dal presente elenco risultano esclusi i progetti di:

- Asilo nido “BabyLife” – Studi di architettura o2arch in Milano;
- Scuola materna e asilo nido – Archh. Antonio d’Alessandro e Francesca Maruccia in Bolzano

Poiché, seppur presentano anch’essi un sistema costruttivo portante con tecnologia in legno X-Lam, presentano un complesso sistema tecnico-costruttivo dovuto rispettivamente all’ubicazione della stessa e alle caratteristiche architettoniche progettate (due piani fuori terra).

L’iter seguito per la definizione e la determinazione del costo di realizzazione dell’intera opera è il seguente:

1. Calcolo della media dei costi di costruzione:

$$\bar{K}_R = \frac{1'649,60 + 1'480,8 + 1'1315,27}{3} = 1'481,90 \frac{\text{€}}{\text{mq}}$$

2. Identificazione della superficie totale lorda edificata (S_L) pari a **1'150 mq**;
3. Determinazione del costo di realizzazione dell’intera opera, che risulta essere pari a:

$$K_{Tot} = \bar{K}_R * S_L = 1'481,90 * 1'150 = 1'704'185,00 \text{ €}$$

Inoltre è stato anche eseguito il calcolo dell’incidenza percentuale della struttura portante sull’intera opera ; che risulta essere:

$$I_{STR} = \frac{K_{STR}}{K_{Tot}} = \frac{472'028,75}{1'704'185,00} = 0,27 \rightarrow 27\%$$

7 Conclusioni

7.1 Considerazioni finali sui diversi sistemi costruttivi

È possibile affermare, come la forte ingegnerizzazione del legno abbia permesso a questo materiale di sfruttare il suo massimo potenziale, portando allo sviluppo di nuove tecniche costruttive, che lo rendono nuovamente competitivo nel mondo delle costruzioni come materiale tecnologicamente innovativo ed ecosostenibile.

Le proprietà intrinseche del legno unite ad una sapiente progettazione portano a risultati tecnici inarrivabili rispetto agli altri sistemi costruttivi.

Essendo un materiale con bassi valori di conducibilità termica, l'accoppiamento con altri materiali anch'essi naturali, conferisce all'edificio alte performance dal punto di vista energetico riducendo drasticamente il consumo di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.

Proprio per questo, la scelta del sistema costruttivo è ricaduta sul legno ed in particolare sui pannelli X-Lam. Tale scelta nasce in parte perché un numero significativo delle scuole studiate nel capitolo 3 presentano questa tecnologia costruttiva e in parte perché pur avendo sotto diversi aspetti una grande somiglianza con il Platform frame, il pannello X-Lam presenta una maggior robustezza strutturale.

Uno dei punti di forza di questa tecnica costruttiva è senza dubbio la prefabbricazione ovvero la possibilità di spostare più lavorazioni tipicamente svolte in cantiere, in stabilimenti controllati e al riparo da fenomeni atmosferici; fenomeni da non sottovalutare in quanto possibili cause di rallentamento. Sono diverse le lavorazioni svolte negli stabilimenti a partire dal taglio effettuato con macchine CNC, fino ad arrivare alla predisposizione degli impianti elettrici e idrici o addirittura la possibilità di installare gli infissi, al fine di garantire la rapida messa in servizio, evitando probabili sorprese su tempi e costi.

Il cantiere si trasforma, diventa un luogo più efficiente, pulito e silenzioso. L'utilizzo di materiale reperibile in natura e quindi ecologico e biocompatibile impatta positivamente sull'ambiente, con molteplici benefici durante la realizzazione, l'uso e la dismissione dell'opera.

Come dimostrato nella tesi i tempi di lavorazione delle opere a secco si riducono notevolmente rispetto a quelle tradizionale, a discapito dei costi. Questo processo prevede una sequenza altamente raffinata e progettata di pre-assemblaggio in stabilimento ed un successivo

montaggio dettagliato e studiato precedentemente al fine di minimizzare o addirittura annullare eventuali imprevisti.

Un altro fattore non indifferente è l'uso di manodopera specializzata ovvero svolta da operai con una preparazione tecnico-pratica superiore a quelli qualificati. Tali operai detti operai specializzati sono in grado di eseguire lavorazioni particolari che necessitano di una specifica competenza pratica.

La presenza di operai specializzati in cantiere comporta un'elevata efficienza in termini di sicurezza e di svolgimento delle lavorazioni.

È perfino possibile fissare la data di fine lavori grazie ad una ottima organizzazione logistica e all'assenza di elementi di incertezza.

È quindi possibile affermare che la velocità, l'accuratezza e la sicurezza sul lavoro delle costruzioni a secco comportano una trasformazione del cantiere in tutte le sue parti.

7.2 Considerazioni personali

La stesura di questa tesi mi ha portato a conoscere in maniera più approfondita e tecnica un elemento quale il legno come un prezioso materiale per la realizzazione di edifici, devo ammettere che anch'io inizialmente ero diffidente nei confronti di questo materiale un po' perché non informato riguardo ai suoi pregi e benefici, un po' perché a mio parere soprattutto in Italia quando si pensa alle costruzioni viene in mente subito il calcestruzzo, cosa al quanto normale dato il suo largo utilizzo, ed è proprio per questo che la lenta diffusione di questo materiale sia non tanto dato da un aspetto tecnico quanto culturale.

Penso inoltre che la diffusione nell'edilizia di questo materiale - legno - dalle eccellenti proprietà intrinseche e prestazioni meccaniche, applicato a queste nuove tecniche, possa riscuotersi positivamente a livello ambientale su scala locale e globale.

8 – Indice delle figure

Figura 1 – I 9 Sustainable Development Goals in cui l’edilizia può contribuire in maniera significativa.....	9
Figura 2 – Suddivisione di base dei sistemi costruttivi di legno.....	12
Figura 3 – Schemi costruttivi delle pareti in tronchi	14
Figura 4 – Altri tipi di collegamenti allo spigolo per il sistema costruttivo massiccio.....	15
Figura 5 – Realizzazioni dei nodi nelle costruzioni ad ossatura portante di legno.....	16
Figura 6 – Sistema costruttivo in telaio di legno	17
Figura 7 – Sistemi costruttivi Balloon Frame (a sinistra) e Platform Frame (a destra)	19
Figura 8 – Schema Platform frame	20
Figura 9 – Lastra OBS su struttura a Platform Frame	21
Figura 10 – Sistemi di irrigidimento della struttura in legno	21
Figura 11 – Schema semplificativo delle forze agenti interne e posizionamento dei dispositivi di collegamento con le fondazioni	22
Figura 12 – Dispositivi di collegamento alle fondazioni: Hold-down (a sinistra), Angolari (a destra)	23
Figura 13 – Schema di soluzioni costruttive per copertura: incavallature leggere (a), falsi puntoni su colmareccio (b) e pannelli intelaiati (c).....	24
Figura 14 – Connessioni degli elementi lineari con: viti (a), cambrette (b) e chiodi (c)	25
Figura 15 – Telaio: realizzato in opera (sinistra) e prefabbricato (destra)	25
Figura 16 – Fase di montaggio del sistema costruttivo Platform frame	26
Figura 17 – Fasi di realizzazione del pannello X-Lam.....	30
Figura 18 – Pianta copertura.....	36
Figura 19 – Pianta piano terra	36
Figura 20 – Planimetria Generale.....	36
Figura 21 – Particolare costruttivo	37
Figura 22 – Sezione lato corto	37
Figura 23 – Planimetria generale.....	38
Figura 24 – Pianta piano terra.....	38
Figura 25 – Prospetti.....	39
Figura 26 – Dettaglio connessione parete - fondazione	40
Figura 27 – Dettaglio connessione pareti ortogonali	40
Figura 28 – Dettaglio attacco su rivestimento esterno	40
Figura 29 – Sezione lato corto	41
Figura 30 – Pianta piano terra.....	41
Figura 31 – Planimetria generale	41
Figura 34 – Sezione lato lungo.....	42
Figura 34 – Prospetti	42
Figura 34 – Particolare costruttivo	42
Figura 35 – Particolari costruttivi.....	43
Figura 36 – Planimetria generale.....	44
Figura 37 – Sezione trasversale	45
Figura 38 – Prospetti	45
Figura 39 – Sezione longitudinale.....	45
Figura 40 – Pianta piano terra.....	45
Figura 41 – Particolare costruttivo	46
Figura 42 – Pianta.....	47
Figura 43 – Prospetti	48
Figura 44 – Sezioni trasversali	48
Figura 45 – Sezione longitudinale.....	48
Figura 46 – Particolare costruttivo finestra-parete.....	49
Figura 47 – Particolare costruttivo copertura-parete.....	49
Figura 48 – Particolare costruttivo finestra-copertura	49
Figura 49 – Planimetria generale	50
Figura 50 – Planimetria generale	50

Figura 51 – Sezioni longitudinali	51
Figura 52 – Pianta piano primo	51
Figura 53 – Prospetti.....	52
Figura 54 – Planimetria generale.....	53
Figura 55 – Pianta piano terra	54
Figura 56 – Prospetto.....	54
Figura 57 – Prospetto Principale.....	56
Figura 58 – Prospetto Posteriore	56
Figura 59 – Pianta piano terra	56
Figura 60 – Particolare del P.R.G. del Comune di Mappano	59
Figura 61 – Tabella ampiezza minima necessaria	60
Figura 62 – Superfici lorde	60
Figura 63 – Planimetria generale.....	64
Figura 64 – Organigramma spaziale.....	65
Figura 65 – Studio funzionale degli spazi	65
Figura 66 – Pianta Piano Terra	67
Figura 67 – Pianta Copertura.....	67
Figura 68 – Sezione Longitudinale	68
Figura 69 – Sezione Trasversale	68
Figura 70 – Prospetti dell'edificio.....	68
Figura 71 – Render	69
Figura 72 – Render.....	70
Figura 73 – Particolare costruttivo Fondazione-Parete	71
Figura 74 – Estratto dalla TAV.9.....	74
Figura 75 - Stratigrafia STRM1	74
Figura 76 – Stratigrafia STRM2	75
Figura 77 – Stratigrafia STRM3	75
Figura 78 – Stratigrafia STRM5	76
Figura 79 – Stratigrafia STRM4	76
Figura 80 – Rappresentazione grafica della stratigrafia in esame	77
Figura 81 – Stratigrafia STRC1.....	79
Figura 82 – Report sul vetro basso-emissivo	81
Figura 83 – Report sul vetro selettivo	82
Figura 84 – Modello geometrico del ponte termico	84
Figura 85 – Distribuzione delle temperature all'interno del modello.....	86
Figura 86 – Distribuzione delle temperature e isoterma della temperatura limite.....	88
Figura 87 – Passaggio degli impianti	89
Figura 88 – Schema di scarico e accumulo delle acque meteoriche.	90
Figura 89 – Zonizzazione per il carico neve	100
Figura 90 – Tabella per la stima del coefficiente di forma della copertura.....	101
Figura 91 – Tabella per la definizione del coefficiente di esposizione.....	101
Figura 92 – Schema statico del pannello 7s 200 DL preso in esame	103
Figura 93 – Impostazioni degli appoggi.....	103
Figura 94 – Rappresentazione della sezione resistente.	103
Figura 95 – Stratigrafia della sezione resistente	104
Figura 96 – Caratteristiche meccaniche del legno C24-KLH.....	104
Figura 97 – Valori sezionali	105
Figura 98 – Possibili configurazioni per il trasporto.....	109
Figura 99 – Sistema di cassa scaricabile.....	109
Figura 100 – Identificazione dei quattro blocchi costruttivi.....	111
Figura 101 – Zonizzazione del progetto nei 4 blocchi in funzione della posa in opera dei solai.....	111
Figura 102 – Identificazione degli elementi del blocco A.....	112
Figura 103 – Distinta dei muri del blocco A	113
Figura 104 – Distinta delle travi del blocco A	114
Figura 105 – Distinta degli elementi del solaio di copertura	115

Figura 106 – Schema di rappresentazione dei cordoli di fondazione	116
Figura 107 – Tipologie di collegamento tra fondazione e parete in X-Lam	117
Figura 108 – Elemento di ancoraggio HOLD-DOWN.....	118
Figura 109 – Elemento di collegamento Angolare metallico semplice.....	118
Figura 110 – Collegamento parete-parete con viti di ancoraggio incrociate.....	119
Figura 111 – Collegamento parete-parete a mezzo-legno con viti.....	120
Figura 112 – Collegamento parete-parete con tavola coprigiunto	120
Figura 113 – Collegamento parete angolare con viti di ancoraggio	121
Figura 114 – Collegamento di parete-parete d'incrocio con viti incrociate	121
Figura 115 – Esempi di collegamento tra elementi di solaio di copertura	122
Figura 116 – Esempio di sigillanti con nastro mono-adesivi.....	123
Figura 117 – Esempi di cuscinetti elastici	124
Figura 118 – Diagramma di Gantt	125
Figura 119 – Schema e quantità della struttura in C.A.....	127
Figura 120 – Stralcio del prezzo della Regione Piemonte 2021 per le sole voci interessate.....	130
Figura 121 – Definizione del costo delle singole lavorazioni.....	131
Figura 122 – Stralcio dal prezzo della Regione Piemonte con incidenza percentuale di manodopera sulle lavorazioni interessate.....	132
Figura 123 – Calcolo del costo medio orario della squadra operativa.....	133
Figura 124 – Determinazione del costo della manodopera per le lavorazioni indicate	134
Figura 125 – Definizione degli Uomini-Giorno.....	135
Figura 126 – Definizione della durata delle lavorazioni (singole e complessive)	135
Figura 127 – Stima dei costi di fornitura e posa in opera struttura X-Lam	136
Figura 128 – Stima dei costi di fornitura e posa in opera struttura X-Lam	137
Figura 129 – Calcolo dei tempi di realizzazione struttura portante in X-Lam	138
Figura 130 – Calcolo dei tempi di realizzazione struttura portante in X-Lam.....	139
Figura 131 – Tabella riepilogativa.....	143

9 Riferimenti bibliografici

9.1 Bibliografia e articoli scientifici

- 1 BERNASCONI A. in *“Il materiale XLAM – Soluzioni costruttive per edifici in legno Caratteristiche e prestazioni”*, PromoLegno;
- 2 FOLLESA M. in *“Edifici XLAM e il fuoco”*, PromoLegno
- 3 TOMASI R. in *“Edifici in legno in XLAM – Connessioni e collegamenti: principi ed applicazioni”*, PromoLegno;
- 4 FOLLESA M. in *“Progettazione sismica delle strutture in legno”*, PromoLegno;
- 5 FRATTARI A. (a cura di) *“Soluzioni costruttive per edifici in legno”* Create and Protect, Prima edizione Gennaio 2015, Milano
- 6 FELLIN M. *“Costruire in legno – Edifici in xLAM”*;
- 7 GIORDANO G., *“Tecnologia del legno”*, UTET 1981
- 8 AA.VV. *“Il manuale del legno strutturale”* Mancosu editore, 2003;
- 9 SOBON J., SCHROEDER R., *“Timber Frame Construction”* Garden Way Publishing book 1984;
- 10 TEIBINGER M. *“Construction with CLT in multistorey building. Focus on building physics”* Holz Forschung 2013
- 11 ROSSETTI M e PEPE D., *“Progetti di scuole innovative”* Maggioli editore, 2016
- 12 GOTTFRIED A. e DI GIUDA G. M., *“Ergotecnica Edile”*, PROGETTO LEONARDO ESCULAPIO-BOLOGNA ,2011;
- 13 PIAZZA M., TOMASI R. e MODENA R., *“Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee”*, HOEPLI. 2005;
- 14 BRESCIANO G., *“Progettare case in legno con XLAM. Esempio di progettazione di una struttura portante in legno in zona sismica”*, FLACCAVIO DARIO EDITORE, 2014.

9.2 Riferimenti normativi

- 1 Italia, Min. per i LL.PP. con il Min. per la pubblica istruzione, *Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica*, Decreto Ministeriale approvato il 18 dicembre 1975 – D.M. 18/12/1975;
- 2 Italia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, *Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno*, 23 ottobre 2018 – CNR DT 206 – R1/2018;

- 3 Italia, Comune di Caselle, *Progetto definitivo della variante generale al piano regolatore generale. Legge Regione Piemonte 05/12/1977 n° 56 e successive modifiche ed integrazioni*, Norme tecniche di attuazione Approvato nell'Aprile 2000.
- 4 Italia, Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*, Decreto Ministeriale approvato il 17 gennaio 2018 – NTC 2018;
- 5 Italia, Presidente della Repubblica, *Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del D.L. 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n.122*, Decreto del Presidente della Repubblica numero 151 approvato il 1° agosto 2011 – D.P.R. 151/2011;
- 6 Italia, Ministro degli Interni, *Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica*, Decreto Ministeriale approvato il 26 agosto 1992 – DM 26 agosto 1992.

9.3 Sitografia

- 1 <https://www.comune.bolzano.it>
- 2 <https://www.archilovers.com/>
- 3 <https://wisesociety.it/>
- 4 <https://www.edilportale.com/>
- 5 <https://www.o2arch.it/>
- 6 <https://www.repubblica.it/>
- 7 <https://www.niiprogetti.it/>
- 8 <https://morettispa.it/>
- 9 <https://www.costantinilegno.it/tecnologie-costruttive-legno-x-lam/>
- 10 <https://www.xlam-italia.com/x-lam/>
- 11 <https://www.rebuilditalia.it/it/News/cose-edilizia-off-site/>
- 12 <https://www.housedolomiti.it/pareti-x-lam>
- 13 <https://www.xlamdolomiti.it/production>
- 14 <https://www.xlam-italia.com/>
- 15 <https://www.promolegno.com/>
- 16 <https://www.ingegneri.cc/progettare-con-xlam.html/>
- 17 <https://www.rebuilditalia.it/it/News/cose-edilizia-off-site/>
- 18 <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/architetture-sostenibili-in-legno-costruire-secondo-la-filosofia-eco-friendly/>
- 19 <https://www.styrodur-italia.it/il-tetto-verde-vantaggi-e-caratteristiche/>
- 20 <https://www.ingenio-web.it/>