



B1 - RELAZIONE TECNICA STRUTTURE

Indice

ASPETTI GENERALI E SCELTE PROGETTUALI	2
CRITERI DI PROGETTO FINALIZZATI ALLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE ED ECONOMICA, RISPARMIO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO.	6
ACCESSIBILITÀ, UTILIZZO, FACILITÀ ED ECONOMICITÀ DI GESTIONE DELLE SOLUZIONI DEL PROGETTO; NONCHÉ LA VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA E DELLA MANUTENIBILITÀ DELLE OPERE	7
CANTIERIZZAZIONE DELL'OPERA	8
CALCOLO E VERIFICA DELLE STRUTTURE	16
STIMA ECONOMICA STRUTTURE	22
DETTAGLI COSTRUTTIVI E NODI PRINCIPALI.....	23
SEZIONE DI DETTAGLIO UFFICI E AGORÀ.....	25
SEZIONE DI DETTAGLIO CORPO SCOLASTICO	26

ASPETTI GENERALI E SCELTE PROGETTUALI

Ecologia, Resistenza al fuoco, Progettazione antisismica, Manutenibilità e ciclo di vita.

Gli edifici in progetto sono stati concepiti per avere strutture portanti in pannelli di XLAM.

Da un punto di vista generale gli edifici realizzati con pannelli strutturali in legno stanno diventando una realtà sempre più diffusa sia in ambito nazionale che europeo, grazie ai loro considerevoli pregi. La tipologia strutturale proposta è comunemente nota in ambito nazionale col nome di XLAM che condensa il significato di pannelli strutturali laminati con tavole a fibre incrociate. All'estero sono noti anche come CLT (Cross Laminated Timber) che riassume perfettamente il concetto. Si tratta di pannelli compensati realizzati con tavole di conifera di spessore variabile, incollati a strati dispari con direzione delle fibre incrociate a 90°. Pertanto i pannelli vanno impiegati tenendo conto della direzione preferenziale data dagli strati dispari del pannello.

Gli strati ortogonali consentono la compensazione delle sollecitazioni ad essi parallele. Ovviamente lo spessore degli strati influenza le prestazioni meccaniche dei pannelli.



Fig. 1 – stratigrafia pannello

I principali vantaggi nell'utilizzo di questa tecnologia costruttiva a secco si identificano nella natura stessa del materiale e dei pannelli che sono ecologici in quanto prodotti da fonti rinnovabili, hanno proprietà coibenti e sono biodegradabili, strutturalmente leggeri e molto resistenti, risultano inoltre particolarmente resistenti al fuoco dato che il legno carbonizza solo sugli strati esterni, lasciando intatti quelli interni garantendo prestazioni REI elevate, al contrario di altri materiali strutturali come il calcestruzzo e l'acciaio, che se colpiti da incendio perdono drasticamente le loro caratteristiche di resistenza.

Dal punto di vista realizzativo i pannelli in XLAM vengono assemblati in stabilimento e sempre in stabilimento vengono tagliati con macchine a controllo numerico nelle forme richieste al momento dell'ordine. Per questo si prestano a realizzazioni di alta precisione, con tolleranze nell'ordine del millimetro e una conseguente fedeltà della realizzazione alle prescrizioni di progetto. La cantierizzazione delle opere quindi viene semplificata perché i pannelli in XLAM tagliati in stabilimento vengono assemblati in cantiere in tempi estremamente ridotti rispetto agli edifici realizzati con tecniche tradizionali.



Fig. 2 – Produzione di pannelli in XLAM in stabilimento

Costruttivamente gli edifici con struttura in XLAM vengono realizzati quasi completamente a secco, ad eccezione dei getti delle fondazioni e dei massetti delle pavimentazioni.



*Figure 3 e 4
Movimentazione in cantiere di pannelli in XLAM*

I pannelli vengono ancorati tra di loro e alle fondazioni con sistemi di piastre e connettori metallici le cui dimensioni e prestazioni sono calcolate e verificate, realizzando una struttura a comportamento scatolare.

Questo tipo di strutture si presenta particolarmente resistente in campo sismico, come dimostrato dai numerosi esperimenti che sono stati condotti su modelli anche in grande scala.



Fig. 5 -6 – Prove sperimentali di simulazione sismica su modelli di edifici in XLAM

Le strutture inoltre hanno una massa complessiva minore di quelle intelaiate in calcestruzzo armato con tamponature in laterizio e ancora minore rispetto a quelle in muratura portante e anche questo è un aspetto discriminante in ambito sismico.

I pannelli in XLAM sono inoltre particolarmente compatibili con elementi strutturali in acciaio, dando la possibilità di realizzare strutture miste che possono soddisfare qualsiasi esigenza architettonica.

Tra gli aspetti positivi si annovera il fatto che i pannelli di legno sono particolarmente adatti nelle applicazioni per il contenimento energetico degli edifici, in particolar modo se rivestiti con le necessarie stratificazioni di materiali possono costituire il “guscio” di edifici con performances energetiche particolarmente elevate, come nel caso degli edifici in progetto.

Durante il concepimento del presente progetto, oltre agli aspetti positivi legati all’uso di una simile tipologia strutturale, è stato tenuto in considerazione il fatto che i maggiori produttori si trovano dislocati in Austria o nelle regioni italiane del Trentino Alto Adige e Veneto. I costi di trasporto che la fornitura di un edificio in XLAM può comportare in un luogo distante dai centri di produzione possono costituire una voce di spesa molto importante che potrebbe rendere una simile scelta antieconomica. Per questo motivo si è pensato di dimensionare i tagli dei pannelli secondo le dimensioni standard di produzione. Tali dimensioni sono al massimo di circa 13 metri di lunghezza e di 3 metri di larghezza (generalmente tra i 2,40 e i 2,95m di larghezza) e sono legate alla capacità di trasporto ordinaria su strada. Si è pertanto voluto evitare di progettare elementi di dimensioni tali da eccedere gli standard per evitare di incorrere in costi di trasporto insostenibili.



Fig. 7 – Trasporto degli elementi prefabbricati, dallo stabilimento verso il cantiere.



CRITERI DI PROGETTO FINALIZZATI ALLA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE ED ECONOMICA, RISPARMIO ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO.

Come già descritto nel capitolo precedente si è scelto di realizzare gli edifici in progetto con strutture di legno in quanto è un materiale ecologico. Il legno è stato storicamente sempre impiegato come materiale da costruzione, ma dopo l'avvento del calcestruzzo armato, per qualche decennio è stato - per così dire - messo da parte. La domanda di edifici ecologicamente sostenibili, la crescita di sensibilità alle tematiche ambientali diffusa tra la popolazione hanno generato una domanda sempre maggiore di materiali strutturali ecologici. Lo sviluppo tecnologico ha portato la produzione da elementi strutturali massicci e monolitici, come le travi ottenute da un unico pezzo di tronco, a travi lamellari dalle prestazioni strutturali garantite, ottenute dall'assemblaggio per incollaggio di tavole dalle quali erano stati eliminati i difetti naturali che ne riducevano le capacità meccaniche. La produzione di travi lamellari generava per contro una quantità di materiale di scarto davvero considerevole, dato che per le diverse classi di travi potevano essere impiegate solo le parti più nobili dei tronchi. Alcuni produttori, vedendo tutto il materiale di scarto, hanno voluto sviluppare una tecnologia di produzione di elementi strutturali che potesse impiegare tutto quel materiale che comunque opportunamente assemblato poteva dar luogo ad elementi con buone prestazioni meccaniche. Così sono nati i pannelli strutturali XLAM che in un certo qual modo hanno prodotto una piccola ma significativa rivoluzione nell'edilizia.

Da un punto di vista ecologico pertanto i pregi di questi elementi sono che il legno da costruzione è prodotto da una fonte rinnovabile, perché i boschi di conifere destinati alla produzione di legname da costruzione vengono piantati in continuazione secondo precise metodologie. Una volta abbattuti gli alberi se ne piantano di nuovi, a ciclo continuo. La crescita di queste conifere è piuttosto rapida rispetto ad altre essenze arboree. Come già detto, i pannelli in XLAM sono prodotti con gli scarti di produzione di elementi strutturali più nobili, riducendo la quantità di materiale di scarto, comunque biodegradabile, che viene reinserito nel ciclo naturale (gli altri scarti vengono anche impiegati nella produzione di pellets destinati al riscaldamento). In fine, quando l'edificio realizzato con pannelli in XLAM raggiunge il limite della propria vita utile, i pannelli possono essere riciclati o smaltiti con maggiore facilità rispetto al calcestruzzo e all'acciaio.

La produzione di pannelli strutturali in legno non necessita di tutta la filiera necessaria per produrre il calcestruzzo, i mattoni in laterizio e l'acciaio, quali cave di estrazione delle materie prime in cui operano macchine con motori a combustione interna; forni per la cottura o fusione del materiale, che richiedono produzione di grandi quantità di calore, generalmente impiegando fonti fossili; altra energia per la trafilatura e la confezione degli elementi, che rendono la produzione dei materiali edili "tradizionali" molto poco ecologica.

Nell'edificio in oggetto il calcestruzzo e l'acciaio sono stati relegati alle sole fondazioni, riducendo notevolmente il loro impiego.

Inoltre gli edifici con strutture in XLAM sono realizzati prevalentemente con metodologie a secco, con un notevole risparmio delle quantità d'acqua richieste invece per le strutture in calcestruzzo: acqua per la confezione dei getti, per la bagnatura delle strutture durante la maturazione dei materiali, per gli impasti delle malte per le murature, dei massetti, degli intonaci etc. etc.

Il legno è un cattivo conduttore di calore e pertanto ha delle ottime proprietà coibenti. Questo lo rende un materiale privilegiato per la realizzazione di edifici a basso fabbisogno energetico, soprattutto quando si tratta di edifici scatolari dove le pareti in legno occupano la maggior parte delle superfici dell'involucro edilizio, realizzando nel contempo un sostegno continuo per tutti gli strati di materiale non strutturale che realizzeranno la "pelle" che renderà l'edificio quasi energeticamente passivo.

Non da ultimo, da un punto di vista economico oltre al fatto che i pannelli in sé costano molto meno degli equivalenti in calcestruzzo armato o in mattoni, l'impiego di pannelli prefabbricati riduce la manodopera in cantiere e di conseguenza i costi per la realizzazione dell'edificio.

Quello che può risultare antieconomico sono i costi di trasporto dalla fabbrica di produzione al cantiere, ma anche questi costi possono essere opportunamente contenuti se i pannelli sono tagliati nelle dimensioni più adatte al loro trasporto e se, come nel nostro caso, il trasporto può avvenire non solo via terra ma anche via mare.

ACCESSIBILITÀ, UTILIZZO, FACILITÀ ED ECONOMICITÀ DI GESTIONE DELLE SOLUZIONI DEL PROGETTO; NONCHÉ LA VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA E DELLA MANUTENIBILITÀ DELLE OPERE

I materiali impiegati nel progetto sono materiali comunemente reperibili sul mercato, soprattutto in ambito nazionale. Si tratta di materiali versatili che possono essere impiegati per sviluppare le differenti tipologie strutturali dando luogo ad una notevole economia di scala. La cantierizzazione di questi elementi, soprattutto quelli prefabbricati semplifica enormemente l'organizzazione del cantiere e, come più volte espresso, riduce enormemente i tempi di realizzazione delle strutture. Ad eccezione delle fondazioni, che sono le uniche parti strutturali gettate in opera, tutti gli altri elementi sono prefabbricati in stabilimento e arriveranno in cantiere pronti per essere installati. Per gli elementi strutturali in XLAM non è previsto il loro stoccaggio in cantiere in quanto verranno caricati sui mezzi di trasporto con ordine inverso e direttamente installati in opera. I mezzi di trasporto arriveranno in cantiere con una cadenza precisa e ben programmata. Tutto dovrà essere pianificato in sede progettuale, facilitando per conseguenza tutte le operazioni di assemblaggio da svolgere in cantiere. La gestione del progetto strutturale sarà integrata con quello architettonico ed impiantistico, conducendo ad una gestione della realizzazione dell'opera che avrà tempi e costi di realizzazione certi.

Per le NCT2008 *la vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.* Nel nostro caso la vita nominale dell'edificio è maggiore o uguale a 50 anni e si prevede una Classe d'Uso III essendo un edificio ad uso pubblico. Il periodo di riferimento dell'azione sismica è di 75 anni, con ambienti di Categoria C, suscettibili di affollamento.

I materiali strutturali previsti in progetto garantiscono il ciclo di vita utile richiesto dalla normativa vigente (al momento ci si trova nella fase transitoria tra le NTC2008 e le NTC2018).

Il calcestrutto impiegato per le fondazioni sarà confezionato per condizioni ambientali aggressive, per garantire durabilità a questa parte d'opera di difficile accesso ai fini manutentivi, mentre le parti strutturali in legno saranno opportunamente protette da potenziali aggressioni di agenti biologici che possono portare al degrado del legno. Le parti strutturali in elevazione pertanto saranno segregate e rivestite con stratificazioni di materiale tali da impedire il contatto con l'acqua e l'umidità ambientale, evitando il verificarsi di fenomeni di condensa del vapore acqueo negli strati a contatto diretto con il legno. Le parti inferiori delle pareti saranno protette da opportune impermeabilizzazioni eseguite in diversi strati, direttamente a contatto con le parti strutturali, per garantire una maggiore protezione. Le strutture pertanto saranno rivestite nella loro quasi totalità. Ai fini manutentivi non sarà possibile ispezionarle. Saranno invece ispezionabili le parti di strutture esposte o accessibili in alcuni vani. Dovranno pertanto essere stabilite delle ispezioni da eseguire almeno due volte l'anno per valutare lo stato di manutenzione delle opere. La manutenzione ordinaria delle opere in legno prevede la rimozione e il ripristino degli strati di finitura, compresa la levigatura e stuccatura degli strati esterni degradati. Qualora sia richiesta una manutenzione straordinaria, il pregio delle strutture in legno è quello di essere sostituibili con facilità qualora si verificassero dei fenomeni di degrado estesi o tali da pregiudicare la loro funzione statica. Questo vale anche per i pannelli strutturali, che possono essere sostituiti interamente o in parte.

CANTIERIZZAZIONE DELL'OPERA

Riassumendo, la scelta di una struttura portante in XLAM è stata finalizzata all'ottenimento di un comportamento strutturale di tipo scatolare, particolarmente performante in campo sismico e ottimale in materia di contenimento energetico.

Le fondazioni e la realizzazione dei locali tecnici interrati saranno realizzate in calcestruzzo armato normale. Dato che non sono disponibili dati approfonditi sulla geologia del sito, quali caratterizzazione geologica e sismica, al momento attuale non si possono formulare ipotesi sulla effettiva portanza del terreno, queste saranno invece oggetto della progettazione definitiva.

Data la tipologia strutturale scelta, come fondazioni verranno impiegate travi continue superficiali e platee nervate. Al momento attuale si esclude la necessità di impiegare fondazioni indirette su pali, da considerarsi una ipotesi molto remota da impiegare solo in caso di capacità portante del terreno assai ridotta, o possibilità di liquefazione del terreno in caso di sisma. In condizioni normali le fondazioni su trave continua o le platee costituiscono comunque la tipologia più adatta.

Le pareti vengono posate sulle fondazioni preferibilmente su costolature rialzate, previa l'interposizione di strati di impermeabilizzazione e di separazione delle strutture dal contatto diretto con gli elementi fondali, in quanto il legno necessita di essere accuratamente protetto dall'umidità e in generale dall'acqua. In taluni casi si ha cura di posare al di sotto dei pannelli delle pareti a contatto con le fondazioni, dei correnti di larice, una conifera maggiormente resistente all'umidità rispetto a quelle impiegate per i pannelli; in altri casi si impiegano anche correnti metallici.



Fig. 8 – Posa delle pareti su costolature delle fondazioni.

I sistemi di ancoraggio delle strutture in XLAM alle fondazioni, come già anticipato, sono costituiti da piastre in acciaio, principalmente di due tipi: piastre "hold-down" e piastre "a taglio". Le hold-down hanno lo scopo principale di impedire il ribaltamento delle pareti attorno alla giacitura del loro piano, in caso di sisma, mentre quelle a taglio compensano le sollecitazioni dovute alle forze orizzontali generate dal sisma. Queste piastre hanno anche lo scopo di resistere alle sollecitazioni impresse dal vento, quando si tratta di strutture particolarmente alte con dimensioni in pianta contenute.

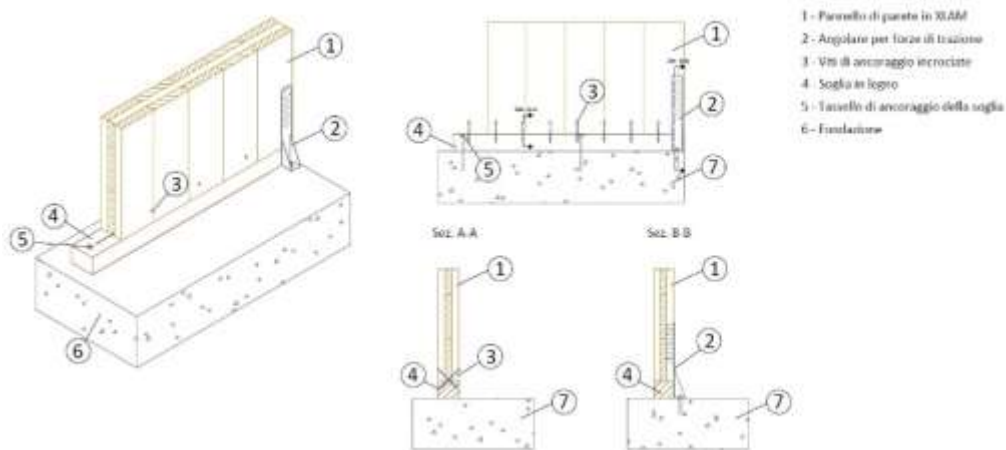


Fig. 9 – Ancoraggi fondazioni / parete

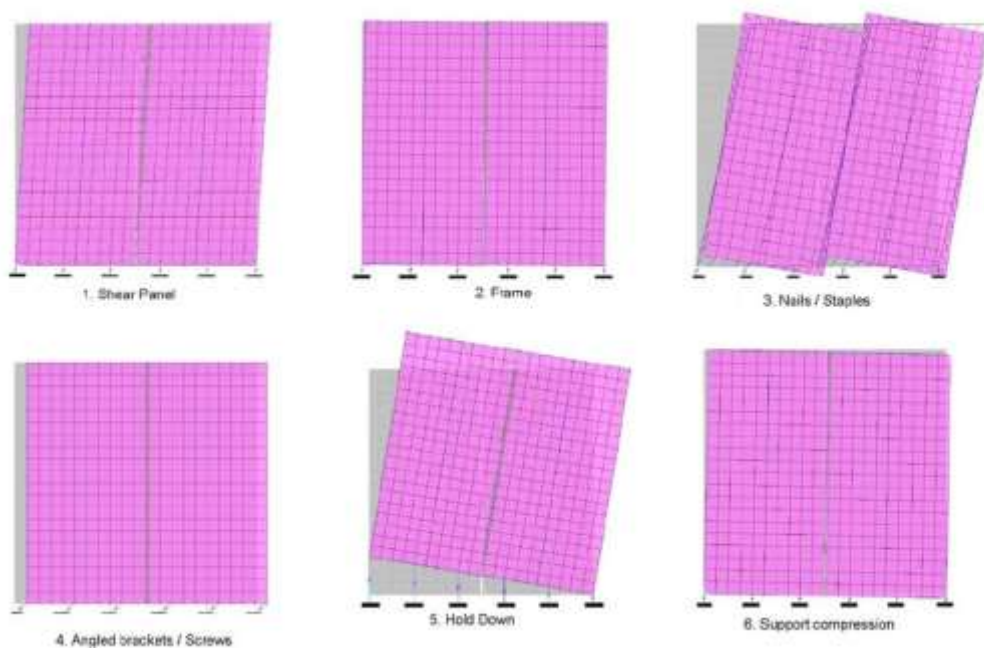


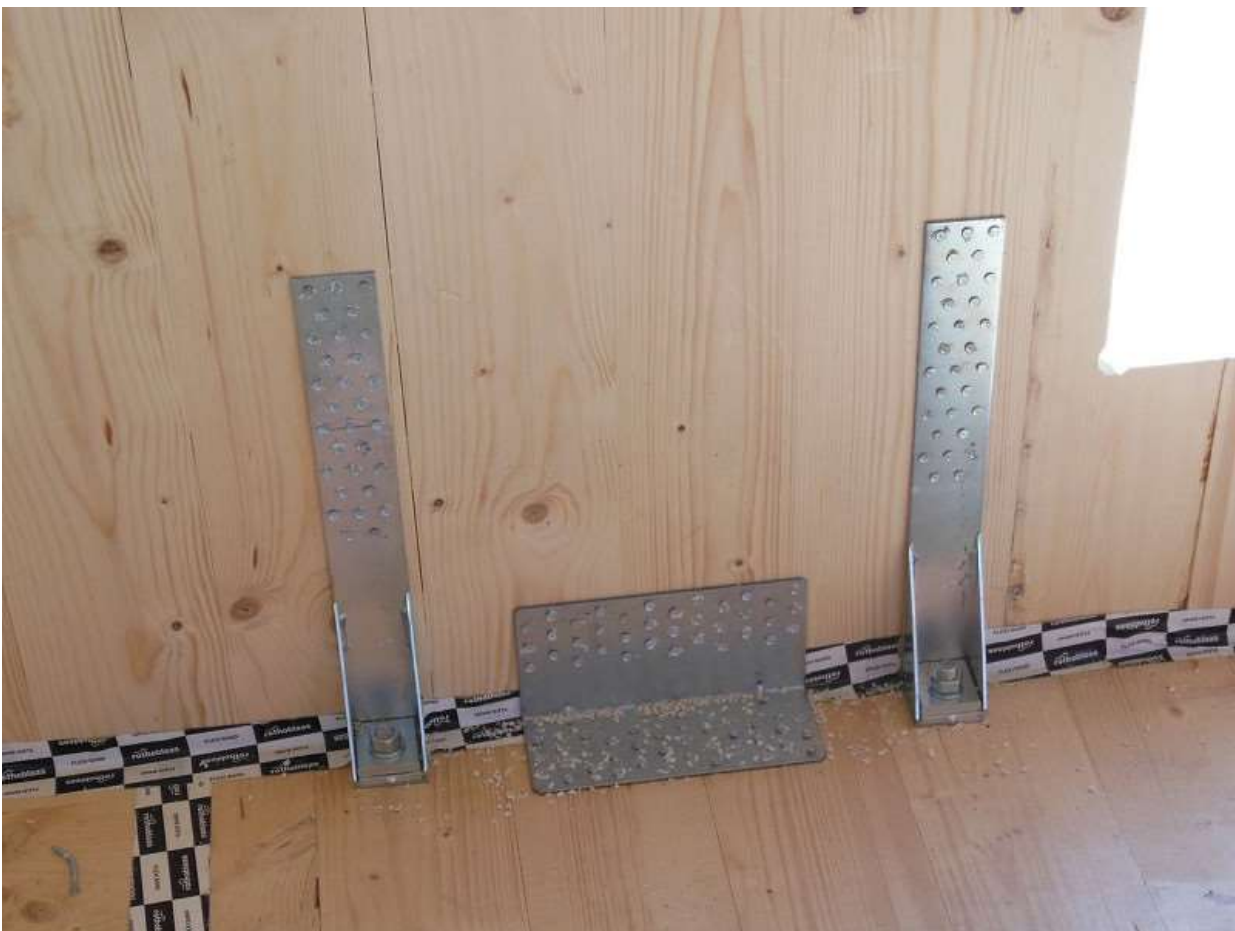
Fig. 10 meccanismo degli spostamenti delle pareti dovuti ad azioni orizzontali

Nella figura 10 è rappresentato il meccanismo degli spostamenti delle pareti dovuti ad azioni orizzontali. Tali meccanismi vengono impediti mediante l'applicazione di appositi sistemi di connessione come quelli illustrati nelle figure 9 e 11.



Fig. 11 sistemi di connessione di tipo "hold-down" e "a taglio"

Nella figura 11 sono visibili due coppie di piastre tipo Hold-down, poste agli estremi del pannello e una coppia di piastre a taglio, poste al centro del pannello.



Le piastre di ancoraggio sono fissate alle fondazioni mediante barre filettate resinate o inghisate successivamente al getto delle fondazioni e alla posa delle pareti, poiché è molto difficile ottenere con le barre inserite in fondazione prima dei getti una precisione tale da avere gli ancoraggi correttamente posizionati una volta eseguiti i getti: si ribadisce che per questo tipo di strutture è richiesta una precisione di posa millimetrica. Allo scopo possono essere inoltre impiegate barre munite di tasselli ad espansione o vitoni autofilettanti specifici per calcestruzzo.

Le piastre di ancoraggio richiedono una calcolazione particolarmente accurata ed in commercio è possibile trovare produttori che forniscono anche i software specifici per il calcolo e la verifica di questi elementi estremamente importanti per le performances strutturali dell'edificio. Infatti le strutture in XLAM perdono completamente la loro efficacia se non sono adeguatamente giuntate tra di loro e correttamente connesse con le fondazioni. Dal lato della connessione ai pannelli le piastre di ancoraggio vengono preferibilmente inchiodate in quanto le chiodature lavorano a taglio e con un buon infittimento è stato dimostrato che garantiscono una appropriata distribuzione delle sollecitazioni nell'elemento.

Le giunzioni tra le pareti verranno eseguite preferibilmente testa a testa su superfici piane non battentate in quanto le viti di fissaggio devono essere poste ad una distanza di almeno 5 centimetri dal bordo del pannello e le battentature eseguite sui pannelli di spessore pari a 10 cm non garantiscono questo requisito dimensionale, ottenibile invece su pannelli di grande spessore. Alcuni produttori forniscono pannelli che possono essere giuntati testa-a-testa grazie alle lamelle di bordo conformate a maschio/femmina, ma sono di difficile posa a causa delle aderenze che si creano sulle superfici di contatto. Inoltre i giunti hanno generalmente una profondità inferiore ai 5cm per cui non sono adatti al fissaggio mediante viti ma richiedono di essere incollati, operazione non sempre facile in cantiere e di risultato incerto, in quanto le superfici devono essere ben pulite e prive di polveri per garantire l'efficacia dell'incollaggio.

SOLUZIONI CON TAVOLE DI LEGNO INCHIODATE O AVVITATE



Fig. 12 – Collegamenti tra pannelli

Pertanto i pannelli saranno giuntati preferibilmente tra loro a secco mediante viti disposte a coppie incrociate a passo regolare (opportunamente calcolato e verificato) con infittimenti nei punti di accumulo delle tensioni. Ogni parete sarà ancorata alle fondazioni con piastre hold-down agli estremi e piastre a taglio disposte internamente, come già illustrato nelle figure 9 e 11.

I solai sono posati a tutta sezione sulle pareti. Tra pareti e solai generalmente vengono interposte delle bande di gomma continue a scopo acustico per desolidarizzare gli elementi. Bisogna infatti tener conto del fatto che il legno è anche l'elemento di costruzione degli strumenti musicali e per questo anche gli edifici scatolari in legno hanno il pregio di "risuonare" particolarmente bene.

Ritornando ai puri aspetti strutturali, i solai sono fissati alle pareti mediante piastre angolari e viti inserite a 45° tra gli elementi. Le pareti dei piani superiori vengono fissate alle pareti dei piani sottostanti mediante piastre che attraversano i solai generando una continuità strutturale. Possono essere piastre hold-down contrapposte e collegate da barre filettate e piastre a taglio collegate mediante chiodature ai solai sia all'estradosso che all'intradosso, ovvero da piastre piane esterne che collegano le pareti.

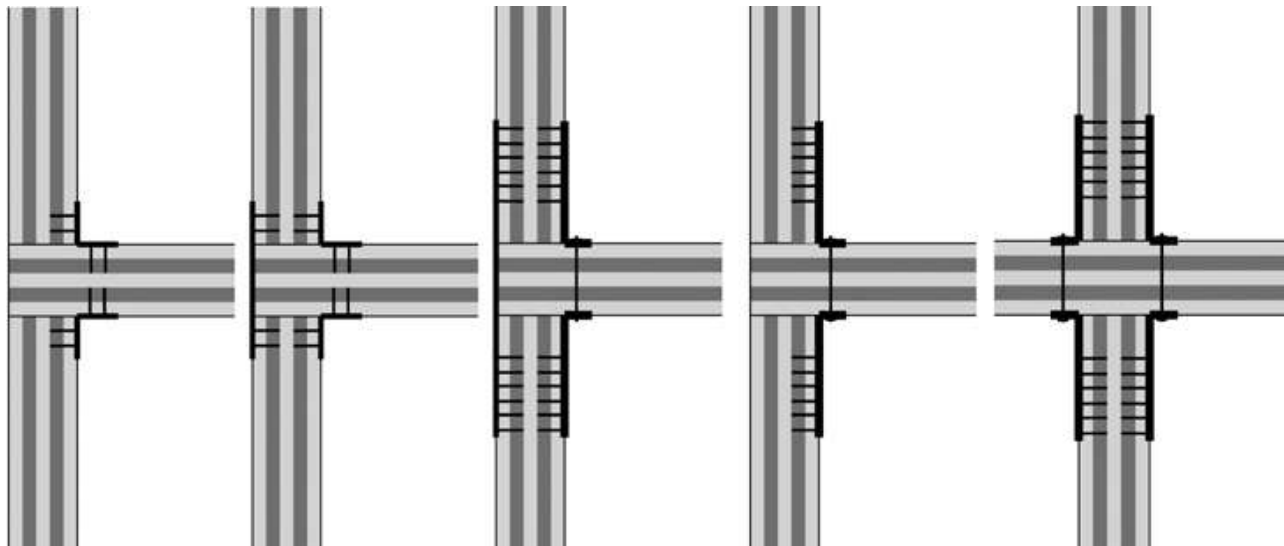


Fig. 13 sistemi di fissaggio tra pareti inferiori, solai e pareti superiori.

Nella figura 13 sono rappresentati schematicamente i sistemi di fissaggio tra pareti inferiori, solai e pareti superiori. È ben visibile l'appoggio pieno del solaio sulla parete sottostante e la continuità che viene realizzata mediante le piastre tra gli elementi verticali.

I solai sono costituiti come le pareti ma in genere richiedono spessori maggiori rispetto alle prime e richiedono inoltre di essere zavorrati con massetti a causa della loro notevole leggerezza. In caso di luci notevoli essi possono essere rinforzati con travi in legno lamellare o elementi in acciaio. Anche i solai sono costituiti da pannelli affiancati che poi vengono mutualmente collegati con gli stessi sistemi esposti per le pareti.



Fig. 14 vista interna struttura XLAM

Nella figura 14 è possibile notare la differenza di spessore tra i pannelli delle pareti e dei solai.

Le coperture degli edifici in progetto, sia quelle piane che quelle inclinate, sono realizzate sempre con pannelli in XLAM, assemblati con le stesse modalità già esposte. Sulle coperture verranno inserite delle costolature perimetrali sempre in pannelli di legno senza scopo strutturale, ma a fini architettonici e funzionali alla realizzazione dei rivestimenti esterni.



Fig. 15 – pannelli di copertura a falda singola

Negli edifici in progetto saranno realizzate anche delle “travi-parete” sempre in XLAM che consentiranno di realizzare l’effetto scatolare anche su campate di grande luce.

Gli edifici in progetto oltre ad ambienti di grandi dimensioni presentano grandi superfici finestrate. In continuità con la metodologia strutturale si è deciso di impiegare elementi colonnari realizzati con travi lamellari connessi in sommità con travi sempre lamellari. I solai saranno orditi parallelamente alle finestrate riducendo gli spessori richiesti per le travi di collegamento tra gli elementi colonnari.

Per particolari esigenze architettoniche si è optato anche per l’impiego di elementi colonnari molto snelli in acciaio a sezione scatolare, da inserire all’interno dello spessore dei montanti degli infissi, per le superfici finestrate interne all’atrio di ingresso.

Gli edifici richiedono la presenza di una controventatura verticale per compensare le azioni orizzontali generate dai sismi. Tale funzione è affidata alle pareti centrali e laterali degli edifici e a singoli elementi di controventatura realizzati con cavi di acciaio (ovvero tondini pieni) posti esternamente alle finestrate fisse.

Le scale degli edifici saranno realizzate preferibilmente sempre con sistemi di pannellature in legno e costituiranno elementi perfettamente integrati nella struttura.



Fig. 16 – esempio di scale in pannelli di XLAM

La palestra del complesso scolastico merita un discorso particolare in quanto si presenta come l’edificio con le campate e le altezze delle pareti maggiori. Nel caso della palestra gli elementi strutturali in legno avranno spessori maggiori e saranno dotati di un maggior numero di piastre di ancoraggio e irrigidimenti locali.

Con opportuni accorgimenti è possibile realizzare elementi particolarmente rigidi e performanti, come quelli rappresentati nell'illustrazione seguente (fig. 17)



Fig. 17 rinforzi strutturali

CALCOLO E VERIFICA DELLE STRUTTURE

In merito alle caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali, di seguito si riportano le tabelle contenenti i dati impiegati per il calcolo e la verifica delle strutture.

Modulo di elasticità //	[MPa]	E0,mean	11600,00
Modulo di elasticità 90	[MPa]	E90,mean	370,00
Modulo di taglio //	[MPa]	G0,mean	650,00
Modulo di taglio 90	[MPa]	G90,mean	50,00
Resistenza di calcolo a trazione // della fibra	[MPa]	ft,0,d	14,00
Resistenza di calcolo a trazione T della fibra	[MPa]	ft,90,d	0,12
Resistenza di calcolo a compressione // della fibra	[MPa]	fc,0,d	21,00
Resistenza di calcolo a compressione T della fibra	[MPa]	fc,90,d	2,50
Resistenza di calcolo a flessione // della fibra	[MPa]	fm,0,d	24,00
Resistenza di calcolo a taglio // della fibra	[MPa]	fv,0,d	2,50
Resistenza di calcolo a taglio T della fibra	[MPa]	fv,90,d	1,10

Tab. 1 Caratteristiche meccaniche pannelli XLAM

		Softwood species												Hardwood species									
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70		
Strength properties (in N/mm ²)																							
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70		
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42		
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34		
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5		
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0		
Stiffness properties (in kN/mm ²)																							
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20		
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8		
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33		
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25		
Density (in kg/m ³)																							
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900		
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080		
NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.																							
NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.																							
NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.																							
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.																							

Tab. 2 – Caratteristiche meccaniche di differenti essenze di legno

Il calcolo di progetto e verifica delle strutture viene eseguito col metodo degli elementi finiti (FEM, *finite elements modeling*) mediante l'impiego di software appositamente sviluppati, ai sensi della normativa vigente. Attualmente ricadiamo nella fase transitoria tra le precedenti Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (NTC2008) e le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018). Il calcolo di simili strutture non può essere eseguito "manualmente" ma è appunto necessario l'ausilio del calcolatore elettronico con software che tengano conto di tutte le condizioni di contorno che sollecitano e influenzano la struttura e sviluppino un modello tridimensionale dell'edificio che tenga conto dei vincoli interni, esterni, dei gradi di vincolo e della mutua influenza che le strutture di un edificio esercitano le une con le altre. È comunque raccomandabile eseguire un predimensionamento che con formule analoghe a quelle impiegate dal software fornisca al progettista un'idea delle dimensioni richieste per gli elementi strutturali.

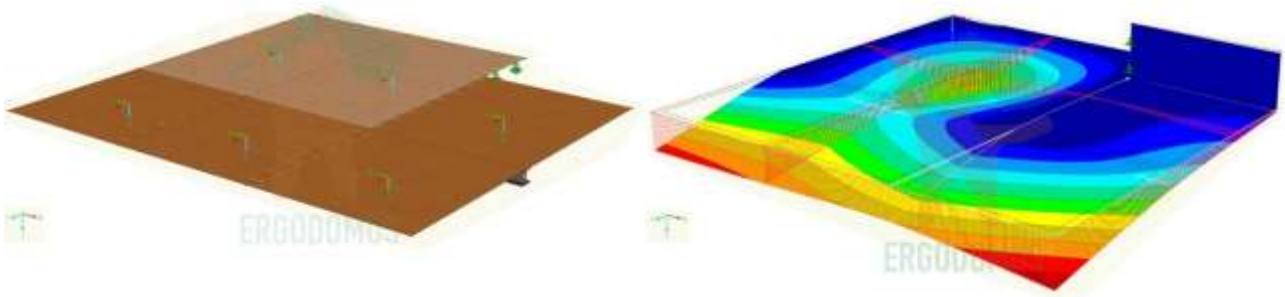


Fig. 18 – Rappresentazione della distribuzione delle tensioni in un solaio in XLAM ottenuta mediante modellazione agli elementi finiti.

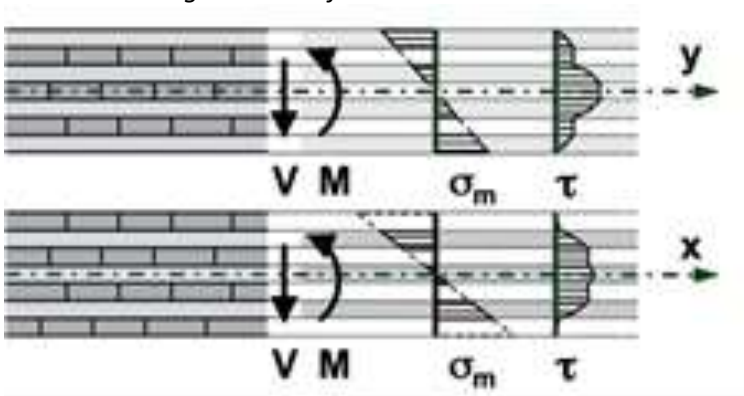


Fig. 19 – Tensioni nella sezione di un pannello inflesso nelle due direzioni di orditura delle fibre

Di seguito si riporta una parte del foglio di calcolo impiegato per il predimensionamento delle singole membrature.

Tipo pannello: 5s 140 DL

Larghezza di calcolo	[mm]		1000	
Spessore lastra	[mm]	H=	140	28
Numero di lamelle della lastra		n=	5,00	

Distanze delle lamelle dall'asse		a3	a2	a1	a2	a3	
	[mm]	50	25	10	25	50	
Spessori delle lamelle	[mm]	40	10	40	10	40	140
Ei=		11600,00	370,00	11600,00	370,00	11600,00	
Gi=		650,00	50,00	650,00	50,00	650,00	

Relazione di verifica a flessione

$\sigma_{M,d} \leq f_{M,d} \text{ (XLAM)}$

Momento di calcolo	[N*mm]	Md=	6918187,50	
		$f_{M,d} \text{ (XLAM)} = f_{M,d}(\text{Lam}) * K_{sys}$	26,4	
		$K_{sys} = 1 + 0,025n$	1,125	1,1
		n=	5,00	
Tensione nelle fibre inflesse		$\sigma_a = M * a * E_i / K$		
Tensione massima nelle fibre inflesse	[N/mm^2]	$\sigma_M = M_d * (h/2) * E_0 / K$	2,24	< $f_{M,d}(\text{XLAM})$
Rigidezza flessionale della lastra	[N*mm^2]	$K(\text{LAM}) = E * J = \sum(E_i * J_i) + \sum(A_i * a_i^2 * E_i)$	2,5056E+12	
freccia di inflessione massima	[mm]	$f_{max} = L/300$	fmax=	11,66666667
freccia di inflessione di calcolo	[mm]	$f = 5/384 * q * L^4 / K$	f=	5,28 Verificata

Relazione di verifica a taglio

$\tau_{d,max} = V_d * \Sigma(S_m * G_m) / (K(\text{LAM}) * b)$

Sollecitazione di calcolo	[N]	$V_d = T_a$	11859,75	
Momento statico della sezione x Modulo elastico		$\Sigma S_m * G_m =$	3145000000	
		$\tau_{d,max} =$	0,015	< $f_{v,90,d}$

Tab. 3 – verifica di predimensionamento dei pannelli di parete

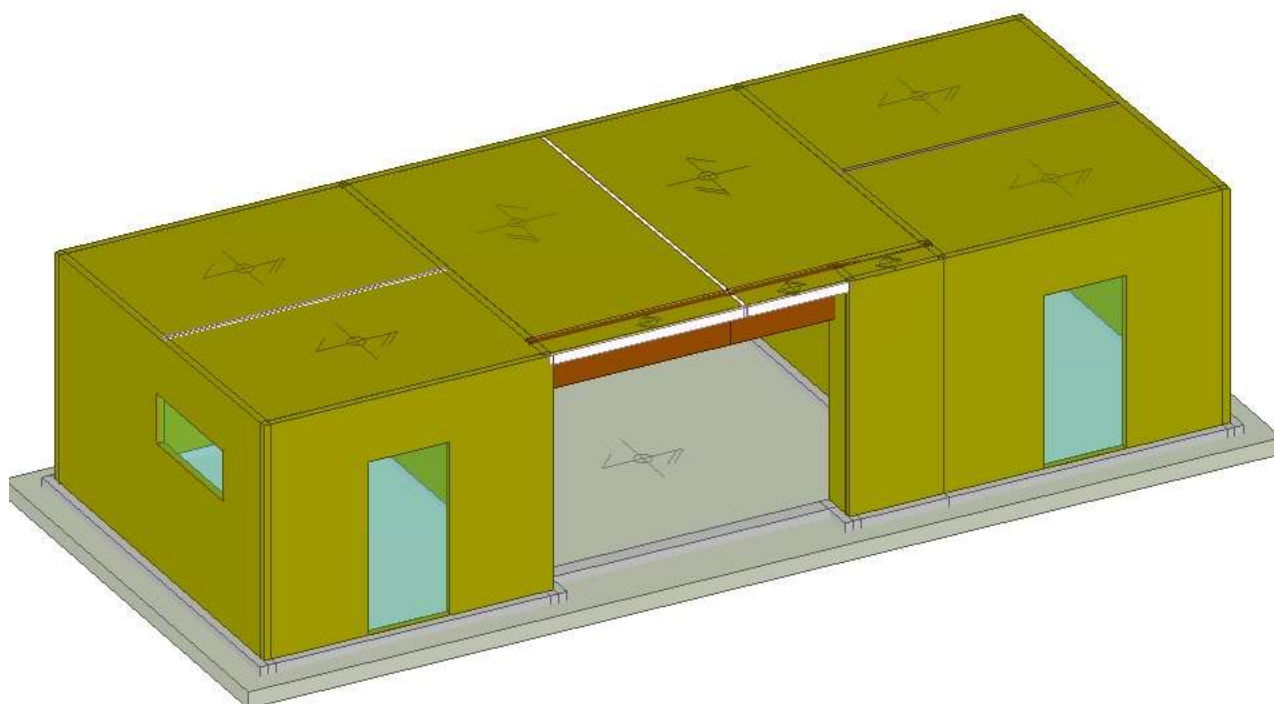


Fig. 20 – modellazione tridimensionale di una struttura in XLAM, posata su platea di fondazione nervata in calcestruzzo armato (courtesy Acca Softwares)

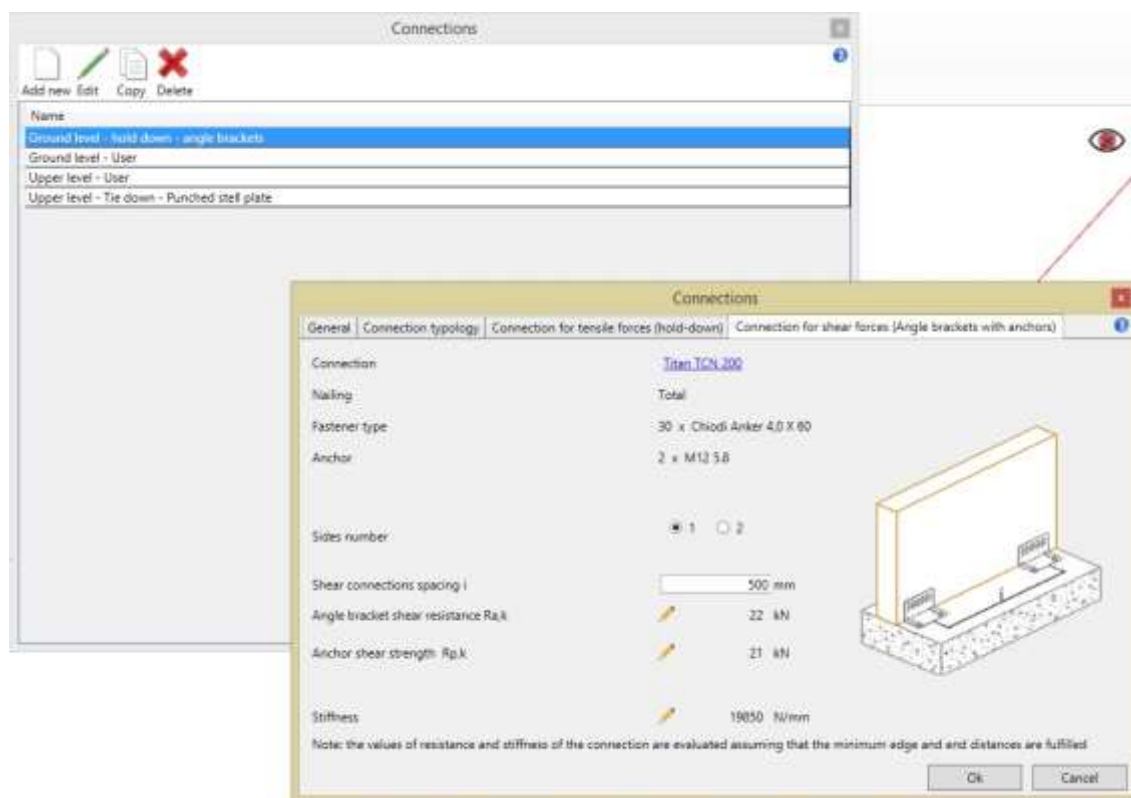


Fig. 21 – Schermata di input per la verifica degli elementi angolari di connessione fondazione/parete

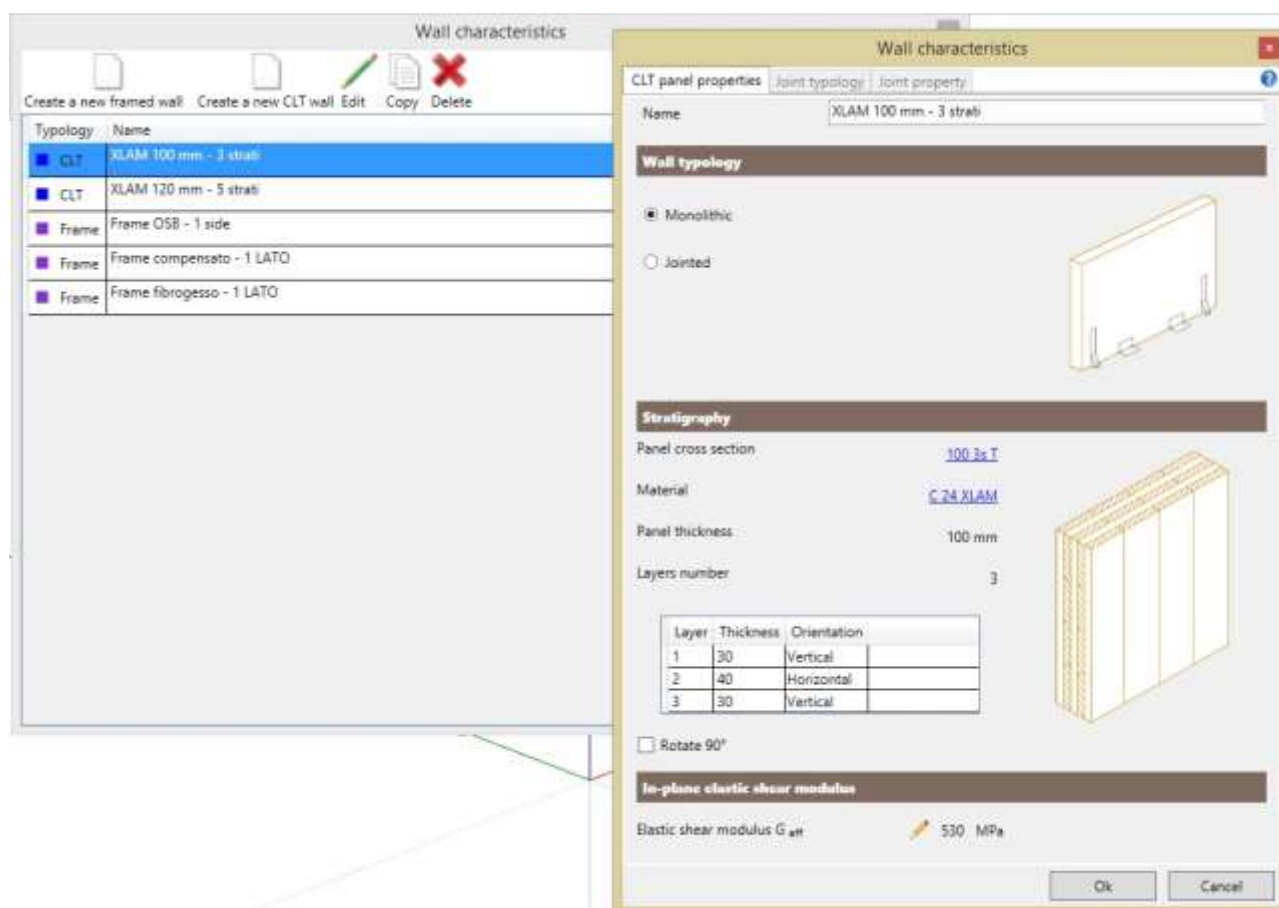


Fig. 22 – Schermata di input dei dati della parete nel software di calcolo

Descrizione	Spess. mm	Strati n°	Q. mm	L. mm	Q. mm	L. mm	Q. mm	L. mm	Q. mm	L. mm	A netto cm²	I netto cm⁴	W netto cm³
Pareti													
MaxLam 57 3s	57	3	19	19	19	0	0	0	0	0	380	3167	521
MaxLam 72 3s	72	3	19	34	19	0	0	0	0	0	380	3167	773
MaxLam 87 3s	87	3	34	19	34	0	0	0	0	0	680	5667	1284
MaxLam 102 3s	102	3	34	34	34	0	0	0	0	0	680	5667	1670
MaxLam 95 5s	95	5	19	19	19	19	19	0	0	0	570	6333	1408
MaxLam 125 5s	125	5	34	19	19	19	34	0	0	0	870	8833	2531
MaxLam 140 5s	140	5	34	19	34	19	34	0	0	0	1020	10083	3201
MaxLam 170 5s	170	5	34	34	34	34	34	0	0	0	1020	11333	4508
Solai													
MaxLam 57 3s	57	3	19	19	19	0	0	0	0	0	380	3167	521
MaxLam 72 3s	72	3	19	34	19	0	0	0	0	0	380	3167	773
MaxLam 87 3s	87	3	34	19	34	0	0	0	0	0	680	5667	1248
MaxLam 102 3s	102	3	34	34	34	0	0	0	0	0	680	5667	1670
MaxLam 95 5s	95	5	19	19	19	19	19	0	0	0	570	6333	1408
MaxLam 125 5s	125	5	34	19	19	19	34	0	0	0	870	8833	2531
MaxLam 140 5s	140	5	34	19	34	19	34	0	0	0	1020	10083	3201
MaxLam 170 5s	170	5	34	34	34	34	34	0	0	0	1020	11333	4508
MaxLam 193 7s	193	7	34	19	34	19	34	19	34	34	1360	14500	6048
MaxLam 238 7s	238	7	34	34	34	34	34	34	34	34	1360	17000	8698

Fig. 23 – Tabella di insieme delle membrature in XLAM disponibili

Connectors									
Smooth nail	Threaded nails	Anker nails	Staples	Screws	Fully threaded screws				
Manufacturer	Identification code	Description	Typology	Length l (mm)	Thread length lt (mm)	Outer thread diameter d1 (mm)	Inner thread diameter d2 (mm)	Shank diameter d3 (mm)	Nail h
Rotho Blaas	HBS316	HBS 3 x 16	Flared type head	16	10	3	2	2,16	
Rotho Blaas	HBS320	HBS 3 x 20	Flared type head	20	15	3	2	2,16	
Rotho Blaas	HBS325	HBS 3 x 25	Flared type head	25	20	3	2	2,16	
Rotho Blaas	HBS330	HBS 3 x 30	Flared type head	30	25	3	2	2,16	
Rotho Blaas	HBS3520	HBS 3,5 x 20	Flared type head	20	10	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS3525	HBS 3,5 x 25	Flared type head	25	14	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS3530	HBS 3,5 x 30	Flared type head	30	18	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS3535	HBS 3,5 x 35	Flared type head	35	18	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS3540	HBS 3,5 x 40	Flared type head	40	18	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS3545	HBS 3,5 x 45	Flared type head	45	24	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS3550	HBS 3,5 x 50	Flared type head	50	24	3,5	2,25	2,45	
Rotho Blaas	HBS430	HBS 4 x 30	Flared type head	30	16	4	2,55	2,75	
Rotho Blaas	HBS435	HBS 4 x 35	Flared type head	35	16	4	2,55	2,75	
Rotho Blaas	HBS440	HBS 4 x 40	Flared type head	40	24	4	2,55	2,75	



Fig. 24 – Tabella delle viti da legno disponibili, ordinate per produttore.

STIMA ECONOMICA STRUTTURE

Di seguito si espone sinteticamente la valutazione economica per la fornitura e posa delle strutture in progetto. La valutazione è stata fatta come costi nominali delle macro voci riguardanti le strutture per superficie coperta in pianta dell'edificio, pari a circa **6.894 m²**.

Data l'omogeneità delle strutture in progetto, le macro voci sono due:

- strutture in elevazione
- fondazioni, ipotizzate con tipologia a platea, maggiormente onerosa rispetto alle travi continue.

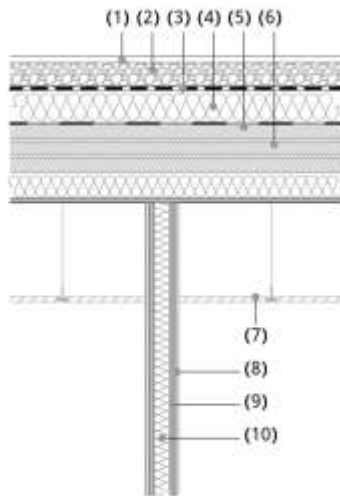
Per le strutture in elevazione è stata valutata una incidenza nominale, comprensivo dei costi per la manodopera e per la sicurezza pari al costo per metro quadro di superficie coperta, di **250,00 €/m²**, mentre per le fondazioni è stata valutata una incidenza nominale pari a **70,00 €/m²**.

La tabella seguente riassume quanto esposto:

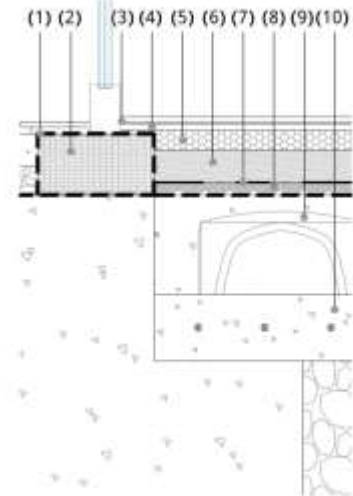
	Stima del costo delle strutture		
	superficie [mq]	Incidenza nominale strutture [€/mq]	Costo stimato [€]
Strutture in elevazione	6894	€ 250,00	€ 1.723.500,00
Strutture di fondazione	6894	€ 70,00	€ 482.580,00
			€ 2.206.080,00

Si stima pertanto che le strutture abbiano uno costo di circa **2.206.080 €**.

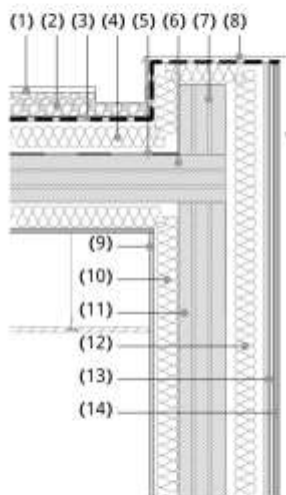
DETTAGLI COSTRUTTIVI E NODI PRINCIPALI



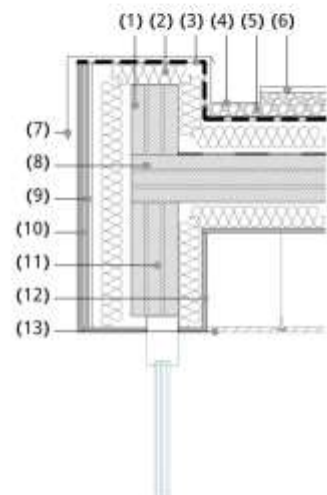
- (1) Lastroni in ricomposto 60x60 (20 mm)
- (2) strato di ghiaia (71 mm)
- (3) guaina impermeabilizzante
- (4) isolante termico XPS (100 mm)
- (5) anticalpestio acustico (8 mm)
- (6) struttura x-lam
- (7) controsoffitto fonoassorbente in cartongesso
- (8) lastra in cartongesso (12.5 mm)
- (9) lastra in gesso-fibra (12.5 mm)
- (10) isolamento tipo Edilana (50 mm)



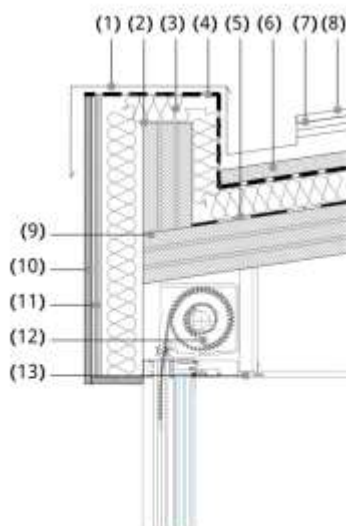
- (1) guaina impermeabilizzante
- (2) legno di larice
- (3) pavimentazione (20mm)
- (4) massetto (20mm)
- (5) sistema di riscaldamento a pavimento (60 mm)
- (6) massetto di irrigidimento (100 mm)
- (7) anticalpestio acustico (8 mm)
- (8) isolante termico XPS (30 mm)
- (9) vespaio areato con casseri a perdere
- (10) massetto armato



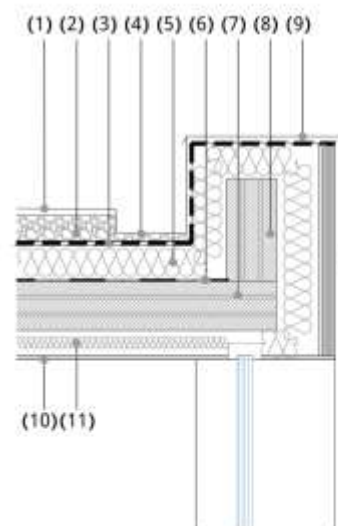
- (1) Lastroni in ricomposto 60x60 (20 mm)
- (2) strato di ghiaia (71 mm)
- (3) guaina impermeabilizzante
- (4) isolante termico XPS (100 mm)
- (5) anticalpestio acustico (8 mm)
- (6) struttura XLAM
- (7) pannello XLAM
- (8) scossalina
- (9) lastra in cartongesso (12.5 mm)
- (10) isolamento tipo Edilana (7.5mm)
- (11) struttura XLAM
- (12) isolante termico XPS
- (13) lastra gesso-fibra (12.5 mm)
- (14) intonaco di finitura (20mm)



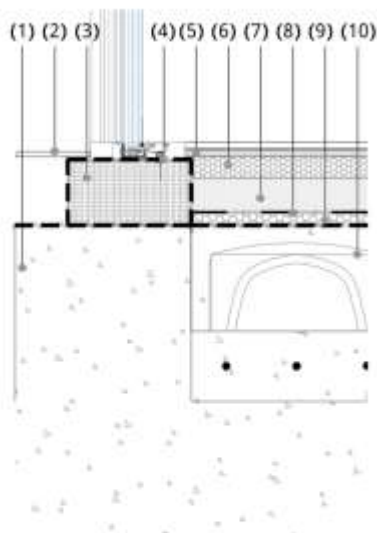
- (1) pannello XLAM (140 mm)
- (2) isolante termico XPS
- (3) guaina impermeabilizzante
- (4) gronda (150 mm)
- (5) ghiaia
- (6) lastroni in ricomposto 60x60 (20 mm)
- (7) scossalina
- (8) struttura XLAM
- (9) lastra gesso-fibra (12.5 mm)
- (10) intonaco di finitura
- (11) pannello XLAM
- (12) lastra in cartongesso
- (13) controsoffitto fonoassorbente in cartongesso



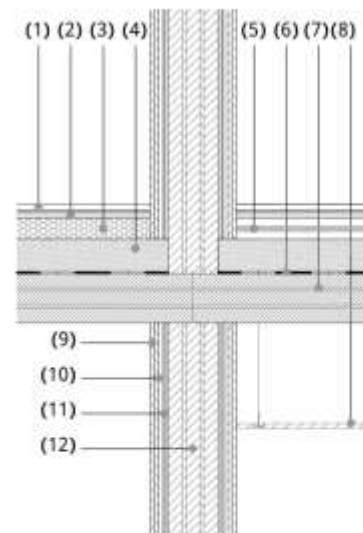
- (1) Scossalina
- (2) struttura XLAM
- (3) isolante termico ad alta densità
- (4) guaina impermeabilizzante
- (5) anticalpestio acustico (8 mm)
- (6) magatelli (42 mm)
- (7) lamiera grecata coibentata con vano impianti
- (8) pannello termico/fotovoltaico
- (9) struttura XLAM
- (10) intonaco di finitura (20 mm)
- (11) lastra gesso fibra
- (12) sistema frangisole in cassonetto a tenuta
- (13) controsoffitto fonoassorbente in cartongesso



- (1) Lastroni in ricomposto 60x60 (20 mm)
- (2) strato di ghiaia (71 mm)
- (3) guaina impermeabilizzante
- (4) gronda (150 mm)
- (5) isolante termico XPS (100 mm)
- (6) anticalpestio acustico (8 mm)
- (7) struttura XLAM
- (8) pannello XLAM
- (9) scossalina
- (10) lastra in cartongesso (12.5 mm)
- (11) isolante termico XPS

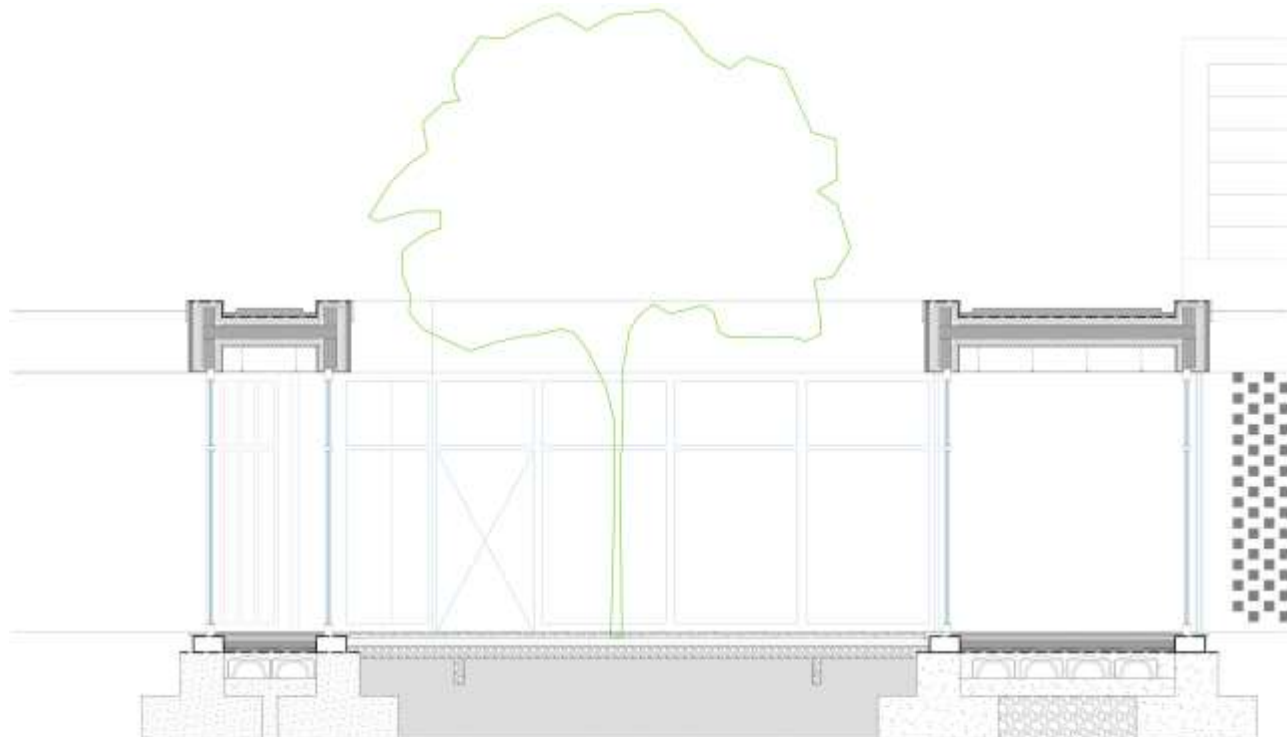


- (1) Trave rovescia di fondazione
- (2) soglia
- (3) legno di larice
- (4) guaina impermeabilizzante
- (5) massetto (20 mm)
- (6) sistema di riscaldamento a pavimento (60mm)
- (7) massetto di irrigidimento (100 mm)
- (8) anticalpestio acustico (8 mm)
- (9) isolante termico xps (30 mm)
- (10) vespaio areato con casseri a perdere

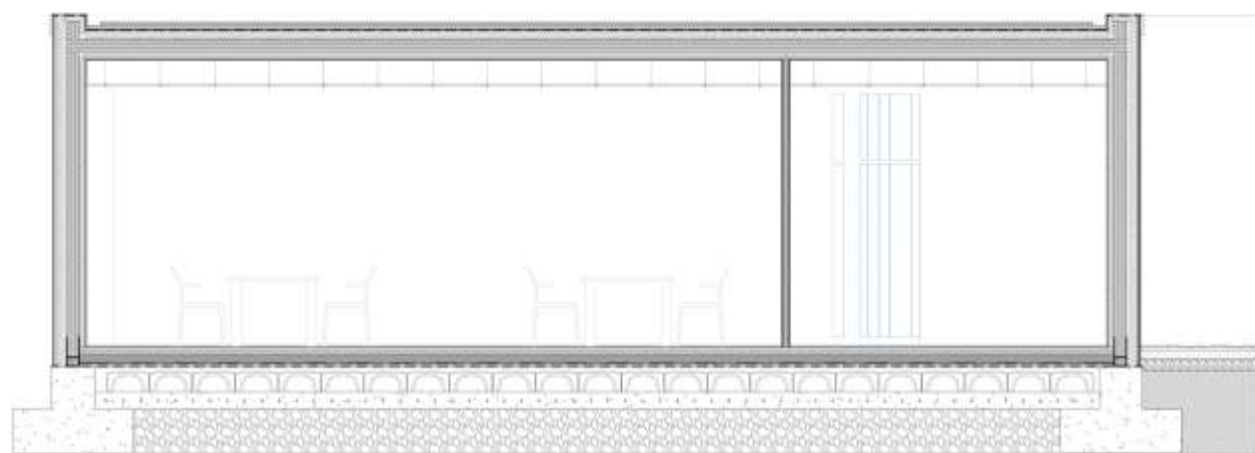


- (1) pavimentazione (20mm)
- (2) massetto (20 mm)
- (3) sistema di riscaldamento a pavimento (60 mm)
- (4) massetto di irrigidimento (100mm)
- (5) isolante termico alta densità/celenit (60 mm)
- (6) massetto di irrigidimento (100 mm)
- (7) struttura XLAM
- (8) controsoffitto fonoassorbente in cartongesso
- (9) lastra in cartongesso (12.5 mm)
- (10) lastra gesso-fibra (12.5 mm)
- (11) isolamento tipo Edilan (30 mm)
- (12) pannello XLAM

SEZIONE DI DETTAGLIO AGORÀ E CORTE INTERNA



SEZIONE DI DETTAGLIO UFFICI E AGORÀ



SEZIONE DI DETTAGLIO CORPO SCOLASTICO

