



Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Indirizzo Strutture

Tesi di Laurea Magistrale

**Strutture Platform Frame:
metodo di validazione tabellare**

Relatore:

Prof.ssa Valentina Salomoni

Correlatore:

Ing. Giuseppe Cardillo

Studente:

Marta Zanin

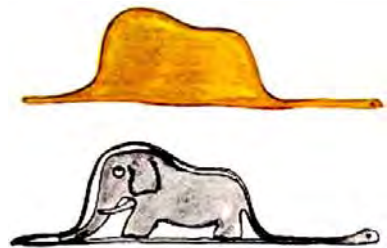
1036744

Anno Accademico 2014-2015

“... non si vede bene che col cuore.

L'essenziale è invisibile agli occhi.”

(Antoine de Saint-Exupéry, “Il Piccolo Principe”)



Indice

Indice.....	I
Introduzione	1
Capitolo 1	3
1.1. Generalità	3
1.2. I prodotti di legno per la costruzione	4
1.2.1. <i>Il legno massiccio</i>	7
1.2.2. <i>Le travi DUO/TRIO</i>	9
1.2.3. <i>Il legno lamellare incollato</i>	10
1.2.4. <i>I pannelli</i>	11
1.3. La Normativa per la classificazione.....	14
1.4. La costruzione di edifici in legno	16
1.5. Il sistema costruttivo Platform Frame	19
1.5.1. <i>Comportamento della struttura nelle sue parti</i>	27
1.5.2. <i>Dimensionamento delle pareti e dei solai</i>	28
Capitolo 2	31
2.1. Generalità	31
2.2. Valutazione della sicurezza strutturale.....	34
2.3. Le verifiche di resistenza agli stati limite ultimi	37
2.3.1. <i>Trazione parallela alla fibratura</i>	40
2.3.2. <i>Trazione perpendicolare alla fibratura</i>	42
2.3.3. <i>Compressione parallela alla fibratura</i>	42
2.3.4. <i>Compressione inclinata rispetto alla fibratura</i>	43

2.3.5.	<i>Taglio</i>	44
2.3.6.	<i>Torsione</i>	45
2.3.7.	<i>Taglio e torsione</i>	46
2.3.8.	<i>Flessione</i>	46
2.3.9.	<i>Tensoflessione</i>	47
2.3.10.	<i>Pressoflessione</i>	47
2.3.11.	<i>Verifiche di stabilità</i>	48
2.4.	Le verifiche agli stati limite di esercizio.....	48
2.4.1.	<i>Deformabilità</i>	49
2.5.	Strutture Platform Frame.....	50
2.6.	Indicazioni per le costruzioni di legno in zona sismica.....	53
2.6.1.	<i>La Normativa Europea</i>	53
Capitolo 3.....		61
3.1.	Generalità.....	61
3.2.	Descrizione del modello di parete in analisi.....	63
3.2.1.	<i>Descrizione della geometria della parete</i>	63
3.2.2.	<i>Descrizione dei materiali utilizzati</i>	66
3.3.	Modalità di redazione delle tabelle.....	67
3.3.1.	<i>Tabelle per la valutazione della rigidità di una parete</i>	67
3.3.2.	<i>Tabelle relative alla determinazione del centro di rigidità e di alcuni parametri chiave</i>	77
3.3.3.	<i>Ripartizione delle forze tra le pareti</i>	81
3.4.	Valutazione dei dispositivi di ancoraggio minimi.....	89
Capitolo 4.....		95
4.1.	Generalità.....	95
4.2.	Modellazione delle pareti.....	96
4.3.	Legame tra modellazione e calcolo manuale.....	98
4.4.	Test 1.....	101
4.4.1.	<i>Determinazione della rigidità delle pareti</i>	105
4.4.2.	<i>Valutazione del centro di rigidità del sistema</i>	108
4.4.3.	<i>Ripartizione delle forze</i>	110
4.4.4.	<i>Modello ad elementi finiti</i>	111

4.4.5. <i>Confronto dei risultati ottenuti</i>	112
4.5. Test 2	114
Conclusioni	127
Allegato A.....	131
Bibliografia	151

Introduzione

Il presente elaborato ambisce all'istituzione di un metodo di carattere tabellare idoneo alla validazione dei risultati ottenuti dalla modellazione di strutture intelaiate in legno attraverso l'utilizzo di programmi di tipo commerciale. L'esigenza dei progettisti, impegnati nella trattazione di edifici prefabbricati in legno, di disporre di strumenti di facile utilizzo per il calcolo di queste strutture, ha portato all'ideazione di questo progetto di tesi. Si precisa come attualmente siano disponibili numerosi software e programmi di calcolo per la trattazione di qualsiasi tipo di struttura lignea ma nel contempo si evidenzia come, molte volte, i risultati che scaturiscono dalla modellazione siano spesso considerati validi a priori e lascino grande libertà all'interpretazione dei valori ottenuti. Oggetto del lavoro di tesi è quindi la creazione di un metodo che consenta di creare maggior chiarezza in sede di trattazione delle strutture Platform Frame, consentendo di valutare la bontà dei risultati ottenuti "dando in pasto" ad un solutore automatico la struttura in analisi.

L'elaborato si struttura in varie parti: una prima parte è dedicata alla descrizione generale del legno inteso come materiale da costruzione, ai principali prodotti per l'edilizia in legno o a base di legno, al funzionamento delle principali tipologie costruttive lignee ed alla trattazione, nello specifico, delle strutture intelaiate. Con riferimento alla tipologia costruttiva del Platform Frame si sono quindi analizzati gli elementi strutturali che compongono il sistema, i materiali, le caratteristiche di resistenza di questi ed i meccanismi resistenti della struttura nel suo complesso.

A questa panoramica, riguardante le strutture lignee in generale, segue una breve parentesi relativa alla normativa attualmente vigente in merito alla trattazione delle strutture intelaiate. Con riferimento a questa parte dell'elaborato vengono espone, oltre le principali verifiche relative agli elementi lignei, anche le verifiche relative al sistema costruttivo in analisi.

Nella seconda parte sono trattate, nello specifico, le modalità d'istituzione del metodo tabellare. Gli abachi vengono organizzati in base agli obiettivi a cui ambiscono e saranno quindi distinti in relazione alle tematiche trattate: una prima parte di tabelle consentirà di

determinare i valori di rigidità assunti dalle pareti intelaiate una volta note le principali caratteristiche; seguiranno gli abachi che porteranno alla determinazione delle forze sollecitanti le diverse pareti. Un'ultima serie di tabelle consentirà infine di stimare il numero minimo di dispositivi di ancoraggio da introdurre al fine di trasferire le sollecitazioni taglianti, quelle di trazione e quelle di compressione, dalla parete alle strutture sottostanti (fondazioni o solai). In questa parte, ritenuta il fulcro dell'elaborato, sono precisate in primis le ipotesi avanzate per l'istituzione degli abachi relativi alla determinazione dei valori di rigidità. Tali rigidità sono da associare alle diverse pareti, in relazione alla loro lunghezza ed ai fori che ospitano entro la loro superficie. Sono successivamente esplicate le modalità di realizzazione di alcune tabelle atte a determinare, sostituendosi parzialmente al calcolo manuale, alcuni dei parametri necessari alla ripartizione delle azioni orizzontali (derivanti ad esempio da vento e sisma) che sollecitano una struttura nell'ipotesi di impalcato rigido. Seguono infine i grafici adibiti alla determinazione dei contributi di forza relativi a ciascuna parete, distinguendo gli effetti traslazionali da quelli torsionali che le azioni orizzontali sollecitanti provocano sulla struttura.

Alla parte esplicativa del metodo segue una parte pratica, atta a dimostrare l'efficacia della procedura stessa. Per appurare la veridicità dei risultati ottenibili dalla trattazione di una struttura intelaiata mediante l'utilizzo di un programma di calcolo agli elementi finiti, si procede analizzando alcuni edifici test. Confrontando i risultati ottenuti attraverso una ripartizione "automatica" delle forze con quelli scaturiti dall'implementazione del metodo tabellare descritto, è possibile valutare le eventuali discrepanze (in termini di valori di forza riferita ai diversi diaframmi), frutto della modellazione delle singole pareti. Si precisa inoltre come, previo confronto dei risultati, risulti necessario correlare il modello con il metodo manuale, eseguendo una calibrazione del modello stesso e determinando dei coefficienti di correlazione da applicarsi ai risultati ottenuti dal calcolo automatico.

Seguono, a chiudere, alcune considerazioni relativamente ai risultati ottenuti ed agli sviluppi del metodo presentato, evidenziando la possibilità di affinare il meccanismo di validazione studiando gli effetti che altri parametri hanno nei confronti dei valori di rigidità assunti delle pareti

Capitolo 1

Il legno nelle costruzioni

1.1. Generalità

La scelta del legno come materiale da costruzione è determinata dalle caratteristiche e dalle proprietà specifiche dello stesso, tra le quali ricordiamo:

- la reperibilità e la possibilità di lavorazione senza eccessivo impiego di risorse di energia derivanti dai combustibili fossili;
- la facilità di assemblaggio, riparazione e sostituzione delle diverse parti;
- il rapporto notevolmente vantaggioso tra peso e resistenza del materiale: tale rapporto risulta infatti pari a quello dell'acciaio e cinque volte quello del calcestruzzo;
- la possibilità di realizzare strutture leggere e con buone prestazioni in zona sismica;
- l'ampia gamma di valori relativi a densità e resistenza in relazione al tipo di essenza legnosa utilizzata;
- l'elevata resistività termica unitamente ad una buona capacità di isolamento termico;
- i minori costi in opera, con un risparmio di circa il 15% rispetto al calcestruzzo;
- la grande scelta di prodotti semilavorati di legno massiccio e di prodotti a base di legno con varie possibilità d'impiego.

Risulta necessario precisare come lo sviluppo dell'edilizia del legno abbia avuto dei tempi di diffusione molto lunghi legati soprattutto:

- alla mancanza di conoscenza del prodotto;
- allo scetticismo della committenza nei confronti delle strutture realizzate con questo materiale;
- alla mancanza di maestranza specializzata;

ma anche alla presenza di alcuni difetti caratterizzanti il materiale in oggetto tra i quali si evidenziano:

- l'infiammabilità, più o meno elevata a seconda della tipologia di essenza adottata;

- la variabilità delle resistenze, anche per la stessa specie legnosa;
- la possibilità di aggressione da parte di parassiti e muffe e la durabilità legata al livello di protezione del materiale;
- il diverso comportamento del materiale in relazione alla direzione delle fibre (anisotropia);
- la sensibilità alle condizioni igrometriche ambientali (temperatura, umidità ecc), con conseguente instabilità dimensionale;
- la forte viscosità che lo caratterizza la quale porta la deformazione prodotta dai carichi permanenti ad aumentare nel tempo
- la difficoltosa realizzazione delle giunzioni.

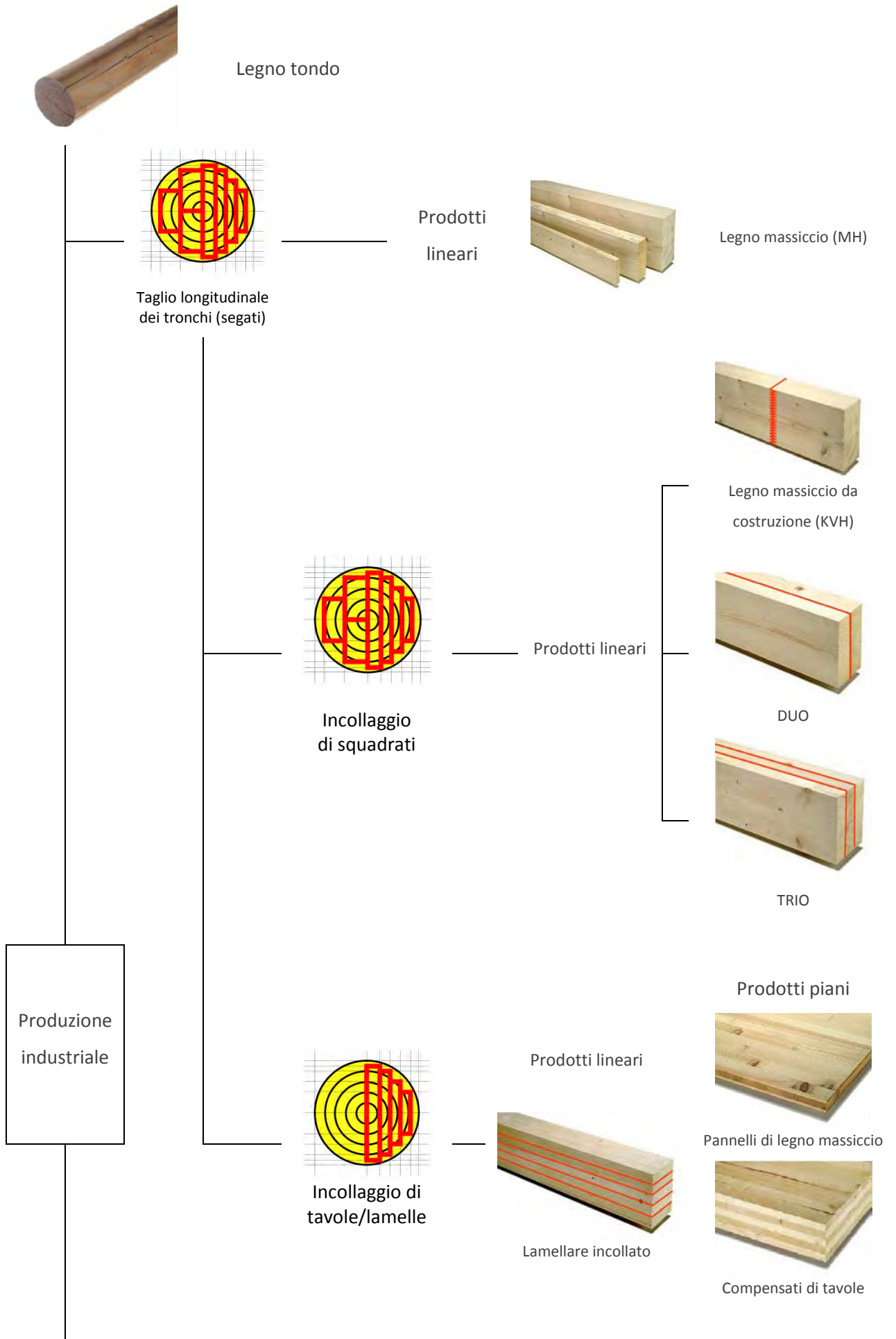
1.2. *I prodotti di legno per la costruzione*

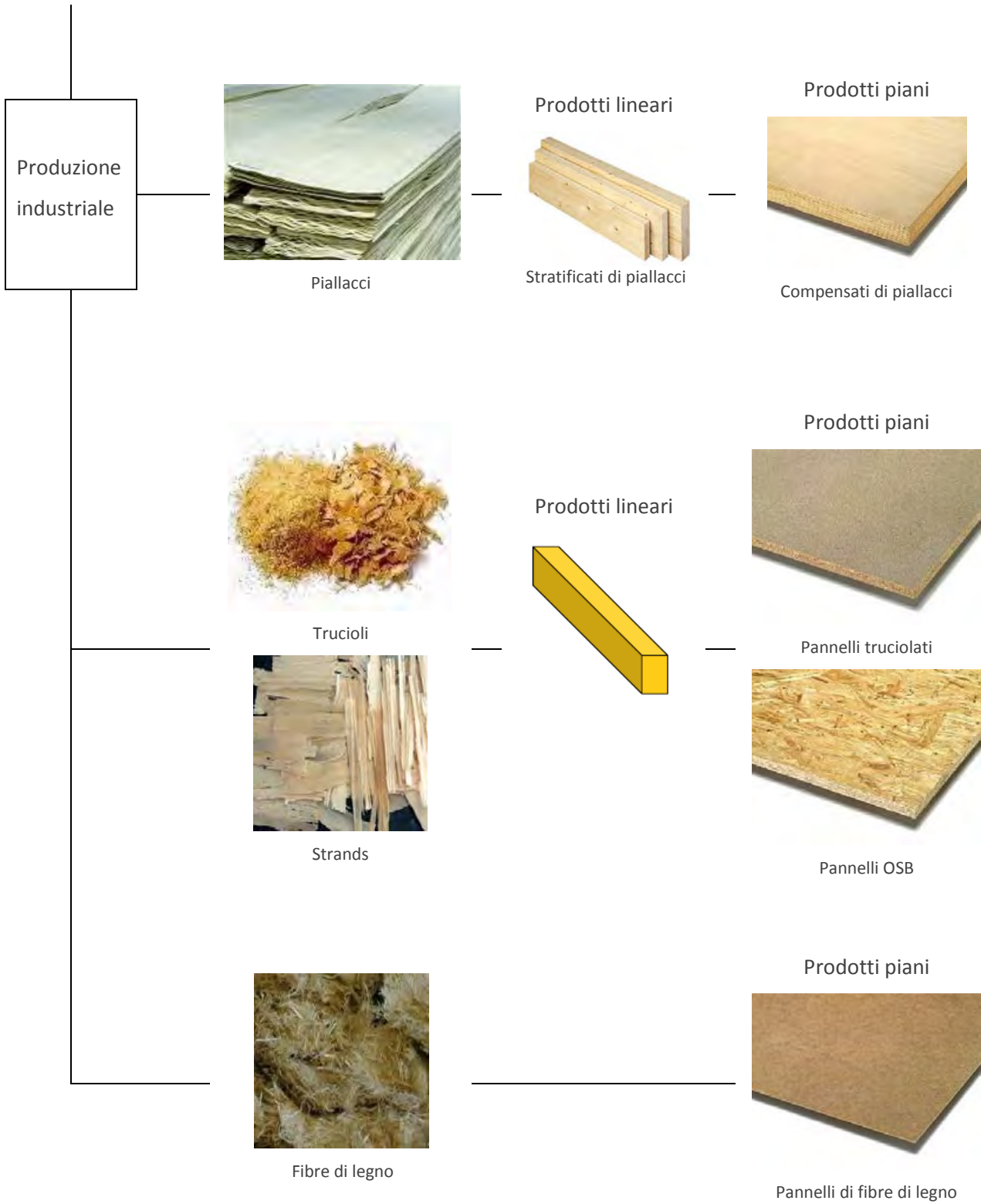
Il prodotto “base” per le costruzioni in legno è il cosiddetto *legno tondo*; è infatti a partire da esso che, attraverso *segazione* ed *essiccazione*, si ottengono i “segati” i quali, a loro volta, possono essere sottoposti ad ulteriore lavorazione della superficie in base alle esigenze legate all’uso previsto. I limiti riguardanti le dimensioni e le caratteristiche fisico-meccaniche derivanti dal fatto che i segati provengono da un unico tronco di legno, vengono oggi superati grazie a *processi di incollaggio* della superficie. Attraverso queste lavorazioni è infatti possibile realizzare prodotti di tipo lineare (legno massiccio da costruzione, travi DUO/TRIO) e legno lamellare incollato ottenendo in questo modo sezioni di dimensioni maggiori. Tramite incollatura di più strati vengono invece prodotti gli elementi piani di legno massiccio ed il compensato di tavole.

I segati possono essere inoltre giuntati in direzione longitudinale mediante il cosiddetto “giunto a pettine”, il quale permette di realizzare un prodotto di maggiore lunghezza.

Mediante processi di lavorazione e produzione industriali ed in particolare grazie all’evolversi della possibilità di lavorazione e della tecnologia di incollaggio, si possono realizzare prodotti a base di legno con caratteristiche meccaniche definite e con minore dispersione rispetto al legno massiccio; di essi fanno parte prodotti piani o a forma di trave ricavati da piallacci, trucioli e fibre di legno.

Viene di seguito riportato un semplice schema riassuntivo riguardante i principali prodotti in legno per le costruzioni, la loro denominazione e le modalità di produzione.





1.2.1. Il legno massiccio

Come si può notare dal precedente schema riassuntivo, il “primo” prodotto di tipo lineare (in relazione al processo di lavorazione) è il *legno tondo*. Con tale definizione sono da intendersi i legnami (di conifere o latifoglie) per i quali, oltre allo scortecciamento ed all’eliminazione del cambio, non sono ammesse altre trasformazioni della sezione e della superficie se non l’eventuale rettificazione del tronco per ottenere un diametro costante. A causa del permanere della struttura naturale (non danneggiata), soprattutto delle fibre esterne il *tondo*, in confronto ai segati, presenta migliori caratteristiche di resistenza e rigidità; il vantaggio di un elemento in legno massiccio è quindi legato al fatto che la sua struttura, rispetto alla materia prima, ha subito poche modifiche. In Europa centrale le specie legnose impiegate sono soprattutto le conifere locali come l’abete rosso, l’abete bianco, il pino, il larice e la douglasia. Per usi particolari viene usato anche il legno delle Latifoglie indigene, soprattutto quercia,



faggio, frassino, castagno e robinia. Il tondo può essere ridotto in forme e dimensioni volute attraverso lavorazioni di segheria; i segati che si ottengono si distinguono in listelli, tavole (o lamelle), tavoloni e legname squadrato a seconda delle dimensioni e del rapporto tra altezza e spessore della sezione.

Dei prodotti di legno massiccio fanno parte anche le *travi* *Uso Trieste e Fiume*.

La travatura *Uso Trieste* deriva dal legno di abete rosso scortecciato; la realizzazione di una squadratura continua con smusso su tutta la lunghezza, seguendo la conicità del legno, intacca solo superficialmente le fibre determinando una più elevata resistenza meccanica. La travatura *Uso Trieste* è adatta a lavori di carpenteria ed è utilizzata per la costruzione di tetti e coperture.



La travatura *Uso Fiume* viene realizzata eliminando completamente la conicità in modo da avere le facce parallele, mantenendo i caratteristici bordi smussati per tutta la lunghezza. La maggior parte delle fibre legnose rimane intatta, conferendole ottime caratteristiche



meccaniche e di elasticità. La travatura Uso Fiume viene utilizzata in lavori di restauro e laddove siano richiesti risultati estetici particolari

Altro importante prodotto di legno massiccio è il *legno massiccio da costruzione KVH*; con tale marchio registrato si indica il legname squadrato essiccato artificialmente, piallato e classificato secondo la resistenza. Rispetto al legname squadrato convenzionale, esso deve soddisfare criteri di classificazione più restrittivi. Per quanto riguarda la qualità del prodotto è previsto un controllo eseguito dal produttore e/o un controllo ad opera di un istituto esterno. Ne risulta un materiale di legno massiccio omogeneo e dalle ridotte deformazioni e fessurazioni. La "certificazione" KVH si basa su un accordo privato fra produttori e comunità KVH e non comprende nessuna marcatura CE. È però senz'altro possibile che un produttore disponga della marcatura CE per il suo prodotto e che, contemporaneamente, lo usi per produrre KVH. Ecco allora comparire del legname KVH munito di un marchio CE, che ne attesta la sua conformità alle regole armonizzate che definiscono il legno massiccio da costruzione per uso strutturale.

Oltre al legno massiccio da costruzione (KVH) è attualmente disponibile anche un altro prodotto dal marchio ugualmente registrato: il legno massiccio (MH). Anch'esso soddisfa una serie di criteri di qualità più restrittivi rispetto alle indicazioni stabilite nelle vigenti normative e può essere collocato in una categoria che si trova tra il prodotto "legno massiccio" e il prodotto "legno massiccio da costruzione (KVH)".

Il legno massiccio da costruzione (KVH) e il legno massiccio (MH) vengono prodotti normalmente

in legno di abete rosso; è possibile tuttavia utilizzare anche altre conifere come il pino, l'abete bianco ed il larice. Contrariamente a quanto accade per il legno massiccio e il legno massiccio (MH), il quale risulta disponibile in tutte le dimensioni realizzabili in base al diametro del legno tondo di partenza e viene fornito sulla base delle liste di ordinazione, il legno massiccio da costruzione (KVH) viene offerto in dimensioni standard, le cosiddette "dimensioni preferenziali".

Si precisa inoltre come, nel caso di necessità particolari, mediante il giunto a pettine sia



possibile ottenere elementi di maggior lunghezza rispetto alle dimensioni standard.

Il *giunto a pettine* è un giunto longitudinale tra due elementi di legno massiccio, sulle cui testate sono stati intagliati, mediante fresatura, denti aventi stesso profilo e stesso

passo, che si incastrano fra di loro senza gioco e che sono uniti tramite incollaggio. L'orientamento dei denti può essere parallelo alla larghezza o all'altezza della sezione. Le lunghezze disponibili dipendono generalmente dalla sezione e raggiungono i 5 m per gli elementi senza giunti a pettine, mentre per quelli giuntati sono normali lunghezze fino a 18 m. Il dimensionamento di elementi strutturali di legno massiccio da costruzione (KVH) e di legno massiccio (MH) deve avvenire, come per il legno massiccio, secondo le norme vigenti in materia, rispettando la classe di resistenza prescelta. Nel caso del legno massiccio da costruzione (KVH) la riduzione della sezione causata dal giunto a pettine non deve essere presa in considerazione.

1.2.2. *Le travi DUO/TRIO*

Uno dei principali prodotti di legno incollato sono le *travi DUO/TRIO*. Esse sono costituite da 2 o 3 elementi di legname squadrato o tavoloni, essiccati artificialmente, classificati secondo la resistenza e successivamente incollati sui lati lunghi. Da questo procedimento risulta un legno massiccio dalle caratteristiche tecniche ben definite, di ottima qualità e con una ridotta tendenza a fessurarsi. I singoli elementi possono essere inoltre giuntati longitudinalmente tramite giunti a pettine.



Travi DUO



Travi TRIO

Le travi DUO e TRIO vengono prodotte di regola da legno di abete rosso ma è tuttavia possibile utilizzare anche altre conifere come il pino, l'abete bianco ed il larice; queste sono piallate e smussate e vengono offerte generalmente nelle cosiddette "sezioni preferenziali" le quali dovrebbero soddisfare le principali esigenze applicative (costruzioni abitative di legno, edifici pubblici ecc.). Con riferimento alle lunghezze disponibili, con questa tipologia di prodotto si possono raggiungere i 18 m.

Il dimensionamento delle travi DUO e TRIO avviene in modo analogo a quello del legno massiccio e la riduzione della sezione causata dal giunto a pettine non deve essere tenuta in considerazione. Il modulo di elasticità può essere incrementato del 10% grazie ai trattamenti che portano ad una ridotta umidità del legno.

Tali tipologie di travi soddisfano le principali esigenze riguardanti le strutture in elevazione, in particolar modo per quanto riguarda le travi (a vista) dei solai, le strutture di copertura (puntoni ed arcarecci) e tutti i rimanenti elementi strutturali non esposti direttamente agli agenti atmosferici.

1.2.3. *Il legno lamellare incollato*

Il legno lamellare incollato è un prodotto composito costituito da lamelle solitamente di una sola specie legnosa ed incollate parallelamente alla fibratura. La tecnologia del legno lamellare incollato ha consentito di superare agevolmente le limitazioni legate alle dimensioni dei singoli elementi di legno, permettendo di coprire luci significative ed introducendo ulteriori vantaggi quali, ad esempio, la realizzazione di elementi a sezione variabile e di elementi curvi, come archi e portali. Con l'utilizzo del legno lamellare è possibile ovviare agli inconvenienti legati alla difettosità intrinseca del legno, cui sono tradizionalmente soggetti gli elementi di legno massiccio.



Per la produzione del legno lamellare incollato si impiega principalmente il legno delle conifere abete rosso, abete bianco, pino e larice; è tuttavia possibile utilizzare legno di latifoglie come il faggio, il frassino, la quercia, la robinia o il castagno. Le caratteristiche fisico-meccaniche del legno lamellare sono determinate principalmente dalla qualità delle lamelle, dalla loro posizione all'interno dell'elemento finito e dalla corretta realizzazione del giunto a pettine.

Soltanto grazie al giunto a pettine è infatti possibile la produzione di una "lamella continua" e quindi del legno lamellare incollato. Il giunto di testa delle singole lamelle, sottoforma di

giunto a pettine, deve essere realizzato osservando determinate limitazioni date dalla relativa norma UNI EN 14080:2013. Tale norma specifica i requisiti per giunti a dita incollati ed i requisiti minimi per la fabbricazione di giunti a dita fresati negli elementi di legno strutturale, elencando inoltre i requisiti per il legno, l'adesivo, l'umidità, la fresatura e l'incollaggio. A seconda della classe di resistenza del legno lamellare, il giunto a pettine deve raggiungere valori ben determinati della resistenza a flessione e a trazione. Le potenzialità di questa giunzione dipendono prevalentemente dalle caratteristiche geometriche dei denti e dalla qualità della realizzazione, che a sua volta dipende dagli impianti di produzione.

Per gli elementi strutturali di legno lamellare di tipo lineare prodotti da legname di conifere, lo spessore finale delle lamelle è di regola compreso fra 32 mm e 40 mm.

La lunghezza massima del prodotto industriale legno lamellare incollato ed inteso come merce standard, è di circa 18 m. Nel caso in cui il legno lamellare venga impiegato come prodotto speciale in costruzioni edili, sono disponibili anche altre dimensioni.

1.2.4. I pannelli

I tronche degli alberi non consentono di ottenere elementi di grandi dimensioni, a meno di non unire assieme più tavole segate, con tutti i rischi di deformazione e distacchi dovuti a fenomeni di ritiro tipici del materiale. Per ovviare a questo inconveniente, si sono escogitate diverse soluzioni tecniche che rendono possibile la produzione di pannelli di grande superficie e di limitato spessore ottenuti secondo diverse modalità.

Con riferimento ai prodotti a base legno si è già visto nello schema precedentemente riportato come, a seconda delle dimensioni, si possano distinguere le fibre di legno (o fasci di fibre), i trucioli o strands, i piallacci e le tavole (lamelle). E' necessario precisare che quanto maggiore è il grado di scomposizione, ovvero la grandezza (granulometria) del materiale di base, tanto maggiore sarà l'effetto di omogeneizzazione all'interno dell'elemento a base legno. In base a queste considerazioni è logico aspettarsi la maggiore omogeneità nei pannelli composti da fibre di legno, nei quali la dispersione dei parametri caratteristici del materiale (valori di resistenza e rigidità) è inferiore rispetto al materiale da costruzione legno massiccio, caratterizzato da elevata disomogeneità e anisotropia. D'altro canto, più aumenta il grado di scomposizione, più la fibra è soggetta a danni, con una conseguente perdita di resistenza da parte del materiale ottenuto e quindi dell'elemento costruttivo con esso realizzato. Pertanto la produzione di prodotti a base legno richiede sempre un compromesso tra questi due aspetti.

Si riportano di seguito le principali tipologie di pannelli in legno (o a base di legno), elencandone le principali caratteristiche.

Cross Laminated Panels (X-LAM): sono un'estensione bidimensionale delle travi in legno



lamellare. I pannelli sono ottenuti sovrapponendo in modo incrociato ed incollando tra loro diversi strati di assi di legno (in genere di abete rosso). La posizione incrociata delle lamelle longitudinali e trasversali permette di ridurre a valori trascurabili i fenomeni di rigonfiamento e ritiro del pannello, aumentandone la resistenza statica e la stabilità dimensionale. Le tavole possono essere tra loro incollate o giuntate con connettori metallici.

Microlamellare o Laminated Veneer Lumber (LVL): sono realizzati incollando fogli di legno



di spessore compreso tra 2 e 4 mm ottenuti mediante una sfogliatrice da tronchi ammorbiditi a vapore. Gli elementi strutturali che si ottengono hanno buone proprietà, essendo i difetti piccoli e sparsi su tutto il volume. Il legame tra i singoli strati viene realizzato mediante incollaggio con sostanze adesive specifiche.

Plywood (legno compensato): trattasi di un prodotto simile al LVL ma la disposizione dei fogli avviene in modo che l'andamento delle fibre di ognuno sia perpendicolare a quello successivo. In questo tipo di disposizione incrociata, il limitato rigonfiamento longitudinale di un foglio impedisce il rigonfiamento nel piano trasversale dei fogli adiacenti. Le caratteristiche del pannello dipendono dalla specie legnosa ma anche dallo spessore e dal numero dei fogli. A differenza del LVL, il Plywood presenta caratteristiche meccaniche nel piano confrontabili nelle due direzioni.



Pannelli di particelle OSB: con il termine OSB (Oriented Strand Board) si indica un materiale a base di legno costituito da diversi strati composti da scaglie di legno lunghe (dai 100 ai 150 mm), strette (larghezza variabile da 6 a 50 mm) ed aventi spessore compreso tra i 0,38 ed i 0,7 mm. I vantaggi principali dell'OSB risiedono nelle sue elevate prestazioni meccaniche, direttamente collegate alla geometria delle scaglie ed al loro orientamento all'interno del



pannello, Negli strati esterni le scaglie sono infatti orientate in senso longitudinale rispetto alla lunghezza del pannello, mentre negli strati intermedi sono invece ripartite trasversalmente.

Nella norma UNI EN 300:2006 vengono definite, in termini di prestazioni meccaniche e resistenza relativa all'umidità, 4 classi di pannelli OSB:

- OSB/1 -Pannelli di uso generale per sistemazione interna (inclusi i mobili) in luogo asciutto;
- OSB/2 - Pannelli portanti per uso in luogo asciutto;
- OSB/3 - Pannelli portanti per uso in luogo umido;
- OSB/4 - Pannelli portanti per carichi pesanti per uso in luogo umido.

Le scaglie di legno sono incollate tra loro mediante l'utilizzo di un collante a base di resine sintetiche resistenti all'umidità. Con riferimento alle dimensioni commerciali, queste risultano pari a: 244x120 cm – 244x122 cm – 250 x 125 cm, con spessori compresi tra i 6 ed i 40 mm e densità variabili dai 600 ai 680 kg/m a seconda del tipo di essenza lignea utilizzata e dal processo di fabbricazione.

Pannelli di fibre: sono ricavati da cascami provenienti da varie lavorazioni, sottoposti ad una



sfibatura allo scopo di sciogliere i legami che tengono unite le fibre nei tessuti legnosi e di ottenere una massa omogenea. Con l'aggiunta di varie sostanze si ottengono quindi i pannelli di fibre che presentano caratteristiche alquanto diverse a seconda del procedimento di formazione, delle condizioni di

pressatura, della natura del legante e degli eventuali trattamenti impiegati. I pannelli di fibre sono classificati in relazione alla massa volumica e le loro dimensioni variano da 122x244 cm a 180x569 cm.

Pannelli di lana di legno: sono pannelli fabbricati con sottili strisce di legno, aventi in genere una larghezza di qualche millimetro ed uno spessore inferiore al millimetro, che vengono ricavate mediante macchine speciali con un taglio nella direzione della fibratura. Le strisce vengono



successivamente impregnate con sostanze antiputrescenti, antiparassitarie ed ignifughe e successivamente agglomerate con materiale legante e compresse in stampi, ottenendo in questo modo dei pannelli rigidi, nei quali le strisce di legno formano un fitto intrico di piccole cavità irregolari inglobate nell'ammasso del materiale.

1.3. La Normativa per la classificazione

Vengono di seguito indicate le norme di maggiore rilevanza con riferimento alla classificazione meccanica del legno strutturale.

Norme europee

Le indicazioni per la classificazione secondo la resistenza si trovano nella EN 14081. Un sistema di classi di resistenza per il legno segato per uso strutturale si trova inoltre nella UNI EN 338:2009 *“Legno strutturale – Classi di resistenza”*. Con riferimento a questo documento normativo sono definite 12 classi di resistenza (da C14 fino a C50) per il legno di conifere e sei classi di resistenza per il legno di latifoglie. In relazione alle diverse classi sono indicati i valori caratteristici della resistenza, della rigidezza e della massa volumica.

Norme nazionali austriache

In Austria, per quanto concerne la classificazione secondo la resistenza di legno segato per la costruzione, vige attualmente (novembre 2004) la ÖNORM DIN 4074:1996. Trattasi di una norma identica alla norma tedesca DIN 4074:1989 dove vengono definiti i criteri di classificazione e le esigenze per il legno squadrato, le tavole, i tavoloni ed i listelli, per sette classi di resistenza: quattro con riferimento alla classificazione meccanica (MS7, MS10, MS13 e MS17) e tre per quella visiva (S7, S10 e S13).

Ulteriori indicazioni sulla classificazione si trovano nella norma ÖNORM DIN 4074 e nel Prontuario¹ (marzo 2004). Le tensioni ammissibili ed i valori caratteristici del materiale sono definiti nella norma ÖNORM B 4100-2:1997 e risultano molto simili a quelli riportati nella norma tedesca per la costruzione di legno DIN 1052-1 / A1 (1996).

Norme nazionali italiane

In Italia, la classificazione visiva secondo la resistenza del legno strutturale di provenienza italiana avviene sulla base della UNI 11035:2010 ed in particolare UNI 11035-1:2010 *“Legno strutturale - Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 1: Terminologia e misurazione delle caratteristiche”* e UNI 11035-2:2010 *“Legno strutturale -*

Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica - Parte 2: Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza meccanica e valori caratteristici per tipi di legname strutturale". La prima parte della norma elenca i criteri di classificazione mentre la seconda parte regola i criteri di classificazione per le diverse classi di resistenza in modo distinto con riferimento a 3 gruppi di specie legnose:

- "Conifere 1" (Abete rosso, Abete bianco, Larice e alcune altre specie di Conifere) nelle tre S1, S2 e S3;
- "Conifere 2" (Douglasia) nelle due classi S1 e S2/S3;
- "Latifoglie" (Castagno, Quercia, Pioppo, Faggio, Ontano, Robinia, Frassino e Olmo) in un'unica classe S.

Divisi secondo le diverse classi di resistenza e secondo le diverse specie legnose, vengono indicati i valori caratteristici relativi alle proprietà di rigidità e di resistenza. Viene di seguito riportata la classificazione con riferimento al legno massiccio e la corrispondente conversione delle classi di resistenza con riferimento alla norma europea.

Proprietà	Abete/Italia			Pino laricio/Italia			Larice/Nord Italia			Douglasia/Italia			Altre conifere/Italia			Castagno/Italia	Quercia caducifoglie/Italia	Pioppo e Ontano/Italia	Altre latifoglie/Italia
	C24	C18	C40	C22	C14	C22	C18	C35	C22	S1	S2/S3	S1	S2	S3	S	S	S	S	
Corrispondenza con le Classi di resistenza della UNI EN 338															D24				
Categorie resistenti	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2/S3	S1	S2	S3	S	S	S	S	
Flessione (5-percentile), N/mm ²	$f_{m,k}$	25	18	40	22	15		23	18	35	22	33	26	22	28	42	26	27	
Trazione parallela alla fibratura (5-percentile), N/mm ²	$f_{t0,k}$	15	11	24	13	9		14	11	21	13	20	16	13	17	25	16	16	
Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), N/mm ²	$f_{t90,k}$	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	
Compressione parallela alla fibratura (5-percentile), N/mm ²	$f_{c0,k}$	21	18	26	20	17		20	18	25	20	24	22	20	22	27	22	22	
Compressione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), N/mm ²	$f_{c90,k}$	2,6	2,6	3,2	3,0	3,0		3,6	3,6	3,2	2,9	3,7	3,7	3,7	7,3	11	6,3	7,7	
Taglio (5-percentile), N/mm ²	$f_{v,k}$	4,0	3,4	4,0	3,8	3,0		3,8	3,4	4,0	3,8	4,0	4,0	3,8	4,0	4,0	2,7	4,0	
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio), kN/mm ²	$E_{0,mean}$	11,8	10,5	15	12	11		12,5	11,5	15,8	13	12,3	11,4	10,5	12,5	12,0	8,0	11,5	
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile), kN/mm ²	$E_{0,05}$	7,9	7,0	10	8,0	7,4		8,4	7,7	11	8,7	8,2	7,6	7,0	10,5	10,1	6,7	9,7	
Modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura (medio), kN/mm ²	$E_{90,mean}$	0,39	0,35	0,50	0,40	0,37		0,42	0,38	0,53	0,43	0,41	0,36	0,35	0,83	0,80	0,53	0,77	
Modulo di taglio (medio), kN/mm ²	G_{mean}	0,74	0,66	0,94	0,75	0,69		0,78	0,72	0,99	0,81	0,77	0,71	0,66	0,78	0,75	0,50	0,72	
Massa volumica (5-percentile), kg/m ³	ρ_k	375	375	455	425	430		510	520	450	415	530	530	530	485	780	420	515	
Massa volumica (media), kg/m ³	ρ_{mean}	450	450	550	520	520		610	620	540	500	575	575	575	580	825	460	560	

Per il legno lamellare incollato di conifera, la UNI EN 1194 "Legno lamellare incollato – Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici" definisce le caratteristiche fisiche e meccaniche facendo uso del sistema delle classi di resistenza. La norma riporta la distinzione tra legno lamellare di tipo omogeneo (indicato con la lettera "h"), ovvero fabbricato con lamelle tutte della stessa qualità, e legno lamellare di tipo combinato ("c") nel caso in cui si abbiano lamelle di qualità peggiore all'interno e di qualità migliore agli estremi superiore ed inferiore.

1.4. La costruzione di edifici in legno

Con riferimento alle tipologie strutturali in legno, quelle attualmente più utilizzate per la realizzazioni di edifici in legno sono le seguenti:

- a pannelli in legno massiccio incollati (XLAM);
- Log House o Blockhaus (strutture di tronchi sovrapposti);
- a travi e pilastri;
- Platform Frame (strutture a telaio con pannelli chiodati).

Segue dunque una breve descrizione relativa al funzionamento ed alle principali peculiarità delle prime tre tipologie costruttive mentre, con riferimento al sistema costruttivo Platform Frame, si rimanda ai paragrafi successivi per una descrizione più accurata relativa al funzionamento del sistema costruttivo, alle modalità di realizzazione e di verifica.

Sistema costruttivo con pannelli in legno massiccio incollati (X-LAM)



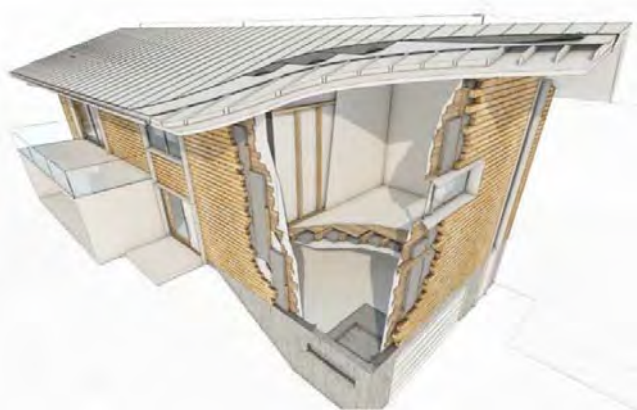
Il sistema costruttivo a *pannelli in legno massiccio* (noto più comunemente con X-LAM) nasce verso la fine degli anni '90 in Austria e Germania. Tale sistema prevede l'utilizzo di pannelli portanti (in compensato di tavole o pannelli di legno multi strato) costituiti da strati incrociati di tavole in legno massiccio

(in genere di abete ma anche larice, pino o douglasia incrociate tra loro, di spessore variabile da 5 a 30 cm), chiodate o incollate tra loro. Il legno utilizzato ha umidità controllata del 12+/-2% e, nel piano del pannello, si ha approssimativamente una deformazione di 1 mm per 10 m di lunghezza dell'elemento per ogni 1% di variazione di umidità. Non si hanno limiti dimensionali se non quelli dovuti al trasporto. I setti ottenuti dalla lavorazione in stabilimento sono dotati di buona stabilità dimensionale e massa elevata in grado di sostenere i carichi nelle due direzioni principali (trattasi quindi di un sistema costruttivo concettualmente simile ad un edificio in muratura). Questa particolare tipologia costruttiva può essere adottata sia per

costruzioni mono o bifamigliari che per condomini multipiano, strutture pubbliche come asili, scuole o altro; l'utilizzo dell'X-LAM è infatti assai versatile e consente la realizzazione di pareti, solette, tetti ecc. Di contro, l'utilizzo questa tipologia costruttiva prevede un maggiore impiego di materia prima ma vi è comunque la possibilità di impiegare legname di qualità inferiore essendo i pannelli in questione, soprattutto quelli assemblati mediante incollaggio, comunque molto rigidi e resistenti.

Sistema Log House o Blockhaus

Il sistema Log House è un sistema costruttivo tradizionale delle zone alpine e nord-europee, normalmente utilizzato per la costruzione di edifici unifamiliari a un o due piani. Trattasi di costruzioni di tipo massiccio con elementi lineari (tronchi di legno di



conifera) sovrapposti tra di loro al fine di formare una parete in legno e collegati tra loro con viti o cavicchi di legno. Gli elementi costituenti la parete possono essere tronchi di legno massiccio scortecciato oppure elementi squadrati (sia segati che prodotti a base di legno incollato, del tipo lamellare o bi-trilama), sagomati nella parte superiore ed inferiore al fine di aumentare l'attrito, la stabilità laterale e creare una protezione all'eventuale possibilità di penetrazione dell'acqua meteorica. La resistenza ai carichi verticali viene quindi affidata alle pareti ed a eventuali pilastri posizionati all'interno della struttura; la resistenza alle azioni orizzontali è invece legata alle maschiature d'incrocio fra le pareti ortogonali (che vengono sollecitate sia a taglio che a compressione ortogonale alla fibratura) ed all'attrito tra tronchi sovrapposti. L'ancoraggio alle fondazioni è realizzato mediante tirafondi affogati nella stessa fondazione ed assicurati contro lo sfilamento nei tronchi da un dado con rotella; tali dispositivi hanno la funzione di evitare lo scorrimento delle pareti stesse. I solai intermedi sono costituiti da travi o travetti in legno massiccio o lamellare che appoggiano su due pareti ortogonali e sono completati con un semplice tavolato. La copertura abitualmente è a due falde con trave di colmo parallela al lato più lungo dell'edificio e travetti che poggiano su quest'ultima e sulle pareti longitudinali parallelamente alla linea di falda. Il pacchetto costruttivo della parete può essere completato in due modi: o lasciando il legno a vista all'esterno dell'edificio ed inserendo il materiale isolante in corrispondenza del lato interno, proteggendolo poi con dei pannelli in

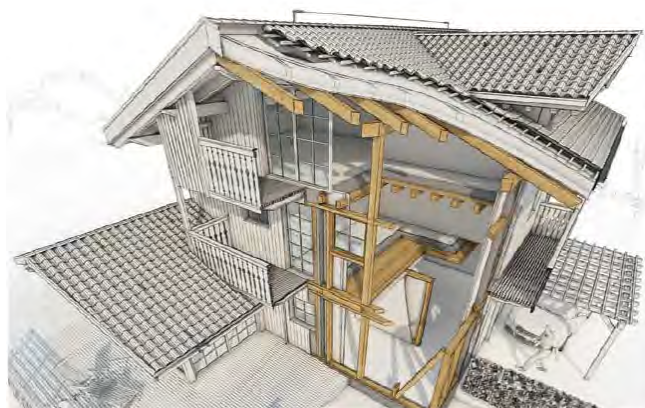
cartongesso, oppure lasciando il legno a vista internamente e inserendo un cappotto isolante esterno completato dall'intonaco o altro rivestimento.

Questo sistema costruttivo non rientra fra i più economici data la grande quantità di legno che viene utilizzata. E' però possibile realizzare edifici con un'ottima qualità complessiva dovuta alle caratteristiche intrinseche del materiale e si ottengono edifici dall'aspetto estetico molto gradevole.

Strutture a travi e pilastri

Gli edifici intelaiati hanno origini antichissime: un esempio di questa tipologia costruttiva è l'architettura tradizionale giapponese e del sud-est asiatico. La moderna versione di tale sistema presume la realizzazione di una gabbia strutturale con elementi trave e pilastro collegati tra loro sia attraverso giunti di carpenteria, sia mediante il ricorso ad elementi meccanici di collegamento come viti, bulloni, spinotti, scarpe metalliche e piastre in acciaio. Con questo metodo costruttivo si possono realizzare edifici di tre o quattro piani ottenendo una relativa libertà nella gestione degli spazi interni. A differenza delle strutture a telaio con altri materiali, come cemento armato e acciaio, con il legno non vi è la possibilità di realizzare vincoli d'incastro veri e propri a causa della deformabilità e delle variazioni dimensionali del legno. Per questo motivo si presenta la necessità di irrigidire la maglia strutturale al fine di rendere la struttura in grado di assorbire azioni orizzontali, come il vento e un sisma, per poi trasmetterle alle fondazioni. Solitamente le fondazioni vengono realizzate con platea di fondazione in c.a., con travi rovesce in c.a. oppure con plinti di fondazione isolati sotto i pilastri connessi da cordoli di collegamento. L'irrigidimento verticale si ha mediante l'introduzione di controventi di legno o acciaio oppure mediante l'utilizzo di pannellature strutturali in compensato o OSB. In questa tipologia costruttiva i particolari costruttivi sono di notevole importanza, soprattutto con riferimento alla resistenza al fuoco. Importante inoltre proteggere le giunzioni da ristagni idrici soprattutto nel caso del collegamento fra pilastri e fondazioni, evitando di utilizzare scatole o cuffie di metallo che racchiudano il piede del pilastro: sono da preferire, se possibile, dispositivi che prevedano l'inserimento di una piastra in una fresatura. La parete esterna è spesso rivestita con pareti di tamponamento con intelaiatura in cui è interposto l'isolante e rivestito con pannelli che possono non essere strutturali.

1.5. Il sistema costruttivo Platform Frame



Il sistema Platform Frame è il sistema costruttivo più diffuso al mondo: trattasi di un sistema codificato nei minimi particolari ed in grado di adattarsi alle più diverse esigenze estetico/architettoniche. La semplicità ed efficacia di questo particolare sistema ha fatto sì che questo si diffondesse a macchia d'olio

occupando oggigiorno la quasi totalità del mercato dell'edilizia residenziale del continente nordamericano ed una quota sempre più ingente dello stesso mercato in tutto il resto del mondo. Le peculiarità delle costruzioni intelaiate di legno sono brevemente riassunte di seguito:

- il "dispendio" tecnico limitato grazie all'utilizzo sistematico di sezioni di legno standard;
- il reticolo con la disposizione delle "colonne" determinato dalle dimensioni dei pannelli a base legno (o gesso), che evita lo spreco di materiale;
- la possibilità di messa in opera in cantiere di elementi di parete e di solaio che possono essere assemblati in stabilimento a differenti livelli di prefabbricazione, riducendo in questo modo i tempi di costruzione;
- la tenuta all'aria garantita senza complicate soluzioni tecniche: questo comporta un ottimo isolamento invernale, legato anche allo spessore degli isolanti utilizzati. Buono risulta anche essere l'isolamento dal punto di vista acustico;
- gli elementi irrigidenti l'edificio sono le pareti stesse (è infatti noto come tre pareti, i cui assi geometrici in pianta non convergono in un punto solo, costituiscono un sistema rigido).

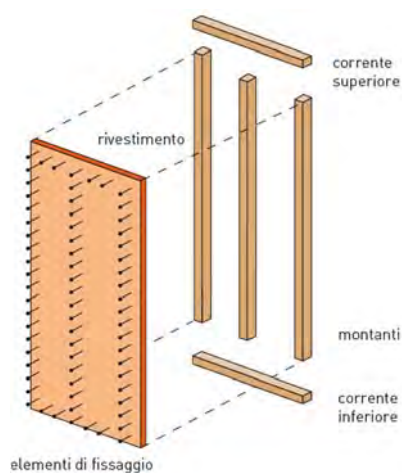
Con il sistema costruttivo Platform Frame è possibile realizzare case ed edifici fino a quattro piani di altezza, fondati su una platea in calcestruzzo armato o, in alternativa, su un piano scantinato con pareti in calcestruzzo armato, coperto da un orizzontamento di laterocemento o di legno; è da notare come, qualsiasi sia la tipologia di fondazione scelta, queste saranno di

dimensioni ridotte rispetto alle fondazioni relative ad altre tipologie costruttive, essendo la struttura in oggetto molto leggera.

Sulla fondazione sono costruite le pareti, realizzate come elementi compositi la cui ossatura portante è costituita da montanti verticali in legno massiccio di sezione piuttosto piccola, disposti parallelamente tra loro e ad interasse costante e relativamente ridotto; generalmente tale interasse varia tra i 55 ed i 70 cm ed è comunque sottomultiplo della larghezza del pannello di rivestimento. Ad essi è assegnato il compito di assorbire i carichi verticali di compressione provenienti dalla copertura e dai solai di interpiano, assumendo quindi la funzione di pilastro nelle pareti. I montanti possono avere snellezza molto elevata, avendo il rivestimento una funzione stabilizzante. Il telaio è completato da un corrente superiore e da uno inferiore aventi generalmente uguale sezione, i quali vengono fissati ai montanti con degli elementi angolari al fine di creare un sistema solidale. Le pareti sono infine collegate tra di loro da un ulteriore corrente superiore al quale viene affidata la funzione di cordolo di collegamento.



Su uno o ambo i lati del telaio viene applicato il rivestimento portante formato da pannelli a base di legno (generalmente compensato o OSB) o in gesso-fibra, connessi ai montanti mediante semplici mezzi di collegamento (quali chiodi, cambrette e bulloni); la pannellatura di

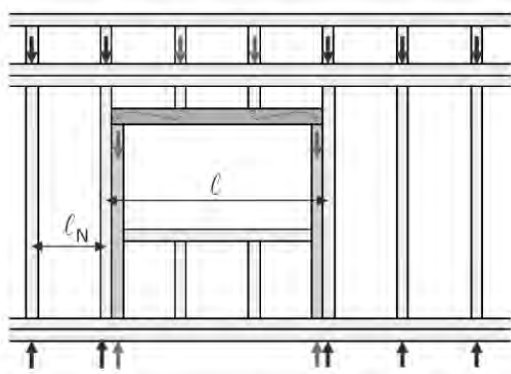


rivestimento assorbe essenzialmente i carichi agenti nel piano della lastra. La disposizione di fogli di rivestimento con funzione strutturale su entrambi i lati del telaio non è sempre necessaria per garantire il comportamento strutturale del pannello, ma può essere adottata per aumentare la resistenza a taglio globale dello stesso. E' inoltre necessario precisare che, affinché il montante centrale possa essere considerato in grado di costituire un appoggio per un foglio, è indispensabile verificare che la spaziatura dei mezzi di unione nel

montante centrale stesso non sia maggiore del doppio della spaziatura dei mezzi di unione lungo i bordi del foglio. Dal momento che l'altezza standardizzata dei pannelli di rivestimento della parete (2,50 m) non è mai corrispondente all'altezza di interpiano (2,70m più lo spessore del solaio), occorrerà comunque prevedere degli elementi orizzontali (generalmente aventi la stessa sezione dei montanti della parete) per il fissaggio orizzontale dei pannelli (in inglese tali elementi sono chiamati *blocking*). E' importante quindi, in fase di progettazione, realizzare

delle tavole di montaggio delle pareti dalle quali i carpentieri possano comprendere la disposizione e il fissaggio degli elementi.

Con riferimento alle aperture, queste possono essere disposte generalmente ovunque sull'elemento di parete con la precisazione che, un'apertura non allineata al reticolo, deve essere delimitata da ulteriori montanti aggiuntivi rispetto agli standard e da un architrave. E' quindi evidente come, adattando la progettazione al reticolo standard della parete, risulti possibile collocare porte e finestre in modo tale da evitare di inserire montanti aggiuntivi non strettamente necessari. La parete della struttura intelaiata è prevista come elemento continuo e senza interruzioni importanti. Di fatto, ogni apertura presente nella parete, rappresenta un'interruzione dell'elemento strutturale e deve essere analizzata e studiata nel dettaglio. La soluzione a questa situazione si trova nell'aggiunta di un elemento di rinforzo della parete, chiamato comunemente architrave, che permette di spostare i carichi insistenti sull'apertura verso le parti adiacenti della parete, garantendo in questo modo la discesa dei carichi verso il basso. In presenza di aperture quindi, le sollecitazioni non si distribuiscono su tutta la lunghezza dell'elemento di parete ma, in prossimità delle aperture, si presenta una



concentrazione di sollecitazioni tanto più importanti quanto più grande è l'apertura stessa. Dal momento che la discesa delle forze verticali avviene esclusivamente tramite i montanti verticali, le concentrazioni delle sollecitazioni in prossimità delle aperture non hanno solo un effetto di tipo locale, ma si manifestano su tutti gli elementi di pareti di

livello inferiore. Il principio dell'introduzione dell'architrave si presta quindi molto bene fintanto che l'edificio presenta un numero di piani limitato o fino a quando le aperture sulle pareti si trovano allineate, permettendo quindi di rinforzare la parete in un numero di punti limitato

E' da prevedersi inoltre l'introduzione di montanti aggiuntivi rispetto alla maglia standard in corrispondenza dei collegamenti della parete con altre pareti in direzione ortogonale alla parete in oggetto, in modo da consentire il fissaggio delle diverse pareti al fine di garantire il comportamento scatolare previsto per l'edificio. Il pacchetto costruttivo delle pareti viene completato mediante il posizionamento di materiale isolante all'interno dell'intercapedine dell'intelaiatura. L'isolante è generalmente costituito da fibra di vetro o lana di roccia; tale

strato isolante può occupare tutto lo spessore oppure, nel caso di necessità di passaggio di impianti, parte dell'intercapedine viene lasciata libera.

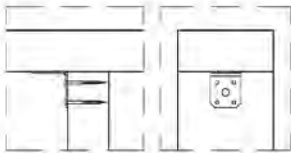
Con riferimento ai solai, questi sono realizzati generalmente con la stessa tecnica costruttiva delle pareti: travetti equispaziati posti allo stesso interasse dei montanti delle pareti e rivestimento in pannelli strutturali a base di legno collegati ai travetti mediante chiodi o viti analoghe a quelle utilizzate per le pareti. I solai vengono infine completati con un massetto in calcestruzzo porta-impianti, con un eventuale strato d'isolamento acustico in gomma o con pannelli anticalpestio ed infine con la pavimentazione, che può essere posata su un'ulteriore caldana di calcestruzzo. Lungo tutto il solaio sarà inoltre da prevedersi un cordolo di collegamento. Il collegamento del solaio alle pareti sottostanti e quello verticale delle pareti andrà realizzato in modo da realizzare una connessione rigida e che non rappresenti un punto di debolezza della struttura.

Una volta realizzato il solaio questo costituisce una "piattaforma" per il montaggio delle pareti del piano superiore le quali saranno realizzate e inchiodate o avvitate alla parte sottostante. I collegamenti fra solaio e pareti soprastanti vengono sempre realizzati con piastre angolari allungate, mediante l'utilizzo di bande forate esterne per il ribaltamento e viti di collegamento del corrente inferiore delle pareti superiori al solaio sottostante per lo scorrimento. La copertura può essere realizzata con diverse modalità secondo le esigenze.

Sono di seguito riportati alcuni particolari costruttivi "tipo" relativi a questa particolare tipologia costruttiva come i collegamenti a terra della parete, le connessioni tra i diversi elementi e le modalità di realizzazione dei principali giunti.

PARETE: DETTAGLI COSTRUTTIVI

DETT.1



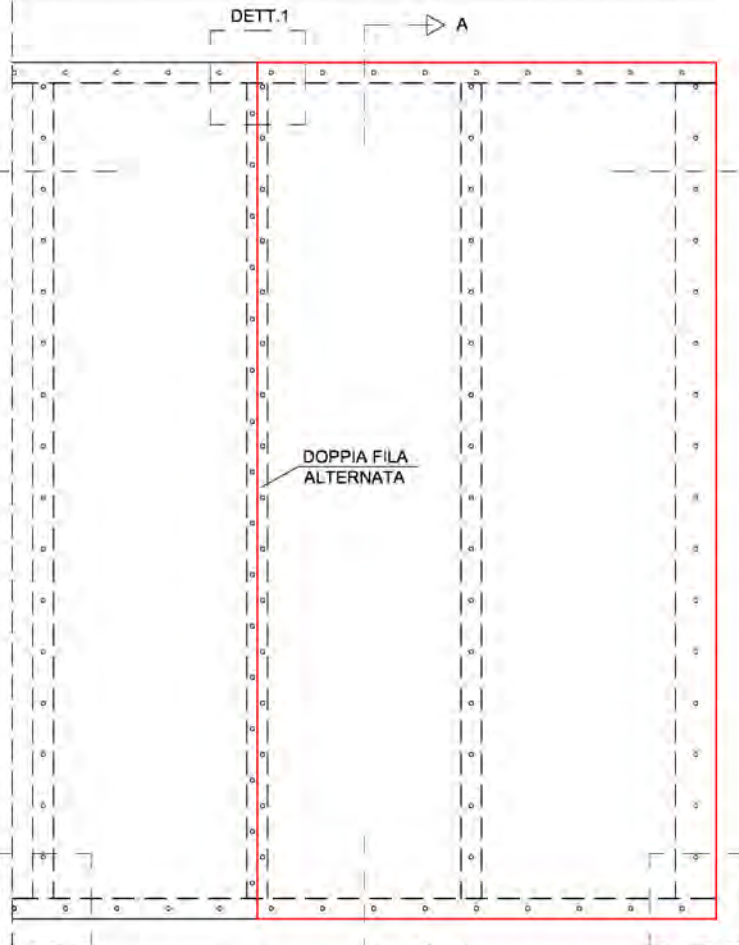
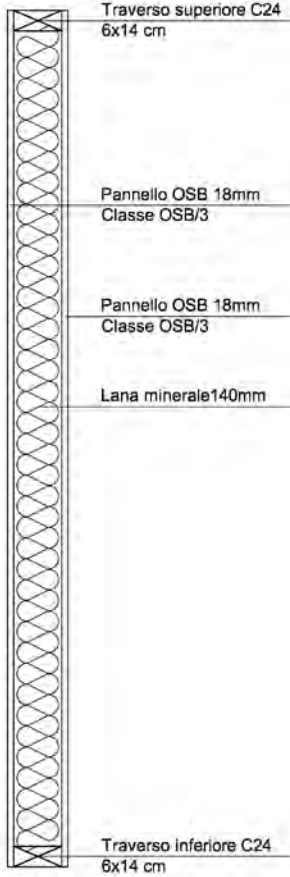
Angolare
WKR 135

SEZIONE B-B

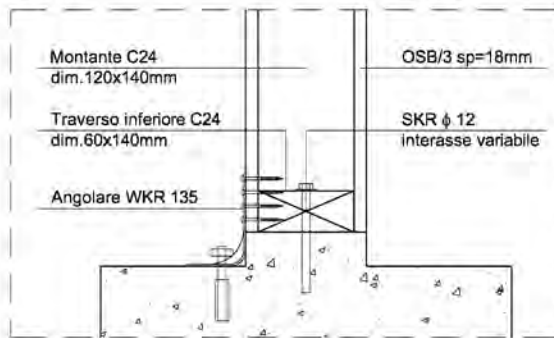
Montante C24 -
6x14 cm

Montante C24 -
12x14 cm

SEZIONE A-A

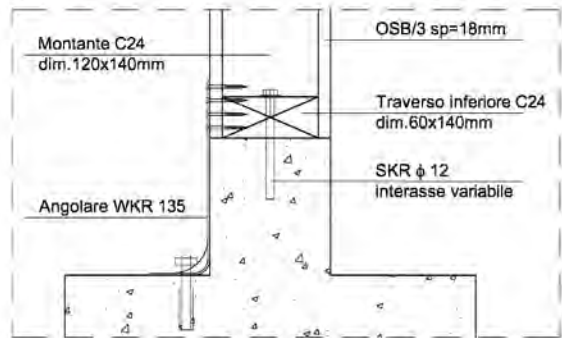


DETT.2

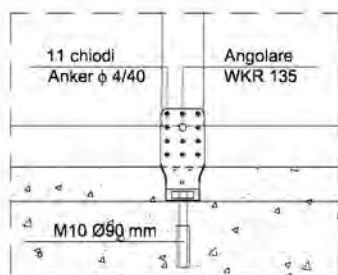


DETT.2

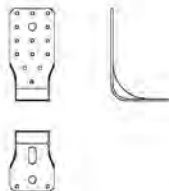
DETT.3



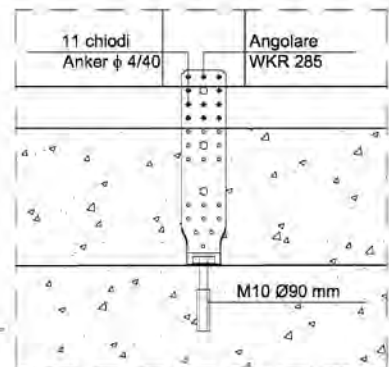
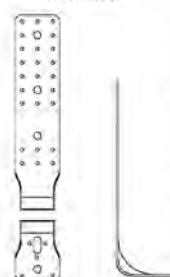
DETT.3



Angolare
WKR 135

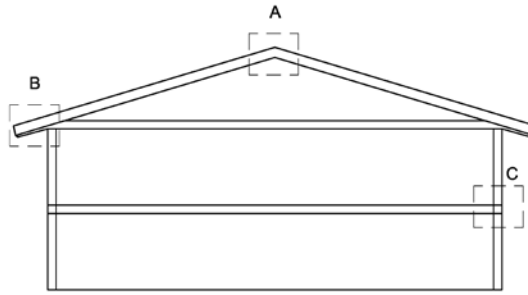


Angolare
WKR 285

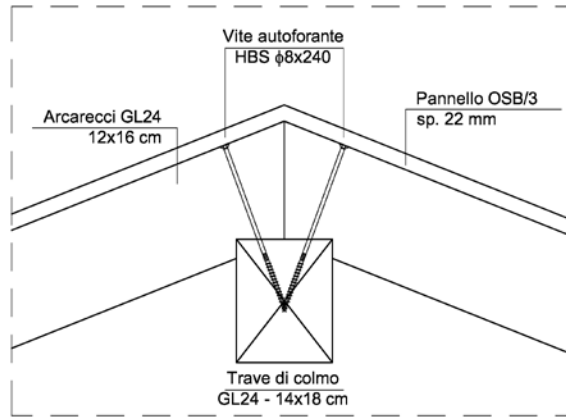


M10 Ø90 mm

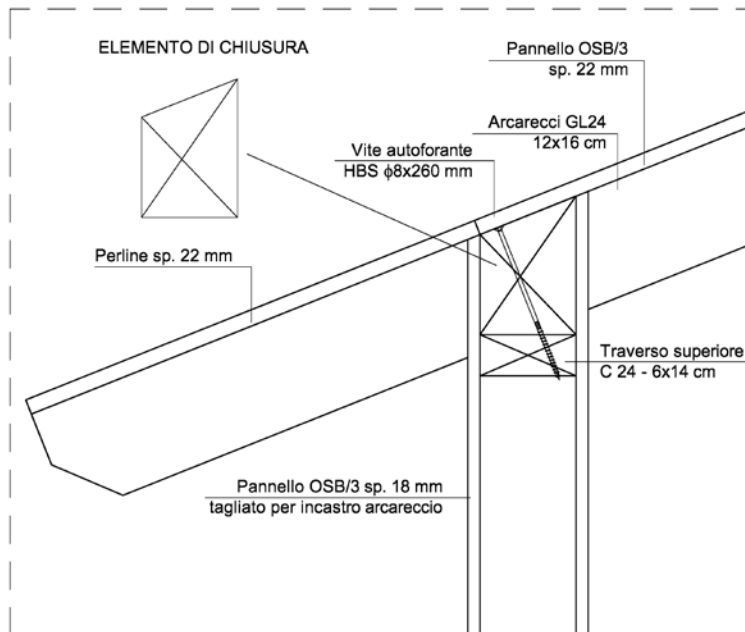
SEZIONE TIPO: DETTAGLI COSTRUTTIVI



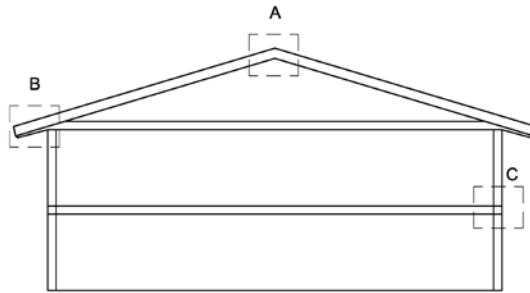
A: PARTICOLARE UNIONE TRAVE DI COLMO-ARCARECCI



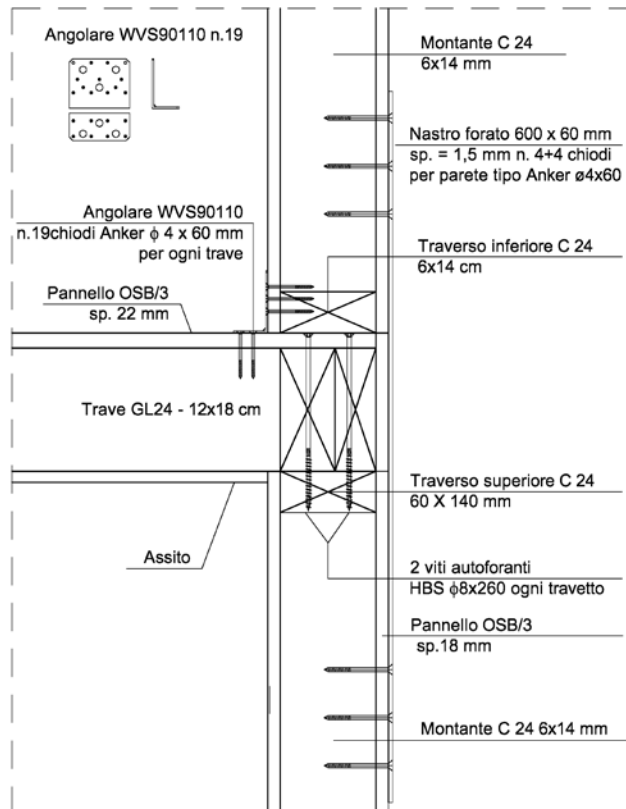
B: PARTICOLARE UNIONE TRAVETTO TETTO-PARETE



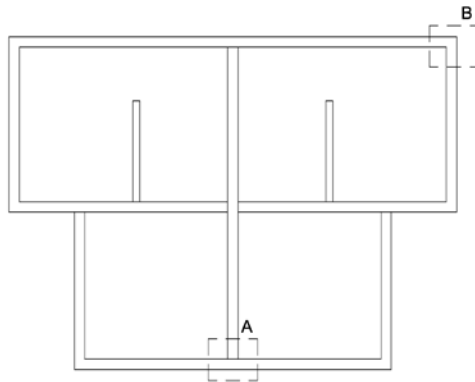
SEZIONE TIPO: DETTAGLI COSTRUTTIVI



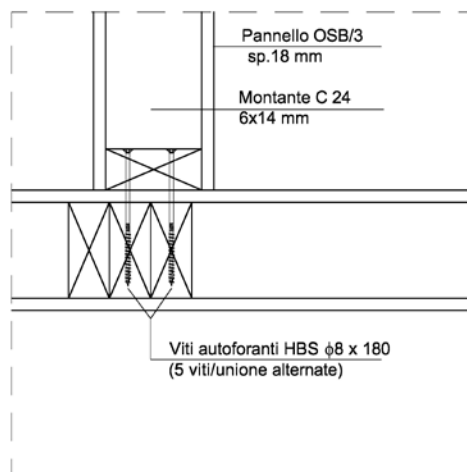
C: PARTICOLARE UNIONE PARETI-SOLAIO



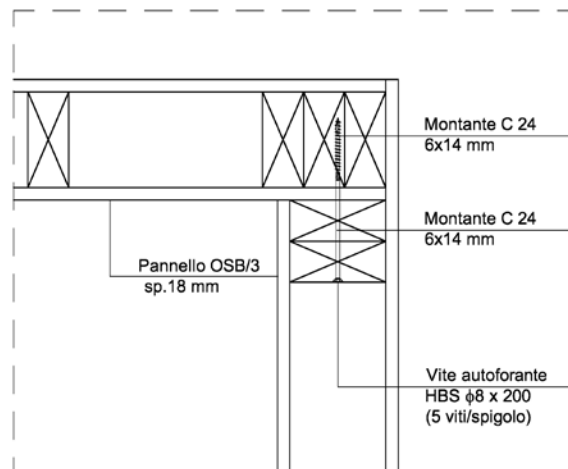
PIANTA: DETTAGLI COSTRUTTIVI



A: PARTICOLARE DI "UNIONE A T" DELLE PARETI



B: PARTICOLARE DI "UNIONE AD ANGOLO" DELLE PARETI



1.5.1. Comportamento della struttura nelle sue parti

Come già anticipato, le pareti hanno la duplice funzione di portare i carichi verticali trasmessi dai solai e dalla copertura (funzione assegnata prevalentemente ai montanti) e di resistere alle azioni orizzontali, agenti nel loro piano, trasmesse dai vari orizzontamenti o dalle pareti poste in direzione ortogonale (funzione generalmente assegnata alla pannellatura strutturale). Sono considerate come resistenti alle azioni orizzontali solamente le pareti rivestite con pannelli strutturali a base di legno (compensato o OSB) connessi con elementi meccanici di collegamento opportunamente distanziati tra loro. Le pareti divisorie interne, solitamente rivestite con pannellature di cartongesso, pur non contribuendo alla resistenza alle azioni orizzontali, svolgono l'importante ruolo di elementi dissipativi nei confronti delle azioni sismiche.

I pannelli di rivestimento strutturale mediante l'azione resistente degli elementi di collegamento assorbono, come già precisato, i carichi agenti nel piano della lastra, assicurando inoltre la controventatura delle pareti .

Il rivestimento a base di legno svolge quindi l'importante funzione di impedire l'instabilizzazione dei montanti per effetto dell'azione dei carichi verticali ed i montanti stessi, a loro volta, impediscono lo svergolamento e l'imbozzamento dei pannelli per effetto delle azioni di taglio; i collegamenti che uniscono il foglio di rivestimento al telaio devono essere quindi progettati per resistere alla trasmissione delle forze orizzontali.

I solai possono essere considerati infinitamente rigidi nel proprio piano a patto che vengano soddisfatte le indicazioni presenti negli Eurocodici 5 e 8, nel paragrafo relativo agli edifici a struttura in legno. Ipotizzando i solai infinitamente rigidi è necessario considerare la distribuzione dell'azione sismica secondo le rigidità effettive delle pareti resistenti e gli eventuali effetti torsionali aggiuntivi delle azioni sismiche sulle pareti di taglio dovuti alla non coincidenza fra centro di massa e centro delle rigidità.

I componenti delle pareti e dei solai resistenti alle azioni orizzontali devono essere adeguatamente collegati tra loro in modo che la struttura agisca come un sistema unitario. Va inoltre previsto un cordolo continuo lungo tutto il perimetro del solaio, al fine di assorbire le azioni di trazione che si sviluppano quando l'orizzontamento viene caricato da azioni orizzontali. Il collegamento tra fondazione e parete deve svolgere il duplice compito di contrastare il ribaltamento (e quindi il sollevamento della parete) e lo scorrimento delle pareti

per effetto delle azioni orizzontali. Per il ribaltamento vengono utilizzate piastre angolari allungate, dette holdown, collegate alle fondazioni con barre filettate inserite in fori sigillati con malta cementizia o epossidica e ai montanti con chiodi o viti. Lo slittamento viene impedito sempre con tirafondi di ancoraggio che collegano il corrente inferiore della parete alla fondazione.



Holdown per forze di trazione



Angolari per forze di taglio



Collegamento con la fondazione

Quando ben progettato e realizzato, un edificio realizzato con il sistema Platform Frame presenta una caratteristica senz'altro vantaggiosa nei confronti delle azioni sismiche: la ridondanza dei percorsi di trasmissione del carico, dovuta all'abbondanza di elementi strutturali ed all'enorme numero di elementi di collegamento. Questo fornisce un ulteriore livello di sicurezza nei confronti del terremoto poiché eventuali crisi di un percorso di trasmissione del carico sono compensate dal funzionamento degli elementi e dei collegamenti adiacenti, a differenza di quello che accade in edifici realizzati su grossi telai con relativamente pochi giunti ed elementi.

Con riferimento al dimensionamento dei singoli elementi costruttivi, viene riportata di seguito una panoramica relativa alle diverse parti del sistema.

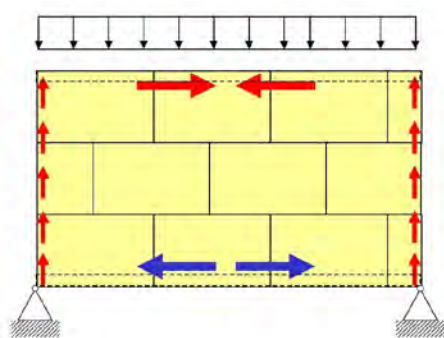
1.5.2. Dimensionamento delle pareti e dei solai

Per quanto riguarda il dimensionamento delle pareti *per carichi verticali*, il sistema costruttivo garantisce il trasferimento delle forze attraverso le membrature del telaio che lavorano appunto secondo le modalità di un pilastro nelle pareti e secondo il modello trave nel solaio. Di regola l'asse dei pilastri corrisponde con la posizione dell'asse delle travi orizzontali dei solai, in modo da permettere una trasmissione diretta delle forze. La discesa dei carichi verticali è distribuita su tutti i pilastri (montanti), ed è quindi anche distribuita su tutta la lunghezza delle

pareti. Le aperture nelle pareti richiedono architravi e rinforzi appositi e possono avere un'influenza anche sulla composizione delle pareti sottostanti.

Il *dimensionamento delle pareti* per carichi verticali è strettamente legato alla *verifica per compressione parallela alle fibre* e di *instabilità* dei segati disposti all'interno del telaio. Nella verifica di stabilità occorre tenere presente il reale grado di vincolo dei montanti che, nel piano della parete è determinato dalla presenza dei fogli di controvento, collegati con chiodi disposti ad un certo interasse: maggiore importanza sarà dunque da attribuire alle verifiche di instabilità fuori dal piano della parete. Considerando inoltre la presenza all'interno del telaio di traversi lignei continui che trasmettono le forze verticali ai montanti ed in fondazione, altra verifica molto importante da effettuare è quella dello schiacciamento per compressione ortogonale alle fibre (effetto di schiacciamento locale).

Il *dimensionamento dei solai* per carichi verticali è legato alla verifica del singolo elemento lineare disposto all'interno del solaio e che lavora come trave inflessa. Anche in questo caso la presenza di un foglio di compensato o di OSB garantisce la stabilizzazione di questa trave nel piano, e occorre tenerne in considerazione nelle verifiche di stabilità. Per effettuare le verifiche statiche sopra descritte vanno quindi seguite le stesse regole di dimensionamento che si utilizzano per gli elementi lineari di legno quali pilastri o colonne, regole riportate nel capitolo relativo alla normativa.

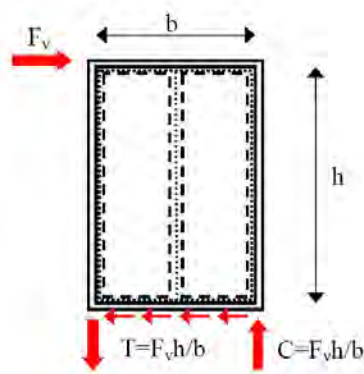


Seguendo le indicazioni riportate nell'Eurocodice 5, EN 1995-1, si schematizza il *comportamento del solaio nel piano* come quello di una trave alta su due appoggi, rappresentati dalle pareti d'ambito dove si appoggia il solaio. Le "ali" di questa "trave" sono costituite dai cordoli di bordo, progettati per resistere alle azioni normali dovute al momento

flettente, mentre l'anima della trave è rappresentata dal rivestimento esterno che assorbe le forze di taglio. Il *comportamento del pannello parete nel piano* (dove con "pannello parete" si intende quella porzione di telaio rivestita, su uno o su entrambi i lati, da un foglio di rivestimento strutturale la cui larghezza deve essere almeno maggiore di un quarto dell'altezza) viene invece schematizzato come quello di una mensola opportunamente vincolata a terra e sollecitata da forze orizzontali trasmesse dagli orizzontamenti o dalle pareti disposte in direzione ortogonale.

Con riferimento alla resistenza a taglio delle pareti questa risulterà ovviamente legata alla resistenza a taglio del singolo elemento di collegamento, all'interasse con cui sono disposti i collegamenti stessi ed alla larghezza complessiva del pannello parete. L'Eurocodice 5 prescrive la riduzione di questo valore di resistenza con un certo parametro nel caso in cui il rapporto tra base ed altezza sia minore di 0,5. La verifica dei fogli di rivestimento può essere trascurata se si rispettano alcune regole costruttive: l'Eurocodice 5 prescrive una distanza libera massima tra due montanti successivi montanti pari a 100 volte lo spessore del rivestimento, per poter trascurare gli effetti di ingobbamento (i montanti interni al pannello parete servono proprio, come già visto in precedenza, a limitare gli effetti di ingobbamento oltre che a ricevere una parte dei carichi verticali).

La verifica degli elementi di telaio all'interno del pannello deve essere determinata in accordo con la figura riportata: sui montanti esterni si applica una coppia di forze (di trazione e di compressione) pari a:



$$T = C = \frac{F_v \cdot h}{b}$$

dove:

- F_v è la forza orizzontale sollecitante il pannello;
- h è l'altezza del pannello;
- b è la larghezza del pannello.

Nel caso più generale di una parete costituita da più pannelli, la resistenza complessiva di parete deve essere determinata come la sommatoria delle resistenze dei singoli pannelli parete. Come già accennato in precedenza si deve inoltre garantire che le sollecitazioni di taglio che si trasmettono attraverso il pannello siano trasmesse direttamente in fondazione, attraverso una serie di ancoraggi atti a evitare lo scorrimento e una serie di ancoraggi (holdown) atti ad evitare il ribaltamento. Questi connettori devono essere disposti a tutti i livelli di piano, per garantire un collegamento tra partizioni orizzontali e verticali, ed una connessione di continuità tra gli elementi verticali.

Capitolo 2

Inquadramento normativo

2.1. Generalità

La situazione normativa nel settore delle costruzioni in legno è, sia a livello nazionale che a livello europeo, in fase di forte evoluzione.

A livello europeo esiste la versione definitiva dell'Eurocodice 5 dedicato alle strutture di legno, nelle parti:

- UNI EN 1995-1-1:2009 *“Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici”*;
- UNI EN 1995-1-2:2005 *“Progettazione delle strutture in legno. Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio”*;
- UNI EN 1995-2:2005 *“Progettazione delle strutture in legno. Parte 2: Ponti*.

Con riferimento alla trattazione dell'azione sismica, si fa invece riferimento alle indicazioni contenute nell'Eurocodice 8 UNI EN 1998-1:2013 *“Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”*.

Per poter essere utilizzata anche nel nostro Paese con legittimità e correttezza, tale normativa necessita della definizione di alcuni coefficienti e formule che potranno presentarsi differenti da Paese a Paese. A tal fine si stanno predisponendo anche in Italia i cosiddetti “Annessi Tecnici Eurocodici” in cui saranno raccolte tutte le varie scelte operate a livello nazionale per tutti gli Eurocodici.

Con riferimento al settore delle costruzioni lignee, l'Italia ha vissuto negli ultimi anni un periodo piuttosto travagliato per quel che riguarda il quadro normativo applicabile, con un susseguirsi di Ordinanze, Norme, Circolari Ministeriali e periodi di sovrapposizione con le norme previgenti. Pur potendo vantare di interessanti costruzioni di notevole impegno statico costruite con il legno, non ci si è finora dotati di uno strumento legislativo specifico, ma ci si è rivolti a normative consolidate di altri paesi europei, in primo luogo a quelle tedesche:

- DIN 1052 [1-2-3] 4/1988 (REV. 10/1996 per le proprietà dei materiali) “Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken” norma alle tensioni ammissibili, il foglio di aggiornamento del 1996 modifica la classificazione del materiale;
- Nationales Anwendungsdokument (NAD) (2/1995) “Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1995-1-1” è il NAD tedesco per l’EC5 contiene i valori caratteristici del materiale in accordo al sistema di classificazione tedesco;
- DIN 1052:2004, “Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken”, normativa di transizione verso gli Eurocodici che, dopo 3 anni dall’entrata in vigore sostituirà definitivamente la precedente norma alle tensioni ammissibili;

ma anche alla normativa svizzera (SIA 265:2003 “Conditions générales pour la construction en bois”) ed a quella francese (Regles C.B.71 : “Regles de calcul et de conception des charpentes en bois”).

Pur non esistendo quindi attualmente una normativa nazionale ufficialmente in vigore per la costruzione di strutture in legno, è comparsa recentemente una proposta normativa nota con l’acronimo NICOLE (Norme tecniche Italiane per la progettazione, esecuzione e collaudo delle COstruzioni di LEgno), rivista ed approvata a livello di bozza da apposita Commissione C.N.R. Parti di questo documento normativo sono state incorporate, per quanto riguarda gli aspetti fondamentali, nel documento Norme Tecniche per le Costruzioni. Il C.N.R. ha predisposto, sulla base del documento NICOLE, un testo di “Istruzioni” (Istruzioni CNR DT 206:2007) da affiancare alle Norme Tecniche, per fornire ai progettisti le indispensabili basi di calcolo al fine di poter affrontare il problema della progettazione e della verifica delle strutture in legno; in particolare le citate istruzioni contengono alcuni argomenti specifici non trattati all’interno dell’Eurocodice 5, come il calcolo dei solai misti legno-calcestruzzo, dei collegamenti con barre incollate e dei giunti di carpenteria.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni

Le nuove norme tecniche (DM 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”) entrate definitivamente in vigore il 01 luglio 2009 contengono per la prima volta in Italia, assieme alla Circolare Esplicativa n.617 del 2 febbraio 2009, alcuni sotto-capitoli relativi alla progettazione di *strutture di legno*, legittimando il legno massiccio e ricomposto come materiale strutturale accanto al calcestruzzo armato o precompresso, all’acciaio ed al laterizio.

Oggetto delle Norme Tecniche è la definizione, con riferimento a tutti i materiali da costruzione, dei principi da adottare per la *progettazione*, l'*esecuzione* ed il *collaudo* delle costruzioni nei riguardi delle prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica, stabilità (anche in caso d'incendio) e di durabilità, secondo il *metodo semiprobabilistico agli Stati Limite*.

Trattasi quindi, come tutte le moderne normative, di norme di *carattere prestazionale* le quali definiscono i criteri di sicurezza, le azioni da utilizzare nella progettazione, le caratteristiche dei materiali e tutto ciò che riguarda la sicurezza strutturale delle opere secondo un'impostazione di tipo appunto probabilistico.

I sotto-capitoli presenti nelle Norme Tecniche relativi alle costruzioni in legno sono riferiti ad importanti aspetti della progettazione in generale ma esauriscono solo in parte le richieste per far fronte ad una progettazione completa.

Nel Capitolo 2 "*Sicurezza e prestazioni attese*" sono riportati i principi fondamentali per quanto riguarda la sicurezza e le prestazioni di un'opera o di parte di essa; queste devono essere valutate agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale della struttura nel suo complesso. Sono quindi ivi definiti i diversi *stati limite*, delineando con stato limite "*la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata*". Sono inoltre definiti i requisiti che le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere.

Il Capitolo 4 "*Costruzioni civili ed industriali*" tratta, al paragrafo 4.4 "*Costruzioni in legno*", la progettazione statica, ossia la progettazione con riferimento alle combinazioni fondamentali agli Stati Limite Ultimi ed agli Stati Limite di Esercizio. In tale paragrafo sono definiti i requisiti generali e le metodologie di valutazione della sicurezza in termini di resistenza, stabilità, funzionalità, robustezza e durabilità con riferimento a strutture portanti realizzate con legno strutturale o con prodotti a base di legno assemblati con mezzi d'unione meccanici o mediante incollaggio. All'interno del capitolo sono definiti i valori dei *coefficienti parziali di sicurezza* sui materiali γ_M ed i valori del *coefficiente di modificazione delle resistenze* k_{mod} . Riguardo ai valori di questi coefficienti, che devono essere obbligatoriamente utilizzati dal progettista italiano, occorre ricordare che questi sono sensibilmente diversi e sostanzialmente più cautelativi rispetto a quelli indicati dall'Eurocodice 5 – *Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: 2009* ed utilizzabili negli altri paesi europei.

Il paragrafo 7.7, "Costruzioni di legno" all'interno del Capitolo 7 "Progettazione per azioni sismiche", definisce le regole *aggiuntive* per la progettazione delle strutture di legno nei confronti delle azioni sismiche.

Il capitolo 11 "Materiali e prodotti per uso strutturale" definisce i requisiti a cui devono rispondere i materiali ed i prodotti legno utilizzati; in particolare il paragrafo 11.7 "Materiali e prodotti a base di legno" tratta le proprietà dei materiali, dei prodotti strutturali a base di legno e le relative procedure per la loro qualificazione.

Documento CNR-DT 206/2007

Il documento CNR-DT 206/2007 di Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno ha l'ambizione di porsi come punto di riferimento per quanto riguarda le possibili applicazioni strutturali dei moderni materiali lignei. Il documento è stato redatto, nell'ambito delle attività normative del CNR e grazie all'impegno comune di esponenti del mondo universitario e di diverse categorie di operatori nel campo delle lavorazioni del legno, al fine di fornire un contributo tecnico di supporto agli ingegneri impegnati nelle varie fasi della progettazione delle strutture lignee. Il risultato è un testo armonizzato con le più aggiornate normative europee che, tenuto conto della peculiare situazione nazionale per le costruzioni di legno, fornisce all'utilizzatore i principali elementi utili nella generalità delle situazioni in cui si troverà ad operare.

2.2. Valutazione della sicurezza strutturale

Uno dei compiti principali del progettista strutturale è la *verifica della sicurezza della struttura*. Tale verifica può essere ricondotta al soddisfacimento della disuguaglianza di seguito riportata la quale deve rimanere valida in ogni momento della vita dell'opera, con riferimento ad ogni elemento strutturale e per l'intero organismo strutturale nel suo complesso:

$$\text{Sollecitazione} < \text{Resistenza}.$$

Tutte le grandezze in gioco, sia nel campo delle resistenze che nel campo delle sollecitazioni, hanno carattere aleatorio, ovvero non sono determinabili in maniera univoca; operando con

variabili di tipo *aleatorio* risulta necessaria la conoscenza delle funzioni di densità di probabilità di tali entità. Nell'assunzione dei valori caratteristici di *resistenza* si assume solitamente il valore caratteristico frattile al 5% (inferiore) ovvero quel valore che ha la probabilità del 5% di non essere superato e 95% di probabilità di essere invece superato. Nell'assunzione dei valori caratteristici di *sollecitazione* si assume invece il valore caratteristico al 95° percentile, cioè quel valore che ha la probabilità del 95% di non essere superato.

Il metodo utilizzato dalle più recenti normative sulle costruzioni per la valutazione della sicurezza strutturale è il cosiddetto *metodo semiprobabilistico agli stati limite* il quale prevede, come visto, che i valori di progetto delle variabili relative alle sollecitazioni e quelli relativi alle resistenze siano ottenuti semplicemente con dei coefficienti γ_M , minoranti per la variabili di base delle resistenze dei materiali e γ_F , maggioranti per le variabili di base delle sollecitazioni. I coefficienti minoranti per i materiali si applicano sui valori caratteristici delle resistenze.

Per gli stati limite ultimi (cioè quelli relativi alla verifica della condizione di collasso strutturale), i coefficienti γ_M risultano superiori all'unità e sono determinati dal prodotto dei fattori parziali γ'_M , γ''_M e γ'''_M che tengono in considerazione de:

- l'incertezza del modello di calcolo;
- il passaggio dal frattile del 5% al frattile del 0,5% per il materiale in opera;
- la correlazione tra i valori di resistenza delle prove e quella effettiva del materiali in opera.

Per gli stati limite di esercizio (relativi alla verifica della funzionalità di normale esercizio della struttura), i valori caratteristici e quelli di progetto coincidono. Nulla impedisce ovviamente ad un Ente Normatore nazionale di introdurre valori dei coefficienti di sicurezza più severi rispetto a quelli proposti a livello comunitario (cosa già avvenuta in Italia per quanto riguarda le strutture in calcestruzzo armato).

Poiché nel calcolo delle sollecitazioni le uniche variabili considerate aleatorie sono i carichi (vengono infatti considerate come grandezze deterministiche le grandezze geometriche relative alla quantificazione delle sollecitazioni), i coefficienti maggioranti relativi alle sollecitazioni da applicarsi ai valori caratteristici di carichi, consentono di tenere in considerazione tutte le altre fonti di aleatorietà. Nel calcolo delle sollecitazioni, in presenza di azioni variabili diverse, occorre inoltre tenere in considerazione tramite opportuni coefficienti

di combinazione ψ , la probabilità ridotta che tutte le azioni intervengano contemporaneamente con il loro valore caratteristico.

Secondo tutti i documenti normativi europei di più recente edizione (EN, DIN, SIA, documento NICOLE ecc.) le azioni devono essere assegnate ad una delle *classi di durata* del carico delineate nella tabella che segue (tabella riportata al paragrafo 4.4.4 delle N.T.C.'08):

Tabella:4.4.1 Classi di durata del carico

<i>Classe di durata del carico</i>	<i>Durata del carico caratteristico</i>
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	da 6 mesi a 10 anni
Media durata	da 1 settimana a 6 mesi
Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	-

Le classi di durata del carico sono caratterizzate dall'effetto di un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. La tabella precedentemente riportata consente di determinare la classe di durata del carico in funzione della variazione tipica del carico caratteristico con il tempo. Ai fini del calcolo, in genere, si possono assumere:

- il *peso proprio* ed i *carichi non rimovibili* durante il normale esercizio della struttura come appartenenti alla classe di *durata permanente*;
- i *carichi permanenti* suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura ed i *sovraccarichi variabili* relativi a magazzini e depositi appartenenti alla classe di *lunga durata*;
- i *sovraccarichi variabili* (ad esclusione di magazzini e depositi) appartenenti alla classe di *media durata*;
- il *sovraccarico da neve* di riferimento al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine apparentemente ad una classe di durata in funzione del sito. In alternativa si potrebbe considerare che il valore q_{sk} risulti composto da addendi appartenenti a classi di durata differenti (come proposto nel documento NICOLE);
- *l'azione del vento* e le *azioni eccezionali* appartenenti alla classe di *durata istantanea*.

Per le strutture di legno in genere, ma in particolare per quelle composte da parti con diverso comportamento reologico (per esempio quelle miste legno-calcestruzzo), le verifiche andranno effettuate sia nello stato iniziale a tempo $t = 0$ (senza cioè mettere in conto gli effetti di

viscosità del materiale), che in quello finale a tempo $t = \infty$ (ovvero quando gli effetti di viscosità si sono manifestati completamente).

Le strutture devono inoltre essere assegnate ad una delle *classi di servizio* di seguito descritte. Il sistema delle classi di servizio è destinato all'assegnazione di valori di resistenza ed al calcolo delle deformazioni in condizioni ambientali definite.

- *Classe di servizio 1*: è caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con ambiente ad una temperatura di 20°C ed un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all'interno degli edifici in ambienti condizionati;
- *Classe di servizio 2*: è caratterizzata da un'umidità dei materiali in equilibrio con ambiente ad una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane l'anno. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare diretto;
- *Classe di servizio 3*: condizioni climatiche che prevedono umidità più elevate di quelle della classe di servizio 2. Possono appartenere a tale classe gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici direttamente esposti alle intemperie.

2.3. *Le verifiche di resistenza agli stati limite ultimi*

La resistenza di un elemento strutturale va verificata sulla base delle sollecitazioni cui è sottoposto, con riferimento alle sezioni che presentano i massimi valori di queste. Le azioni sulla costruzione devono essere cumulate in modo da determinare condizioni di carico tali da risultare *più sfavorevoli* ai fini delle singole verifiche, tenendo conto della probabilità ridotta di intervento simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli, come consentito dalle normative citate.

Per gli stati limite ultimi si adotteranno le combinazioni del tipo:

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_q \left[Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} Q_{k,i}) \right]$$

essendo:

G_k	il valore caratteristico delle azioni permanenti;
$Q_{k,1}$	il valore caratteristico dell'azione di base (o dominante) di ogni combinazione;
Q_{ki}	i valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti ($i > 2$);
γ_g	pari a 1,35 o 1,4 a seconda dei diversi documenti normativi (si considera unitario se il suo contributo incrementa la sicurezza);
γ_q	pari a 1,5 (o 1 se il suo valore è a vantaggio di sicurezza);
$\psi_{0,i}$	il coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo da determinarsi sulla base di considerazioni statistiche, per tenere conto della probabilità ridotta di effetto simultaneo di tutte le azioni con i rispettivi valori più sfavorevoli. In assenza di dati statistici sui carichi, si assume da normativa $\psi_{0,i}$ non inferiore a 0,7.

Il valore di calcolo X_d di una proprietà di resistenza del materiale a partire dai valori caratteristici delle proprietà stesse, viene determinato mediante la relazione:

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

dove i simboli sono definiti come segue:

X_k	valore caratteristico specificato da norme pertinenti o determinato sulla base di prove svolte in condizioni definite dalle norme stesse;
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza per la proprietà del materiale, come indicato nella tabella che segue (Tabella 4.4.III NTC'08 ripresa da EN 1995-1-1);
k_{mod}	coefficiente di correzione che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità degli elementi.

Si riportano di seguito i valori previsti dalle NTC'08 per i coefficienti γ_M e k_{mod} .

Tabella 4.4 III- Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

Stati Limite	γ_M NTC'08	γ_M EC5
<i>Stati Limite Ultimi</i>		
-Combinazioni fondamentali		
legno massiccio	1,50	1,30

legno lamellare incollato	1,45	1,25
pannelli di particelle o di fibre	1,50	1,30
LVL, compensato, OSB	1,40	1,20
unioni	1,50	1,30
-Combinazioni eccezionali	1,00	1,00
<i>Stati Limite di Esercizio</i>	1,00	1,00

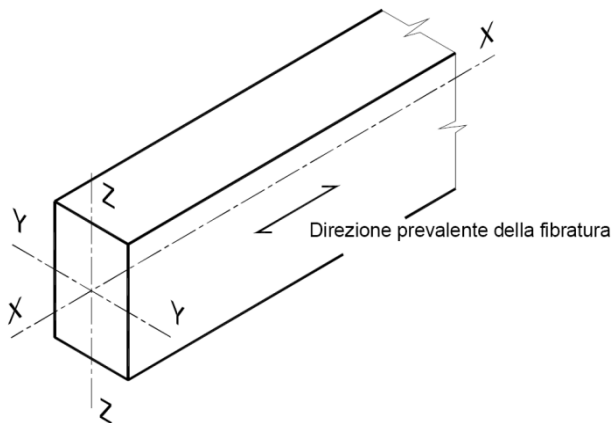
Tabella 4.4 IV- Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno.

Materiale	Riferimento		Classe di servizio	Classe di durata del carico				
				Perm.	Lunga	Media	Breve	Istant.
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
			3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	EN 636	Parti 1,2,3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2,3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 – OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parti 4,5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6,7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622- 2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622- 3	MBH.LA 1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.HLS 1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80
	EN 622- 5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico, si dovrà scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata: ciò implica che sia necessario analizzare tutte le combinazioni di carico in quanto non risulta immediato comprendere quale tra queste risulti determinante nella verifica di un ben definito elemento.

Si riportano di seguito le verifiche rispetto alle principali tipologie di sollecitazioni a cui possono essere soggette le sezioni dei singoli elementi strutturali lignei. Si precisa come, con riferimento al presente elaborato, non sarà eseguita alcuna verifica poiché questo si discosta dal principale obiettivo del lavoro. Si ritiene comunque necessario fare una breve panoramica per quanto concerne le verifiche da effettuare con riferimento ai vari elementi costituenti la struttura, una volta determinati (e validati) i valori di sollecitazione relativamente alle diverse parti del telaio.

Le prescrizioni che seguono si riferiscono alla verifica di resistenza di elementi strutturali in legno massiccio o di prodotti derivati dal legno aventi direzione della fibratura coincidente sostanzialmente con il proprio asse longitudinale e sezione trasversale costante, soggetti a sforzi agenti prevalentemente lungo uno o più assi principali dell'elemento stesso. E' da



precisarsi inoltre come, a causa della forte anisotropia del materiale, le verifiche degli stati tensionali di trazione e compressione debbano essere eseguite tenendo conto dell'angolo tra la direzione della fibratura e la direzione della tensione.

2.3.1. Trazione parallela alla fibratura

Con riferimento a quanto riportato al §4.4.8.1.1 deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

dove:

$\sigma_{t,0,d}$ è la tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura calcolata sulla sezione netta:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{netta}} \quad \text{con:}$$

- N_d valore di calcolo dello sforzo assiale per la combinazione di carichi di verifica;
- A_{netta} area della sezione netta (minima) dell'elemento;
- $f_{t,0,d}$ è la corrispondente resistenza di calcolo, determinata tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente k_h , come definito al §11.7.1.1 e riportato successivamente:

$$f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_M}$$

Nella verifica risulta necessario il riferimento all'influenza esercitata dalla presenza dei difetti ed alla riduzione di capacità resistente che ne consegue attraverso la considerazione di un "effetto di volume", prevedendo un valore di resistenza maggiore negli elementi con dimensioni delle sezioni limitate. I valori di resistenza caratteristici $f_{t,0,d}$ possono dunque essere incrementati mediante il coefficiente amplificativo k_h , così definito:

- per gli elementi di legno massiccio con larghezza di sezione tesa (dove "larghezza è la massima dimensione di sezione) o altezza di sezione inflessa $h < 150$ mm:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} ; 1,3 \right\}$$

- per gli elementi di legno lamellare con larghezza di sezione tesa (larghezza è la massima dimensione di sezione) o altezza di sezione inflessa $h > 600$ mm:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,2} ; 1,15 \right\}$$

Le dimensioni per le prove standardizzate degli elementi in trazione e flessione prevedono, appunto, $h=150$ mm per il legno massiccio e $h=600$ mm per il legno lamellare.

Le giunzioni di estremità rappresentano, di fatto, un indebolimento della sezione: chiodi, viti, perni e bulloni impongono infatti una riduzione della sezione trasversale resistente a causa dei fori e degli intagli necessari, riduzione che può essere trascurata solamente per i fori di chiodi e viti con ≤ 6 mm infissi senza preforatura. In tali giunzioni si dovrà inoltre tener conto dell'eventuale azione flettente indotta dall'eccentricità dell'azione di trazione attraverso il

giunto: le azioni secondarie potranno essere computate, in via approssimata, attraverso un'apposita riduzione della resistenza di calcolo a trazione.

2.3.2. *Trazione perpendicolare alla fibratura*

La trazione perpendicolare alla fibratura rappresenta certamente la sollecitazione più pericolosa della quale si deve tener conto nella verifica di un elemento strutturale ligneo, essendo quella per la quale si registrano i valori più bassi di resistenza del materiale. E' bene evitare l'instaurarsi di stati di trazione ortogonali alla fibratura anche per l'interazione, sempre sfavorevole, con i processi di ritiro (radiale o tangenziale) dovuti alla variazione di umidità del materiale. Particolare attenzione dovrà inoltre essere posta nella verifica degli elementi soggetti a forze trasversali applicate in prossimità del bordo.

La rottura è di *tipo fragile* e risulta sensibilmente influenzata dalla presenza dei difetti. Nella verifica degli elementi si dovrà opportunamente tener conto del volume effettivamente sollecitato a trazione; la formula generale proposta dalla normativa, riprende i principi della teoria di Weibull sulla frattura dei materiali fragili, associando infatti la resistenza al volume interessato dalla sollecitazione: maggiore è il volume sollecitato, tanto maggiore sarà il rischio di rottura associato alla presenza di un difetto. In via del tutto generale, la verifica potrà esprimersi attraverso la relazione:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$$

dove:

$\sigma_{t,90,d}$	è la tensione di progetto di trazione perpendicolare alla fibratura;
$f_{t,90,d}$	è la corrispondente resistenza di progetto;
V_0	è il volume di riferimento da assumere pari a 0,01 m ³ ;
V	è il volume uniformemente sollecitato in m ³ .

2.3.3. *Compressione parallela alla fibratura*

Per elementi tozzi deve essere soddisfatta la seguente limitazione:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

dove:

$\sigma_{c,0,d}$ è la tensione di progetto a compressione in direzione delle fibre

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{lorda}};$$

N_d è il valore di calcolo dello sforzo assiale per la combinazione di carichi di verifica;

A_{lorda} è l'area della sezione lorda dell'elemento;

$f_{c,0,d}$ è la corrispondente resistenza di progetto.

Per elementi snelli si dovrà inoltre considerare l'*instabilità* dell'elemento per carico di punta. Nella valutazione di $\sigma_{c,0,d}$ è possibile tenere conto della ripartizione del carico nella direzione della fibratura lungo l'altezza della sezione trasversale dell'elemento.

2.3.4. Compressione inclinata rispetto alla fibratura

Tensioni di compressione variamente inclinate rispetto alla fibratura si manifestano assai frequentemente nelle strutture lignee; questi stati tensionali devono essere tenuti in debita considerazione, non tanto per il pericolo di collasso strutturale, quanto per lo sviluppo di *fenomeni di schiacciamento* più o meno localizzato già in fase di esercizio. La verifica dell'elemento deve necessariamente basarsi sulla resistenza a compressione ortogonale $f_{c,90,k}$ fornita dal relativo profilo prestazionale per lo specifico materiale in uso.

E' da notare come, a differenza dagli altri tipi di sollecitazione, i difetti del materiale abbiano un'influenza minima sulla già modesta capacità resistente: talvolta i nodi possono addirittura essere d'aiuto nella limitazione della deformabilità locale.

Nel caso di compressione ortogonale alla fibratura, deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$$

dove:

$\sigma_{c,90,d}$ è la tensione di progetto a compressione ortogonale alla fibratura;

$f_{c,90,d}$ è la resistenza di progetto a compressione ortogonale alla fibratura.

Quest'ultima sarà calcolata mediante l'espressione:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{90,d}}{b \cdot l_{ef}}$$

con :

$F_{90,d}$ la forza di compressione esterna ortogonale alla fibratura;

b la base dell'elemento;

l la lunghezza di trave sulla quale agisce $F_{90,d}$;

l_{ef} la lunghezza efficace pari al minimo tra $l+h/3$ e $2l$ nel caso di confinamento su due lati, pari al minimo tra $l+h/6$ e $1,5l$ nel caso di confinamento su un lato.

A patto di accettare valori di deformazione perpendicolare alla fibratura più elevati, viene concesso l'utilizzo di valori superiori per $f_{c,90,d}$ fino ad un limite di 1,5 volte quelli contemplati dalle normative pertinenti.

Nel caso di compressione inclinata di un angolo α rispetto alla fibratura, il documento Nicole utilizza la formula di Hankinson per determinare la tensione resistente, dovendosi quindi soddisfare la seguente condizione:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

dove le tensioni e le resistenze di progetto si ricavano sulla base delle stesse considerazioni fatte in precedenza, ovvero consentendo una riduzione delle sollecitazioni di progetto tramite l'utilizzo di un'area efficace ed un incremento della resistenza di progetto fino ad 1,5 volte).

2.3.5. Taglio

Per quanto riguarda la verifica a taglio deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

dove:

- τ_d è la tensione massima tangenziale di progetto;
 $f_{v,d}$ è la corrispondente resistenza di progetto a taglio.

Dato uno sforzo di taglio di progetto V_d risulta:

- per sezioni rettangolari: $\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A}$;
- per sezioni circolari: $\tau_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_d}{A}$.

con A pari all'area della sezione sollecitata.

Nel caso di sollecitazione agente secondo due direzioni diverse, si potrà considerare la media quadratica dei singoli valori, secondo la relazione:

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2} = \frac{1,5}{A} \cdot \sqrt{V_{y,d}^2 + V_{z,d}^2}$$

2.3.6. Torsione

E' buona cosa nella pratica progettuale, prevenire il generarsi di elevati valori di questo tipo di sollecitazione (poiché può favorire il fenomeno dello svergolamento nelle membrature inflesse), limitando dunque le eccentricità dei carichi agenti ed utilizzando eventualmente dei sistemi strutturali (aste puntone- tirante) che impediscano lo svilupparsi di azioni torcenti. In una sezione rettangolare la tensione torsionale massima si sviluppa a metà del bordo esterno del lato maggiore e può essere calcolata, in forma approssimata, con la seguente relazione:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{J_t} \cdot b$$

dove J_t può essere calcolato dalla relazione (Larsen e Riberholt)

$$J_t = \frac{b^3 \cdot h}{3 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{b}{h}\right)}$$

$M_{tor,d}$ è il momento torcente di progetto, b è la dimensione del lato minore della sezione ed h è la dimensione del lato maggiore della sezione. Le tensioni tangenziali di torsione devono verificare la seguente disuguaglianza:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{sh} \cdot f_{v,d}$$

dove k_{sh} è un coefficiente sperimentale che assume valori pari ad 1,2 per le sezioni circolari e $1+0,15b/h$ per sezioni rettangolari (dove b ed h sono le lunghezze dei lati, rispettivamente minima e massima).

2.3.7. Taglio e torsione

Nel caso di contemporanea presenza di tensioni tangenziali di taglio e torsione, deve risultare soddisfatta la seguente condizione:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{sh} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$$

2.3.8. Flessione

Le tensioni di flessione agenti nei due piani principali della sezione si ottengono mediante le relazioni:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

Devono quindi essere verificate entrambe le seguenti disuguaglianze:

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

dove:

$\sigma_{m,y,d}$ e $\sigma_{m,z,d}$ sono le tensioni di progetto a flessione attorno agli assi principali;

$f_{m,y,d}$ e $f_{m,z,d}$ sono le corrispondenti resistenze di progetto al flessione;

k_m coefficiente che tiene conto della redistribuzione degli sforzi e degli effetti di disomogeneità del materiale nella sezione: infatti, la rottura dell'elemento a flessione deviata non avviene necessariamente per raggiungimento di un valore massimo di tensione in uno degli spigoli di una sezione rettangolare (come invece si è soliti verificare in un materiale omogeneo ed isotropo come l'acciaio). I valori proposti per k_m sono 0,7 per le sezioni rettangolari; 1,0 per altre sezioni trasversali.

E' da ricordare come sia necessario sottoporre gli elementi inflessi alla verifica sulla condizione di instabilità e su quella di deformabilità, risultando quest'ultima spesso determinante nel dimensionamento degli elementi.

2.3.9. *Tensoflessione*

Nel caso di sforzo normale di trazione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

2.3.10. *Pressoflessione*

Nel caso di sforzo normale di compressione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

dove, per i valori di k_m , si fa sempre riferimento a quelli proposti nella verifica a flessione.

2.3.11. Verifiche di stabilità

Al paragrafo § 4.4.8.2 delle NTC si prescrive la necessità di effettuare le verifiche in termini di sicurezza della struttura nei confronti di possibili fenomeni di instabilità quali lo svergolamento per le travi inflesse e lo sbandamento laterale per gli elementi compressi o presso inflessi.

2.4. Le verifiche agli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio si devono prendere in esame le combinazioni rare, frequenti e quasi permanenti con $\gamma_g = \gamma_p = \gamma_q = 1$, applicando ai valori caratteristici delle azioni variabili adeguati valori per i coefficienti di combinazione ψ_0, ψ_1 e ψ_2 :

Azione	$\psi_{0,j}$	$\psi_{1,j}$	$\psi_{2,j}$
Carichi variabili in edifici abitativi	0,7	0,5	0,2
Uffici e negozi	0,7	0,6	0,3
Autorimesse	0,7	0,7	0,6
Vento e neve	0,7	0,2	0

In forma convenzionale le combinazioni possono essere espresse nel modo seguente :

- combinazioni rare

$$F_d = G_k + Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

- combinazioni frequenti

$$F_d = G_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

- combinazioni quasi permanenti

$$F_d = G_k + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

2.4.1. Deformabilità

Per quanto riguarda la *deformabilità* degli elementi strutturali risultante dagli effetti delle azioni applicate, da stati di coazione, o da variazioni dell'umidità del materiale, questa deve essere *limitata* entro valori accettabili al fine di garantire l'efficienza degli elementi strutturali stessi in condizioni di esercizio, con particolare attenzione anche ai danni che possono essere indotti a materiali di rivestimento, pavimenti, tramezzature, finiture ed ai requisiti funzionali ed estetici.

Le caratteristiche reologiche del legno giocano un ruolo essenziale nel comportamento deformativo globale dell'elemento, caratterizzato infatti da un andamento solo inizialmente elastico, che diventa ben presto di tipo visco-elastico (fluage), causando un progredire della deformazione nel tempo sotto carico costante. Anche in questo caso viene definito un coefficiente, denominato k_{dif} che tiene conto contemporaneamente degli effetti già citati di umidità e carichi prolungati . Si ottiene quindi:

$$w_{fin} = w_{ist} + w_{dif}$$

$$w_{dif} = w'_{ist} \cdot k_{dif}$$

dove :

w_{fin} deformazione totale finale;

w_{ist} deformazione istantanea;

w_{dif} deformazione differita, cioè dovuta agli effetti di umidità e viscosità;

w'_{ist} deformazione istantanea dovuta alle combinazioni di carichi quasi permanenti, cioè i carichi responsabili dell'effetto viscoso di aumento delle deformazioni.

A titolo di esempio, i valori limite massimi per una trave inflessa su due appoggi, consigliati dal DT 206 del CNR, sono:

- per w_{ist} $l / 300$ (per i soli carichi variabili);
- per $w_{net fin}$, $l / 250$ (per i carichi permanenti e variabili);
- per w_{fin} $l / 200$ (per i soli carichi variabili).

I valori di k_{dif} , per gli elementi di legno massiccio, legno lamellare incollato, compensato e LVL, messi in opera ad una umidità corrispondente alle condizioni di esercizio sono riportati in tabella. Per gli altri casi ci si riferisce a quanto riportato nell'Eurocodice 5.

Tipo di legno	Classe di servizio		
	1	2	3
Massiccio	0,60	0,80	2,00
Lamellare incollato, LVL	0,60	0,80	2,00
Compensato	0,80	1,00	2,50

2.5. Strutture Platform Frame

Anche per quanto riguarda le strutture intelaiate nello specifico, benché in questa sede non vengano effettuate verifiche con riferimento agli elementi di parete, si procede con una breve panoramica relativamente alle principali verifiche che una struttura Platform Frame deve soddisfare. Con riferimento alla tipologia strutturale in analisi, le Nuove Norme Tecniche forniscono solamente le basi per il calcolo di questa tipologia di strutture. Nei Capitolo 4.4 e 7.7 relativi alle costruzioni in legno sono infatti fornite solo alcune indicazioni specifiche per le strutture a casa intelaiata, con riferimento alle verifiche da effettuare in zona sismica, ai fattori di struttura da utilizzare ed alle regole di dettaglio.

Per quanto concerne il calcolo delle pareti è quindi possibile far riferimento all'Eurocodice5 (UNI EN 1995-1-1:2009); nello specifico, per il calcolo delle pareti a diaframma e per la valutazione della capacità portante di lastra di un pannello intelaiato è necessario fare riferimento al capitolo 9.2.4 "Pareti a diaframma" ed in particolare al punto 9.2.4.2 e 9.2.4.3.

Nei paragrafi citati vengono esplicitati due metodi semplificati alternativi per il calcolo delle pareti a diaframma: il Metodo A ed il Metodo B. Si riportano a titolo di esempio le modalità di verifica delle pareti utilizzando il metodo semplificato A.

Metodo A

L'analisi semplificata delle pareti a diaframma secondo il metodo A risulta applicabile nel caso di pareti a diaframma munite di ancoraggi alle estremità (assicurate quindi contro il sollevamento) e realizzate da uno o più pannelli (dove un pannello consiste di uno o due fogli fissati ad un telaio in legno) a condizione che:

- la spaziatura dei mezzi di unione sia costante lungo il perimetro di ciascun foglio;
- la larghezza di ciascun foglio ammonti ad almeno $h / 4$.

La capacità portante di piastra di ciascun pannello, $F_{i,v,Rd}$, contro una forza $F_{i,v,Ed}$ agente sul lato superiore del pannello stesso è calcolata tramite la seguente relazione:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s}$$

dove:

$F_{f,Rd}$ è il valore di progetto della capacità laterale di un singolo mezzo d'unione;

b_i è la larghezza del pannello

s è la spaziatura dei mezzi d'unione;

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{per } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{per } b_i < b_0 \end{cases}$$

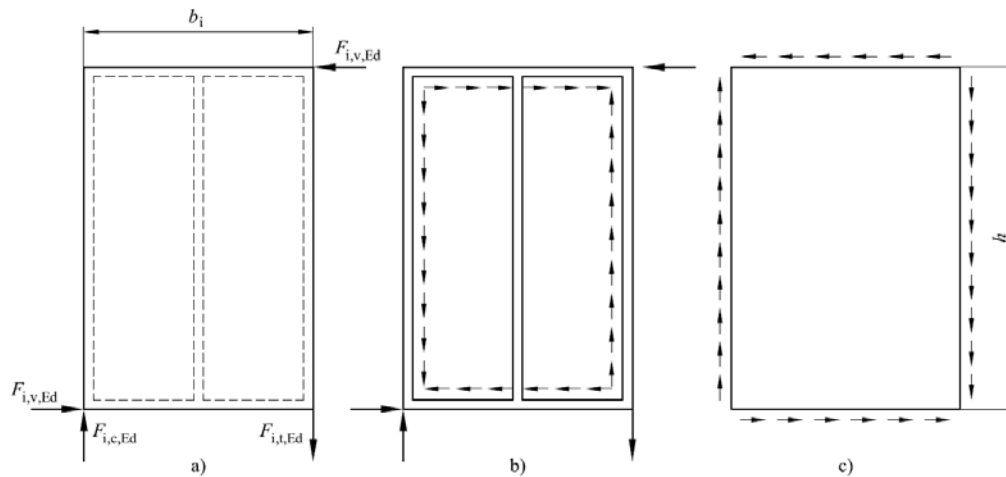
dove:

$$b_0 = h/2 ;$$

h è l'altezza della parete.

Nella relazione riportata interviene il valore di progetto della capacità a taglio del singolo mezzo di unione: nel caso specifico si deve far riferimento al capitolo 8.3.1.3 "Connessioni pannello-legno con chiodi", dove viene appunto fornita la formula per il calcolo della resistenza caratteristica a rifollamento anche con riferimento ai pannelli OSB. Viene inoltre precisato come, per i mezzi di unione lungo i bordi di un singolo foglio, il valore di progetto della capacità laterale debba essere aumentato di un coefficiente 1,2 rispetto ai valori forniti dalla norma stessa.

Con riferimento ai pannelli contenti un'apertura di porta o finestra, questi non devono essere considerati come in grado di contribuire alla capacità portante di piastra. Nella figura di seguito riportata sono rappresentate le forze agenti su pannello, telaio e foglio:



Le forze esterne $F_{i,c,Ed}$ e $F_{i,t,Ed}$ sono da determinarsi secondo la seguente relazione:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} \cdot h}{b_i}$$

tali forze possono essere trasmesse ai fogli nel pannello adiacente, oppure trasmesse alla costruzione soprastante o sottostante. Le forze esterne che si generano nei pannelli contenenti aperture di porta o finestra, nonché nei pannelli di larghezza ridotta, possono analogamente essere trasmesse alla costruzione soprastante o sottostante. Con riferimento all'ingobbamento del foglio, questo può essere trascurato purché:

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100$$

dove:

b_{net} è la distanza libera tra montati;

t è lo spessore del foglio.

Viene inoltre specificato come nelle aree di contatto fra montanti verticali ed elementi di legno orizzontali sia necessario effettuare la verifica per compressione ortogonale alla fibratura

2.6. Indicazioni per le costruzioni di legno in zona sismica

2.6.1. La Normativa Europea

Per il suo carattere di norma di nuova generazione, la sua valenza internazionale e per la stabilità raggiunta con la versione finale, verranno di seguito illustrati gli aspetti principali riguardanti la progettazione delle strutture in legno delineati con riferimento all'Eurocodice 8. Il testo normativo in oggetto risulta essere strutturato in parti, delle quali la prima e la terza sono dedicate agli edifici: nello specifico: la prima parte tratta il progetto di edifici nuovi, mentre la terza riguarda l'adeguamento sismico degli edifici esistenti.

Per quanto riguarda le costruzioni in legno, l'Eurocodice 8 tratta il progetto di edifici nuovi nel capitolo 8 della prima Parte mentre il problema dell'adeguamento di edifici o strutture in legno, invece, non è specificatamente contemplato. Il testo fornisce alcune definizioni fondamentali, evidenziando le modalità progettuali e gli elementi sui quali la norma fa affidamento per rispondere all'azione del sisma.

La prima importante definizione introdotta è quella di *duttilità statica*, intesa come rapporto tra deformazione ultima e deformazione al limite elastico, valutata in prove cicliche quasi statiche; tutte le altre definizioni riguardano le giunzioni distinguendo:

- le *giunzioni semirigide* ovvero le giunzioni che presentano una flessibilità significativa, della quale occorre tenere conto nei calcoli;
- le *giunzioni rigide* ovvero quelle nelle quali tale flessibilità è trascurabile: tra queste vi sono le giunzioni tra elementi di legno incollati.

Nelle parti successive vengono indicati i due criteri fondamentali di progettazione: viene delineata la possibilità di progettare la struttura o *basandosi solamente sulle sue caratteristiche elastiche*, facendo affidamento solo su una minima capacità di dissipazione che comunque si riconosce presente in tutte le strutture (realizzate con qualsiasi materiale da costruzione), oppure *sviluppando le sue capacità di dissipazione*, che si classificano in due possibili livelli. Nel primo caso il progetto prevede una struttura puramente elastica senza particolari accorgimenti e requisiti nel progetto con riferimento ad elementi e giunzioni all'infuori di quanto già richiesto per le strutture correnti nell'Eurocodice 5. Poiché si riconosce una sia pur bassa capacità di dissipare, il fattore di struttura da applicare per ridurre lo spettro elastico è superiore all'unità ed è da assumersi pari a 1,5. Nel secondo caso, invece, è possibile sviluppare il progetto selezionando e producendo una capacità di dissipazione media oppure alta, caratterizzate da opportuni valori del fattore di struttura.

Se ci si avvale della capacità di dissipare energia, è da precisare come *solo le giunzioni possono essere considerate zone dissipative*, mentre gli elementi in legno devono essere ritenuti e devono mantenersi puramente elastici. Questa assunzione essendo filosofia dell'Eurocodice basata sul concetto di *gerarchia delle resistenze*, secondo il quale sono da selezionarsi gli elementi e le zone dove si possono eventualmente sviluppare deformazioni anelastiche, nella prospettiva di evolvere, in condizioni ultime, verso un meccanismo di collasso prescelto e controllato. Alle zone dissipative occorre garantire la possibilità reale di sviluppo delle deformazioni previste. Per gli stessi valori dell'azione che determinano deformazioni plastiche nelle zone dissipative, a tutti gli altri elementi deve essere garantita la permanenza all'interno del campo elastico.

Nei punti successivi la norma concentra l'attenzione sulle strutture dissipative e fornisce indicazioni sull'utilizzo di materiali e sulle proprietà che le zone dissipative devono possedere. In particolare per le giunzioni:

- solo materiali e connettori meccanici che siano in grado di fornire un comportamento a fatica oligociclica appropriato possono essere usati in tali giunzioni;
- i giunti incollati devono essere considerati non dissipativi;
- i giunti di carpenteria, che derivano dalla tradizione ma sono talora presenti anche nelle costruzioni nuove, possono essere utilizzati solo se in grado di fornire una capacità di dissipazione adeguata. Questi giunti non devono sviluppare modi di collasso fragili, dovuti per esempio a taglio o a trazione in direzione perpendicolare alla fibra e potranno essere utilizzati solo sulla base di risultati sperimentali appropriati, che ne dimostrino le capacità post-elastiche.

Si noti che la norma non tratta alcuna *tipologia mista* di nuova concezione, pertanto, *le unioni incollate*, così come vengono nominate dalla normativa italiana, devono essere considerate non

dissipative. Per garantire lo sviluppo di un adeguato comportamento nelle connessioni o comunque nelle zone dissipative, la norma richiede inoltre che vengano condotte alcune prove cicliche su tali particolari strutturali. Tali prove sono da effettuarsi secondo una procedura predefinita che prevede escursioni in campo plastico definendo il numero di cicli a inversione completa (pari ad almeno 3), l'estensione della deformazione anelastica espressa in termini di duttilità e la massima riduzione consentita nella resistenza in seguito ai cicli (che ammonta al 20%). Il rapporto di duttilità statica richiesto è pari a 4 o a 6 rispettivamente per le strutture a media o alta capacità di dissipazione.

Con riferimento ai pannelli relativi alle pareti di taglio ed ai diaframmi, la norma specifica come occorra rispettare alcune condizioni sulla massa volumica e sugli spessori, sia a garanzia di una sufficiente rigidità e resistenza, sia per premunirsi nei riguardi di una possibile instabilizzazione del pannello soggetto a compressione e a taglio, situazione che impedirebbe di realizzare la condizione di funzionamento prevista.

Con queste premesse, la norma indica i valori dei coefficienti di struttura che possono essere adottati quando si intende progettare rispettivamente a media o ad alta duttilità, in funzione delle diverse tipologie strutturali. I valori indicati nella tabella 8.1 di seguito riportata, sono i valori relativamente ai fattori di struttura che è consentito utilizzare per ogni tipologia strutturale: sarà compito del progettista valutare caso per caso quali possono essere i valori effettivi da utilizzare nei calcoli. Tali valori dovranno comunque essere ridotti del 20 %, qualora non sussistano piene condizioni di regolarità nella struttura in elevazione.

Capacità di dissipazione	Fattore di struttura	Esempio
Bassa	1,5	Mensole, archi a due o tre cerniere, strutture reticolari unite con connettori
Media	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismoresistente) in legno e tamponature non portanti.
	2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni.
Alta	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati.
	4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni.
	5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni.

Poiché non sempre risulta agevole ricorrere a prove sperimentali, la norma stessa offre la possibilità di soddisfare i requisiti di duttilità attraverso il solo rispetto di ulteriori specifiche di carattere geometrico. Nelle giunzioni tra legno e legno o legno e acciaio con spinotti, bulloni e chiodi lo spessore minimo degli elementi connessi deve essere almeno dieci volte il diametro del connettore, che a sua volta non deve superare i 12 mm; nelle pareti di taglio e nei diaframmi, il pannello a base di legno deve avere spessore di almeno 4 volte il diametro del chiodo che, a sua volta, non deve superare i 3,1 mm. Il rispetto di requisiti meno stringenti è

possibile, ancora senza obbligo di prove sperimentali, ma comporta una riduzione dei fattori di struttura. In queste specifiche della norma si riconosce l'obiettivo di attribuire all'elemento metallico, mantenuto a limitato diametro, il compito di dissipare energia plasticizzandosi.

Ulteriori indicazioni riguardano l'analisi strutturale ed evidenziano l'importanza e la necessità di una modellazione strutturale accurata. Ad esempio, per le giunzioni occorre rappresentare adeguatamente il comportamento forza-scorrimento e per il modulo di elasticità nella direzione di fibratura si deve assumere il valore per carichi istantanei, che è più alto del 10% rispetto a quello a breve termine. Nella rappresentazione della struttura, secondo un modello comunemente utilizzato nelle analisi sismiche, si possono considerare rigidi assialmente gli orizzontamenti, non risultando necessarie particolari verifiche sul soddisfacimento di questa ipotesi se i solai sono progettati osservando alcune specifiche condizioni quali il rispetto di una serie di regole di dettaglio e l'assenza di aperture tali da influire significativamente sulla rigidità stessa.

Le regole di dettaglio fornite per i diaframmi orizzontali riguardano prevalentemente:

- i limiti alla spaziatura di chiodi e connettori, atti a favorire lo sviluppo di duttilità;
- l'eliminazione di disuniformità che possano innescare situazioni critiche impreviste e modi di collasso fragili. In questo senso agisce la specifica sulla continuità delle travi, sui rafforzamenti nei diaframmi in presenza di aperture e sulla limitazione del rapporto tra altezza e base nelle sezioni delle travi in assenza di elementi trasversali controventati (ai fini della instabilità flessotorsionale).

Per quanto riguarda le giunzioni, le indicazioni di dettaglio riguardano sia i connettori che gli elementi stessi. Per i primi, nel caso di bulloni e spinotti si indica la necessità di serraggio e di posizionamento senza gioco nei fori e si limita l'uso di diametri elevati, maggiori di 16 mm, a casi particolari. Inoltre spinotti e chiodi a gambo liscio non possono essere usati salvo vengano presi provvedimenti specifici per evitare il loro sfilamento

Per gli elementi compressi e le loro giunzioni, in particolare per i giunti di carpenteria che trasmettono direttamente il carico attraverso la compressione e l'attrito, è importante evitare il collasso della giunzione per sconnessione quando l'azione sismica annulla o comunque riduce la compressione. La norma mette in guardia contro tale eventualità imponendo l'inserimento di dispositivi metallici per garantire il mantenimento della connessione. Queste indicazioni sono importanti anche come guida per il rinforzo delle connessioni tradizionali presenti nelle strutture esistenti, che non sono esplicitamente contemplate in questa norma.

2.1.1. *La normativa italiana*

L'attuale panorama normativo italiano è in una fase di transizione particolarmente per quanto riguarda le costruzioni in zona sismica. L'evento più significativo in tempi recenti è stata l'emissione nel marzo 2003 di un'Ordinanza ministeriale che introduceva un nuovo corpo di norme impostato secondo i concetti contenuti nell'EC8, all'epoca prossimo alla versione finale. Mentre le norme precedenti non riportavano un sistema di regole e di indicazioni specifiche per le costruzioni in legno, ma vi facevano solo alcuni riferimenti sporadici su questioni particolari, l'Ordinanza 3274 prevedeva esplicitamente il successivo inserimento di un capitolo, il nono, dedicato a questa materia, capitolo che è stato poi emesso in un aggiornamento della norma stessa.

Con riferimento alle NTC '08 nel capitolo 7 "Progettazione per azioni sismiche" sono disciplinate la progettazione e la costruzione delle nuove opere soggette all'azione sismica; tale capitolo riprende quasi interamente il contenuto del corrispondente Capitolo 8 dell'Eurocodice 8 (UNI EN 1998-1 Eurocodice 8 "Progettazione della strutture per la resistenza sismica- Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici") con alcune integrazioni specifiche riferite al caso italiano (ad esempio alcune indicazioni riferite ai giunti di carpenteria). Sono inoltre descritti i requisiti che deve rispettare la struttura nei confronti degli stati limite, vengono indicati i criteri generali per la progettazione e la modellazione delle strutture soggette all'azione sismica, le analisi da effettuare e le verifiche da soddisfare. Sono inoltre definiti i termini duttilità statica, nodi semirigidi, unioni con mezzi di unione a gambo cilindrico e nodi di carpenteria. Viene in seguito riportata una classificazione delle strutture in base alla loro capacità di dissipare energia: in funzione del loro comportamento duttile e della capacità di dissipazione sotto carichi ciclici, gli edifici a struttura in legno devono infatti essere assegnati alla classe di duttilità "A" o "B" (le strutture che non rispettano le condizioni richieste per le CD "A" o "B" si devono considerare come strutture aventi una scarsa dissipazione energetica, alle quali si assegna in fattore di struttura $q \leq 1,5$). Si riportano di seguito le varie tipologie strutturali ed i fattori di struttura massimi q_0 per le classi di duttilità.

Classe	q_0	Esempi di strutture
A	3,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con giunti chiodati
	4,0	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni

		5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B	Strutture aventi una bassa capacità di dissipazione energetica	2,0	Pannelli di parete incollati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi e bulloni; strutture reticolari con collegamenti a mezzo di bulloni o spinotti; strutture cosiddette miste, ovvero con intelaiatura (sismoresistente) in legno e tamponature non portanti. Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni.
		2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni

Il valore di q_0 varia da 2 a 5 ed è da assumersi $q = q_0 \cdot K_R \geq 1,5$ dove K_R risulta essere un fattore riduttivo dipendente dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza. Al fine di garantire valori del fattore di struttura q superiori ad 1,5, le zone considerate dissipative devono essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli a inversione completa, con un rapporto di duttilità statica pari a 4 per le strutture in CD "B" e pari a 6 per le strutture in CD "A", senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20%.

Le disposizioni di cui al precedente capoverso nonché ai precedenti 7.7.2 a) e 7.7.2 b) possono considerarsi soddisfatte nelle zone dissipative di ogni tipologia strutturale se si verifica quanto segue:

- i collegamenti legno-legno o legno-acciaio sono realizzati con perni o con chiodi presentanti diametro d non maggiore di 12 mm ed uno spessore delle membrature lignee collegate non minore di $10d$;
- nelle pareti e nei diaframmi con telaio in legno, il materiale di rivestimento strutturale è di legno o di materiale da esso derivato, con uno spessore minimo pari a $4d$ e con diametro d dei chiodi non superiore a 3,1 mm.

Qualora tutte le precedenti prescrizioni non siano soddisfatte, ma sia comunque assicurato lo spessore minimo degli elementi collegati il quale deve risultare pari rispettivamente a $8d$ per il caso di strutture con comportamento strutturale dissipativo ed a $3d$ per il caso di comportamento strutturale scarsamente dissipativo, si devono utilizzare valori ridotti del coefficiente q_0 con i valori massimi presentati in Tab. 7.7.II.

Tipologie strutturali	q_0
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico (perni o bulloni)	2,5
Pannelli di pareti chiodati con diaframmi chiodati	4,0

Capitolo 3

Il metodo di validazione tabellare

3.1. Generalità

Oggetto del presente elaborato è l'istituzione di un metodo di carattere tabellare che consenta di effettuare una validazione dei risultati ottenuti da analisi di tipo statico e/o dinamico condotte con risolutori di tipo commerciale. Obiettivo principale è quindi la creazione di un mezzo semplice e di rapido utilizzo che possa rivelarsi un supporto ai progettisti impegnati con la progettazione di edifici intelaiati in legno, al fine di delineare la correttezza dei risultati ottenuti attraverso l'automatizzazione del calcolo.

Come verrà di seguito esposto, è stato in primis necessario studiare in modo accurato il funzionamento della singola parete, valutando le caratteristiche dei diversi componenti, i meccanismi resistenti ed i contributi forniti dai singoli elementi con riferimento alla resistenza globale della parete stessa. Compreso il funzionamento della tecnologia costruttiva in analisi, si è in proceduto analizzando i principali parametri e fattori che influenzano sensibilmente i valori di rigidezza; tra questi sono da evidenziare la percentuale di area di vuoti legata alla presenza di fori di tipo "finestra" e/o fori di tipo "porta" oltre che la lunghezza della parete. In realtà, sarà possibile evidenziare come anche altri fattori influenzino in modo non trascurabile la rigidezza complessiva dell'elemento parete quali ad esempio la sua altezza, gli effettivi vincoli presenti, la tipologia di fissaggio tra pannello e telaio, l'introduzione di eventuali montanti aggiuntivi, le modalità di realizzazione dei collegamenti tra montanti e traversi ecc.

La realizzazione di una struttura a pannelli portanti a uno o più piani secondo le metodologie e le indicazioni descritte nel Capitolo 1 consente di analizzare l'edificio nel suo insieme come una struttura scatolare in cui i diaframmi orizzontali dei solai e della copertura possono essere schematizzati nel calcolo come infinitamente rigidi.

Le azioni orizzontali vengono in questo modo trasferite dagli orizzontamenti alle pareti e ripartite fra queste in funzione della loro rigidezza e da queste, successivamente, vengono trasmesse alle fondazioni. Le sollecitazioni sismiche di taglio e sollevamento su ogni parete

possono essere calcolate per edifici rispondenti ai criteri di regolarità strutturale in pianta ed elevazione enunciati sia dall'Eurocodice 8 che dalla normativa italiana, secondo un'analisi statica lineare considerando l'azione sismica agente nelle due direzioni principali. Il taglio sismico di piano viene pertanto ripartito fra le varie pareti in funzione della loro rigidezza considerando gli effetti torsionali calcolati sommando all'eccentricità effettiva tra baricentro delle masse e baricentro delle rigidzze un'eccentricità accidentale, calcolata spostando il centro di massa di ogni piano in ogni direzione considerata di una distanza pari a +/- 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica

Il primo scoglio che incontra quindi un qualsiasi progettista, relativamente al calcolo di una struttura in legno con montanti e pannelli, è quello di stabilire i valori di rigidezza delle singole pareti, in modo da poter valutare se una determinata parete, con caratteristiche geometriche note e collocata in una certa posizione entro la planimetria, sarà in grado di resistere alle azioni che le verranno trasmesse. Altri dati di cui si deve disporre per poter arrivare a determinare le forze relative alle singole pareti sono la posizione del centro di massa, la posizione del centro di rigidezza e la posizione delle pareti in relazione a quest'ultimo. Note le grandezze elencate, si potranno quindi valutare le azioni torcenti legate alla non coincidenza tra centro di massa e centro di rigidezza e, successivamente, le azioni complessive sulle pareti.

Si riporta la formulazione per la ripartizione delle forze distinguendo i due contributi (traslazionale e torsionale) che saranno analizzati nei successivi paragrafi:

$$F_{x,i} = \frac{F_{x,tot} \cdot K_{x,i}}{\sum_i K_{x,i}} - \frac{M_{tot} \cdot K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})}{\sum_i \{ [K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})^2] + [K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})^2] \}}$$

$$F_{y,i} = \frac{F_{y,tot} \cdot K_{y,i}}{\sum_i K_{y,i}} + \frac{M_{tot} \cdot K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})}{\sum_i \{ [K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})^2] + [K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})^2] \}}$$

- Contributo traslazionale:

$$\frac{F_{j,tot} \cdot K_{j,i}}{\sum_i K_{j,i}}$$

- Contributo torsionale:

$$\pm \frac{M_{tot} \cdot K_{j,i} \cdot (d_i - d_{CR})}{\sum_i \{ [K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})^2] + [K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})^2] \}}$$

Al fine di poter raggiungere l'obiettivo presentato, le tabelle istituite saranno suddivise secondo le tematiche riportate di seguito:

- una prima serie di tabelle riguarderà il calcolo della rigidezza della singola parete, con riferimento alle caratteristiche geometriche della stessa;
- una seconda categoria di tabelle consentirà di determinare la posizione del centro di rigidezza del complesso in analisi ed alcuni dei parametri necessari per i successivi calcoli di ripartizione delle forze;
- alcuni grafici consentiranno di determinare i contributi di forza sulle singole pareti, contributi legati all'effetto traslazionale ed a quello torcente i quali, una volta sommati, forniranno il valore di forza complessivamente agente;
- le ultime tabelle forniranno, infine, un'indicazione relativamente al numero di dispositivi da introdurre con riferimento ad ogni parete per il trasferimento delle sollecitazioni di taglio e di trazione/compressione alle strutture sottostanti.

Istituite le tabelle ed i grafici elencati si è poi proceduto alla validazione del metodo attraverso lo studio di alcuni edifici test.

3.2. Descrizione del modello di parete in analisi

E' evidente come, essendo l'elemento "parete" un sistema che prevede l'assemblaggio di diverse componenti quali montanti, traversi, pannellature, elementi di fissaggio, elementi di vincolo a terra ecc. realizzati mediante l'utilizzo di materiali aventi caratteristiche meccaniche e di resistenza diverse, non risulti immediata la determinazione del valore di rigidezza da associare alla parete stessa. Prima di esporre le modalità di redazione delle tabelle relative alla determinazione delle rigidezze, si riportano nello specifico le adozioni fatte per lo studio delle pareti sia con riferimento ai materiali utilizzati, ai valori di resistenza ed alle dimensioni degli elementi, sia con riferimento alle semplificazioni ed alle considerazioni introdotte in questa analisi.

3.2.1. Descrizione della geometria della parete

Come già visto, le pareti risultano frutto dell'assemblaggio di elementi aventi geometria diversa tra loro: si procede quindi riportando una breve descrizione relativamente alle varie

componenti della parete; sarà ad una parete con le caratteristiche elencate che si riferiranno poi le tabelle in questione.

Montanti

Il telaio costituente l'ossatura delle pareti in oggetto è realizzato con montanti posti ad un interasse costante pari a 62,5 cm; tale valore è un sottomultiplo della larghezza commerciale del pannello di rivestimento (che risulta pari a 125 cm) mentre, con riferimento all'altezza, sia pannellatura che montanti si estendono per un valore di 250 cm. E' ovvio notare che, in una situazione reale, la parete non risulterà rispondente alla parete standard su cui si sono sviluppate le tabelle, essendo l'altezza dei locali abitativi mediamente pari a 270 cm. Nella tipologia costruttiva del Platform frame sono però le dimensioni dei pannelli di rivestimento che dettano le "regole del gioco"; per garantire quindi altezze maggiori è semplicemente necessario introdurre un traverso alla quota di 250 cm, al fine di fornire un supporto di fissaggio per il rivestimento aggiuntivo del telaio. In ogni caso, in questa sede si è scelto di analizzare la parete seguendo la dimensione (in altezza) del pannello, per evitare di introdurre ulteriori parametri. La rigidità ottenuta mediante l'utilizzo delle tabelle sarà poi da considerarsi legata al parametro "Altezza della parete" secondo un legame di proporzionalità inversa, con la possibilità di estendere quindi il risultato a qualsiasi casistica.

Con riferimento alle sezioni assunte per i montanti sono di seguito riportati i valori relativi alle dimensioni adottate per la redazione dei grafici e delle tabelle:

Montante di estremità - C24 12x14			
Dimensioni sezione	a	12	cm
	b	14	cm
Area sezione		168	cm ²
Interasse montanti		62,5	cm
n° montanti /m ²		1,6	
ρ		350	kg/m ³
Peso al metro quadrato		4,704	kg/m ²

Montante interno - C24 6x14			
Dimensioni sezione	a	6	cm
	b	14	cm
Area sezione		84	cm ²
Interasse montanti		62,5	cm
n° montanti /m ²		1,6	
ρ		350	kg/m ³
Peso al metro quadrato		4,704	kg/m ²

Pannellatura

La pannellatura, che può essere di norma presente su una o entrambe le facce è assunta, in questa sede, presente su entrambi i lati e, con riferimento al materiale utilizzato, si adottano pannelli in OSB di classe 3 aventi spessore costante pari a 18 mm per entrambi i lati della parete.

Le dimensioni del pannello sono vincolate solo con riferimento all'altezza (250 cm) mentre, con riferimento alla lunghezza, si considera una pannellatura unica che riveste la parete per tutta la sua lunghezza.

Pannello OSB esterno ed interno - Classe OSB/3		
spessore	18	mm
ρ	550	kg/m ³
Peso al metro quadrato	9,9	kg/m ²

Traversi

Sono infine presenti, a completamento la struttura intelaiata della parete, un traverso superiore ed uno inferiore: questi, oltre a collegare i montanti ed a fungere da elemento su cui fissare la pannellatura del sistema, andranno a distribuire la forza di pertinenza della parete alle varie strutture della stessa.

Traverso superiore ed inferiore - C24 6x14			
Dimensioni sezione	a	6	cm
	b	14	cm
Area sezione		84	cm ²
ρ		350	kg/m ³
Peso al metro lineare		2,94	kg/m

3.2.2. Descrizione dei materiali utilizzati

Si riportano di seguito le caratteristiche di resistenza considerate in fase di redazione degli abachi, adottate per i successivi calcoli di validazione del metodo e per la modellazione delle strutture "Test".

Caratteristiche di resistenza relative a montanti e a traversi:

CLASSE DI RESISTENZA C24 (conifere e pioppo)			
Flessione	$f_{m,k}$	24,00	N/mm ²
Trazione	$f_{t,0,k}$	14,00	N/mm ²
	$f_{t,90,k}$	0,50	N/mm ²
Compressione	$f_{c,0,k}$	21,00	N/mm ²
	$f_{c,90,k}$	2,50	N/mm ²
Taglio	$f_{v,k}$	2,50	N/mm ²
Modulo di elasticità medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	11000,00	N/mm ²
Modulo di elasticità caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	7400,00	N/mm ²
Modulo di elasticità medio perpendicolare	$E_{90,mean}$	370,00	N/mm ²
Modulo di taglio medio	G_{mean}	690,00	N/mm ²
Massa volumica	ρ_k	350,00	kg/m ³
Massa volumica media	ρ_{mean}	420,00	kg/m ³

Caratteristiche di resistenza relative ai pannelli di rivestimento OSB:

OSB/3 spessore >10-18 mm			
Flessione	$f_{m,0,k}$	16,40	N/mm ²
	$f_{m,90,k}$	8,20	N/mm ²
Trazione	$f_{t,0,k}$	9,40	N/mm ²
	$f_{t,90,k}$	7,00	N/mm ²
Compressione	$f_{c,0,k}$	15,40	N/mm ²
	$f_{c,90,k}$	12,70	N/mm ²
Taglio	$f_{v,k}$	6,80	N/mm ²
Modulo elastico di flessione	$E_{m,0}$	4930,00	N/mm ²
	$E_{m,90}$	1980,00	N/mm ²
Modulo elastico di trazione/compressione	$E_{t,c,0}$	3800,00	N/mm ²
	$E_{t,c,90}$	3000,00	N/mm ²
Modulo di taglio medio	G_{mean}	1080,00	N/mm ²
Massa volumica	ρ_k	550,00	kg/m ³

3.3. Modalità di redazione delle tabelle

Definite le caratteristiche della parete in analisi, si presenteranno in seguito le procedure adottate per la realizzazione delle tabelle e dei grafici delineati nella parte introduttiva. Descritte le procedure atte alla realizzazione dei vari abachi, se ne riporta inoltre una breve descrizione inerente al loro utilizzo.

3.3.1. Tabelle per la valutazione della rigidità di una parete

Il primo passo per giungere alla redazione della serie di tabelle relative alla determinazione dei valori di rigidità da assegnare alle diverse pareti, è stata la realizzazione di un foglio di calcolo "madre". Tale foglio, con riferimento ad una determinata lunghezza di parete, alla tipologia ed alla dimensione di eventuali fori ed in base alla geometria degli elementi costituenti, fornisce nell'immediato alcune caratteristiche della parete stessa. Tra le caratteristiche ottenibili dal foglio di calcolo si citano la posizione del baricentro della parete, il momento d'inerzia della parete secondo i due assi principali ed il peso complessivo. Oltre a queste grandezze è possibile valutare inoltre:

- l'area resistente al taglio, considerando come resistenti al taglio solamente porzioni di pannellature situate nelle zone di parete definite "piene" (ovvero non ospitanti alcun tipo di foro);
- il valore del modulo elastico caratterizzante la parete nel suo insieme. Tale modulo elastico complessivo è frutto di una media pesata del modulo elastico relativo alla pannellatura e di quello relativo ai montanti, assumendo come peso il contributo dei due elementi con riferimento all'inerzia complessiva.

Attraverso questi ultimi due parametri ed una volta noto il momento d'inerzia della parete, è stato possibile determinare la rigidità della parete stessa, assumendo il sistema come incastrato alla base e libero in sommità; questa assunzione, come si vedrà in seguito, non limita la validità del metodo, essendo questo estendibile a qualsiasi tipologia di vincolo.

Si ritiene necessario evidenziare alcune assunzioni di carattere geometrico in linea con la pratica comune:

- le pareti analizzate sono assunte di altezza pari a 250 cm altezza dettata, come già specificato, dalle dimensioni commerciali dei pannelli di rivestimento;
- l'interasse tra i montanti risulta pari a 62,5 cm, valore sottomultiplo della larghezza standard del pannello di rivestimento;
- gli elementi del telaio appartenenti alla configurazione minima non sono soggetti a modifiche relativamente alla loro posizione ed alle loro dimensioni in sezione;
- per montanti e traversi viene adottato lo stesso materiale mentre, con riferimento alle dimensioni delle sezioni adottate, si rimanda al paragrafo relativo alla geometria della parete;
- in corrispondenza delle estremità della parete, il montante iniziale e quello finale hanno una sezione doppia rispetto a quella assunta dai montanti interni;
- la larghezza minima assunta per le finestre risulta pari a 45 cm;
- la larghezza minima assunta per le porte risulta pari a 70 cm;
- la sommità di qualsiasi apertura è situata alla quota di 230 cm;
- la base del foro relativo ad una finestra è collocato alla quota di 100 cm;
- la distanza minima tra due fori risulta pari all'interasse tra i montanti di parete (62,5 cm) in modo da garantire la presenza di una porzione di parete resistente e contribuente alla capacità portante di piastra complessiva tra due fori successivi;

Si riportano inoltre alcune semplificazioni introdotte a livello pratico per la realizzazione del foglio di calcolo, adozioni che non influenzano la validità e la generalità delle varie casistiche:

- si è proceduto distinguendo la tipologia di foro "porta" dalla tipologia di foro "finestra" essendo diversi gli effetti che le due fonometrie comportano con riferimento alla rigidità complessiva. Si sono quindi determinate le percentuali di superficie occupata con riferimento alla superficie totale;

$$\% \text{ di foratura (Porte)} = \frac{\text{Superficie occupata dai fori di tipo "Porta"}}{\text{Superficie complessiva della parete}} \cdot 100$$

$$\% \text{ di foratura (Finestre)} = \frac{\text{Superficie occupata dai fori di tipo "Finestra"}}{\text{Superficie complessiva della parete}} \cdot 100$$

- il momento d'inerzia complessivo della parete è dato dalla somma dei momenti d'inerzia totali dei singoli elementi (momento proprio più il momento di trasporto) pesando i diversi contributi con riferimento alla loro lunghezza nella parete;

$$J_{i,totale} = \frac{\sum(J_{i,j} \cdot h_j)}{h_{tot}}$$

- per la determinazione della rigidezza della parete questa viene assunta come vincolata con un vincolo d'incastro perfetto in corrispondenza della base mentre la sommità viene considerata libera, in modo da simulare il comportamento a mensola. E' d'obbligo evidenziare come fosse stato alternativamente possibile considerare la parete come vincolata all'estremità superiore mediante un vincolo d'incastro, il quale comporterebbe un aumento della rigidezza del sistema. Si è notato come, l'assunzione dell'una o l'altra tipologia di vincolo, comporti valori di rigidezza che differiscono tra loro di circa il 5%, differenza della quale è possibile tener conto durante le successive fasi di calcolo. In ogni caso è naturale dedurre come la situazione di vincolo reale possa essere locata tra i due estremi appena descritti, viste le difficoltà tecniche di realizzazione di giunti nelle strutture in legno; si procederà quindi come descritto, apportando eventuali modifiche ai valori di rigidezza ottenuti incrementando i valori deducibili dalle tabelle di alcuni punti percentuale, in relazione alla buona riuscita dei sistemi di collegamento e di vincolo della parete. In questa sede, per la determinazione della rigidezza della parete, si è adottata la seguente formulazione:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1,2 \cdot h}{G \cdot A} + \frac{h^3}{3 \cdot E_{medio} \cdot J_{i,totale}}}$$

- il contributo legato alla rigidezza flessionale è determinando assumendo un modulo elastico medio dell'intera parete il quale scaturisce, come già anticipato, da una media pesata dei moduli di elasticità relativi ai montanti ed ai pannelli;

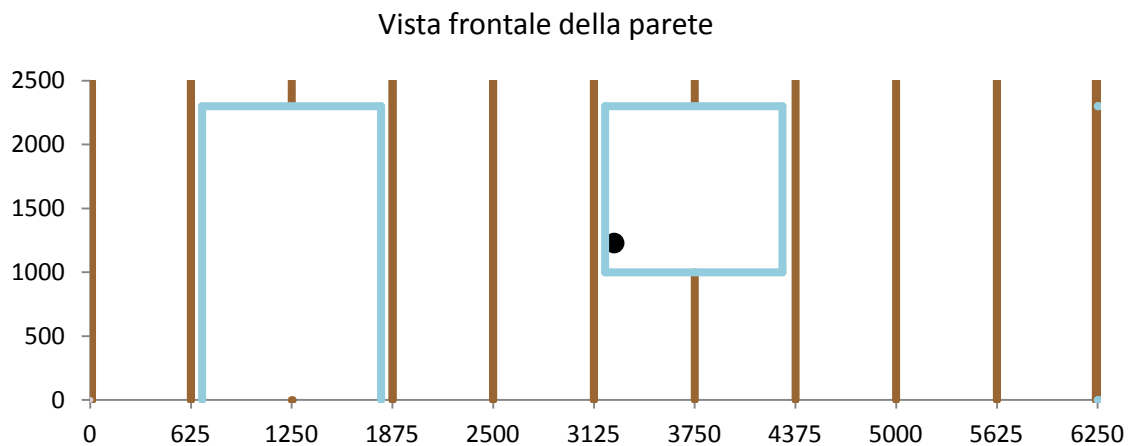
$$E_{medio} = \frac{\sum(E_j \cdot J_{i,j})}{J_{i,tot}}$$

- il contributo legato alla rigidezza tagliante viene valutato assegnando come valore di area di taglio solamente l'area effettivamente interessata (l'area nella sezione dei

pannelli interi) ed utilizzando il modulo di taglio medio G relativo al materiale di rivestimento;

- non sono considerati come contribuenti alla rigidità della parete i montanti aggiuntivi con la funzione di spalla, essendo il parametro “% di foratura” presente nelle tabelle indipendente dal numero di fori presenti e semplicemente rappresentativo della totalità della superficie occupata dai fori stessi;
- non sono considerati come contribuenti alla rigidità complessiva della parete i montanti aggiuntivi posti in corrispondenza del collegamento con un'altra parete.

Si riporta, a titolo di esempio, uno schema grafico prodotto in automatico dal foglio di calcolo, schematizzazione che consente un controllo relativo alla rispondenza dei dati inseriti con la situazione che si vuole analizzare. In particolare, viene riportato un caso di studio in cui sono stati introdotti, entro una parete lunga 6250 mm, due diverse tipologie di foro. Per maggiore chiarezza non è stata campita la parte occupata dalla pannellatura, che viene comunque considerata in sede di valutazione delle diverse caratteristiche dalla parete.



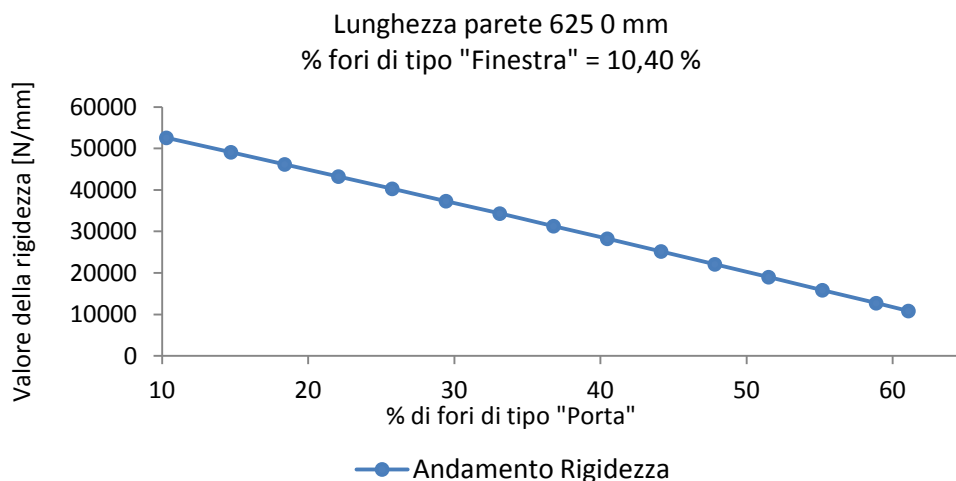
Una volta redatto il foglio di calcolo è stato possibile studiare ed analizzare i valori di rigidità assunti dalle pareti facendo variare tre dei fattori che influenzano la capacità della parete stessa ovvero:

- la lunghezza della parete;
- la percentuale di foratura legata alla presenza di fori di tipo “finestra”;
- la percentuale di foratura legata alla presenza di fori di tipo “porta”.

Come già anticipato, altri fattori di particolare interesse in relazione alle ripercussioni che questi hanno sulle caratteristiche della parete nel suo complesso, ma non presi in considerazione in questa sede, sono:

- la presenza di montanti aggiuntivi rispetto alla maglia che definiremo "standard" (in corrispondenza, ad esempio, dei fori ed in corrispondenza dei collegamenti con altre pareti);
- l'influenza delle connessioni tra la struttura del telaio ed il rivestimento, la tipologia e la loro disposizione;
- l'effettivo grado di vincolo, sia con riferimento alla parete nel suo complesso, sia con riferimento ai vincoli realizzabili tra le connessioni dei vari elementi del telaio;

Combinando tra loro i fattori scelti (lunghezza e percentuali di foratura) si ottengono numerose casistiche di studio. Analizzando per una determinata lunghezza e per una data percentuale di foratura della parete legata alla presenza di una delle due tipologie di foro, i valori assunti dalla rigidezza della parete stessa facendo variare il secondo parametro di percentuale di foratura, è possibile costruire un grafico dove viene riportato in ascissa l' unico parametro assunto variabile (% fori di tipo x) ed in ordinata il valore di rigidezza assunto dalla parete, espresso in N/mm. Si riporta, a titolo di esempio un particolare caso analizzato:



Improntato quindi il foglio di calcolo di base, il passo successivo è stato quello di analizzare, con riferimento a fissate lunghezze di parete, una serie di casi in cui si è valutato il valore assunto dalla rigidezza facendo variare in modo combinato la percentuale delle tue tipologie di

fori presenti. Il risultato dell'elaborazione, sono una serie di punti inseribili in un grafico a tre dimensioni in cui gli assi x,y e z rappresentano rispettivamente:

- asse x: la percentuale di foratura legata alla presenza di fori di tipo "finestra";
- asse y: la percentuale di foratura legata alla presenza di fori di tipo "porta";
- asse z: il valore assunto dal parametro "Rigidezza", espresso in N/mm.

Al fine di graficare l'insieme di punti ottenuti in un sistema di riferimento a tre dimensioni si è fatto ricorso alla scrittura di un file MatLab, di cui se ne riporta un estratto:

```
% programma Matlab Lavoro Marta Zanin - Create Surf

clc
clear all
close all

%
=====
===
% INIZIALIZZAZIONE
%
=====
===
% caricamento del file contenente i valori
% x = prima colonna
% y = seconda colonna
% z = terza colonna
file = load('5625.txt');
% estrazione delle tre colonne
x = file(:,1);
y = file(:,2);
z = file(:,3);

% cftool(x,y,z);

%
=====
===
% calcolo i coefficienti del polinomio interpolatore
%
=====
===
g_pol = 2; % (scegliere il grado del polinomio 2 - 3)
model = polyfitn([x, y], z, g_pol);
disp(model.Coefficients); % visualizzo i coefficienti del polinomio
a = model.Coefficients;
```

```

%
=====
===
% Sviluppo del polinomio interpolatore ff2 o ff4
%
=====
===
% ff2 POLINOMIO DI SECONDO GRADO
for i = 1:length(x)
ff2(i) = a(1)*x(i)^2 + a(2)*x(i)*y(i) + a(3)*x(i) +a(4)*y(i)^2 +
a(5)*y(i) + a(6);

```

Inserite nel programma le coordinate dei punti relativi alle casistiche analizzate con riferimento ad una determinata lunghezza di parete, è stato quindi possibile determinare la superficie (ed in particolare l'equazione di questa) che meglio interpola l'andamento assunto da questi. Attraverso l'utilizzo del file precedentemente riportato è stato possibile ricavare i valori dei coefficienti relativi alla curva interpolante, scegliendo di utilizzare a tale scopo un polinomio di secondo grado sia in x che in y, nella generica forma:

$$z = a_1 \cdot x^2 + a_2 \cdot xy + a_3x + a_4 \cdot y^2 + a_5y + a_6$$

dove

- a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 ed a_6 sono i coefficienti della curva interpolante ricavati inserendo i vari punti relativi ad una determinata lunghezza di parete;
- le variabili x ed y rappresentano rispettivamente, secondo quanto già descritto nei paragrafi precedenti, la percentuale di foratura legata alla presenza di finestre (x) e la percentuale di foratura legata alla presenza di porte (y).

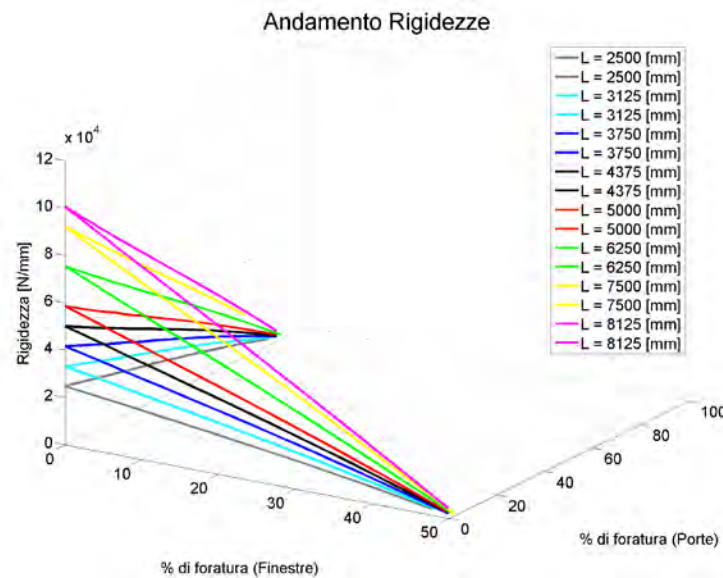
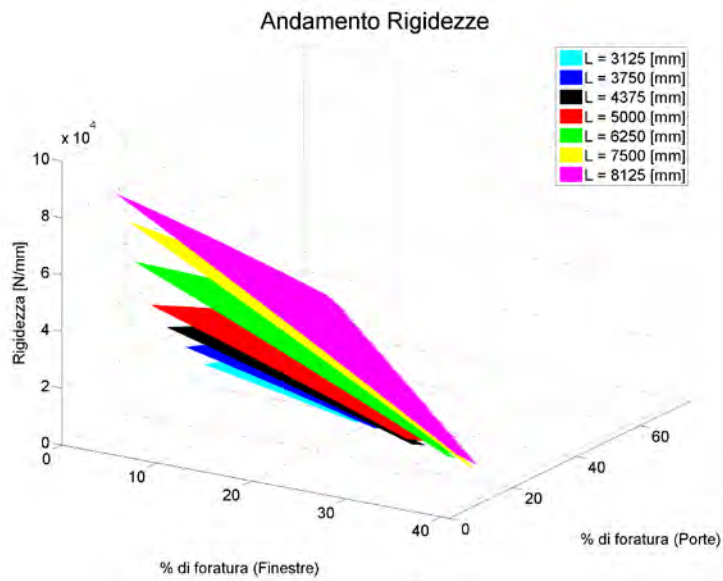
Si sono quindi ottenute una serie di equazioni (ognuna riferita ad una determinata lunghezza di parete) che consentono la determinazione della rigidità della parete in analisi in relazione alla combinazione delle percentuali di fori presenti. E' stato a questo punto possibile procedere alla creazione delle tabelle guida (riportate in Allegato A), le quali sono state divise (per comodità e per ambire ad una maggiore chiarezza durante il loro utilizzo) con riferimento alla lunghezza di parete considerata.

Il funzionamento delle tabelle è semplice ed immediato: scelta la lunghezza di parete e delineata quindi la tabella da utilizzare, si procede valutando le percentuali relative alle aree occupate dai fori che il progettista intende inserire entro la parete stessa, distinguendole in relazione alle due tipologie descritte (fori di tipo "Porta" e fori di tipo "Finestra"). Nel caso di valori di lunghezza di parete non direttamente tabellati si procederà per interpolazione lineare

dei dati relativi alle due tabelle che si riferiscono ad una lunghezza superiore e ad una lunghezza inferiore rispetto a quella in analisi. Con riferimento invece alla tabella relativa ad una specifica lunghezza è possibile, nel caso di percentuali di fori i cui valori non sono tabellati, ricorrere all'utilizzo del polinomio precedentemente riportato, dove i valori dei coefficienti da utilizzare sono indicati nelle tabelle stesse.

Si precisa come, nel caso di presenza entro la parete di una sola tipologia di foro, si sia proceduto ad interpolare i dati mediante l'utilizzo di una curva, anziché di una superficie, la cui equazione è un polinomio di secondo grado. I valori di rigidità assunti dalla parete in presenza di fori di una sola tipologia sono riportati subito sopra alla riga e subito a sinistra della colonna indicanti i valori di percentuale di foratura analizzati. Nel caso particolare di pareti ospitanti un'unica tipologia di foro, in presenza di percentuali di foratura superiori a quelle riportate o intermedie ai valori tabellati, si procede utilizzando le equazioni indicate e diversificate in relazione alla tipologia di foro presente. Come nel caso precedente, anche per questa seconda casistica (presenza di un'unica tipologia di foro), per valori di lunghezza di parete non tabellati, basterà procedere per interpolazione lineare dei dati.

Si riportano, per completezza, le immagini relative alle superfici ed alle curve interpolatrici. Si evidenzia come, a livello grafico, ad ogni superficie (curva) corrisponda una determinata lunghezza di parete e che, al fine di ricavare i valori di rigidità cercati, sia necessario entrare nel grafico note le coordinate x e y rappresentanti le diverse percentuali di foratura. A questo punto basterà spostarsi lungo la verticale condotta dal punto che descrive la situazione dei fori presenti, fino ad incontrare la superficie rappresentante la lunghezza di parete in oggetto e leggere, in corrispondenza dell'asse z, il valore di rigidità assunto dalla determinata tipologia di parete analizzata.



Una volta definiti i valori di rigidezza assunti dalle diverse pareti, risulta utile esprimerli come percentuali riferite alla somma complessiva delle rigidezze (distinguendo ovviamente le due direzioni principali secondo le quali possono essere orientate le pareti).

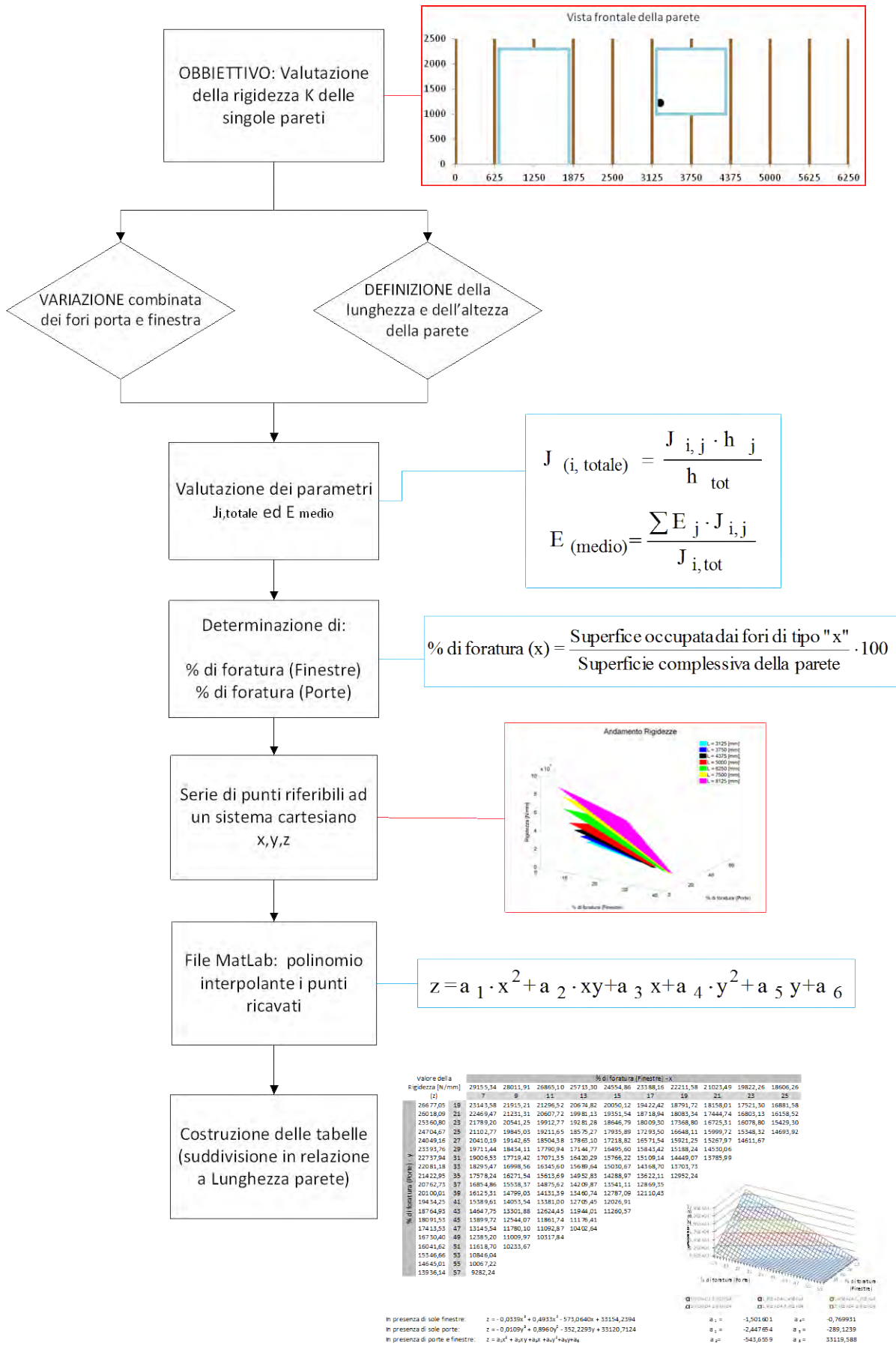
$$K_{x,i}(\%) = \frac{K_{x,i}}{\sum_i K_{x,i}} \cdot 100$$

$$K_{y,i}(\%) = \frac{K_{y,i}}{\sum_i K_{y,i}} \cdot 100$$

E' a questo punto evidente come, per i calcoli relativi alla ripartizione delle forze sulle varie pareti, con riferimento al solo contributo traslazionale, la forza di pertinenza di ciascuna parete sia data dal prodotto della forza complessiva agente per il contributo percentuale di rigidezza.

$$F_{x,i} = F_{x,tot} \cdot K_{x,i}$$

$$F_{y,i} = F_{y,tot} \cdot K_{y,i}$$



3.3.2. *Tabelle relative alla determinazione del centro di rigidità e di alcuni parametri chiave*

Una volta determinata la rigidità della singola parete ed il contributo in termini di percentuale, è possibile procedere alla determinazione delle coordinate del centro di rigidità. A tal fine, la formulazione di seguito riportata per la determinazione delle coordinate di tale punto viene tradotta, per comodità, in tabella al fine di ridurre al minimo i calcoli da effettuare manualmente.

$$X_{CR} = \frac{\sum_i (K_{y,i}(\%) \cdot x_i)}{\sum_i K_{y,i}(\%)} \qquad Y_{CR} = \frac{\sum_i (K_{x,i}(\%) \cdot y_i)}{\sum_i K_{x,i}(\%)}$$

dove:

$K_{y,i}(\%)$ e $K_{x,i}(\%)$ sono i contributi di rigidità, in termini percentuali, relativi a ciascuna parete;

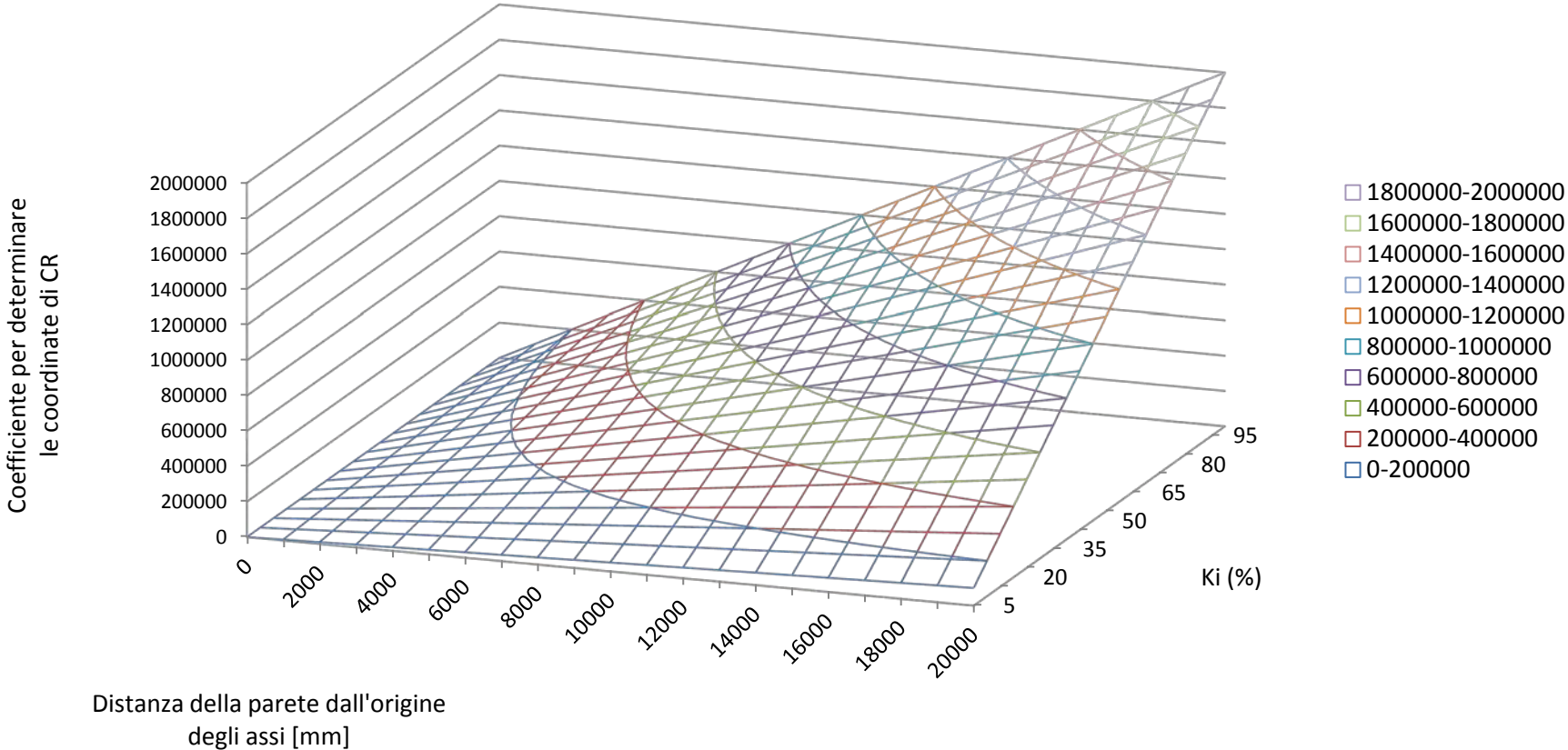
x_i e y_i sono le coordinate del baricentro della parete rispetto al sistema di riferimento scelto.

Note quindi le coordinate delle singole pareti con riferimento ad un determinato sistema di riferimento ed il rispettivo valore di rigidità espresso in termini percentuali, è possibile procedere alla determinazione delle coordinate del centro di rigidità per via tabellare. Nella tabella in questione sono riportati in orizzontale i valori relativi alle coordinate delle diverse pareti in relazione al riferimento scelto mentre, in verticale, le rigidità espresse in percentuale assunte dalle diverse pareti. Volendo quindi valutare, ad esempio, la coordinata x del centro di rigidità, basterà entrare nella tabella una volta note la posizione della parete con riferimento alla coordinata x stessa ed il corrispondente contributo percentuale fornito dalla parete in oggetto con riferimento alla rigidità complessiva. Letti i valori tabellati per tutte le pareti presenti, questi vanno sommati e per ottenere la coordinata cercata basterà a questo punto dividere la somma ottenuta per 100. Per la determinazione della coordinata y del centro di rigidità, basterà ripetere le stesse operazioni con riferimento però alle coordinate y delle diverse pareti. Si riportano di seguito la tabella relativa alla determinazione della posizione del centro di rigidità e la rappresentazione grafica dei dati tabellati.

Tabella relativa alla determinazione della posizione del centro di rigidità CR

		Distanza della parete dall'origine del sistema di riferimento (in x o y) [mm]																			
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000
Rigidità in termini %	5	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000	70000	75000	80000	85000	90000	95000	100000
	10	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000	130000	140000	150000	160000	170000	180000	190000	200000
	15	15000	30000	45000	60000	75000	90000	105000	120000	135000	150000	165000	180000	195000	210000	225000	240000	255000	270000	285000	300000
	20	20000	40000	60000	80000	100000	120000	140000	160000	180000	200000	220000	240000	260000	280000	300000	320000	340000	360000	380000	400000
	25	25000	50000	75000	100000	125000	150000	175000	200000	225000	250000	275000	300000	325000	350000	375000	400000	425000	450000	475000	500000
	30	30000	60000	90000	120000	150000	180000	210000	240000	270000	300000	330000	360000	390000	420000	450000	480000	510000	540000	570000	600000
	35	35000	70000	105000	140000	175000	210000	245000	280000	315000	350000	385000	420000	455000	490000	525000	560000	595000	630000	665000	700000
	40	40000	80000	120000	160000	200000	240000	280000	320000	360000	400000	440000	480000	520000	560000	600000	640000	680000	720000	760000	800000
	45	45000	90000	135000	180000	225000	270000	315000	360000	405000	450000	495000	540000	585000	630000	675000	720000	765000	810000	855000	900000
	50	50000	100000	150000	200000	250000	300000	350000	400000	450000	500000	550000	600000	650000	700000	750000	800000	850000	900000	950000	1000000
	55	55000	110000	165000	220000	275000	330000	385000	440000	495000	550000	605000	660000	715000	770000	825000	880000	935000	990000	1045000	1100000
	60	60000	120000	180000	240000	300000	360000	420000	480000	540000	600000	660000	720000	780000	840000	900000	960000	1020000	1080000	1140000	1200000
	65	65000	130000	195000	260000	325000	390000	455000	520000	585000	650000	715000	780000	845000	910000	975000	1040000	1105000	1170000	1235000	1300000
	70	70000	140000	210000	280000	350000	420000	490000	560000	630000	700000	770000	840000	910000	980000	1050000	1120000	1190000	1260000	1330000	1400000
	75	75000	150000	225000	300000	375000	450000	525000	600000	675000	750000	825000	900000	975000	1050000	1125000	1200000	1275000	1350000	1425000	1500000
	80	80000	160000	240000	320000	400000	480000	560000	640000	720000	800000	880000	960000	1040000	1120000	1200000	1280000	1360000	1440000	1520000	1600000
	85	85000	170000	255000	340000	425000	510000	595000	680000	765000	850000	935000	1020000	1105000	1190000	1275000	1360000	1445000	1530000	1615000	1700000
	90	90000	180000	270000	360000	450000	540000	630000	720000	810000	900000	990000	1080000	1170000	1260000	1350000	1440000	1530000	1620000	1710000	1800000
	95	95000	190000	285000	380000	475000	570000	665000	760000	855000	950000	1045000	1140000	1235000	1330000	1425000	1520000	1615000	1710000	1805000	1900000
	100	100000	200000	300000	400000	500000	600000	700000	800000	900000	1000000	1100000	1200000	1300000	1400000	1500000	1600000	1700000	1800000	1900000	2000000

Determinazione delle coordinate del centro di rigidità CR [mm]

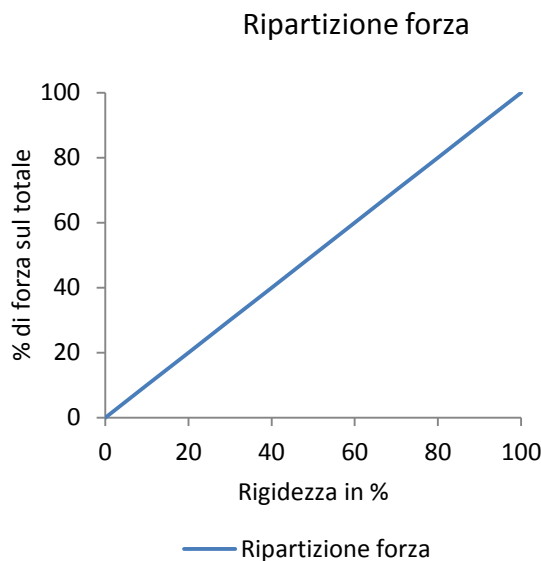


3.3.3. Ripartizione delle forze tra le pareti

Una volta determinate le coordinate del centro di rigidezza del sistema studiato, si dispone di tutti i dati necessari per poter applicare la formula di ripartizione delle forze in funzione delle rigidità delle diverse pareti. Si presenteranno in seguito le modalità per procedere alla determinazione dei due contributi, per comodità definiti “Contributo traslazionale” e “Contributo torcente” i quali, una volta sommati, daranno indicazioni relativamente alla forza di pertinenza di ciascuna parete.

Contributo traslazionale

Come già anticipato, al fine di determinare l’entità della forza che interessa la parete i-esima, basterà limitarsi a moltiplicare il valore della forza totale agente per il contributo di rigidità, espresso in punti percentuale, riferito alla parete in analisi. Le forze si ripartiranno quindi sulle varie pareti in relazione al contributo alla rigidità complessiva che queste apportano:



$$F_{x,i} = \frac{K_{x,i} \cdot F_{x,tot}}{\sum_i K_{x,i}} = \frac{K_{x,i}(\%) \cdot F_{x,tot}}{100}$$

$$F_{y,i} = \frac{K_{y,i} \cdot F_{y,tot}}{\sum_i K_{y,i}} = \frac{K_{y,i}(\%) \cdot F_{y,tot}}{100}$$

Contributo torsionale

Si procede determinando il secondo contributo di forza legato all’effetto torsionale dovuto alla non coincidenza tra centro di massa e centro di rigidezza del sistema. A tal fine, note le coordinate del centro di massa e del centro di rigidezza, si determinano manualmente le eccentricità relativamente alle due direzioni principali al fine di valutare l’entità del momento torcente sollecitante la struttura attraverso la seguente scrittura:

$$M_{tot} = -F_x \cdot e_y + F_y \cdot e_x$$

La formulazione relativa al secondo contributo di forza su ogni elemento resistente è la seguente:

$$F_{x,i} = \frac{M_{tot} \cdot K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})}{\sum_i \{ [K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})^2] + [K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})^2] \}} \quad F_{y,i} = \frac{M_{tot} \cdot K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})}{\sum_i \{ [K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})^2] + [K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})^2] \}}$$

Per la determinazione delle forze sarà possibile utilizzare le tabelle riportate di seguito le quali consentono di determinare il valore del denominatore relativo alle precedenti formule, valore che definiremo "Coefficiente A":

$$A = \sum_i \{ [K_{x,i} \cdot (y_i - y_{CR})^2] + [K_{y,i} \cdot (x_i - x_{CR})^2] \}$$

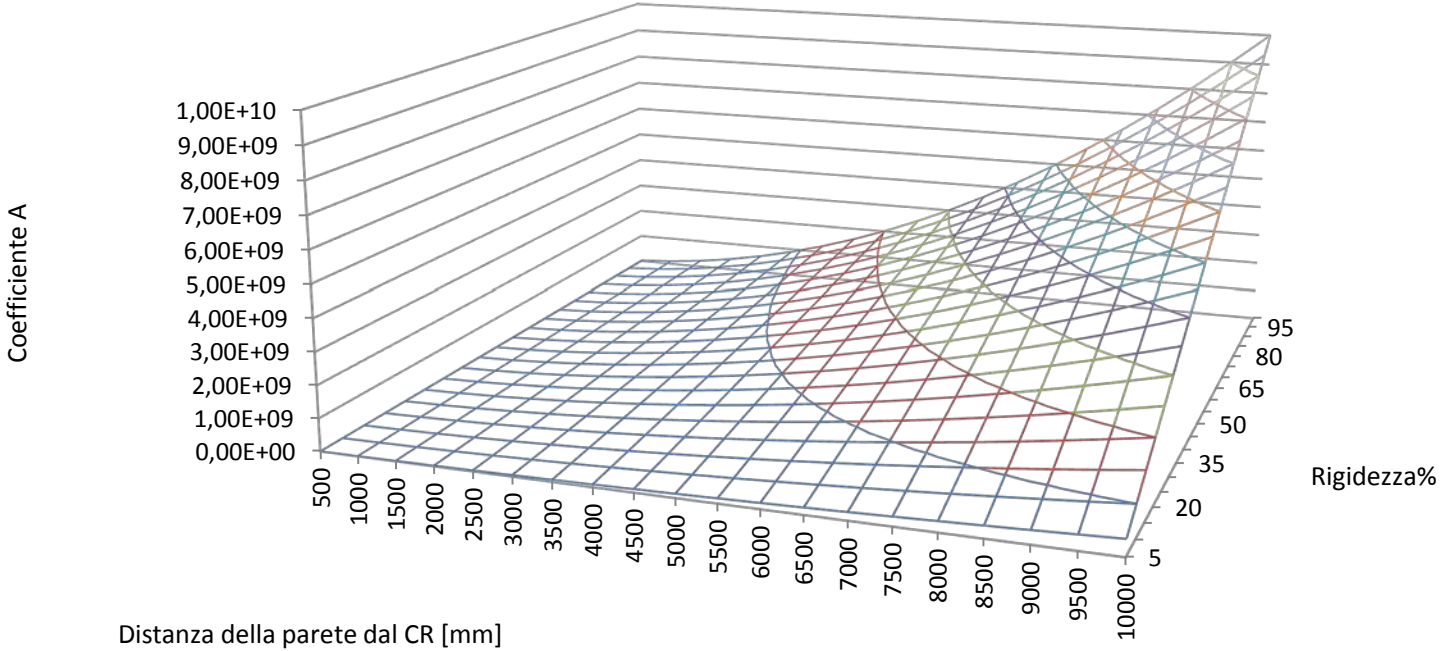
Nota la distanza di una generica parete dal centro di rigidezza ed il suo contributo percentuale con riferimento alla rigidezza complessiva in una determinata direzione, utilizzando le tabelle sarà possibile determinare i diversi termini relativi alla sommatoria presente a denominatore delle formule precedenti. Valutati i diversi contributi basterà quindi sommarli per determinare il termine cercato.

Nella tabella a cui riferirsi per questo passaggio sono riportate in orizzontale le distanze relative tra la parete in analisi ed il centro di rigidezza e in verticale i contributi di rigidezza in termini di percentuale. Noti questi due parametri si entra nella tabella (o, alternativamente, nel grafico) e si legge il valore corrispondente a due dati d'ingresso con riferimento ad ogni parete, eseguendo come descritto la sommatoria dei diversi termini così ottenuti al fine di valutare il coefficiente A cercato.

Tabella relativa alla determinazione del coefficiente A

		Distanza dal centro di rigidezza (direzione x o y) [mm]																			
		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000
Rigidezza in termini %	5	1,25E+06	5,00E+06	1,13E+07	2,00E+07	3,13E+07	4,50E+07	6,13E+07	8,00E+07	1,01E+08	1,25E+08	1,51E+08	1,80E+08	2,11E+08	2,45E+08	2,81E+08	3,20E+08	3,61E+08	4,05E+08	4,51E+08	5,00E+08
	10	2,50E+06	1,00E+07	2,25E+07	4,00E+07	6,25E+07	9,00E+07	1,23E+08	1,60E+08	2,03E+08	2,50E+08	3,03E+08	3,60E+08	4,23E+08	4,90E+08	5,63E+08	6,40E+08	7,23E+08	8,10E+08	9,03E+08	1,00E+09
	15	3,75E+06	1,50E+07	3,38E+07	6,00E+07	9,38E+07	1,35E+08	1,84E+08	2,40E+08	3,04E+08	3,75E+08	4,54E+08	5,40E+08	6,34E+08	7,35E+08	8,44E+08	9,60E+08	1,08E+09	1,22E+09	1,35E+09	1,50E+09
	20	5,00E+06	2,00E+07	4,50E+07	8,00E+07	1,25E+08	1,80E+08	2,45E+08	3,20E+08	4,05E+08	5,00E+08	6,05E+08	7,20E+08	8,45E+08	9,80E+08	1,13E+09	1,28E+09	1,45E+09	1,62E+09	1,81E+09	2,00E+09
	25	6,25E+06	2,50E+07	5,63E+07	1,00E+08	1,56E+08	2,25E+08	3,06E+08	4,00E+08	5,06E+08	6,25E+08	7,56E+08	9,00E+08	1,06E+09	1,23E+09	1,41E+09	1,60E+09	1,81E+09	2,03E+09	2,26E+09	2,50E+09
	30	7,50E+06	3,00E+07	6,75E+07	1,20E+08	1,88E+08	2,70E+08	3,68E+08	4,80E+08	6,08E+08	7,50E+08	9,08E+08	1,08E+09	1,27E+09	1,47E+09	1,69E+09	1,92E+09	2,17E+09	2,43E+09	2,71E+09	3,00E+09
	35	8,75E+06	3,50E+07	7,88E+07	1,40E+08	2,19E+08	3,15E+08	4,29E+08	5,60E+08	7,09E+08	8,75E+08	1,06E+09	1,26E+09	1,48E+09	1,72E+09	1,97E+09	2,24E+09	2,53E+09	2,84E+09	3,16E+09	3,50E+09
	40	1,00E+07	4,00E+07	9,00E+07	1,60E+08	2,50E+08	3,60E+08	4,90E+08	6,40E+08	8,10E+08	1,00E+09	1,21E+09	1,44E+09	1,69E+09	1,96E+09	2,25E+09	2,56E+09	2,89E+09	3,24E+09	3,61E+09	4,00E+09
	45	1,13E+07	4,50E+07	1,01E+08	1,80E+08	2,81E+08	4,05E+08	5,51E+08	7,20E+08	9,11E+08	1,13E+09	1,36E+09	1,62E+09	1,90E+09	2,21E+09	2,53E+09	2,88E+09	3,25E+09	3,65E+09	4,06E+09	4,50E+09
	50	1,25E+07	5,00E+07	1,13E+08	2,00E+08	3,13E+08	4,50E+08	6,13E+08	8,00E+08	1,01E+09	1,25E+09	1,51E+09	1,80E+09	2,11E+09	2,45E+09	2,81E+09	3,20E+09	3,61E+09	4,05E+09	4,51E+09	5,00E+09
	55	1,38E+07	5,50E+07	1,24E+08	2,20E+08	3,44E+08	4,95E+08	6,74E+08	8,80E+08	1,11E+09	1,38E+09	1,66E+09	1,98E+09	2,32E+09	2,70E+09	3,09E+09	3,52E+09	3,97E+09	4,46E+09	4,96E+09	5,50E+09
	60	1,50E+07	6,00E+07	1,35E+08	2,40E+08	3,75E+08	5,40E+08	7,35E+08	9,60E+08	1,22E+09	1,50E+09	1,82E+09	2,16E+09	2,54E+09	2,94E+09	3,38E+09	3,84E+09	4,34E+09	4,86E+09	5,42E+09	6,00E+09
	65	1,63E+07	6,50E+07	1,46E+08	2,60E+08	4,06E+08	5,85E+08	7,96E+08	1,04E+09	1,32E+09	1,63E+09	1,97E+09	2,34E+09	2,75E+09	3,19E+09	3,66E+09	4,16E+09	4,70E+09	5,27E+09	5,87E+09	6,50E+09
	70	1,75E+07	7,00E+07	1,58E+08	2,80E+08	4,38E+08	6,30E+08	8,58E+08	1,12E+09	1,42E+09	1,75E+09	2,12E+09	2,52E+09	2,96E+09	3,43E+09	3,94E+09	4,48E+09	5,06E+09	5,67E+09	6,32E+09	7,00E+09
	75	1,88E+07	7,50E+07	1,69E+08	3,00E+08	4,69E+08	6,75E+08	9,19E+08	1,20E+09	1,52E+09	1,88E+09	2,27E+09	2,70E+09	3,17E+09	3,68E+09	4,22E+09	4,80E+09	5,42E+09	6,08E+09	6,77E+09	7,50E+09
	80	2,00E+07	8,00E+07	1,80E+08	3,20E+08	5,00E+08	7,20E+08	9,80E+08	1,28E+09	1,62E+09	2,00E+09	2,42E+09	2,88E+09	3,38E+09	3,92E+09	4,50E+09	5,12E+09	5,78E+09	6,48E+09	7,22E+09	8,00E+09
	85	2,13E+07	8,50E+07	1,91E+08	3,40E+08	5,31E+08	7,65E+08	1,04E+09	1,36E+09	1,72E+09	2,13E+09	2,57E+09	3,06E+09	3,59E+09	4,17E+09	4,78E+09	5,44E+09	6,14E+09	6,89E+09	7,67E+09	8,50E+09
	90	2,25E+07	9,00E+07	2,03E+08	3,60E+08	5,63E+08	8,10E+08	1,10E+09	1,44E+09	1,82E+09	2,25E+09	2,72E+09	3,24E+09	3,80E+09	4,41E+09	5,06E+09	5,76E+09	6,50E+09	7,29E+09	8,12E+09	9,00E+09
	95	2,38E+07	9,50E+07	2,14E+08	3,80E+08	5,94E+08	8,55E+08	1,16E+09	1,52E+09	1,92E+09	2,38E+09	2,87E+09	3,42E+09	4,01E+09	4,66E+09	5,34E+09	6,08E+09	6,86E+09	7,70E+09	8,57E+09	9,50E+09
	100	2,50E+07	1,00E+08	2,25E+08	4,00E+08	6,25E+08	9,00E+08	1,23E+09	1,60E+09	2,03E+09	2,50E+09	3,03E+09	3,60E+09	4,23E+09	4,90E+09	5,63E+09	6,40E+09	7,23E+09	8,10E+09	9,03E+09	1,00E+10

Valutazione del coefficiente A



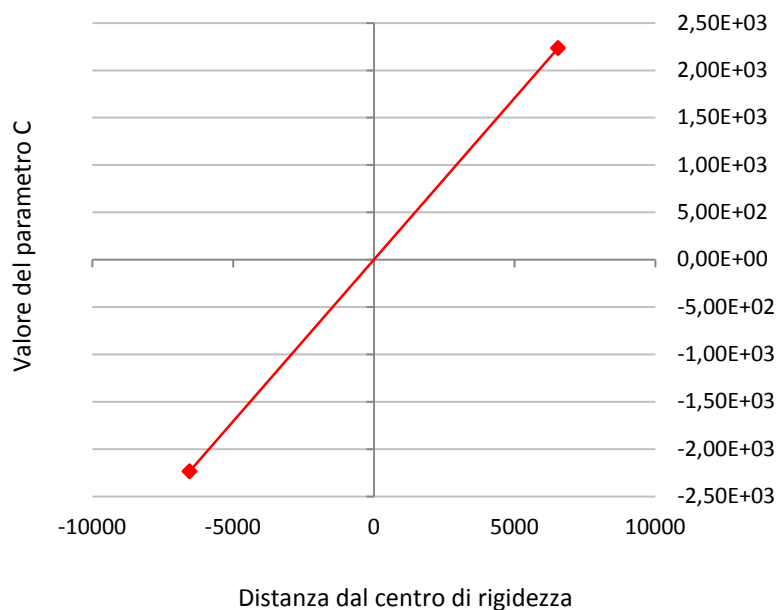
- | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,00E+00-1,00E+09 | 1,00E+09-2,00E+09 | 2,00E+09-3,00E+09 | 3,00E+09-4,00E+09 | 4,00E+09-5,00E+09 |
| 5,00E+09-6,00E+09 | 6,00E+09-7,00E+09 | 7,00E+09-8,00E+09 | 8,00E+09-9,00E+09 | 9,00E+09-1,00E+10 |

Determinato il “coefficiente A” è possibile a questo punto definire quello che chiameremo il rapporto “B”:

$$B = \frac{M_{tot}}{A}$$

Sarà infine necessario delineare le due pareti più distanti dal centro di rigidezza con riferimento ad entrambe le direzioni principali (le due pareti estreme per la direzione x e le due pareti estreme per la direzione y). Si procederà successivamente in modo separato per la ripartizione delle forze nelle due direzioni, applicando per entrambe il metodo che verrà descritto facendo riferimento, per una questione di pura comodità, alla ripartizione delle forze per le pareti orientate nella direzione y.

- Si moltiplica il coefficiente B precedentemente definito per il valore $(x_i - x_{CR})$ relativo alle due pareti più distanti dal centro di rigidezza; il valore così ottenuto verrà indicato successivamente con la lettera “C”. E’ evidente come, essendo questa prima ripartizione riferita alle pareti orientate nella direzione y, la distanza da considerare non potrà che essere quella lungo x (e viceversa nel caso in cui si vogliono valutare le forze riferite alle lame orientate nella direzione x);
- si procede costruendo un grafico in cui viene riportata, in corrispondenza dell’asse x, la distanza delle pareti dal centro di rigidezza mentre, in corrispondenza dell’asse y, si riporta il valore dei prodotti appena determinati (comprensivi di segno);
- si traccia la congiungente relativa ai punti trovati;

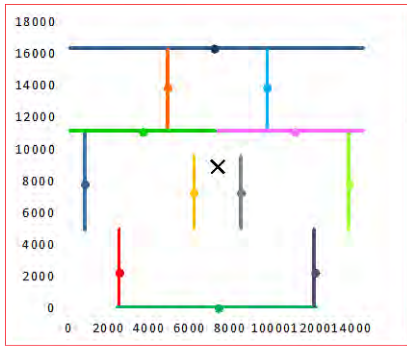


- per determinare il valore della sollecitazione agente sulla i -esima parete basterà entrare nel grafico una volta nota la distanza della lama dal centro di rigidità del sistema e leggere, con riferimento alla congiungente tracciata, il relativo valore in corrispondenza dell'asse y del grafico. A questo punto, l'ultimo passaggio sarà quello di moltiplicare i valori letti per le rigidità in termini percentuali relative alle diverse lame, ottenendo quindi il dato cercato.

Con riferimento alle lame orientate in direzione x la procedura è analoga salvo l'introduzione, in corrispondenza dell'asse y della distanza rispetto al centro di rigidità riferita alla direzione y mentre in corrispondenza all'asse x del grafico viene riportato il valore del parametro C . Per le lame orientate in direzione x bisognerà inoltre avere l'accortezza di moltiplicare per il fattore -1 i valori trovati dalla lettura del grafico.

Definiti a questo punto entrambi i contributi relativi alla ripartizione delle forze in funzione delle rigidità, per determinare la forza complessiva di competenza di ciascuna parete, basterà dunque applicare la formulazione generale con i rispettivi segni.

Si ritiene utile riassumere quanto descritto relativamente alla procedura per la determinazione delle forze sulle pareti, attraverso l'utilizzo di un diagramma di flusso:



Riferimento della struttura in oggetto ad un SISTEMA di ASSI CARTESIANI

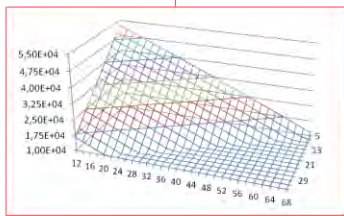
DATI NOTI:
 - Lunghezza e fori pareti;
 - Posizione baricentro pareti e posizione del centro di massa CM

Tabelle per la determinazione della rigidezza K

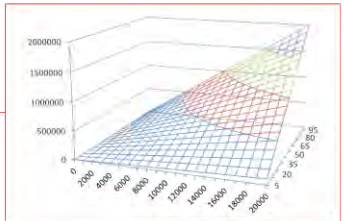
Valutazione della rigidezza K delle pareti. Valutazione di K in termini %

$$K_{(x,j)}(\%) = \frac{K_{(x,j)}}{\sum_i K_{(x,i)}} \cdot 100$$

$$K_{(y,i)}(\%) = \frac{K_{(y,i)}}{\sum_i K_{(y,i)}} \cdot 100$$



Determinazione della posizione del centro di rigidezza CR



Valutazione delle azioni orizzontali sollecitanti la struttura

Definizione di e_x , e_y e del momento torcente complessivo

$$M_{tot} = - F_x \cdot e_y + F_y \cdot e_x$$

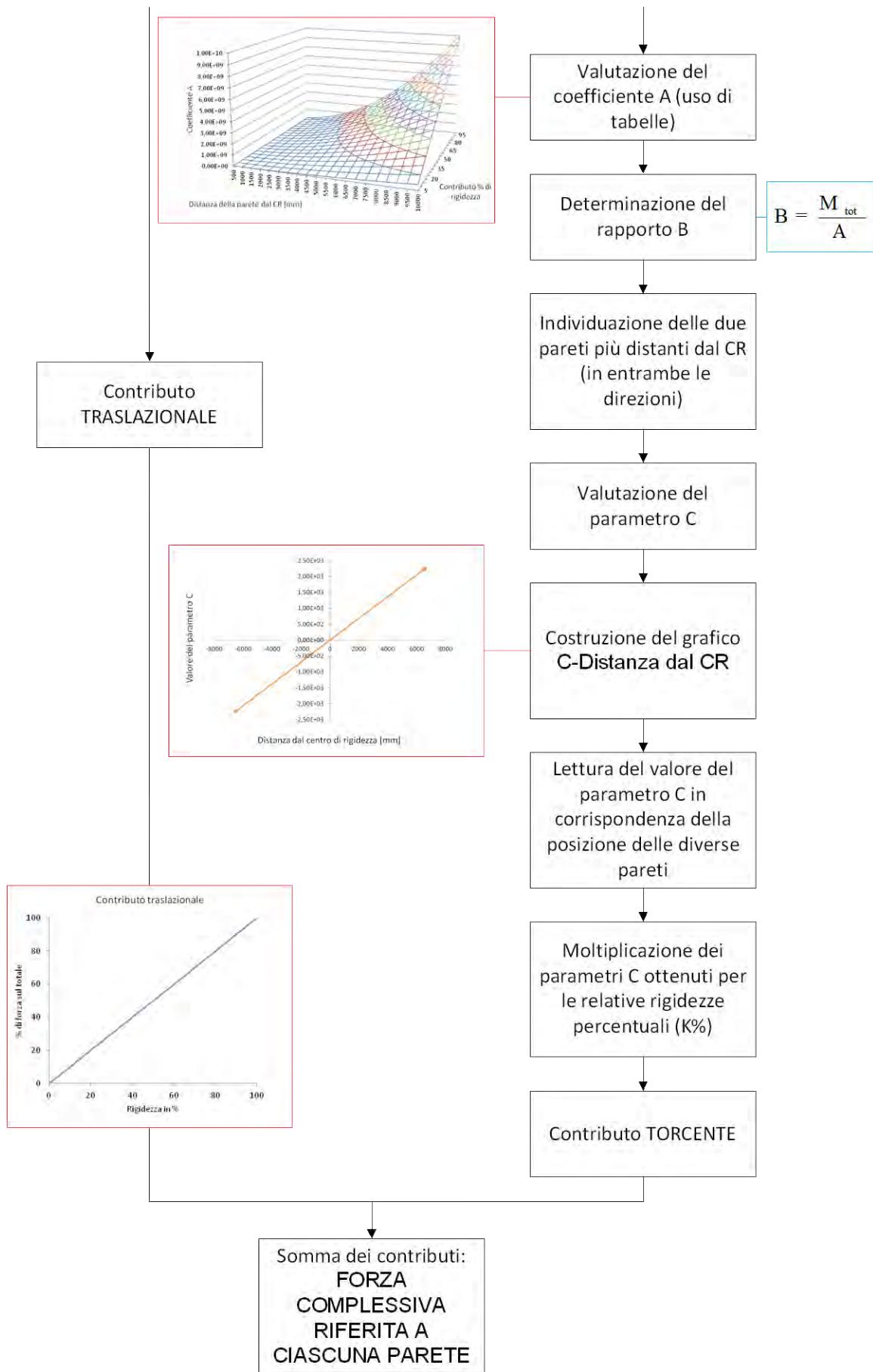
Ripartizione delle forze in funzione di K

$$F_{j,i} = \frac{F_{i,tot} \cdot K_{j,i}}{\sum_i K_{j,i}} \pm \frac{M_{tot} \cdot K_{j,i} \cdot (d_i - d_{CR})}{\sum_i [K_{j,i} (y_i - y_{CR})^2 + K_{k,i} (x_i - x_{CR})^2]}$$

Effetto TRASLAZIONALE

Effetto TORSIONALE

Determinazione della distanza tra baricentro parete e CR



3.4. *Valutazione dei dispositivi di ancoraggio minimi*

Una volta definite le forze complessive di pertinenza di ciascuna parete, il progettista dovrà affrontare la questione di quali sistemi di vincolo adottare al fine di fissare i diaframmi alla fondazione (o al solaio) sulla quale queste insistono. Come visto nei capitoli precedenti con riferimento alla descrizione dei sistemi di fissaggio adottati, esistono due diverse tipologie di ancoraggio, suddivise in base alla sollecitazione che saranno destinate ad assorbire:

- tirafondi, viti o angolari per assorbire gli sforzi di taglio agenti sulla parete ed evitare quindi lo scorrimento di questa;
- holdown, ovvero angolari dalla forma allungata, posti ad inizio e a fine parete ed in corrispondenza delle porte; questi agiscono contro il sollevamento della parete a causa delle forze applicate in corrispondenza della sommità della parete stessa.

Verranno riportate di seguito le modalità per la definizione del numero minimo di ancoraggi da disporre in relazione ad una parete soggetta ad un carico noto precedentemente determinato. Si evidenzia come, i valori di resistenza relativi ai dispositivi citati siano stati estrapolati da cataloghi e risultino quindi suscettibili a variazioni in relazione alla ditta alla quale il progettista andrà poi ad appoggiarsi. Si procederà dividendo la trattazione in relazione ai due diversi tipi di sollecitazione descritti in precedenza: lo scorrimento ed il ribaltamento .

Scorrimento delle pareti

Come già accennato, lo scorrimento delle pareti per effetto dell'azione sismica viene contrastato mediante dei tirafondi in acciaio colleganti il traverso inferiore della parete alle fondazioni, nel caso di connessione alla fondazione, oppure con delle viti che connettono il corrente inferiore della parete al cordolo di collegamento, per quanto riguarda il collegamento tra la parete ed un solaio di interpiano. Una volta valutate le azioni sulla parete in analisi, sarà possibile valutare il numero minimo di elementi necessari (e conseguentemente l'interasse a cui disporre tali elementi) per evitare lo scorrimento della struttura. Nella successiva tabella si riporta, in relazione all'azione sollecitante una parete e con riferimento al dispositivo di ancoraggio tipo SKR prodotto dalla ditta Rotho Blaas (ancoraggio del quale sono riportate le caratteristiche), il numero minimo di dispositivi da porre per assorbire la sollecitazione indicata.

Scorrimento delle pareti al piano terra- Attacco parete - fondazione

Dispositivo SKR- Trattasi di un dispositivo di ancoraggio avvitabile per calcestruzzo che consente di fissare elementi in legno o in acciaio su supporti in calcestruzzo; l'avvitatura su cemento armato avviene senza creare nessuna forza di espansione nel calcestruzzo, consentendo l'utilizzo di distanze minime ridotte. Si riporta, per completezza, un estratto dal catalogo nel quale vengono indicati i valori statici consigliati per la verifica della connessione; tali valori si riferiscono al solo elemento di fissaggio precisando come, al fine di valutare la resistenza complessiva dell'ancorante, risulti necessario valutare a parte la resistenza a taglio sull'elemento da fissare, la quale sarà funzione del materiale analizzato.

RESISTENZA A TAGLIO V - CALCESTRUZZO NON FESSURATO ⁽¹⁾



Ancorante	Tipo	SKR			SKS
Diametro nominale	d ₁ [mm]	7,5	10	12	7,5
Resistenza consigliata	V [kN]	2,50	6,65	8,18	2,50
Distanza critica dal bordo	c _{cr,V} [mm]	70	110	130	70
Distanza minima dal bordo	c _{min,V} [mm]	50	60	70	50
Interasse critico	s _{cr,V} [mm]	140	200	240	140
Interasse minimo	s _{min,V} [mm]	50	60	70	50

⁽¹⁾ Nella valutazione della resistenza globale dell'ancorante, la resistenza a taglio sull'elemento da fissare (es. legno, acciaio, ...) va valutata a parte in funzione del materiale utilizzato.

Con riferimento a determinati valori di forza sollecitante, si riporta il numero di dispositivi minimo da prevedersi per l'attacco a terra della parete. E' evidente come il numero ricavabile dalla tabella non sia legato alla lunghezza della parete stessa e saranno quindi da verificarsi le prescrizioni relative agli interassi indicati nella precedente immagine:

ANCORAGGIO			FORZA AGENTE SULLA PARETE [kN]																									
SKR	d [mm]	V [kN]	2,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150
		7,5	2,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	44	48	52	56	60
	10	6,65	1	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	13	13	14	15	16	17	19	20	22	23
	12	8,18	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6	7	7	8	8	9	10	10	11	12	12	13	14	15	16	18	19

Scorrimento delle pareti ai piani superiori- Attacco parete-solaio

Con riferimento alla connessione tra pareti e solaio, si procede utilizzando delle viti a testa sfasata HBS. Si riportano per questa tipologia di connessione i valori caratteristici a taglio ed a trazione con riferimento alla norma EN 1995:2008, evidenziando come i valori di progetto saranno da assumersi pari a

$$R_d = \frac{R_k \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

con k_{mod} e γ_M da valutarsi in funzione della normativa vigente utilizzata per il calcolo.

Anche con riferimento allo scorrimento relativo alle pareti poggianti sui solai di interpiano si riporta una tabella relativa al numero minimo di connessioni necessarie al fine di assorbire lo sforzo di taglio della parete in analisi.

				TAGLIO				TRAZIONE				
geometria				legno-legno	legno-legno con rondella	acciaio-legno piastra sottile ⁽¹⁾	acciaio-legno piastra spessa ⁽²⁾	estrazione filetto ⁽³⁾	penetrazione testa ⁽⁴⁾	penetrazione testa con rondella ⁽⁴⁾		
d_1 [mm]	L [mm]	b [mm]	A [mm]	R_{VL} [kN]	R_{VL} [kN]	R_{VL} [kN]	R_{VL} [kN]	$R_{max,t}$ [kN]	$R_{head,t}$ [kN]	$R_{head,t}$ [kN]		
6	40	35	8	0,87	0,87	3,06	3,75	2,62	1,61	4,49		
	50	45	15	1,52	1,64			1,62	2,58	2,62	1,61	4,49
	60	30	30	1,76	1,92			2,05	3,13	3,37	1,61	4,49
	70	40	30	1,86	2,21			2,22	2,90	2,25	1,61	4,49
	80	40	40	2,06	2,41			2,41	3,09	3,00	1,61	4,49
	90	50	40	2,06	2,59			2,59	3,28	3,75	1,61	4,49
	100	50	50	2,06	2,59			2,59	3,28	3,75	1,61	4,49
	110	60	50	2,06	2,78			2,78	3,47	4,50	1,61	4,49
	120	60	60	2,06	2,78			2,78	3,47	4,50	1,61	4,49
	130	60	70	2,06	2,78			2,78	3,47	4,50	1,61	4,49
	140	75	65	2,06	2,78			3,06	3,75	5,62	1,61	4,49
	150	75	75	2,06	2,78			3,06	3,75	5,62	1,61	4,49
	160	75	85	2,06	2,78			3,06	3,75	5,62	1,61	4,49
	180	75	105	2,06	2,78			3,06	3,75	5,62	1,61	4,49
	200	75	125	2,06	2,78			3,06	3,75	5,62	1,61	4,49
	220	75	145	2,06	2,78			3,06	3,75	5,62	1,61	4,49
240	75	165	2,06	2,78	3,06	3,75	5,62	1,61	4,49			
260	75	185	2,06	2,78	3,06	3,75	5,62	1,61	4,49			
280	75	205	2,06	2,78	3,06	3,75	5,62	1,61	4,49			
300	75	225	2,06	2,78	3,06	3,75	5,62	1,61	4,49			
8	80	52	28	2,57	3,28	4,66	5,76	5,20	2,36	7,01		
	100	52	48	3,25	3,96			3,96	5,06	5,20	2,36	7,01
	120	60	60	3,25	4,16			4,16	5,26	6,00	2,36	7,01
	140	60	80	3,25	4,16			4,16	5,26	6,00	2,36	7,01
	160	80	80	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	180	80	100	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	200	80	120	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	220	80	140	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	240	80	160	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	260	80	180	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	280	80	200	3,25	4,41			4,66	5,76	8,00	2,36	7,01
	300	100	200	3,25	4,41			5,16	6,26	10,00	2,36	7,01
	320	100	220	3,25	4,41			5,16	6,26	10,00	2,36	7,01
	340	100	240	3,25	4,41			5,16	6,26	10,00	2,36	7,01
	360	100	260	3,25	4,41			5,16	6,26	10,00	2,36	7,01
	380	100	280	3,25	4,41			5,16	6,26	10,00	2,36	7,01
400	100	300	3,25	4,41	5,16	6,26	10,00	2,36	7,01			
440	100	340	3,25	4,41	5,16	6,26	10,00	2,36	7,01			
500	100	400	3,25	4,41	5,16	6,26	10,00	2,36	7,01			

geometria				TAGLIO				TRAZIONE			
d_t [mm]	L [mm]	b [mm]	A [mm]	legno-legno	legno-legno con rondella	acciaio-legno piastra sottile ⁽¹⁾	acciaio-legno piastra spessa ⁽²⁾	estrazione filetto ⁽³⁾	penetrazione testa ⁽⁴⁾	penetrazione testa con rondella ⁽⁴⁾	
$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	$R_{v,k}$ [kN]	
10	80	52	28	3,60	4,29	4,69	6,86	6,50	3,73	11,48	
	100	52	48	4,17	4,86	5,47	7,07	6,50	3,73	11,48	
	120	60	60	4,78	5,72	5,72	7,31	7,50	3,73	11,48	
	140	60	80	4,78	5,72	5,72	7,31	7,50	3,73	11,48	
	160	80	80	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	180	80	100	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	200	80	120	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	220	80	140	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	240	80	160	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	260	80	180	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	280	80	200	4,78	6,35	6,35	7,94	10,00	3,73	11,48	
	300	100	200	4,78	6,72	6,97	8,56	12,50	3,73	11,48	
	320	100	220	4,78	6,72	6,97	8,56	12,50	3,73	11,48	
	340	100	240	4,78	6,72	6,97	8,56	12,50	3,73	11,48	
	360	100	260	4,78	6,72	6,97	8,56	12,50	3,73	11,48	
	380	100	280	4,78	6,72	6,97	8,56	12,50	3,73	11,48	
400	100	300	4,78	6,72	6,97	8,56	12,50	3,73	11,48		
12	160	80	80	5,95	7,74	7,74	9,71	12,00	4,83	15,35	
	200	80	120	5,95	7,74	7,74	9,71	12,00	4,83	15,35	
	240	80	160	5,95	7,74	7,74	9,71	12,00	4,83	15,35	
	280	80	200	5,95	7,74	7,74	9,71	12,00	4,83	15,35	
	320	120	200	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	360	120	240	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	400	120	280	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	440	120	320	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	480	120	360	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	520	120	400	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	560	120	440	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	
	600	120	480	5,95	8,58	9,24	11,21	17,99	4,83	15,35	

Per la redazione della tabella guida realizzata per la determinazione del numero di ancoraggi minimo, si suppone di adottare un k_{mod} pari a 0,6 ed un γ_M pari a 1,5; oltre i valori caratteristici di resistenza relativa al taglio legno-legno indicati nell'immagine precedente saranno quindi riportati anche i valori di progetto, con i quali si effettueranno quindi i calcoli di verifica.

ANCORAGGIO HSB				FORZA AGENTE SULLA PARETE [kN]																				
d [mm]	L [mm]	$R_{v,k}$ [kN]	R_d [kN]	2,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
6	> 80	2,06	0,824	4	7	13	19	25	31	37	43	49	55	61	67	73	79	85	92	98	104	110	116	122
8	80	2,57	1,028	3	5	10	15	20	25	30	35	39	44	49	54	59	64	69	73	78	83	88	93	98
	> 100	3,25	1,3	2	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	43	47	50	54	58	62	66	70	74	77
10	80	3,6	1,44	2	4	7	11	14	18	21	25	28	32	35	39	42	46	49	53	56	60	63	66	70
	100	4,17	1,668	2	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
	> 120	4,78	1,912	2	3	6	8	11	14	16	19	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	48	50	53
12	> 160	5,95	2,38	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	43

Anche in questo caso, valutato il numero minimo di connessioni da introdurre, sarà necessario verificare che le distanze minime tra le connessioni (e tra queste ed i bordi degli elementi) siano rispettate.


Ribaltamento delle pareti

Il ribaltamento delle pareti per effetto dell'azione sismica viene contrastato mediante appositi elementi di collegamento costituiti generalmente da piastre angolari. Queste sono collegate con tirafondi in acciaio alle fondazioni e mediante viti o chiodi all'intelaiatura della parete; in alternativa alle piastre angolari è possibile utilizzare delle semplici piastre forate bidimensionali. I cataloghi relativi ai sistemi di fissaggio per la giunzione a trazione tra legno e cemento, riportano i valori di resistenza caratteristica relativamente al legno costituente il telaio, all'acciaio della piastra ed al calcestruzzo (fessurato e non) precisando come il valore di progetto da adottare in fase di calcolo scaturisca dai valori caratteristici secondo quanto riportato:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{1,k \text{ legno}} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \\ R_{1,k \text{ acciaio}} \\ \frac{\gamma_{acciaio}}{R_{1,k \text{ cls}}} \\ \gamma_{cls} \end{array} \right.$$

Secondo quanto fatto per i dispositivi di fissaggio a taglio, con riferimento ai dispositivi di fissaggio nei confronti delle sollecitazioni di trazione si riporta un estratto significativo dei cataloghi commerciali.

WHT540

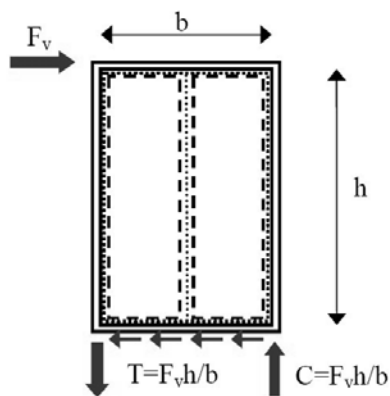


configurazione	VALORI CARATTERISTICI												
	R _{1,k} LEGNO			R _{1,k} ACCIAIO		R _{1,k} CALCESTRUZZO NON FESSURATO		R _{1,k} CALCESTRUZZO FESSURATO					
	tipo	Ø x L [mm]	n _v [pz]	R _{1,k} legno [kN]	rondella	R _{1,k} acciaio [kN]	ancorante VINYLPRO Ø x L [mm]	R _{1,k} cls [kN]	ancorante EPOPLUS Ø x L [mm]	R _{1,k} cls [kN]			
<ul style="list-style-type: none"> fissaggio totale rondella WHTBSSOL ancorante M20 	chiodi LBA	Ø4,0 x 40	45	70,7	WHTBSSOL	63,4	Ym2	M20 x 240	120,63	1,8	M20 x 240	60,32	2,1
	chiodi LBA	Ø4,0 x 60	45	86,9										M20 x 290^{(1)}	75,39	2,1
<ul style="list-style-type: none"> fissaggio parziale rondella WHTBSSOL ancorante M20 	viti LBS	Ø5,0 x 40	45	70,7	WHTBSSOL	63,4	Ym2	M20 x 240	120,63	1,8	M20 x 240	60,32	2,1
	viti LBS	Ø5,0 x 50	45	86,9										M20 x 290^{(1)}	75,39	2,1
<ul style="list-style-type: none"> fissaggio totale rondella WHTBSSO ancorante M16 	chiodi LBA	Ø4,0 x 40	45	70,7	WHTBSSO	63,4	Ym2	M16 x 190	74,89	1,8	M16 x 190	41,19	1,8
	chiodi LBA	Ø4,0 x 60	45	86,9										M16 x 190	41,19	1,8
<ul style="list-style-type: none"> fissaggio parziale rondella WHTBSSO ancorante M16 	viti LBS	Ø5,0 x 40	45	70,7	WHTBSSO	63,4	Ym2	M16 x 190	74,89	1,8	M16 x 190	41,19	1,8
	viti LBS	Ø5,0 x 50	45	86,9										M16 x 190	41,19	1,8

⁽¹⁾ Lunghezza ottenibile da barre filettate MGS da tagliare su misura

In relazione all'immagine precedente è possibile notare la moltitudine di fattori che influenzano la realizzazione della connessione quali ad esempio: la tipologia di collegamento adottata per il fissaggio dell'angolare al telaio (viti o chiodi), la possibilità di realizzare un fissaggio di tipo parziale o totale, la tipologia di ancorante alla struttura in calcestruzzo sottostante ecc. Tali parametri e la possibilità di combinazione tra di loro rende pressoché impossibile la traduzione in termini tabellari della scelta del profilo più adatto ad assorbire la sollecitazione in oggetto.

Come già anticipato, gli elementi di collegamento a trazione sono da prevedersi in corrispondenza delle estremità di parete e, in aggiunta a questa configurazione di fissaggio di base, in prossimità di porte, dove vi è una concentrazione delle azioni di trazione. Per determinare la sollecitazione che insiste su ciascuna connessione e valutare quindi il profilo più adatto da adottare unitamente al numero di connessioni chiodate da introdurre, è necessario valutare lo sforzo di trazione che viene trasmesso alla parete. A tal fine è possibile utilizzare la formulazione semplificata riportata nel paragrafo relativo alla trattazione delle pareti intelaiate e di seguito riproposta:



$$T = C = \frac{F_v \cdot h}{b}$$

Nel caso di pareti intere (per le quali non è prevista nessuna forometria) e per le pareti finestrate, il valore di b da assumere è quello relativo alla lunghezza della totalità della parete. Nel caso in cui la parete ospiti un foro della tipologia "Porta" si assume che l'azione insistente sulla parete possa ritenersi suddivisa sulle porzioni di parete che definiremo "intere". Determinata la forza di competenza di ciascuna porzione è possibile valutare gli sforzi di trazione che insistono su ciascun elemento di fissaggio, scegliendo in questo modo il profilo resistente necessario per la trasmissione della sollecitazione stessa.

Capitolo 4

Valutazione dell'efficacia del metodo tabellare

4.1. Generalità

Una volta redatte le tabelle ed i grafici descritti si è proceduto testando l'efficacia del metodo implementato. A tal fine si sono presi in considerazione alcuni casi di studio relativi ad edifici test con le finalità di:

- delineare i principali limiti di validità del metodo tabellare;
- valutare le carenze del metodo e le discrepanze con la situazione rappresentata analizzando l'edificio attraverso un modello ad elementi finiti;
- testare l'effettiva semplicità e rapidità del metodo tabellare nel raggiungimento della validazione dei risultati.

Considerate quindi alcune strutture "Test" realizzate con il metodo costruttivo del Platform Frame se ne sono realizzati i modelli mediante l'utilizzo del programma ad elementi finiti Straus, procedendo in seguito con un confronto dei risultati ottenuti relativamente alla distribuzione delle forze orizzontali legate ad esempio al sisma ed al vento.

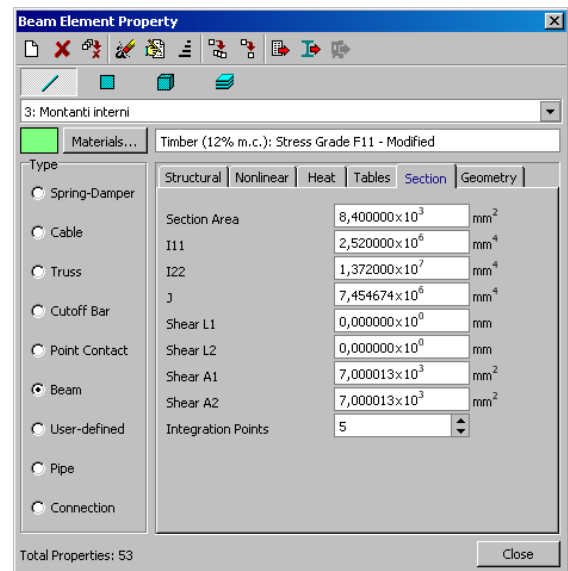
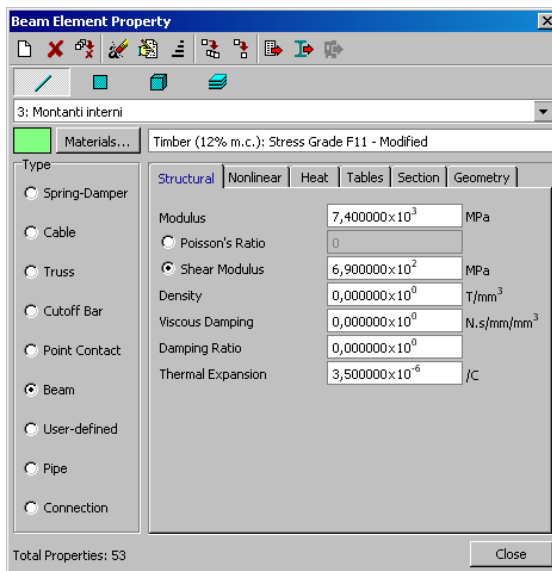
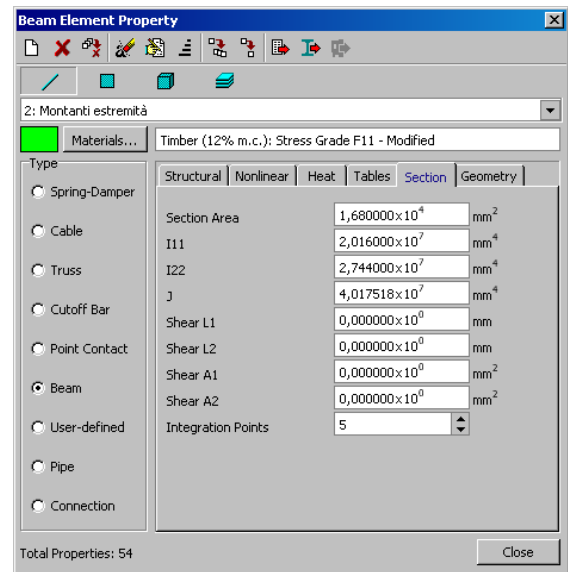
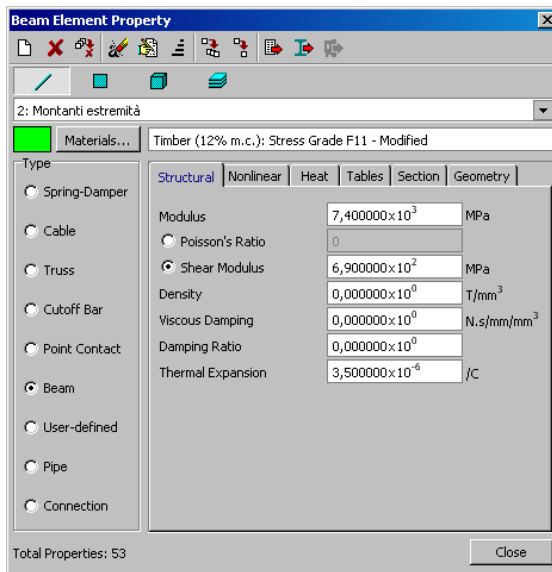
Prima di procedere con la descrizione dei test effettuati, risulta necessario evidenziare alcune sostanziali differenze relative al metodo proposto nel presente elaborato e la modellazione di una struttura della tipologia in oggetto attraverso un programma ad elementi finiti. Mentre con il metodo tabellare il valore della rigidità che si andrà ad assumere con riferimento a ciascun elemento portante riassume nel complesso tutte le proprietà della parete in analisi (quali ad esempio la lunghezza, l'altezza, i valori dell'inerzia nelle due direzioni principali, l'area occupata da fori, i materiali utilizzati e le loro peculiarità), la modellazione attraverso un programma di calcolo comporta il sostanziale "disaccorpamento" della parete nel complesso. Attraverso l'utilizzo di un programma ad elementi finiti si procede infatti con la modellazione dei singoli elementi, i quali devono essere caratterizzati nello specifico con riferimento alle proprietà geometriche (sezioni, lunghezze, spessori ecc.) ed in relazione alla tipologia di materiale con i quali sono realizzati (caratteristiche di resistenza, proprietà varie ecc.); i diversi

elementi saranno poi accorpati mediante i collegamenti previsti per la tipologia strutturale in analisi andando così a lavorare, nel complesso, come un sistema unitario. I risultati che si ottengono da un modello sono quindi frutto del comportamento di diversi elementi con specifiche caratteristiche i quali vengono assemblati tra loro. A differenza di quello che accade con il metodo tabellare, attraverso la modellazione è possibile quindi valutare con precisione le sollecitazioni che si hanno nei singoli elementi descrivendone, nello specifico, l'effettivo comportamento nei confronti delle diverse azioni a cui sarà sollecitata la struttura.

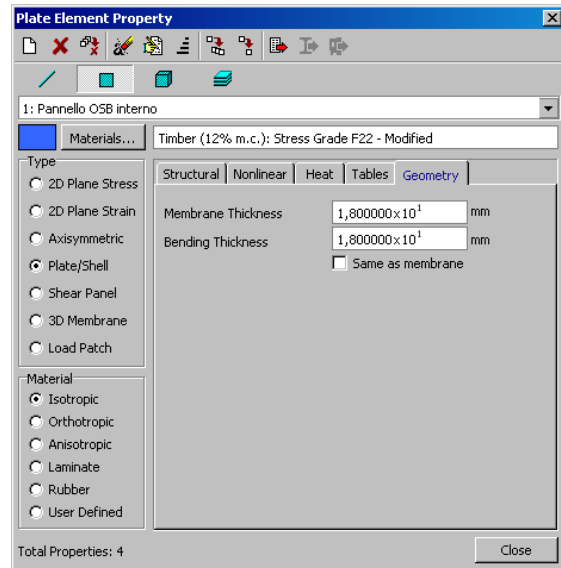
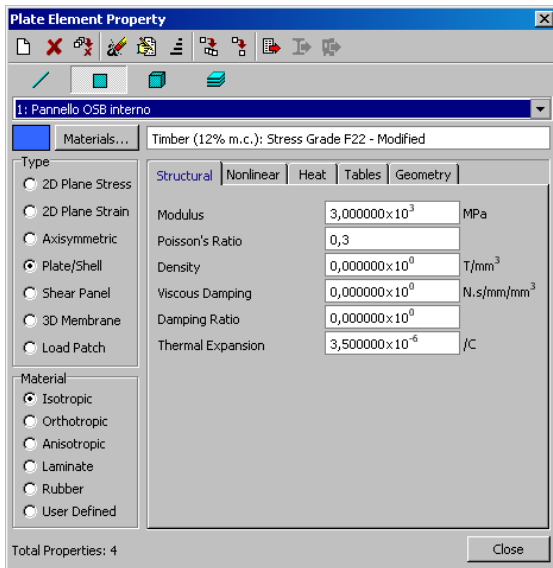
4.2. Modellazione delle pareti

Per la modellazione delle strutture test si è utilizzato il programma ad elementi finiti Straus con l'intento di ricreare ogni elemento strutturale della parete stessa, al fine di descrivere nel modo migliore il comportamento che questo assume nel complesso "Parete". A tale scopo, in fase di modellazione, si sono fatte le seguenti adozioni:

- i montanti, i traversi (superiori, inferiori e quelli relativi alle aperture) ed i cordoli di collegamento sono stati modellati come elementi "beam", assegnando la geometria delle sezioni e le caratteristiche di resistenza relative al materiale legno, con riferimento alla categoria ed alla specie legnosa considerata. Nello specifico, si sono introdotti i valori utilizzati in fase di realizzazione del foglio di calcolo adottato per la redazione delle tabelle, in modo da introdurre il minor numero di variabili influenzanti la capacità delle pareti stesse. Per avere maggior chiarezza si riportano alcune delle schermate relative alla fase di assegnazione delle caratteristiche dei diversi elementi introdotti nella modellazione:



- i pannelli sono stati invece modellati come elementi “plate” il cui spessore e le caratteristiche del materiale utilizzato sono anche in questo caso analoghe a quelle delineate per la redazione delle tabelle. Ad essi è assegnato un offset nodale rispetto all’asse dei montanti al fine di ottenere, in questa prima fase, un modello il più vicino possibile alla situazione rappresentata dagli abachi (situazione in cui la parete risulta formata da due elementi di materiali e geometria diversa che lavorano come un sistema unico perfettamente connesso);

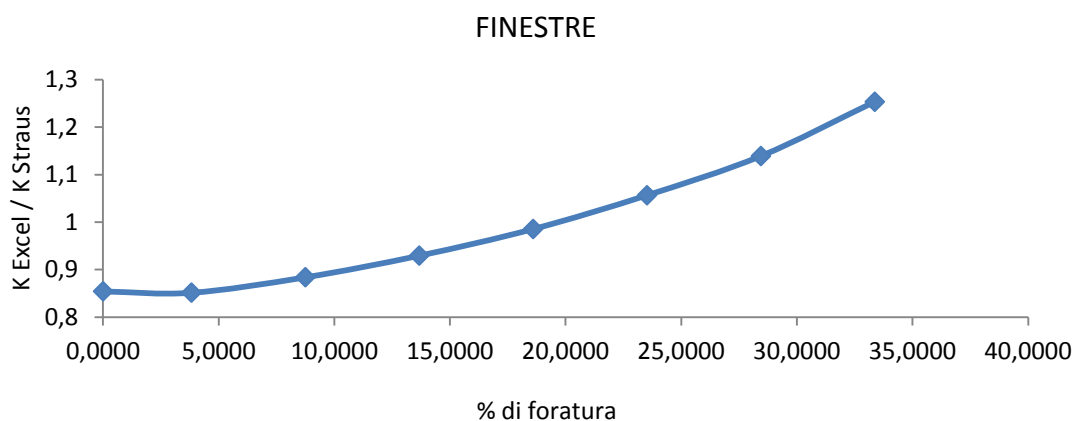


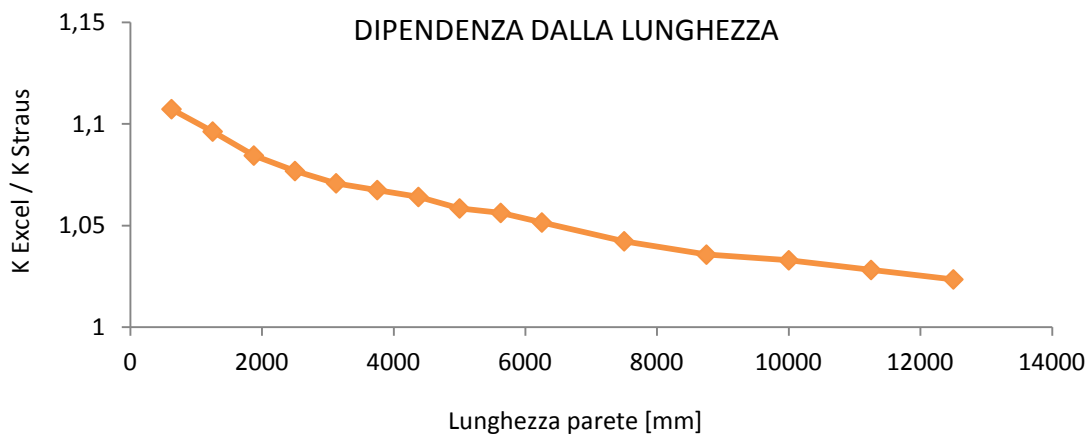
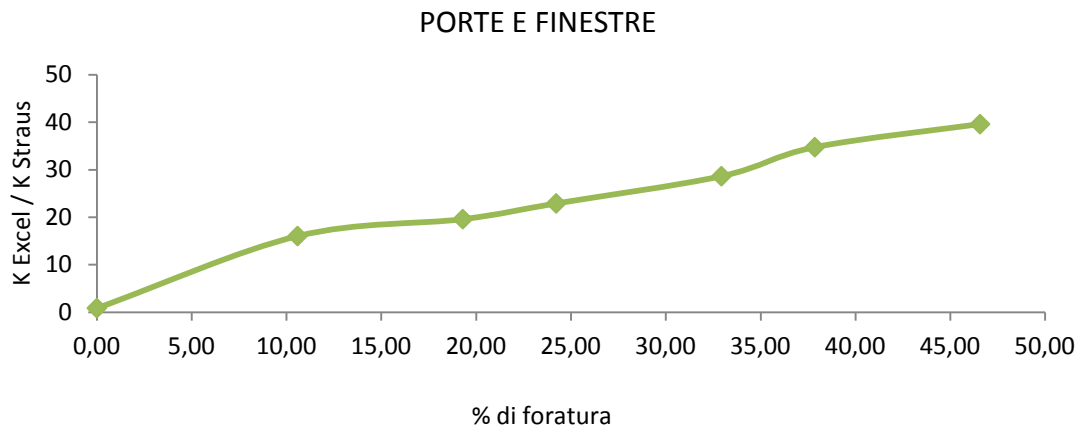
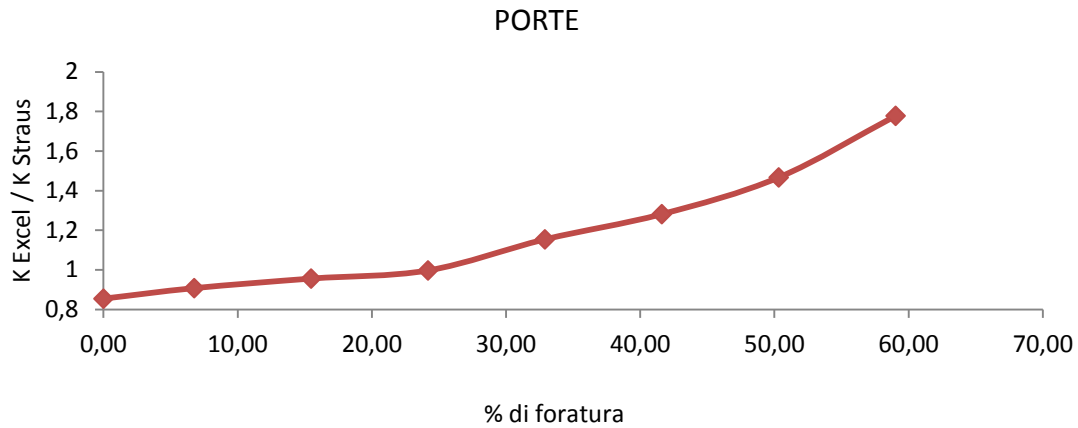
- secondo quanto è detto al precedente punto, i collegamenti tra pannello e montante non sono modellati. Si precisa comunque come, per avere una situazione più rappresentativa della realtà, gli elementi di connessione andrebbero modellati, ad esempio, come delle molle aventi una rigidezza nota;
- nei vari edifici test, si suppone il solaio infinitamente rigido e si procede quindi alla modellazione dello stesso mediante l'utilizzo di rigid link i quali collegano il centro di massa della struttura stessa ai diversi elementi resistenti;
- le pareti sono incastrate alla base con dei vincoli di incastro perfetto, al fine di simulare la situazione adottata per la redazione delle tabelle, con le discrepanze già descritte rispetto alle situazioni di vincolo reali, legate alle modalità di realizzazione delle connessioni tra gli elementi del telaio e dei collegamenti a terra o alla struttura sottostante.

4.3. *Legame tra modellazione e calcolo manuale*

La modellazione della parete attraverso l'utilizzo di un qualsiasi programma agli elementi finiti, comporta delle discrepanze in termini di risultati se confrontati con quelli ottenuti da un qualsiasi calcolo manuale. Tali discrepanze sono legate al fatto che, nel calcolo manuale, non vengono considerati alcuni elementi di parete i quali sono in realtà parte integrante del diaframma stesso contribuendo alla rigidezza complessiva del sistema. Prima di testare l'efficacia del metodo, si è quindi ritenuto necessario effettuare una sorta di calibrazione del sistema, al fine di ottenere un legame tra i risultati ottenuti dalla modellazione della parete e

quelli ottenuti per via manuale. Modellata la parete test, la si è assoggettata ad un carico unitario agente nella direzione principale, valutandone gli spostamenti con riferimento alla direzione di applicazione dei carichi e risalendo conseguentemente al valore di rigidezza. Analoga procedura si è effettuata con alla stessa parete implementata con il foglio di calcolo precedentemente descritto, il quale fornisce i valori di rigidezza di una determinata parete note le sue principali caratteristiche. La calibrazione viene effettuata con riferimento ad una parete di lunghezza pari a 6250 mm analizzando diverse situazioni: si sono supposte infatti presenti entro la parete diverse tipologie e dimensioni di fori. Si è proceduto valutando la rigidezza assunta dalla parete nei vari casi procedendo in parallelo: sia con riferimento alla modellazione che con riferimento all'implementazione mediante il foglio di calcolo. Raccolti i valori assunti dalla rigidezza al variare delle tipologie e delle percentuali di fori presenti, è stato possibile valutare il rapporto tra la rigidezza della parete studiata attraverso il foglio di calcolo e quella della parete modellata mediante il programma Straus. I risultati ottenuti sono riportati nei successivi grafici, riferiti come già accennato ad una parete di lunghezza pari a 6250 mm; per pareti di lunghezza diversa si è effettuato lo studio del legame tra le rigidezza solo con riferimento alla parete piena, estendendo poi il risultato con riferimento alle pareti ospitanti percentuali note di foratura. Essendo diversi gli effetti prodotti entro la parete dalle diverse tipologie di foro, si è ritenuto necessario suddividere la calibrazione con riferimento alla tipologia di foro stessa.





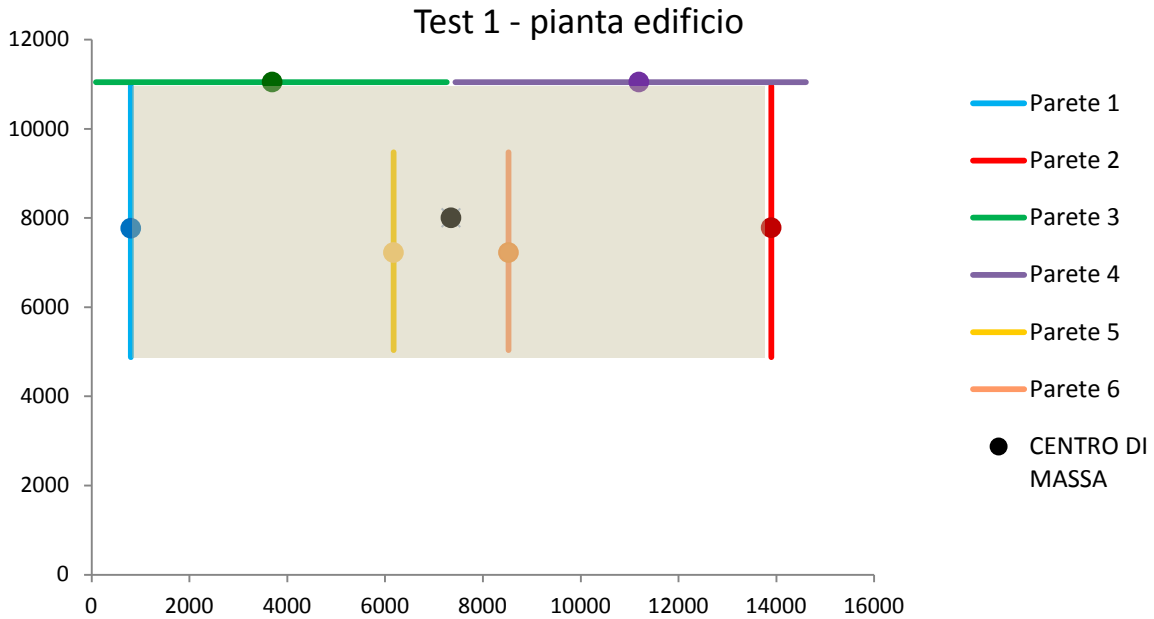
Al fine di poter confrontare i valori che scaturiscono dalla modellazione di una struttura con quelli legati al metodo tabellare, sarà necessario moltiplicare i primi per i rispettivi coefficienti di correlazione legati alla presenza di fori entro la parete e per i coefficienti di correlazione legati alla lunghezza della parete stessa. “Corretti” quindi i risultati ottenuti dalla modellazione, sarà possibile validarli attraverso il ricorso al metodo descritto.

Vengono di seguito riportati due esempi di validazione effettuata attraverso il metodo delle tabelle.

4.4. Test 1

Obiettivo del test è quello di valutare la bontà dei valori di forza sulle pareti ottenuti attraverso la modellazione della struttura in analisi applicando a tal fine il metodo di validazione descritto. Per il raggiungimento di questo scopo si sono valutate le rigidità delle pareti costituenti l'edificio test utilizzando le tabelle secondo le modalità descritte nel Capitolo 3; assoggettata la struttura ad una forza di entità nota concentrata nel centro di massa, si è proceduto quindi alla ripartizione di tale forza per via tabellare seguendo la procedura indicata, valutando l'entità della forza di competenza di ciascuna parete. Realizzato poi un modello della struttura attraverso l'utilizzo del programma di calcolo agli elementi finiti Straus, si è assoggettato il modello creato alla stessa condizione di carico e, valutate le forze sulle diverse pareti, è stato possibile procedere alla valutazione dei risultati ottenuti attraverso la ripartizione "automatica" delle forze.

Si riporta di seguito la pianta relativa all'edificio oggetto del primo test; per questa prima prova si è scelta una geometria relativamente semplice al fine di constatare il buon funzionamento del metodo di validazione e per poter analizzare solo alcuni dei fattori che influenzano il risultato, in modo da non introdurre un numero eccessivo di variabili.



L'immagine riporta la disposizione delle pareti portanti della struttura in analisi, delineando la posizione del baricentro di queste e la posizione del centro di massa con riferimento ad un sistema di assi cartesiani. Inserito quindi il complesso analizzato in un sistema di riferimento e nota la geometria delle pareti nello specifico, si procede determinando il valore della rigidezza di ciascuna parete mediante l'utilizzo delle tabelle. Per questo primo esempio viene riportata la descrizione completa della procedura da adottare, delineando passo per passo il funzionamento del metodo ed i vari passaggi che portano all'ottenimento della soluzione finale. Come si vedrà in seguito, si evidenzierà la necessità di procedere con alcune interpolazioni tra i dati. Tale step risulta indispensabile nel caso in cui non fossero direttamente presenti le tabelle inerenti alle lunghezze delle pareti relative alla situazione analizzata.

Dagli schemi grafici successivamente riportati è possibile notare come, in questo primo test base nessuna delle pareti analizzate presenti contemporaneamente entrambe le tipologie di foro. La percentuale di foratura riportata nella successiva tabella si riferirà quindi direttamente alla percentuale di superficie, valutata rispetto alla superficie complessiva della parete, occupata dal foro delle tipologia indicata.

Una volta note la lunghezza della parete ed i parametri precedentemente definiti “% di foratura (Porte)” e “% di foratura (Finestre)”, è possibile procedere all'utilizzo delle tabelle; è evidente come, per questo primo caso, risulti necessario ricorrere alla formulazione relativa alle pareti per le quali è prevista una sola tipologia di foro. Si precisa inoltre come, per arrivare

a dimostrare l'efficacia del metodo nonostante ci si discosti dalla situazione standard riportata nelle tabelle, i montanti delle pareti siano stati assunti lunghi 2640 mm (dato da utilizzare per la valutazione della rigidità attraverso gli abachi) e la parete risulterà quindi di altezza pari a :

$$2640 + 60 + 60 = 2760 \text{ mm}$$

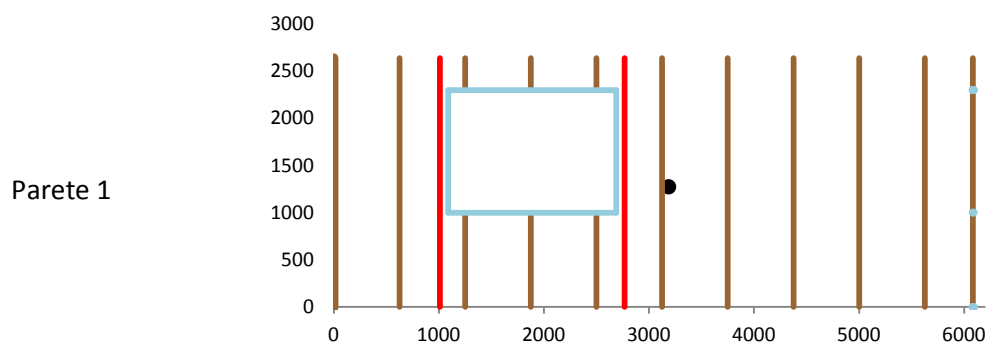
comprendendo quindi i traversi superiore ed inferiore.

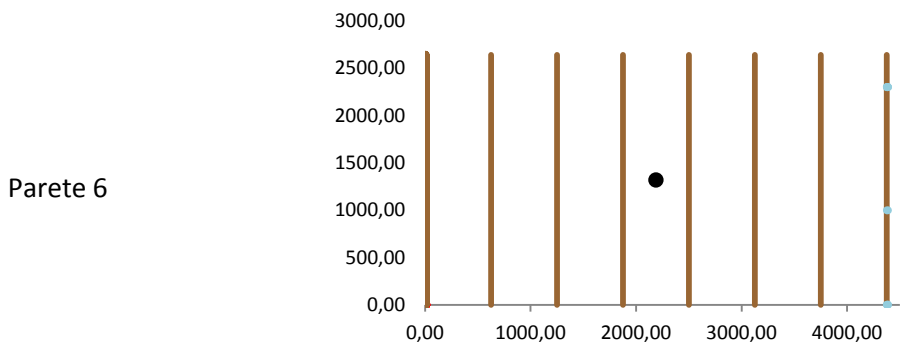
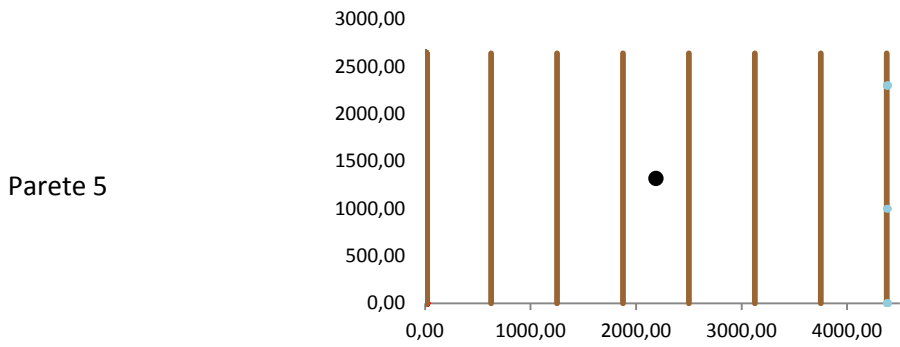
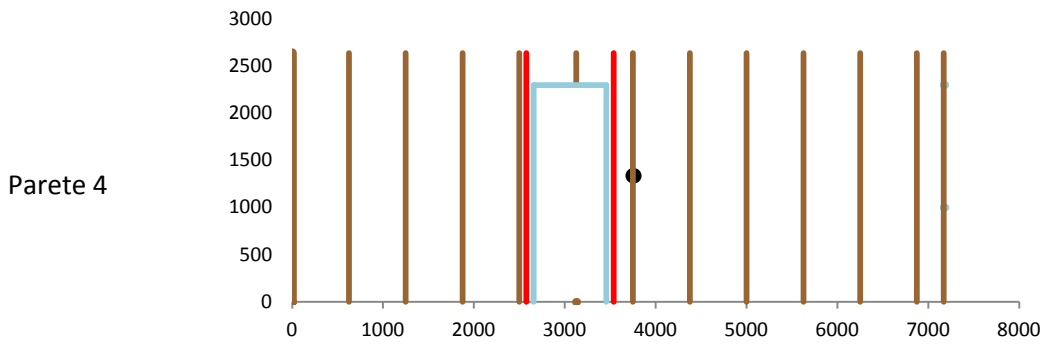
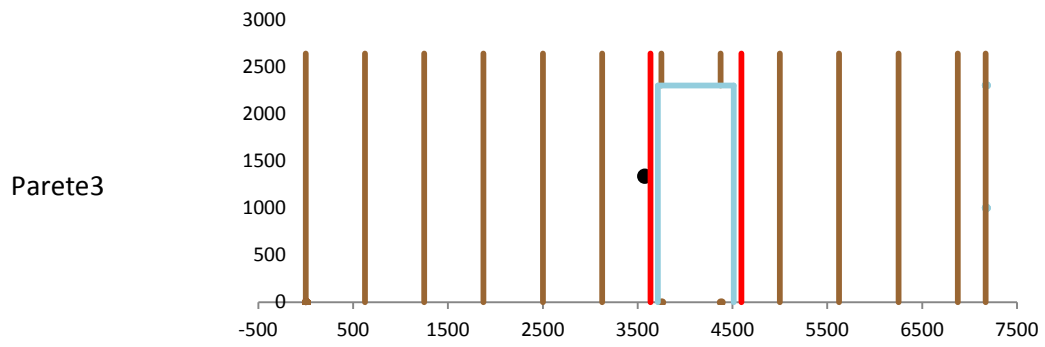
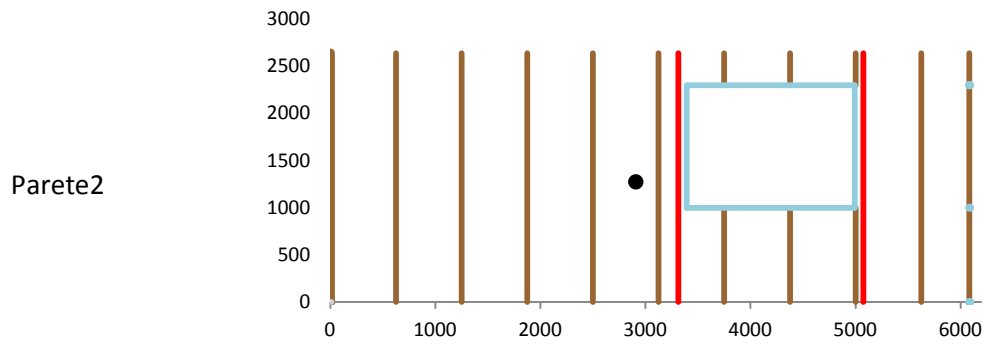
Sono di seguito riassunti i dati relativi alla geometria delle singole pareti:

Parete	Direzione	Lunghezza [mm]	Coordinate baricentro		Tipologia di fori	% di foratura
			X [mm]	Y [mm]		
Parete 1	Y	6082	800,00	7770,63	Finestra	12,95
Parete 2	Y	6082	13894,00	7783,05	Finestra	12,95
Parete 3	X	7171	3690,74	11050,00	Porta	9,72
Parete 4	Y	7171	11188,74	11050,00	Porta	9,72
Parete 5	Y	4375	6171,00	7225,50	Intera	0,00
Parete 6	X	4375	8523,00	7225,50	Intera	0,00
Posizione del centro di massa			7347,00	8004,50		

Si riportano per completezza gli schemi grafici relativi ai diversi diaframmi i quali delineano, oltre la tipologia di foro presente, anche la posizione di questo entro la parete stessa. Sono indicati in rosso i montanti aggiuntivi posizionati in corrispondenza delle aperture. Tali montanti risultano necessari per la realizzazione delle forometrie ma, come già visto, non vengono contemplati come elementi resistenti nel metodo tabellare, il quale non prevede la dipendenza del valore della rigidità dal numero di fori presenti (e quindi dal numero di montanti aggiuntivi) ma solo dalla superficie complessivamente occupata dai fori stessi.

Vista frontale della parete





4.4.1. Determinazione della rigidezza delle pareti

Definite la tipologia e la geometria delle varie pareti, si procede alla determinazione dei valori di rigidezza dei singoli diaframmi. Verranno quindi utilizzate le tabelle relative alla determinazione della rigidezza, effettuando operazioni di interpolazione lineare nell'ipotesi di casistiche non direttamente tabellate.

Parete 1 e Parete 2:

- Lunghezza 6082 mm
- Tipologia di fori presenti : Finestra
- Percentuale di foratura : 12,95 %

Essendo la parete di una lunghezza non tabellata, si procederà per interpolazione dei risultati ricavati con riferimento alle tabelle relative alla lunghezza di 5625 mm ed alla lunghezza di 6250 mm.

Lunghezza 5625 mm $K_{5625} = 50919,25 \text{ N/mm}$;

Lunghezza 6250 mm $K_{6250} = 57184,04 \text{ N/mm}$;

Lunghezza 6082 mm $K_{6082} = 55500,06 \text{ N/mm}$.

Si ricorda inoltre come il valore ricavato per via tabellare (e successivamente per interpolazione) risulti riferito ad una parete di altezza di parete pari a 2500 mm; sarà quindi necessario procedere al calcolo del valore della rigidezza riferito ad una parete di altezza voluta, supponendo un legame di proporzionalità inversa con l'altezza della parete:

$$K_{6082} : \frac{1}{2500} = K_{6082}^* : \frac{1}{2640}$$

Il valore di rigidezza che si adotterà quindi nei successivi calcoli sarà pari a:

$$K_{6082}^* = 52556,88 \text{ N/mm.}$$

Si procede in modo analogo per quanto riguarda la altri parei che compongono la struttura:

Parete 3 e Parete 4:

- Lunghezza 7171 mm
- Tipologia di fori presenti : Porta
- Percentuale di foratura : 9,72 %

In questo caso i valori da interpolare saranno quelli ottenuti con riferimento all'utilizzo delle tabelle relative alla lunghezza di 6250 e 7500 mm, con la successiva correzione dei dati in relazione all'altezza della parete testate rispetto alla dimensione a cui si riferiscono le tabelle stesse.

Lunghezza 6250 mm $K_{6250} = 67299,51 \text{ N/mm}$;

Lunghezza 7500 mm $K_{7500} = 82262,02 \text{ N/mm}$;

Lunghezza 7171 mm $K_{7171} = 78323,89 \text{ N/mm}$.

$$K_{7171}^* = 74170,35 \text{ N/mm}$$

Parete 5 e Parete 6:

- Lunghezza 4435 mm
- Tipologia di fori presenti : Nessun foro
- Percentuale di foratura : 0,00 %

In questo caso la procedura è analoga a quanto visto in precedenza ma i valori di rigidità da utilizzare in fase di interpolazione saranno quelli estrapolati dalla tabella che fa riferimento alla tipologia di pareti piene e quindi prive di fori.

Lunghezza 6250 mm $K_{6250} = 67299,51 \text{ N/mm}$;

Lunghezza 7500 mm $K_{7500} = 82262,02 \text{ N/mm}$;

Lunghezza 7171 mm $K_{7171} = 78323,89 \text{ N/mm}$.

$$K_{7171}^* = 74170,35 \text{ N/mm}$$

Si riassumono di seguito le caratteristiche relative alle diverse pareti:

Parete	Direzione	Lunghezza [mm]	K _x [N/mm]	K _y [N/mm]
Parete 1	Y	6082	0,00	52556,88
Parete2	Y	6082	0,00	52556,88
Parete3	X	7171	74170,35	0,00
Parete 4	Y	7171	74170,35	0,00
Parete 5	Y	4435	0,00	47958,84
Parete 6	X	4435	0,00	47958,84
			148340,69	201031,43

Noti a questo punto i valori della rigidità delle singole pareti, se ne determina la somma complessiva con riferimento alle due direzioni (valore riportato in carattere grassetto nella precedente tabella). Questo passaggio risulta indispensabile al fine di poter determinare il contributo di rigidità, espresso in termini di punti percentuali, che una determinata parete apporta al sistema globale. Valutata la somma delle rigidità nelle due diverse direzioni basterà infatti dividere il contributo relativo a ciascuna parete (orientata in una determinata direzione) per la corrispondente sommatoria e, moltiplicato il risultato per 100, si arriverà a determinare la percentuale cercata.

$$K_{x,i}(\%) = \frac{K_{x,i}}{\sum_i K_{x,i}} \cdot 100$$

$$K_{y,i}(\%) = \frac{K_{y,i}}{\sum_i K_{y,i}} \cdot 100$$

Si riassumono di seguito i contributi di rigidità espressi in N/mm ed i contributi espressi in punti percentuale rispetto al totale.

Parete	K _x [N/mm]	K _y [N/mm]	K _x (%)	K _y (%)
Parete 1	0,00	52556,88	0	26,14361109
Parete2	0,00	52556,88	0	26,14361109
Parete3	74170,35	0,00	50	0
Parete 4	74170,35	0,00	50	0
Parete 5	0,00	47958,84	0	23,85638891
Parete 6	0,00	47958,84	0	23,85638891
		148340,69		201031,43

4.4.2. Valutazione del centro di rigidità del sistema

Valutate le rigidità delle pareti, è possibile determinare la posizione del centro di rigidità (CR) del sistema. A tal fine si sono utilizzate le tabelle redatte per questo scopo: noto il contributo apportato da ciascuna parete in termini di rigidità percentuale e la posizione della parete stessa entro il fissato sistema di riferimento, si procederà leggendo in tabella i valori corrispondenti a questi due dati d'ingresso. Si riporta di seguito una versione sintetizzata della tabella citata:

		Distanza della parete dall'origine del sistema di riferimento (in X o Y) [mm]														
		0	1000	2000	3000	4000	...	...	...	...	...	...	11000	12000	13000	14000
Contributo % di rigidità	5	0	5000	10000	15000	20000	...	...	...	...	...	...	55000	60000	65000	70000
	10	0	10000	20000	30000	40000	...	...	...	...	...	...	110000	120000	130000	140000
	15	0	15000	30000	45000	60000	...	...	...	...	...	...	165000	180000	195000	210000
	20	0	20000	40000	60000	80000	...	...	...	...	...	...	220000	240000	260000	280000
	25	0	25000	50000	75000	100000	...	...	...	...	...	...	275000	300000	325000	350000
	30	0	30000	60000	90000	120000	...	...	...	...	...	...	330000	360000	390000	420000
	35	0	35000	70000	105000	140000	...	...	...	...	...	...	385000	420000	455000	490000
	40	0	40000	80000	120000	160000	...	...	...	...	...	...	440000	480000	520000	560000
	45	0	45000	90000	135000	180000	...	...	...	...	...	...	495000	540000	585000	630000
	50	0	50000	100000	150000	200000	...	...	...	...	...	...	550000	600000	650000	700000
	55	0	55000	110000	165000	220000	...	...	...	...	...	...	605000	660000	715000	770000
	60	0	60000	120000	180000	240000	...	...	...	...	...	...	660000	720000	780000	840000
	65	0	65000	130000	195000	260000	...	...	...	...	...	...	715000	780000	845000	910000
	70	0	70000	140000	210000	280000	...	...	...	...	...	...	770000	840000	910000	980000
	75	0	75000	150000	225000	300000	...	...	...	...	...	...	825000	900000	975000	1050000
	80	0	80000	160000	240000	320000	...	...	...	...	...	...	880000	960000	1040000	1120000
	85	0	85000	170000	255000	340000	...	...	...	...	...	...	935000	1020000	1105000	1190000
90	0	90000	180000	270000	360000	...	...	...	...	...	...	990000	1080000	1170000	1260000	
95	0	95000	190000	285000	380000	...	...	...	...	...	...	1045000	1140000	1235000	1330000	
100	0	100000	200000	300000	400000	...	...	...	...	...	...	1100000	1200000	1300000	1400000	

- Parete 1

	Kx (%)	0,00
	Ky (%)	26,14 %
	Coordinata X	800,00
	Coordinata Y	7770,63
Dati ricavati dalla lettura della precedente tabella	Dato per la determinazione di X_{CR}	20912,00
	Dato per la determinazione di Y_{CR}	0

- Parete 2

	Kx (%)	0,00
	Ky (%)	26,14 %
	Coordinata X	13894,00
	Coordinata Y	7770,63
Dati ricavati dalla lettura della precedente tabella	Dato per la determinazione di X_{CR}	363189
	Dato per la determinazione di Y_{CR}	0

- Parete 3

	Kx (%)	50
	Ky (%)	0,00
	Coordinata X	3690,74
	Coordinata Y	11050,00
Dati ricavati dalla lettura della precedente tabella	Dato per la determinazione di X_{CR}	0
	Dato per la determinazione di Y_{CR}	552500

- Parete 4

	Kx (%)	50
	Ky (%)	0,00
	Coordinata X	11188,74
	Coordinata Y	11050,00
Dati ricavati dalla lettura della precedente tabella	Dato per la determinazione di X_{CR}	0
	Dato per la determinazione di Y_{CR}	552500

- Parete 5

	Kx (%)	0,00
	Ky (%)	23,86
	Coordinata X	6171,00
	Coordinata Y	7225,50
Dati ricavati dalla lettura della precedente tabella	Dato per la determinazione di X_{CR}	147240
	Dato per la determinazione di Y_{CR}	0

- Parete 6

	Kx (%)	0,00
	Ky (%)	23,86
	Coordinata X	8523,00
	Coordinata Y	7225,50
Dati ricavati dalla lettura della precedente tabella	Dato per la determinazione di X_{CR}	203359
	Dato per la determinazione di Y_{CR}	0

Una volta valutati per via tabellare i dati necessari al fine di determinare il centro di rigidità, si procede effettuando la sommatoria dei dati estrapolati dagli abachi, distinguendo le due coordinate a cui si riferiscono. Dividendo quindi le due somme ottenute per 100 si otterranno in modo immediato le coordinate cercate:

$$X_{CR} = \frac{20912 + 363189 + 147240 + 203359}{100} = \frac{734700}{100} = 7347,00 \text{ mm}$$

$$Y_{CR} = \frac{552500 + 552500}{100} = \frac{1105000}{100} = 11050,00 \text{ mm}$$

4.4.3. Ripartizione delle forze

Noti la geometria complessiva del sistema ed i valori relativi alla rigidezza delle diverse pareti, risulta possibile determinare la forza di competenza di ciascun diaframma, una volta assoggettato l'edificio ad una sollecitazione di entità nota. Supponendo il solaio della struttura un piano rigido si assoggetta il sistema, in corrispondenza del centro di massa dello stesso, ad una forza orientata nella direzione x di entità pari a 10000,00 N. Non essendo il centro di massa ed il centro di rigidezza coincidenti, sarà necessario valutare i valori assunti dalle eccentricità con riferimento alle due direzioni principali, al fine di poter determinare il valore del momento torcente a cui risulterà sottoposta la struttura.

Le eccentricità risulteranno quindi rispettivamente pari a:

$$e_x = X_{CM} - X_{CR} = 0,00 \text{ mm}$$

$$e_y = Y_{CM} - Y_{CR} = 3045,50 \text{ mm}$$

ed il valore del momento torcente totale sarà dato da:

$$M_{tot} = -F_x \cdot e_y + F_y \cdot e_x = 3045500 \text{ Nmm}$$

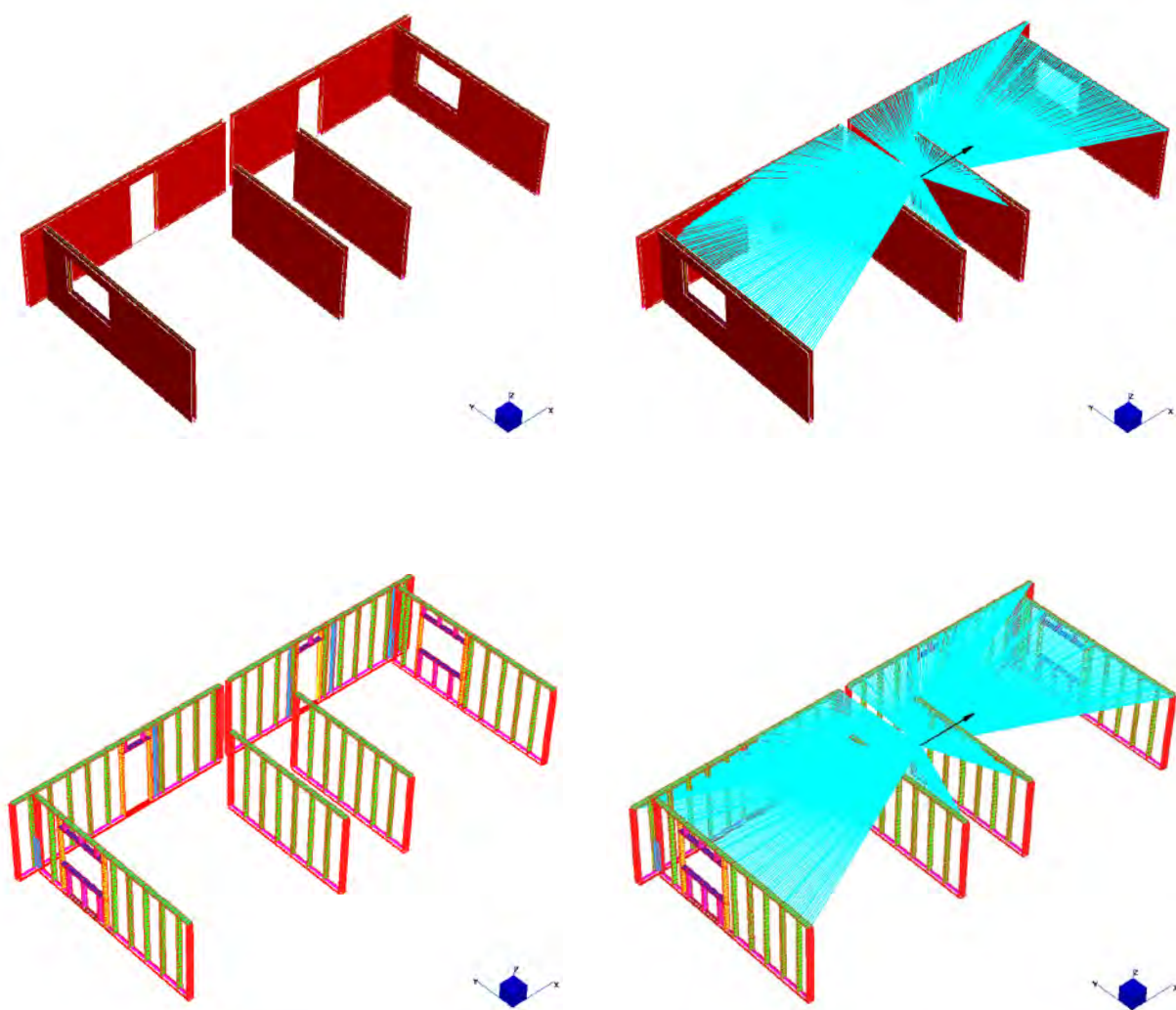
Una volta noti i valori di forza e momento sollecitanti la struttura è possibile procedere determinando i contributi traslazionale e torsionale di forza attraverso l'utilizzo delle tabelle descritte nel capitolo precedente, valutando poi il valore di forza complessiva insistente sulle diverse pareti.

Parete	Kx (%)	Ky (%)	$(X_i - X_{CR})$ [mm]	$(Y_i - Y_{CR})$ [mm]	$K_{x,i}(Y_i - Y_{CR})^2$	$K_{y,i}(X_i - X_{CR})^2$	$F_{x,i}$ [N]	$F_{y,i}$ [N]
1	0	26,14	-6547,00	-3279,37	0,00	1,1206E+09	0,00	-2259,35
2	0	26,14	6547,00	-3266,95	0,00	1,1206E+09	0,00	2259,35
3	50	0	-3656,26	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
4	50	0	3841,74	0,00	0,00	0,00	5000,00	0,00
5	0	23,86	-1176,00	-3824,50	0,00	3,2993E+07	0,00	-370,33
6	0	23,86	1176,00	-3824,50	0,00	3,2993E+07	0,00	370,33

4.4.4. *Modello ad elementi finiti*

Si è quindi realizzato il modello della struttura in analisi attraverso l'utilizzo del programma ad elementi finiti Straus seguendo le indicazioni precedentemente riportate. Nella modellazione delle pareti si sono inseriti tutti gli elementi effettivamente presenti entro la parete stessa quali, ad esempio, i montanti aggiuntivi in corrispondenza dei fori e quelli in corrispondenza delle connessioni con altre pareti, al fine di ricreare l'effettivo stato di fatto della struttura. Il solaio è stato modellato come un piano rigido adottando dei rigid link che hanno origine in corrispondenza del centro di massa dell'edificio e lo collegano agli elementi resistenti della struttura.

Realizzata la struttura la si è assoggettata alle condizioni di carico descritte e si sono valutate le forze di competenza delle diverse pareti. A tal fine si è proceduto con la lettura delle reazioni in corrispondenza dei vincoli a terra simulanti i collegamenti con la fondazione; i valori così trovati sono stati poi moltiplicati per il valore -1 al fine di ottenere i risultati in termini di forze assorbite dalle diverse pareti. Si riportano in seguito alcune immagini relative al modello realizzato.



4.4.5. *Confronto dei risultati ottenuti*

Una volta realizzato il modello e determinate le azioni sulle diverse pareti, si sono confrontati i risultati ottenuti effettuando la ripartizione delle forze secondo i due metodi descritti: la ripartizione effettuata mediante l'uso degli abachi e la ripartizione effettuata in automatico dal programma di calcolo. Si riportano nella successiva tabella i risultati ottenuti, esprimendo la differenza tra i risultati relativi ai due diversi metodi come percentuale sui valori inerenti alla ripartizione manuale stessa.

	Ripartizione manuale		Ripartizione automatica		Errore	
	Fx [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fy [N]	% Fx	% Fy
Parete 1	0,00	-2259,35	-50,59	2164,71	0,00	4,19
Parete 2	0,00	2259,35	-51,02	-2170,28	0,00	3,94
Parete 3	5000,00	0,00	-4923,33	26,44	1,53	0,00
Parete 4	5000,00	0,00	-4874,08	-20,00	2,52	0,00
Parete 5	0,00	-370,33	-50,49	385,49	0,00	4,09
Parete 6	0,00	370,33	-50,49	-386,36	0,00	4,33

A questo punto risulta necessario applicare ai risultati ottenuti dalla modellazione i relativi coefficienti di correlazione, legati alla presenza di fori ed alla lunghezza della parete. A tal fine si sono utilizzati i grafici precedentemente descritti nella parte relativa alla calibrazione del modello. Si riportano i valori relativi ai coefficienti di correlazione trovati:

Parete	Lunghezza [mm]	Tipologia foro	% di foratura	Coefficiente correlazione (Fori)	Coefficiente correlazione (Lunghezze)	Coefficiente totale
1	6082,00	Finestra	12,95	0,9645	1,071	1,033
2	6082,00	Finestra	12,95	0,9645	1,071	1,033
3	7171,00	Porta	9,72	0,9563	1,069	1,022
4	7171,00	Porta	9,72	0,9563	1,069	1,022
5	4435,00	Intera	0,00	0,8926	1,079	0,963
6	4435,00	Intera	0,00	0,8926	1,079	0,963

Si riportano quindi i risultati ottenuti una volta corretti i valori di forza che scaturiscono dalla modellazione attraverso l'uso dei coefficienti di correlazione:

Parete	Fx [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fy [N]	Δ Fx [N]	Δ Fy [N]	Δ Fx %	Δ Fy %
Parete1	0,00	-2259,35	52,29	-2237,31	-52,29	-22,04	0,00	1,02
Parete 2	0,00	2259,35	52,73	2243,07	-52,73	16,28	0,00	0,75
Parete 3	5000,00	0,00	5034,52	-27,04	-34,52	27,04	0,70	0,00
Parete 4	5000,00	0,00	4984,16	20,45	15,84	-20,45	0,33	0,00
Parete 5	0,00	-370,33	48,66	-371,51	-48,66	1,18	0,00	0,31
Parete 6	0,00	370,33	48,66	372,35	-48,66	-2,02	0,00	0,52

Analizzando i risultati emergono le seguenti considerazioni:

- eseguendo la ripartizione delle forze utilizzando il metodo tabellare si considera la parete come elemento avente rigidità solamente nei confronti del piano in cui agisce. La resistenza con riferimento al piano "debole" non viene considerata; in

questo modo alla parete sarà associato un contributo di forza solo relativamente alla direzione secondo la quale la parete stessa è orientata. Nella modellazione invece, l'elemento parete risultante dall'assemblaggio dei diversi componenti, si considera dotato di una resistenza anche con riferimento a quella che possiamo definire "direzione debole" della parete. Questa discrepanza nella trattazione implica le differenze in termini di risultato;

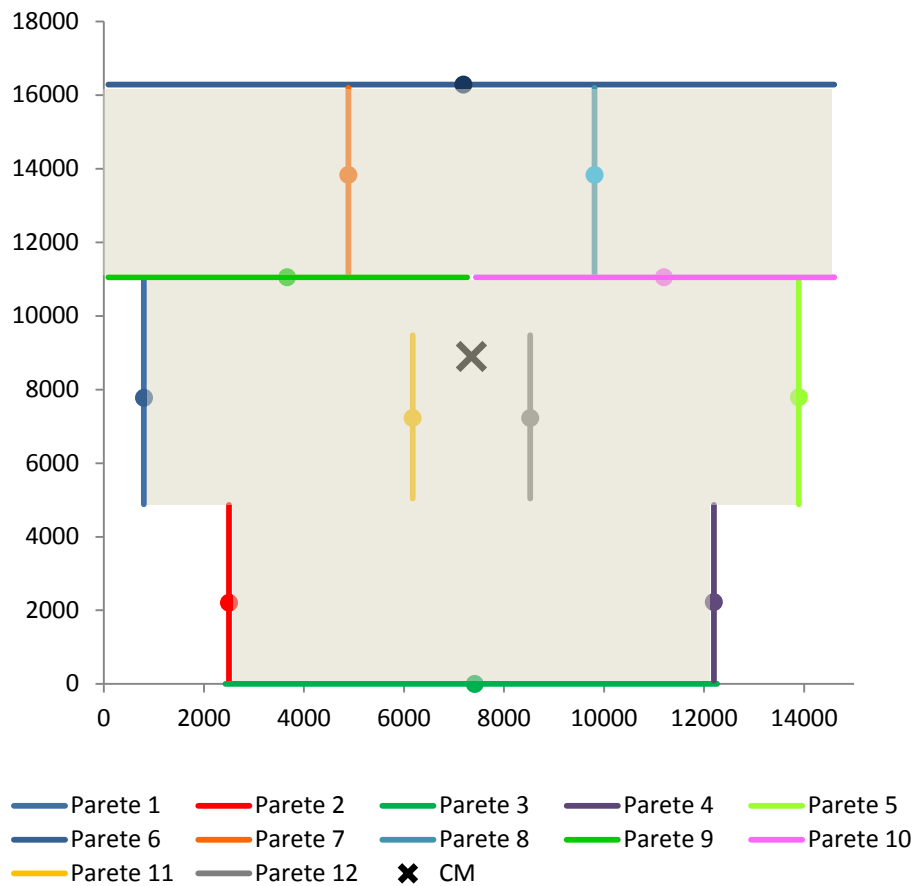
- le differenze di forza relative alla modellazione rispetto ai risultati ottenibili con l'utilizzo degli abachi sono relativamente contenute (valori massimi attorno al 5%) e si considerano legate alla presenza di elementi aggiuntivi con riferimento alla parete modellata rispetto a quella che viene identificata dalle tabelle;
- applicando i coefficienti di correlazione tali differenze risultano più contenute (valori di differenza massimi pari a circa l'1% del valore ottenuto mediante l'utilizzo degli abachi);
- i risultati ottenuti sono soddisfacenti e portano a constatare l'efficacia del metodi di validazione.

4.5. Test 2

Anche in questo secondo caso, al fine di studiare la bontà dei risultati ottenuti in termini di ripartizione delle forze attraverso un programma agli elementi finiti, si è assoggettato l'edificio test ad una forza nota applicata al centro di massa. Identificate le pareti portanti con riferimento alle due direzioni principali e delineata la posizione del centro di massa, si è proceduto alla determinazione dei valori di rigidità assunti dalle varie pareti attraverso l'utilizzo delle tabelle, analizzando precedentemente le percentuali di foratura presenti. Si riporta una rappresentazione in pianta della struttura in analisi, seguita da una tabella riassuntiva delle caratteristiche delle diverse pareti, con riferimento alla loro posizione rispetto al sistema di assi cartesiani scelto, alla loro lunghezza ed in relazione al parametro "percentuale di foratura". Si riportano inoltre le coordinate relative al centro di massa del sistema:

$$X_{CM} = 7347,00 \text{ mm}$$

$$Y_{CM} = 8897,27 \text{ mm}$$



Coordinate baricentro						
Parete	Direzione	Lunghezza [mm]	X _G [mm]	Y _G [mm]	Tipologia di fori	% di foratura
Parete 1	Y	6082,00	800,00	7796,69	Finestra	11,40
Parete2	Y	4774,00	2500,00	2250,42	Porta	25,69
Parete3	X	9834,00	7410,34	0,00	Finestra	13,22
Parete 4	Y	4774,00	12194,00	2269,03	Porta	25,69
Parete 5	Y	6082,00	13894,00	7811,68	Finestra	11,40
Parete 6	X	14518,00	7188,50	16284,00	Porta	15,47
Parete 7	Y	5058,00	4885,00	13794,81	Porta	12,13
Parete 8	Y	5058,00	9809,00	13794,81	Porta	12,13
Parete 9	X	7171,00	3668,50	11050,00	Porta	8,55
Parete 10	X	7171,00	11188,86	11050,00	Porta	8,55
Parete 11	Y	4375,00	6171,00	7225,50	Intera	0,00
Parete 12	Y	4375,00	8523,00	7225,50	Intera	0,00

Avendo già esplicitato nel primo test l'utilizzo delle tabelle per la determinazione della rigidezza, sono in questo secondo caso omessi i calcoli relativi all'utilizzo degli abachi e vengono riportati direttamente i risultati ottenuti, tradotti poi in termini di contributi percentuale.

	Kx	Ky	%Kx	%Ky
Parete 1	0,00	52556,88	0	14,56565826
Parete 2	0,00	32197,67	0	8,92329155
Parete 3	81780,30	0,00	21,29656632	0
Parete 4	0,00	32197,67	0	8,92329155
Parete 5	0,00	52556,88	0	14,56565826
Parete 6	153885,99	0,00	40,07374791	0
Parete 7	0,00	47700,27	0	13,21969548
Parete 8	0,00	47700,27	0	13,21969548
Parete 9	74170,35	0,00	19,31484289	0
Parete 10	74170,35	0,00	19,31484289	0
Parete 11	0,00	47958,84	0	13,29135471
Parete 12	0,00	47958,84	0	13,29135471
Totale	384006,99	360827,33	100	100

Per procedere con il test, risulta a questo punto necessario determinare la posizione del centro di rigidità del sistema (CR), al fine di poter valutare la distanza tra questo ed il centro di massa, fonte degli effetti torsionali aggiuntivi. A tal fine si riportano, con riferimento alle diverse pareti, i valori letti utilizzando la tabella relativa alla determinazione del centro di rigidità; tali valori, distinti con riferimento alla coordinata x ed alla coordinata y, dovranno poi essere sommati ed il risultato andrà diviso per 100 per ottenere le coordinate cercate:

	X _G parete	Y _G parete	%Kx	%Ky	Valore tabellato (X)	Valore tabellato (Y)
Parete 1	800	7774,82	0	14,56	11652,52	0
Parete 2	2500	2206,44	0	8,92	22308,22	0
Parete 3	7413,07	0	21,29	0	0	0
Parete 4	12194	2224,53	0	8,92	108810,61	0
Parete 5	13894	7789,72	0	14,566	202375,25	0
Parete 6	7186,32	16284	40,071	0	0	652560,91
Parete 7	4885	13830,39	0	13,219	64578,21	0
Parete 8	9809	13830,39	0	13,218	129671,99	0
Parete 9	3661,85	11050	19,31	0	0	213429,01
Parete 10	11196,9	11050	19,31	0	0	213429,01
Parete 11	6171	7225,5	0	13,29	82020,94	0
Parete 12	8523	7225,5	0	13,29	113282,21	0

TOTALE	734700	1079418,93
Coordinate del centro di rigidità [mm]	7347,00	10794,18

Valutata la posizione del centro di rigidezza del sistema, è stato possibile determinare manualmente il valore assunto dalle eccentricità con riferimento alle due direzioni; la determinazione dei valori di eccentricità risulta indispensabile poiché la non coincidenza tra il centro di massa ed il centro di rigidezza crea degli effetti torsionali sulla struttura non trascurabili in fase di ripartizione delle forze. Con riferimento al caso in analisi, le eccentricità nelle due direzioni risultano pari a :

$$e_x = 0,00 \text{ mm}$$

$$e_y = -1896,92 \text{ mm}$$

Si sceglie di sollecitare la struttura con una forza pari a 1000000,00 N (1000,00 kN) orientata nella direzione x; il momento torcente sollecitante la struttura sarà quindi pari a:

$$M_{tot} = -F_x \cdot e_y + F_y \cdot e_x = 189621477 \text{ Nmm}$$

Sono da valutarsi a questo punto le distanze delle diverse pareti rispetto al centro di rigidezza; tale parametro consentirà di utilizzare le tabelle relative alla determinazione dei coefficienti necessari per la ripartizione delle forze. Il coefficiente definito "A" sarà infatti determinato attraverso l'utilizzo dell'apposita tabella presentata nel Capitolo 3: note la distanza relativa tra baricentro della parete e centro di rigidezza del sistema e la rigidezza in termini percentuali relativa alla parete stessa, sarà possibile leggere il contributo descritto.

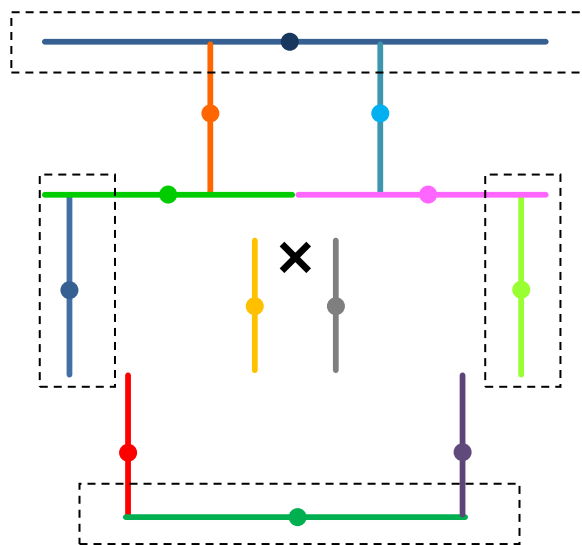
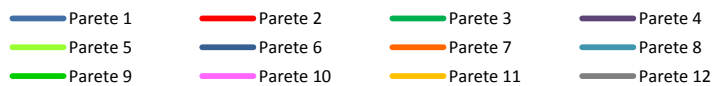
Proceduto in questo modo per ciascuna delle pareti, una volta sommati i vari termini si ricaverà il parametro cercato. Si riporta di seguito una tabella riassuntiva elencante le distanze delle pareti dal centro di rigidezza, i valori di rigidezza espressi in punti percentuali ed i valori ricavati dalla lettura della tabella. E' evidente come, per ciascuna parete, saranno due i dati da ricavare per via tabellare: un contributo sarà relativo alla distanza della parete in direzione x, accompagnato dal contributo di rigidezza in direzione y, l'altro valore sarà relativo alla distanza valutata in direzione y, accoppiata al contributo di rigidezza in direzione x.

	DATI DA INTRODURRE NELLA TABELLA				DATI RICAVATI	
	$X_i - X_{CR}$	$Y_i - Y_{CR}$	Kx(%)	Ky(%)	$Kx(\%)(y_i - y_{CR})^2$	$Ky(\%)(x_i - x_{CR})^2$
P.1	-6547,00	-3019,36	0	14,56	0,00	6,24E+08
P.2	-4847,00	-8587,75	0	8,92	0,00	2,10E+08
P.3	66,07	-10794,19	21,29	0	2,48E+09	0,00
P.4	4847,00	-8569,66	0	8,92	0,00	2,10E+08
P.5	6547,00	-3004,46	0	14,56	0,00	6,24E+08
P.6	-160,68	5489,81	40,07	0	1,21E+09	0,00
P.7	-2462,00	3036,20	0	13,21	0,00	8,01E+07
P.8	2462,00	3036,20	0	13,21	0,00	8,01E+07
P.9	-3685,15	255,81	19,31	0	1,26E+06	0,00
P.10	3849,94	255,81	19,31	0	1,26E+06	0,00
P.11	-1176,00	-3568,69	0	13,29	0,00	1,84E+07
P.12	1176,00	-3568,69	0	13,29	0,00	1,84E+07
Totale			100	100	3,69E+09	1,86E+09
			COEFFICIENTE A		5,56E+09	

Valutato a questo punto il coefficiente A cercato si determina, attraverso un semplice calcolo manuale, il valore del parametro B definito in precedenza il quale risulta pari a :

$$B = \frac{M_{tot}}{A} = \frac{1896921477}{5,56E + 09} = 0,34$$

Il prossimo passaggio sarà quello di stabilire quali siano le due pareti che distano maggiormente dal centro di massa sia con riferimento alla direzione x che con riferimento alla direzione y; questo servirà per poter determinare il valore del coefficiente C. A tal fine sarà necessario distinguere il valore del coefficiente riferendosi alla direzione x ed il valore assunto dal coefficiente da riferirsi alla direzione y.



- Pareti più distanti dal CR con riferimento alla

coordinata x:

Parete 1 $(x_i - x_{CR}) = -6547,00 \text{ mm}$

Parete 5 $(x_i - x_{CR}) = 6547,00 \text{ mm}$

- Pareti più distanti dal CR con riferimento alla coordinata y:

Parete 3 $(y_i - y_{CR}) = -10794,19 \text{ mm}$

Parete 6 $(y_i - y_{CR}) = 5489,81 \text{ mm}$

Si procede quindi alla costruzione dei grafici per la determinazione della forza di competenza di ciascuna parete, muovendosi in modo separato con riferimento alla due direzioni considerate. Si considera dapprima la costruzione del grafico in relazione alle lame resistenti nella direzione y. Valutata la distanza delle lame estreme dal centro di rigidità (distanza espressa con riferimento alla direzione x) questi valori vanno moltiplicati per il parametro B precedentemente definito. Si procederà in seguito riportando i risultati ottenuti in un diagramma "Distanza dal centro di rigidità lungo x-Valore del parametro C" e, congiungendoli con una spezzata, alla lettura dei valori relativi alle pareti intermedie in corrispondenza della loro rispettiva distanza dal centro di rigidità.

Parete 1 Valore del coefficiente C = -2235,03;

Parete 5 Valore del coefficiente C = 2235,03.

Valori letti in corrispondenza del grafico (pareti orientate lungo y):

Parete 2 Valore del coefficiente C = -1654,77;

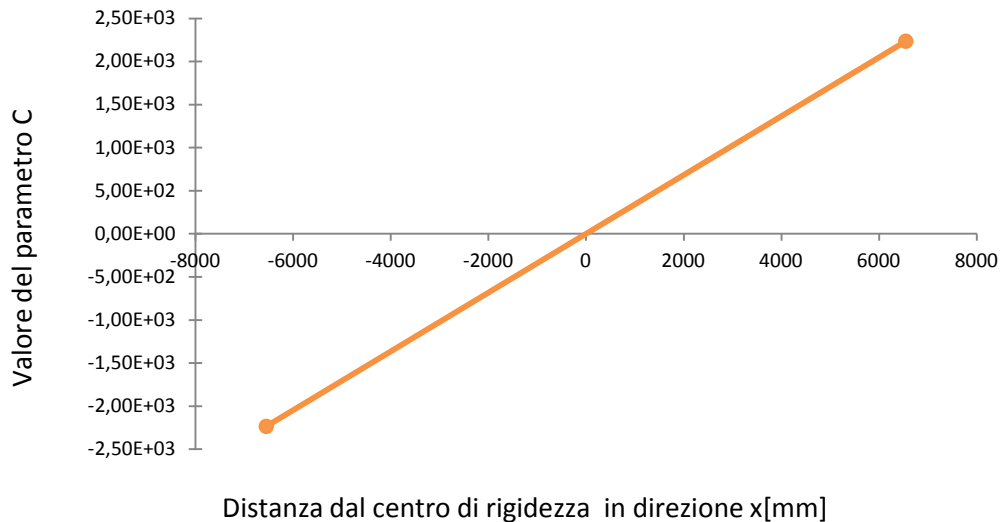
Parete 4 Valore del coefficiente C = -840,53;

Parete 7 Valore del coefficiente C = -401,49;

Parete 8 Valore del coefficiente C = 401,49.

Parete 11 Valore del coefficiente C = 840,53

Parete 12 Valore del coefficiente C = 1654,77.



Al fine di valutare il *contributo torcente* basterà a questo punto moltiplicare il valore del parametro C relativo ad ogni parete per il corrispondente contributo di rigidezza espresso in termini percentuali. Con riferimento alle pareti orientate lungo l'asse x si procederà in modo analogo, salvo l'utilizzo del grafico per la determinazione del parametro C il quale dovrà essere costruito riportando questa volta in corrispondenza dell'asse y la distanza della parete dal centro di rigidezza (valutata in direzione y) ed in corrispondenza dell'asse x il valore del coefficiente C appunto; per le lame orientate in direzione x bisognerà inoltre avere l'accortezza di moltiplicare per il fattore -1 i valori trovati dalla lettura del grafico. Si riportano per completezza i calcoli effettuati con riferimento alle pareti orientate in x e i risultati ottenuti moltiplicando il coefficiente C per le rispettive rigidezze.

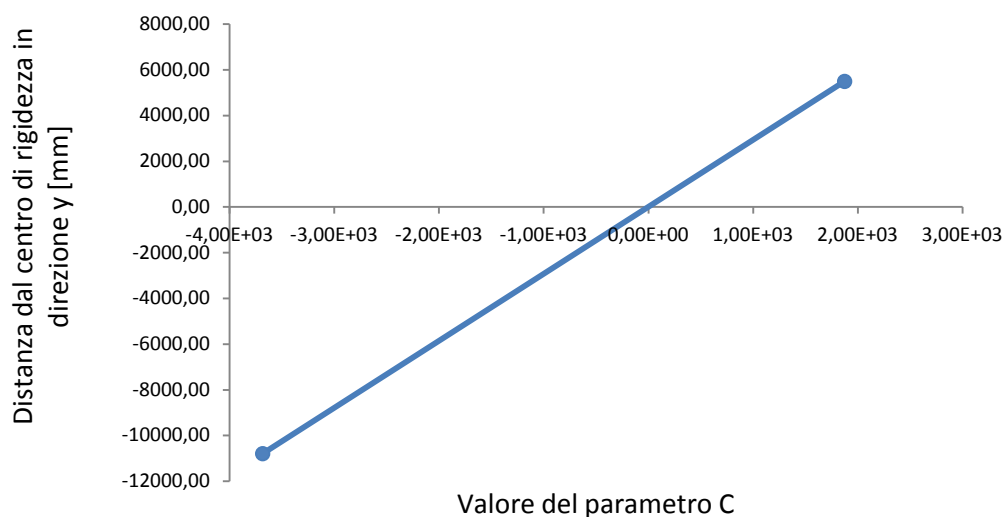
Parete 3 Valore del coefficiente C = -3684,94 → 3684,94;

Parete 6 Valore del coefficiente C = 1874,12 → -1874,14.

Valori letti in corrispondenza del grafico (pareti orientate lungo y):

Parete 9 Valore del coefficiente C = -87,33 → 87,33;

Parete 10 Valore del coefficiente C = -87,33 → 87,33.



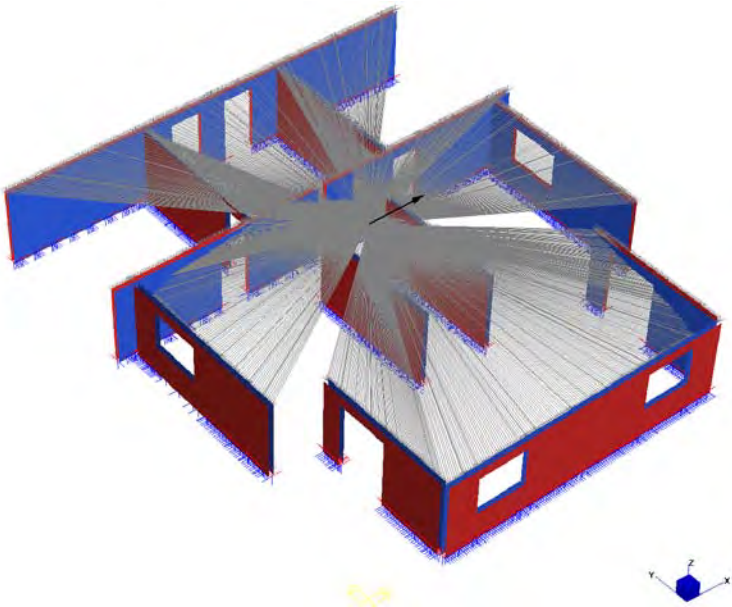
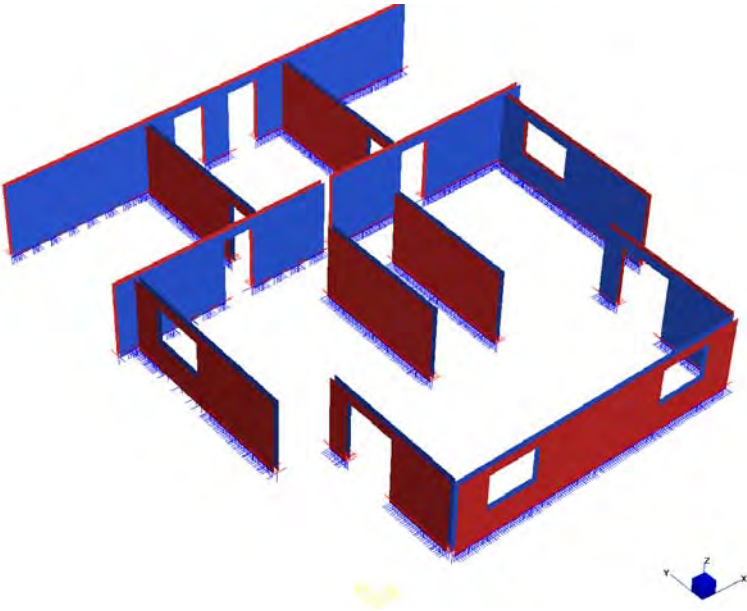
Con riferimento al *contributo traslazionale*, basterà invece moltiplicare la forza agente per il contributo di rigidezza apportato da ciascuna parete; la forza complessiva relativa a ciascun diaframma sarà data infine dalla somma dei due contributi.

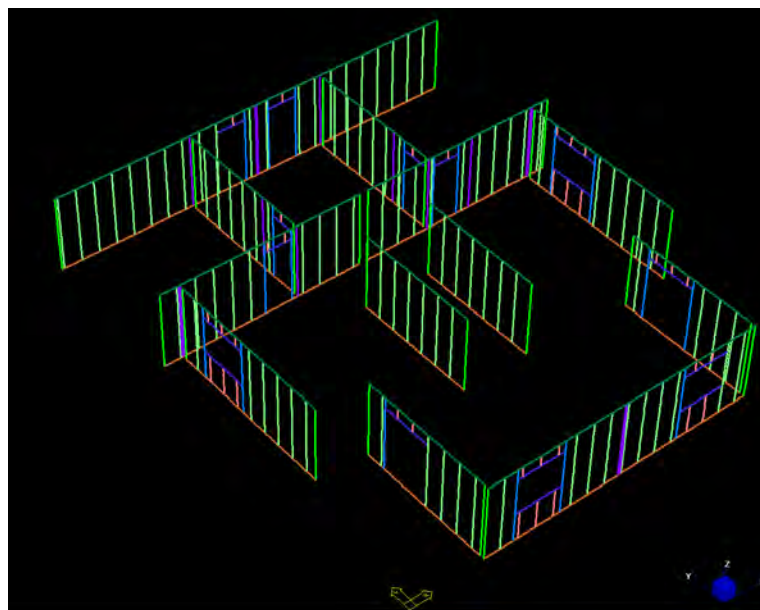
Si riporta in seguito una tabella relativa alla valutazione dei contributi traslazionale e torsionale ed alla determinazione della forza complessiva sulle pareti:

Parete	Contributo torsionale		Contributo traslazionale		Forza complessiva	
	Fx [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fy [N]
Parete 1	0,00	-32554,66	0,00	0,00	0,00	-32554,66
Parete 2	0,00	-14765,18	0,00	0,00	0,00	-14765,18
Parete 3	78476,63	0,00	212965,66	0,00	291442,29	0,00
Parete 4	0,00	14765,18	0,00	0,00	0,00	14765,18
Parete 5	0,00	32554,66	0,00	0,00	0,00	32554,66
Parete 6	-75103,13	0,00	400737,48	0,00	325634,35	0,00
Parete 7	0,00	-11110,93	0,00	0,00	0,00	-11110,93
Parete 8	0,00	11110,93	0,00	0,00	0,00	11110,93
Parete 9	-1686,75	0,00	193148,43	0,00	191461,68	0,00
Parete 10	-1686,75	0,00	193148,43	0,00	191461,68	0,00
Parete 11	0,00	-5336,02	0,00	0,00	0,00	-5336,02
Parete 12	0,00	5336,02	0,00	0,00	0,00	5336,02

Si prosegue quindi modellando la struttura analizzata utilizzando il programma ad elementi finiti Straus, al fine di validare i risultati ottenuti in termini di ripartizione delle forze. Per la modellazione dei diversi elementi si è proceduto secondo quanto riportato nella prima parte

del presente capitolo, assegnando ai diversi elementi le caratteristiche dimensionali e di resistenza precedentemente delineate. Con riferimento alla parte relativa all'utilizzo delle tabelle si rimanda ai risultati relativi al precedente test, mentre vengono di seguito riportate alcune immagini significative relativamente alla struttura modellata:





Si riportano a questo punto i risultati derivanti dall'applicazione della sollecitazione precedentemente definita applicata in corrispondenza del centro di massa del modello realizzato; nella tabella sono indicati i valori complessivi di forza ottenuti attraverso il metodo tabellare ed attraverso la modellazione della struttura. Sono inoltre riportati gli errori commessi valutando le forze attraverso il programma agli elementi finiti e gli errori percentuali valutati rispetto ai risultati relativi alla ripartizione delle forza attraverso l'utilizzo degli abachi.

METODO TABELLARE		MODELLO STRAUS		ERRORE		ERRORE %	
Fx [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fy [N]	ΔF_x [N]	ΔF_y [N]	% Fx	% Fy
0,00	-32554,66	1606,76	-27684,73	-1606,76	-4869,93	0,00	14,96
0,00	-14765,18	1321,08	-11248,21	-1321,09	-3516,97	0,00	23,82
291442,29	0,00	295781,19	0,69	-4338,90	-0,70	1,49	0,00
0,00	14765,18	1334,37	10992,13	-1334,37	3773,05	0,00	25,55
0,00	32554,66	1583,90	28023,80	-1583,91	4530,86	0,00	13,92
325634,35	0,00	323399,37	30,13	2234,97	-30,13	0,69	0,00
0,00	-11110,93	1107,16	-9878,00	-1107,17	-1232,92	0,00	11,10
0,00	11110,93	1128,48	9601,27	-1128,48	1509,65	0,00	13,59
191461,68	0,00	185717,13	-362,31	5744,54	362,32	3,00	0,00
191461,68	0,00	184327,93	399,24	7133,74	-399,25	3,73	0,00
0,00	-5336,02	1346,35	-4918,65	-1346,36	-417,36	0,00	7,82
0,00	5336,02	1346,20	5044,63	-1346,21	291,38	0,00	5,46

Analizzando i precedenti risultati è possibile fare alcune considerazioni:

- mentre con il metodo tabellare le pareti sono considerate resistenti solamente nella loro direzione principale, nella modellazione le pareti assumono una capacità portante, seppur ridotta, anche nella direzione che potremmo definire “debole”. Questo comporta il fatto che, con riferimento ai risultati relativi alle forze assorbite dalla parete, si abbiano dei valori di forza anche con riferimento alla direzione non predominante;
- con riferimento ai risultati ottenuti attraverso la modellazione completa della struttura, ed in particolare con riferimento a quanto evidenziato al precedente punto, i valori di forza relativi alla direzione debole risultano di almeno un ordine di grandezza inferiore rispetto ai valori relativi alla direzione principale della parete. Questo consente di ritenere corretta l’assunzione, avanzata mediante il metodo tabellare, di annullare completamente la capacità resistente (e quindi la rigidezza) nella direzione non portante della parete;
- gli errori percentuali hanno un campo di variabilità che va da un valore minimo pari a 0,69 punti percentuali fino ad un massimo pari a circa 26%;
- si evidenzia come gli errori più ingenti riguardino le pareti caratterizzate da valori maggiori del parametro “% di foratura”. La motivazione è legata al fatto che l’introduzione dei fori nella parete modifica il comportamento della parete stessa, differenziazione che non risulta però valutabile utilizzando il metodo tabellare. In fase di modellazione, inoltre, sono stati introdotti i montanti aggiuntivi in corrispondenza delle fonometrie ed in corrispondenza delle connessioni con le altre pareti, elementi non considerati come resistenti nel metodo tabellare.

Valutate le forze che scaturiscono dalla ripartizione automatica, si procede utilizzando i coefficienti di correlazione riferiti alle fonometrie e quelli relativi alla lunghezza della parete, definendo in questo modo i valori di forza corretti. Si riportano nella successiva tabella i valori relativi ai coefficienti di correlazione valutati con riferimento a ciascuna parete.

Il coefficiente di correlazione totale, da utilizzarsi per correggere i valori di forza determinati attraverso il programma di calcolo, è dato dal prodotto tra il coefficiente di correlazione legato alla presenza di fori entro la parete e quello legato alla lunghezza del diaframma stesso.

Parete	Lunghezza [mm]	Tipologia foro	% di foratura	Coefficiente correlazione (Fori)	Coefficiente correlazione (Lunghezze)	Coefficiente totale
1	6082,00	Finestra	12,95	1,0794	1,0715	1,1566
2	4774,00	Porta	29,20	1,2342	1,0775	1,3300
3	9834,00	Finestra	15,02	1,1042	1,0742	1,1861
4	4774,00	Porta	29,20	1,2342	1,0775	1,3300
5	6082,00	Finestra	12,95	1,0794	1,0715	1,1566
6	14518,00	Porta	17,58	1,1261	1,1190	1,2602
7	5058,00	Porta	13,78	1,0982	1,0759	1,1816
8	5058,00	Porta	13,78	1,0982	1,0759	1,1816
9	7171,00	Porta	9,72	1,0678	1,0693	1,1417
10	7171,00	Porta	9,72	1,0678	1,0693	1,1417
11	4375,00	Intera	0,00	0,998	1,080	1,078
12	4375,00	Intera	0,00	0,998	1,080	1,078

Si riporta infine il confronto definitivo tra i risultati, una volta corretti quelli riferiti alla modellazione. Si nota come, in seguito all'adozione dei coefficienti di correlazione, gli errori percentuali risultino contenuti entro un valore massimo pari al 5%. Questo evidenzia la necessità di calibrare il modello prima di procedere alla modellazione di una qualsiasi struttura, al fine di attenuare le discrepanze dovute all'introduzione nel modello di tutti gli elementi effettivamente costituenti la parete.

METODO TABELLARE		MODELLO STRAUS		ERRORE		ERRORE %	
Fx [N]	Fy [N]	Fx [N]	Fy [N]	ΔFx [N]	ΔFy [N]	% Fx	% Fy
0,00	-32554,66	-1801,9	31046,7	-1801,88	-1507,99	0,00	4,63
0,00	-14765,18	-1690,5	14393,6	-1690,51	-371,59	0,00	2,52
291442,29	0,00	-298308,1	-0,7	-6865,76	-0,70	2,36	0,00
0,00	14765,18	-1707,5	-14065,9	-1707,51	699,27	0,00	4,74
0,00	32554,66	-1756,7	-31080,5	-1756,67	1474,18	0,00	4,53
325634,35	0,00	-321328,9	-29,9	4305,48	-29,94	1,32	0,00
0,00	-11110,93	-1255,8	11204,4	-1255,83	93,45	0,00	0,84
0,00	11110,93	-1280,0	-10890,5	-1280,01	220,44	0,00	1,98
191461,68	0,00	-199188,4	388,6	-7726,74	388,60	4,04	0,00
191461,68	0,00	-197698,4	-428,2	-6236,77	-428,21	3,26	0,00
0,00	-5336,02	-1403,4	5127,0	-1403,38	-209,04	0,00	4,03
0,00	5336,02	-1403,2	-5258,3	-1403,22	77,72	0,00	1,57

Conclusioni

Al termine del lavoro svolto risulta possibile trarre alcune importanti conclusioni in merito al metodo di validazione tabellare descritto. In primo luogo risulta evidente come, seppur basata sull'utilizzo di strumenti semplici come grafici e tabelle, l'efficacia della procedura risulti comprovata dai test presentati. Attraverso i test è stato possibile evidenziare i punti di forza del metodo quali la rapidità e l'immediatezza nell'utilizzo degli abachi, oltre che l'utilità del mezzo nella valutazione della bontà dei risultati ottenuti. La modellazione della struttura attraverso dei software commerciali infatti, sebbene possa apparire come la strada più semplice per la trattazione statica o dinamica di un qualsiasi edificio, spesse volte porta a risultati di dubbia validità. Questo è legato al fatto che tali programmi agiscono secondo il principio della black box: vengono introdotti i dati noti nel solutore e questo restituisce i risultati, senza però consentire alcun tipo di controllo con riferimento alla procedura di implementazione adottata. Il metodo descritto mira quindi a fornire un supporto al progettista, delineando in modo indicativo ma relativamente corretto i risultati da attendersi dalla modellazione.

Attraverso i test effettuati è stato possibile evidenziare come le principali differenze relative ai risultati ottenuti mediante la modellazione siano legate alla presenza entro la parete di elementi non contemplati, in termini di contributo attivo nei confronti della rigidità complessiva del sistema, nella fase di redazione delle tabelle. Tali differenze sono comunque attenuate mediante una calibrazione del modello, da operarsi prima di qualsiasi operazione di modellazione ed attraverso la quale vengono delineati i coefficienti di correlazione da adottare previa validazione dei risultati.

Gettate quindi le basi per l'istituzione di uno strumento adatto al calcolo rapido e immediato di strutture intelaiate in legno ed alla validazione dei risultati ottenuti dalla modellazione della struttura attraverso programmi di calcolo commerciali, numerosi sono gli sviluppi che possono riguardare il metodo. Tali sviluppi si orientano principalmente verso lo studio degli effetti prodotti da altri parametri influenzanti la capacità portante delle pareti relative alla tipologia in

analisi. Nello specifico risulta di grande interesse lo studio dell'effetto prodotto dal tipo di connessioni scelte per l'unione tra i montanti e la pannellatura. Diversi sono infatti i risultati legati all'utilizzo di chiodi rispetto all'utilizzo delle cambrette, sia in termini di rigidità fornita che in termini di spostamenti relativi tra pareti e pannelli.

Sempre con riferimento alle connessioni pannello - montante, ad influenzare le caratteristiche portanti della parete troviamo il valore scelto relativamente all'interasse tra le unioni, poiché è proprio attraverso le unioni che si crea un elevato numero di percorsi dissipativi con riferimento all'azione sismica.

Altro spunto di riflessione con riferimento al metodo descritto potrebbe essere la scelta dei dispositivi di vincolo da adottare per il collegamento della parete agli altri elementi della struttura, quali fondazioni o solai di interpiano. Tali dispositivi realizzeranno infatti le effettive condizioni di vincolo della parete, condizioni che si discosteranno dalla situazione di mensola incastrata ad un'estremità presentata in questo elaborato. Si precisa inoltre come, i dispositivi di fissaggio adottabili siano strettamente legati, oltre che ad esigenze di tipo progettuale, anche dal grado di prefabbricazione al quale si vuole ambire. Nel caso in cui la parete arrivi in cantiere completamente assemblata (ottimizzando quindi i tempi per la costruzione e riducendo le operazioni da effettuare in cantiere) non vi è la possibilità di realizzare il fissaggio alla fondazione attraverso l'utilizzo di tirafondi, non essendo "accessibile" il traverso inferiore interno della parete (elemento sul quale viene appunto realizzata la connessione). Risulterà a questo punto necessario adottare degli angolari per il fissaggio del diaframma alla fondazione; sarebbe quindi interessante arrivare a delineare le principali differenze legate all'adozione dell'una o dell'altra connessione

Con riferimento alla presenza di aperture entro la parete risulterà infine necessario introdurre dei coefficienti, ad esempio, che consentano considerare la presenza degli architravi e dei montanti aggiuntivi in corrispondenza delle aperture permettendo di considerare in questo modo gli elementi che garantiscono la distribuzione delle azioni che si concentrano in corrispondenza dei fori.

Altra fonte di riflessione è la valutazione dell'effetto ottenuto, con riferimento ai valori assunti dalla rigidità del sistema, considerando la reale geometria della pannellatura di rivestimento. La parete risulta infatti controventata da pannelli di dimensioni standard fissate e legate alla produzione industriale; questo si discosta dall'assunzione fatta di essere in presenza di un'unica pannellatura che riveste interamente la parete, qualsiasi sia la sua lunghezza. Considerando la situazione reale risulta possibile valutare l'effetto prodotto e le eventuali

interferenze con riferimento al funzionamento di due pannelli accostati, analizzando la modificazione dei percorsi di possibile dissipazione dell'azione sismica.

Allegato A

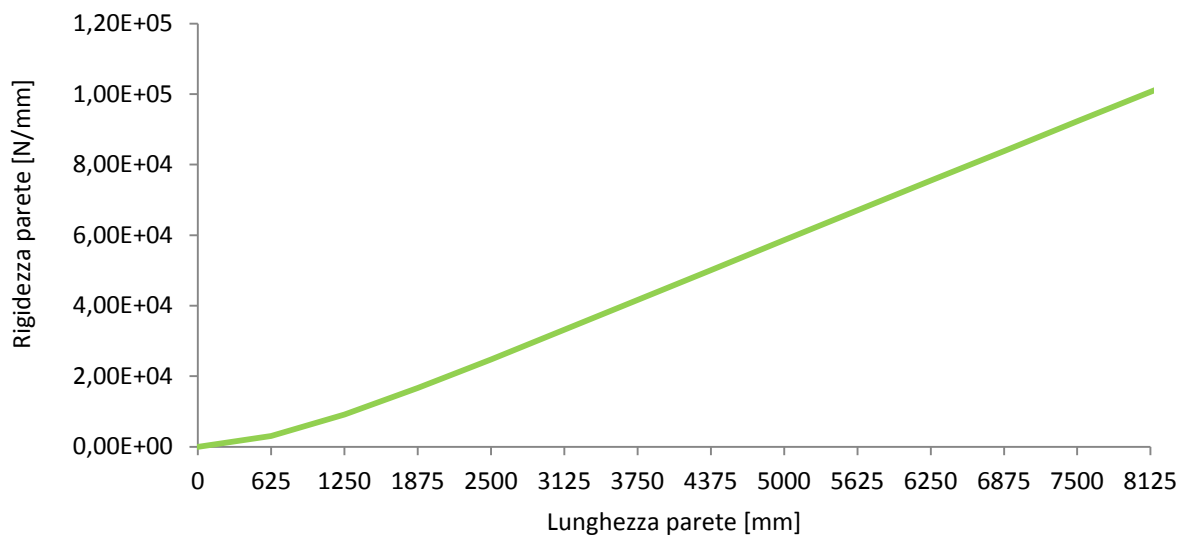
Tabelle per la valutazione della rigidezza

Caso di pareti piene (prive di fori):

Lunghezza [mm]	Rigidezza parete k [N/mm]
0	0,00
625	3040,83
1250	9128,58
1875	16640,05
2500	24765,30
3125	33142,93
3750	41612,85
4375	50103,82
5000	58584,56
5625	67042,20
6250	75472,39
6875	83874,80
7500	92250,86
8125	100602,68

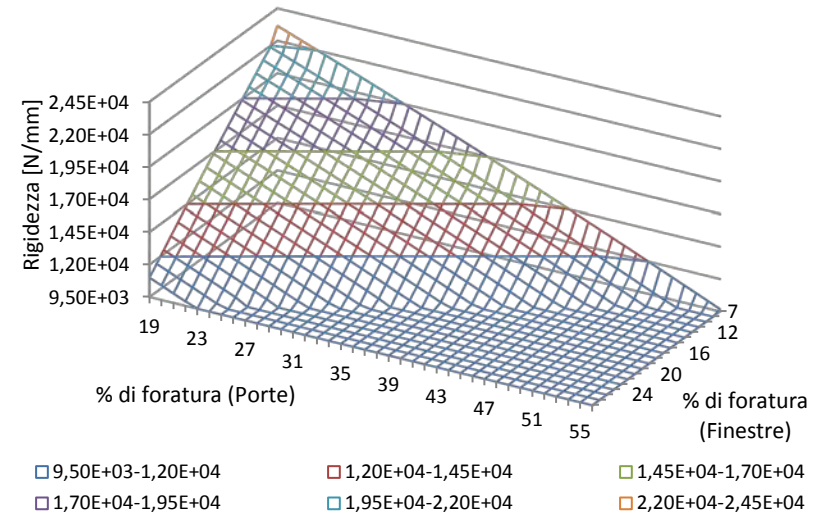
Equazione per la valutazione della rigidezza in relazione alla lunghezza della parete

$$y = 0,0002x^2 + 11,17x - 3286,5$$



Lunghezza parete 3125 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)			% di foratura (Finestre) - x									
			29155,34	28011,91	26865,10	25713,30	24554,86	23388,16	22211,58	21023,49	19822,26	18606,26
			7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
% di foratura (Porte) - y	26677,05	19	23143,58	21915,21	21296,52	20674,82	20050,12	19422,42	18791,72	18158,01	17521,30	16881,58
	26018,09	21	22469,47	21231,31	20607,72	19981,13	19351,54	18718,94	18083,34	17444,74	16803,13	16158,52
	25360,80	23	21789,20	20541,25	19912,77	19281,28	18646,79	18009,30	17368,80	16725,31	16078,80	15429,30
	24704,67	25	21102,77	19845,03	19211,65	18575,27	17935,89	17293,50	16648,11	15999,72	15348,32	14693,92
	24049,16	27	20410,19	19142,65	18504,38	17863,10	17218,82	16571,54	15921,25	15267,97	14611,67	
	23393,76	29	19711,44	18434,11	17790,94	17144,77	16495,60	15843,42	15188,24	14530,06		
	22737,94	31	19006,53	17719,42	17071,35	16420,29	15766,22	15109,14	14449,07	13785,99		
	22081,18	33	18295,47	16998,56	16345,60	15689,64	15030,67	14368,70	13703,73			
	21422,95	35	17578,24	16271,54	15613,69	14952,83	14288,97	13622,11	12952,24			
	20762,73	37	16854,86	15538,37	14875,62	14209,87	13541,11	12869,35				
	20100,01	39	16125,31	14799,03	14131,39	13460,74	12787,09	12110,43				
	19434,25	41	15389,61	14053,54	13381,00	12705,45	12026,91					
	18764,93	43	14647,75	13301,88	12624,45	11944,01	11260,57					
	18091,53	45	13899,72	12544,07	11861,74	11176,41						
	17413,53	47	13145,54	11780,10	11092,87	10402,64						
	16730,40	49	12385,20	11009,97	10317,84							
16041,62	51	11618,70	10233,67									
15346,66	53	10846,04										
14645,01	55	10067,22										
13936,14	57	9282,24										



In presenza di sole finestre: $z = -0,0339x^3 + 0,4933x^2 - 573,0640x + 33154,2394$

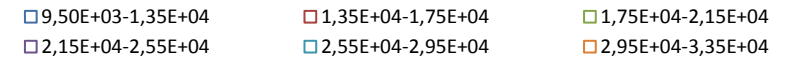
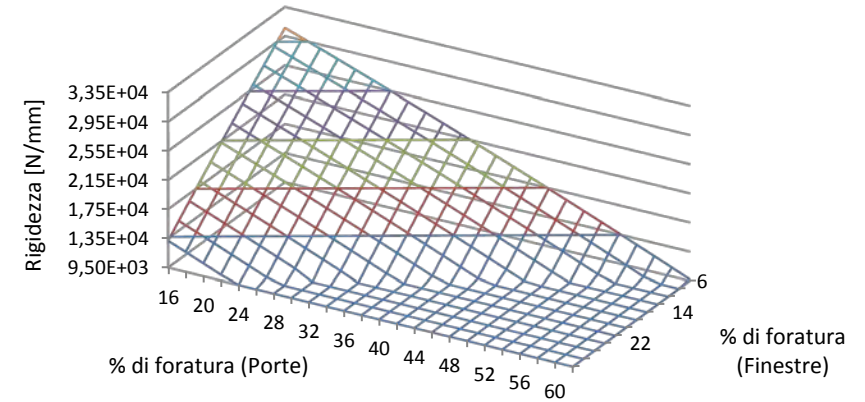
In presenza di sole porte: $z = -0,0109y^3 + 0,8960y^2 - 352,2293y + 33120,7124$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-1,501601	$a_4 =$	-0,769931
$a_2 =$	-2,447654	$a_5 =$	-289,1239
$a_3 =$	-543,6559	$a_6 =$	33119,588

Lunghezza parete 3750 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)			% di foratura (Finestre) - x											
			37164,55	35688,02	34210,33	32729,77	31244,69	29753,39	28254,19	26745,42	25225,4	23692,44	22144,86	20581
			6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
% di foratura (Porte) - y	34540,91	16	30614,89	29108,21	27585,64	26047,19	24492,86	22922,66	21336,57	19734,61	18116,77	16483,04	14833,44	13167,96
	33685,46	18	29781,99	28264,19	26730,51	25180,95	23615,51	22034,19	20436,99	18823,92	17194,96	15550,13	13889,41	12212,82
	32833,52	20	28942,31	27413,40	25868,60	24307,93	22731,38	21138,94	19530,63	17906,45	16266,38	14610,43	12938,60	11250,90
	31984,53	22	28095,85	26555,82	24999,92	23428,13	21840,46	20236,92	18617,50	16982,20	15331,01	13663,95	11981,02	10282,20
	31137,93	24	27242,61	25691,47	24124,45	22541,55	20942,78	19328,12	17697,58	16051,17	14388,87	12710,70	11016,65	9306,72
	30293,19	26	26382,60	24820,34	23242,21	21648,20	20038,31	18412,54	16770,89	15113,36	13439,96	11750,67	10045,50	
	29449,74	28	25515,80	23942,44	22353,19	20748,07	19127,06	17490,18	15837,42	14168,78	12484,26	10783,86		
	28607,04	30	24642,23	23057,75	21457,39	19841,15	18209,04	16561,04	14897,17	13217,42	11521,78			
	27764,54	32	23761,88	22166,29	20554,82	18927,47	17284,24	15625,13	13950,14	12259,28	10552,53			
	26921,67	34	22874,75	21268,04	19645,46	18007,00	16352,66	14682,44	12996,34	11294,36				
	26077,89	36	21980,84	20363,02	18729,33	17079,75	15414,30	13732,96	12035,75	10322,66				
	25232,65	38	21080,16	19451,23	17806,42	16145,73	14469,16	12776,71	11068,39					
	24385,39	40	20172,69	18532,65	16876,73	15204,93	13517,25	11813,69	10094,25					
	23535,57	42	19258,45	17607,29	15940,26	14257,34	12558,55	10843,88						
	22682,62	44	18337,43	16675,16	14997,01	13302,99	11593,08	9867,29						
	21826,01	46	17409,63	15736,25	14046,99	12341,85	10620,83							
	20965,17	48	16475,05	14790,56	13090,19	11373,93	9641,80							
	20099,56	50	15533,70	13838,09	12126,60	10399,24								
	19228,62	52	14585,56	12878,84	11156,24									
	18351,8	54	13630,65	11912,82	10179,11									
17468,54	56	12668,96	10940,02											
16578,31	58	11700,49	9960,43											
15680,54	60	10725,25												
14774,69	62	9743,22												



In presenza di sole finestre: $z = -0,0350x^3 + 0,6932x^2 - 742,7865x + 41603,8700$

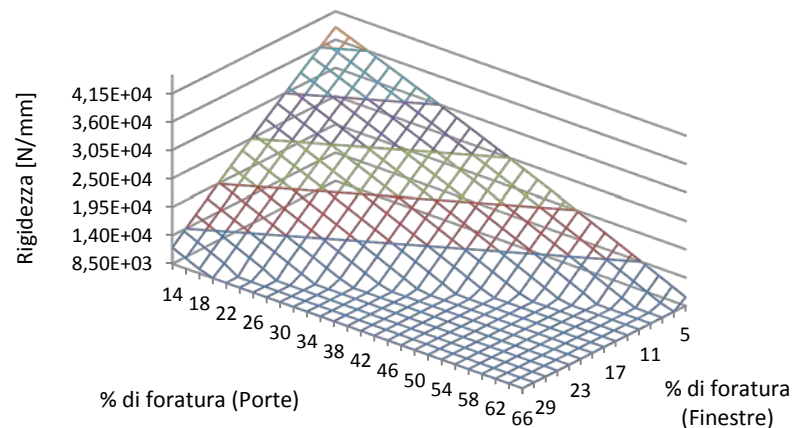
In presenza di sole porte: $z = -0,0115y^3 + 1,0591y^2 - 453,7524y + 41576,9256$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-1,98488	$a_4 =$	-0,84728
$a_2 =$	-2,7782	$a_5 =$	-370,975
$a_3 =$	-681,105	$a_6 =$	41192,19

Lunghezza parete 4375 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)			% di foratura (Finestre) - x														
			45534,75	43720,33	41907,20	40093,63	38277,84	36458,09	34632,61	32799,65	30957,46	29104,27	27238,32	25357,88	23461,16	21546,42	19611,91
			5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33
% di foratura (Porte) - y	42490,31	14	38426,15	36628,45	34813,08	32980,04	31129,33	29260,95	27374,90	25471,18	23549,79	21610,73	19654,00	17679,60	15687,53	13677,79	11650,38
	41435,98	16	37424,48	35615,53	33788,90	31944,61	30082,64	28203,00	26305,70	24390,72	22458,08	20507,76	18539,77	16554,12	14550,79	12529,79	10491,12
	40386,92	18	36416,08	34595,87	32757,99	30902,44	29029,22	27138,32	25229,76	23303,53	21359,62	19398,05	17418,81	15421,89	13407,31	11375,06	9325,13
	39342,54	20	35400,95	33569,48	31720,34	29853,53	27969,06	26066,91	24147,09	22209,60	20254,44	18281,61	16291,11	14282,94	12257,10	10213,59	
	38302,23	22	34379,08	32536,36	30675,96	28797,90	26902,16	24988,76	23057,68	21108,94	19142,52	17158,43	15156,68	13137,25	11100,15		
	37265,40	24	33350,48	31496,50	29624,85	27735,53	25828,54	23903,87	21961,54	20001,54	18023,87	16028,52	14015,51	11984,83	9936,47		
	36231,45	26	32315,15	30449,91	28567,00	26666,43	24748,18	22812,26	20858,67	18887,41	16898,48	14891,88	12867,61	10825,67			
	35199,80	28	31273,08	29396,59	27502,42	25590,59	23661,08	21713,91	19749,06	17766,55	15766,36	13748,51	11712,98	9659,78			
	34169,84	30	30224,28	28336,53	26431,11	24508,02	22567,26	20608,82	18632,72	16638,95	14627,51	12598,40	10551,61				
	33140,98	32	29168,75	27269,74	25353,06	23418,71	21466,70	19497,01	17509,65	15504,62	13481,92	11441,55	9383,51				
	32112,62	34	28106,48	26196,22	24268,28	22322,68	20359,40	18378,46	16379,84	14363,56	12329,60	10277,97					
	31084,18	36	27037,48	25115,96	23176,77	21219,91	19245,37	17253,17	15243,30	13215,76	11170,55	9107,66					
	30055,05	38	25961,74	24028,97	22078,52	20110,40	18124,61	16121,15	14100,03	12061,23	10004,76						
	29024,64	40	24879,27	22935,24	20973,54	18994,16	16997,12	14982,40	12950,02	10899,96	8832,24						
	27992,35	42	23790,07	21834,78	19861,82	17871,19	15862,89	13836,92	11793,28	9731,96							
	26957,59	44	22694,14	20727,59	18743,37	16741,48	14721,93	12684,70	10629,80	8557,23							
	25919,77	46	21591,47	19613,66	17618,19	15605,05	13574,23	11525,75	9459,59								
	24878,28	48	20482,06	18493,00	16486,27	14461,87	12419,80	10360,06									
	23832,54	50	19365,93	17365,61	15347,62	13311,97	11258,64	9187,64									
	22781,94	52	18243,06	16231,48	14202,24	12155,33	10090,74										
21725,90	54	17113,45	15090,62	13050,12	10991,95	8916,11											
20663,81	56	15977,12	13943,03	11891,27	9821,85												
19595,09	58	14834,04	12788,70	10725,69													
18519,14	60	13684,24	11627,64	9553,37													
17435,35	62	12527,70	10459,85														
16343,15	64	11364,43	9285,32														
15241,92	66	10194,42															



- 8,50E+03-1,40E+04
- 1,40E+04-1,95E+04
- 1,95E+04-2,50E+04
- 2,50E+04-3,05E+04
- 3,05E+04-3,60E+04
- 3,60E+04-4,15E+04
- 4,15E+04-4,50E+04

In presenza di sole finestre: $z = 0,0366x^3 + 0,9315x^2 - 914,4014x + 50088,0474$

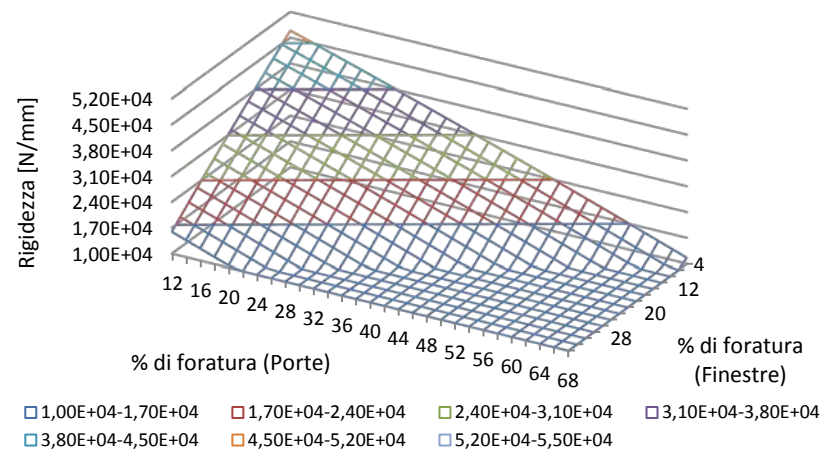
In presenza di sole porte: $z = 0,0124y^3 + 1,2535y^2 - 556,3850y + 50068,0372$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-2,20878	$a_4 =$	-0,8417
$a_2 =$	-2,81414	$a_5 =$	-461,511
$a_3 =$	-832,946	$a_6 =$	49469,21

Lunghezza parete 5000 mm

Valore della Rigidità [N/mm] (z)		% di foratura (Finestre) - x															
		4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	
% di foratura (Porte) - y	50828,12	12	46924,15	44823,87	42705,88	40570,20	38416,80	36245,71	34056,91	31850,40	29626,20	27384,28	25124,66	22847,34	20552,32	18239,59	15909,15
	49574,09	14	45749,08	43637,85	41508,91	39362,27	37197,92	35015,87	32816,11	30598,65	28363,49	26110,62	23840,05	21551,77	19245,79	16922,11	14580,72
	48326,95	16	44567,56	42445,37	40305,48	38147,88	35972,58	33779,57	31568,86	29340,45	27094,33	24830,51	22548,98	20249,75	17932,81	15598,17	13245,82
	47086,06	18	43379,58	41246,44	39095,59	36927,04	34740,78	32536,82	30315,16	28075,79	25818,71	23543,93	21251,45	18941,26	16613,37	14267,78	11904,48
	45850,81	20	42185,15	40041,05	37879,25	35699,74	33502,53	31287,61	29054,99	26804,67	24536,64	22250,91	19947,47	17626,32	15287,48	12930,93	10556,67
	44620,56	22	40984,26	38829,21	36656,45	34465,99	32257,82	30031,95	27788,37	25527,09	23248,11	20951,42	18637,03	16304,93	13955,13	11587,62	9202,41
	43394,68	24	39776,92	37610,91	35427,19	33225,78	31006,65	28769,83	26515,30	24243,06	21953,12	19645,48	17320,13	14977,08	12616,32	10237,86	
	42172,54	26	38563,11	36386,15	34191,48	31979,11	29749,03	27501,25	25235,76	22952,57	20651,68	18333,08	15996,78	13642,77	11271,06		
	40953,52	28	37342,85	35154,93	32949,31	30725,98	28484,95	26226,21	23949,77	21655,63	19343,78	17014,22	14666,97	12302,00	9919,34		
	39736,98	30	36116,14	33917,26	31700,68	29466,40	27214,41	24944,72	22657,33	20352,23	18029,42	15688,91	13330,70	10954,78			
	38522,3	32	34882,97	32673,14	30445,60	28200,36	25937,42	23656,78	21358,42	19042,37	16708,61	14357,15	11987,98	9601,10			
	37308,85	34	33643,34	31422,55	29184,06	26927,87	24653,97	22362,37	20053,07	17726,06	15381,34	13018,92	10638,80				
	36095,99	36	32397,25	30165,51	27916,07	25648,92	23364,07	21061,51	18741,25	16403,28	14047,61	11674,24	9283,16				
	34883,11	38	31144,71	28902,02	26641,62	24363,51	22067,71	19754,19	17422,98	15074,06	12707,43	10323,10					
	33669,57	40	29885,71	27632,06	25360,71	23071,65	20764,89	18440,42	16098,25	13738,37	11360,79						
	32454,74	42	28620,26	26355,65	24073,34	21773,33	19455,61	17120,19	14767,07	12396,23	10007,70						
	31237,99	44	27348,35	25072,79	22779,52	20468,56	18139,88	15793,51	13429,42	11047,64							
	30018,7	46	26069,98	23783,47	21479,25	19157,32	16817,69	14460,36	12085,33	9692,58							
	28796,24	48	24785,16	22487,69	20172,51	17839,63	15489,05	13120,76	10734,77								
	27569,98	50	23493,88	21185,45	18859,32	16515,49	14153,95	11774,71	9377,76								
26339,28	52	22196,14	19876,76	17539,68	15184,89	12812,39	10422,20										
25103,52	54	20891,95	18561,61	16213,57	13847,83	11464,38	9063,23										
23862,08	56	19581,30	17240,01	14881,01	12504,31	10109,91											
22614,31	58	18264,19	15911,95	13542,00	11154,34												
21359,6	60	16940,63	14577,43	12196,52	9797,91												
20097,32	62	15610,61	13236,45	10844,59													
18826,83	64	14274,13	11889,02	9486,21													
17547,51	66	12931,20	10535,14														



	16258,72	68	11581,81	9174,79
--	----------	----	----------	---------

In presenza di sole finestre: $z = 0,0384x^3 + 1,2031x^2 - 1086,9787x + 58570,7942$

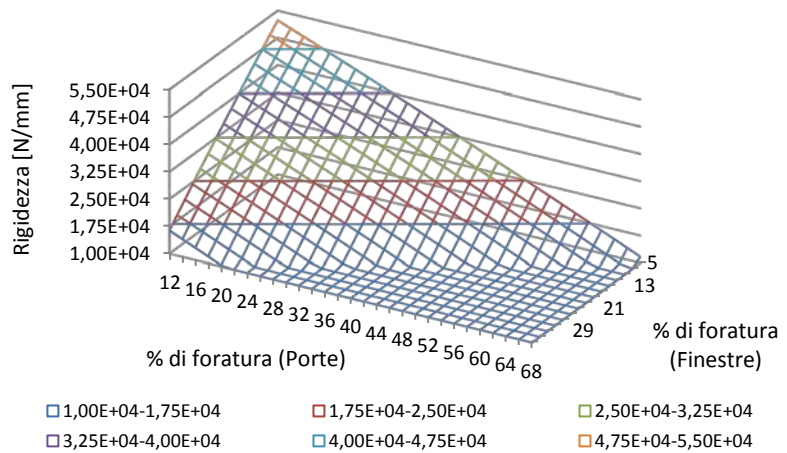
In presenza di sole porte: $z = -0,0131y^3 + 1,4111y^2 - 657,0482y + 58532,1350$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-2,20878	$a_4 =$	-0,8417
$a_2 =$	-2,81414	$a_5 =$	-461,511
$a_3 =$	-832,946	$a_6 =$	49469,21

Lunghezza parete 5625 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)			% di foratura (Finestre) - x														
			60798,3	58309,2	55823,8	53340,4	50857,15	48372,23	45883,91	43390,40	40889,94	38380,75	35861,04	33329,05	30783,00	28221,12	25641,62
			5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33
% di foratura (Porte) - y	58135,4	12	52327,42	49905,83	47461,36	44994,00	42503,75	39990,62	37454,59	34895,69	32313,89	29709,21	27081,64	24431,18	21757,84	19061,61	16342,49
	56687	14	50959,41	48528,41	46074,53	43597,75	41098,09	38575,55	36030,11	33461,79	30870,58	28256,49	25619,51	22959,64	20276,88	17571,24	14842,71
	55246,5	16	49585,22	47144,81	44681,51	42195,33	39686,25	37154,29	34599,45	32021,71	29421,09	26797,59	24151,19	21481,91	18789,74	16074,68	13336,74
	53813,3	18	48204,85	45755,03	43282,31	40786,72	38268,23	35726,86	33162,60	30575,45	27965,42	25332,50	22676,69	19998,00	17296,42	14571,95	11824,59
	2386,84	20	46818,30	44359,06	41876,94	39371,92	36844,03	34293,24	31719,57	29123,01	26503,56	23861,23	21196,01	18507,90	15796,91	13063,03	10306,26
	50966,4	22	45425,56	42956,91	40465,37	37950,95	35413,64	32853,44	30270,35	27664,38	25035,52	22383,78	19709,14	17011,62	14291,22	11547,92	8781,74
	49551,4	24	44026,64	41548,58	39047,63	36523,79	33977,07	31407,46	28814,96	26199,57	23561,30	20900,14	18216,10	15509,16	12779,34	10026,64	
	48141,3	26	42621,54	40134,06	37623,70	35090,45	32534,31	29955,29	27353,38	24728,58	22080,90	19410,32	16716,86	14000,52	11261,29		
	46735,3	28	41210,25	38713,36	36193,59	33650,93	31085,38	28496,94	25885,62	23251,41	20594,31	17914,32	15211,45	12485,69	9737,05		
	45333,0	30	39792,78	37286,48	34757,29	32205,22	29630,26	27032,41	24411,67	21768,05	19101,54	16412,14	13699,85	10964,68			
	43933,6	32	38369,13	35853,42	33314,82	30753,33	28168,95	25561,69	22931,54	20278,51	17602,58	14903,77	12182,07	9437,49			
	42536,5	34	36939,30	34414,17	31866,16	29295,26	26701,47	24084,79	21445,23	18782,78	16097,45	13389,22	10658,11				
	41141,1	36	35503,28	32968,74	30411,31	27831,00	25227,80	22601,71	19952,74	17280,88	14586,13	11868,49	9127,97				
	39746,8	38	34061,08	31517,13	28950,29	26360,56	23747,95	21112,45	18454,06	15772,79	13068,62	10341,57					
	38353,0	40	32612,70	30059,33	27483,08	24883,94	22261,91	19617,00	16949,20	14258,51	11544,94						
	36959,0	42	31158,13	28595,35	26009,69	23401,14	20769,70	18115,37	15438,16	12738,06	10015,07						
	35564,2	44	29697,38	27125,19	24530,12	21912,15	19271,30	16607,56	13920,93	11211,42							
	34167,9	46	28230,45	25648,85	23044,36	20416,98	17766,71	15093,56	12397,52	9678,60							
	32769,7	48	26757,34	24166,32	21552,42	18915,63	16255,95	13573,38	10867,93								
	31368,8	50	25278,04	22677,61	20054,30	17408,09	14739,00	12047,02	9332,16								
29964,6	52	23792,56	21182,72	18549,99	15894,37	13215,87	10514,48										
28556,4	54	22300,90	19681,64	17039,50	14374,47	11686,55	8975,75										
27143,8	56	20803,05	18174,38	15522,83	12848,39	10151,06											
25726	58	19299,02	16660,94	13999,97	11316,12												
24302,4	60	17788,81	15141,32	12470,94	9777,67												
22872,3	62	16272,42	13615,51	10935,72													
21435,35	64	14749,84	12083,52	9394,31													
19990,6	66	13221,08	10545,35														



	18537,6	68	11686,14	9000,99
--	---------	----	----------	---------

In presenza di sole finestre: $z = -0,0370x^3 + 1,2394x^2 - 1255,3700x + 67048,7948$

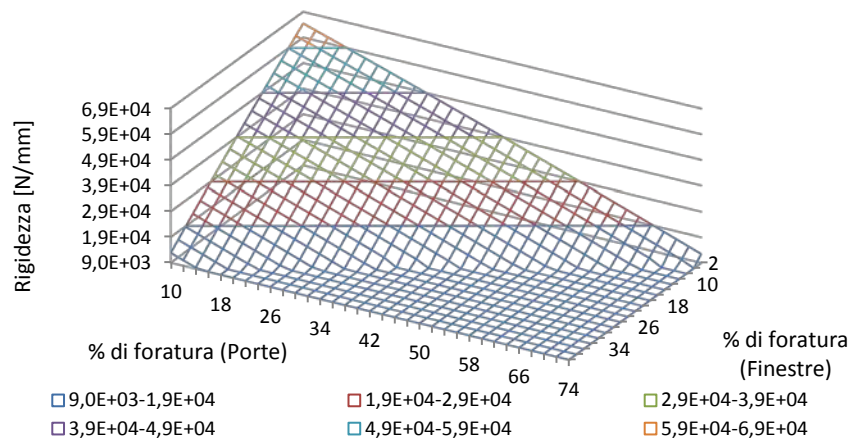
In presenza di sole porte: $z = -0,013y^3 + 1,539y^2 - 757,631y + 67027,861$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-2,86088	$a_4 =$	-0,77286
$a_2 =$	-2,35321	$a_5 =$	-652,142
$a_3 =$	-1148,22	$a_6 =$	66218,25

Lunghezza parete 6250 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)			% di foratura (Finestre) - x																		
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
% di foratura (Porte) - y	67067,90	10	64447,80	61712,05	58960,75	56193,91	53411,53	50613,61	47800,14	44971,13	42126,59	39266,50	36390,86	33499,69	30592,97	27670,72	24732,92	21779,58	18810,69	15826,27	12826,30
	65418,91	12	62912,23	60167,08	57406,39	54630,15	51838,38	49031,06	46208,20	43369,80	40515,85	37646,37	34761,34	31860,77	28944,66	26013,00	23065,81	20103,07	17124,79	14130,97	11121,61
	63778,84	14	61370,97	58616,42	55846,33	53060,70	50259,53	47442,81	44610,56	41762,76	38899,42	36020,54	33126,12	30216,15	27290,64	24349,59	21393,00	18420,87	15433,20	12429,98	9411,22
	62147,06	16	59824,01	57060,06	54280,58	51485,55	48674,98	45848,87	43007,22	40150,03	37277,29	34389,02	31485,20	28565,84	25630,93	22680,49	19714,50	16732,97	13735,90	10723,29	
	60522,92	18	58271,35	55498,01	52709,13	49904,71	47084,74	44249,24	41398,19	38531,60	35649,47	32751,80	29838,58	26909,82	23965,53	21005,69	18030,30	15039,38	12032,91	9010,90	
	58905,78	20	56712,99	53930,26	51131,98	48318,16	45488,80	42643,90	39783,46	36907,47	34015,95	31108,88	28186,27	25248,12	22294,42	19325,19	16340,41	13340,09	10324,23		
	57294,99	22	55148,94	52356,81	49549,14	46725,92	43887,17	41032,87	38163,03	35277,65	32376,73	29460,27	26528,26	23580,71	20617,62	17638,99	14644,82	11635,10	8609,84		
	55689,91	24	53579,19	50777,66	47960,60	45127,99	42279,84	39416,14	36536,91	33642,13	30731,82	27805,96	24864,55	21907,61	18935,12	15947,10	12943,53	9924,42			
	54089,90	26	52003,74	49192,82	46366,36	43524,36	40666,81	37793,72	34905,09	32000,92	29081,20	26145,95	23195,15	20228,81	17246,93	14249,51	11236,54	8208,03			
	52494,32	28	50422,60	47602,28	44766,43	41915,03	39048,08	36165,60	33267,57	30354,01	27424,90	24480,24	21520,05	18544,32	15553,04	12546,22	9523,86				
	50902,52	30	48835,76	46006,05	43160,80	40300,00	37423,66	34531,78	31624,36	28701,40	25762,89	22808,84	19839,25	16854,12	13853,45	10837,24					
	49313,85	32	47243,23	44404,12	41549,47	38679,28	35793,54	32892,27	29975,45	27043,09	24095,19	21131,75	18152,76	15158,24	12148,17	9122,56					
	47727,68	34	45644,99	42796,49	39932,44	37052,86	34157,73	31247,06	28320,84	25379,09	22421,79	19448,95	16460,57	13456,65	10437,19						
	46143,37	36	44041,06	41183,16	38309,72	35420,74	32516,21	29596,15	26660,54	23709,39	20742,70	17760,46	14762,69	11749,37							
	44560,26	38	42431,44	39564,14	36681,31	33782,93	30869,01	27939,54	24994,54	22033,99	19057,90	16066,27	13059,10								
	42977,71	40	40816,11	37939,42	35047,19	32139,42	29216,10	26277,24	23322,84	20352,90	17367,42	14366,39	11349,82								
	41395,09	42	39195,10	36309,01	33407,38	30490,21	27557,50	24609,24	21645,45	18666,11	15671,23	12660,81									
	39811,75	44	37568,38	34672,90	31761,87	28835,31	25893,20	22935,55	19962,36	16973,62	13969,35	10949,53									
	38227,05	46	35935,97	33031,09	30110,67	27174,71	24223,20	21256,16	18273,57	15275,44	12261,77										
	36640,33	48	34297,86	31383,58	28453,77	25508,41	22547,51	19571,07	16579,09	13571,56	10548,49										
35050,97	50	32654,05	29730,38	26791,17	23836,42	20866,12	17880,28	14878,90	11861,98												
33458,32	52	31004,55	28071,48	25122,87	22158,72	19179,03	16183,80	13173,03	10146,71												
31861,72	54	29349,35	26406,88	23448,88	20475,34	17486,25	14481,62	11461,45													
30260,55	56	27688,45	24736,59	21769,19	18786,25	15787,77	12773,75	9744,18													
28654,15	58	26021,85	23060,60	20083,81	17091,47	14083,60	11060,18														
27041,89	60	24349,56	21378,92	18392,73	15391,00	12373,72	9340,91														
25423,12	62	22671,58	19691,53	16695,95	13684,82	10658,15															



23797,19	64	20987,89	17998,45	14993,47	11972,95	8936,89
22163,47	66	19298,51	16299,68	13285,30	10255,38	
20521,31	68	17603,44	14595,20	11571,43		
18870,07	70	15902,66	12885,04			
17209,10	72	14196,19	11169,17			
15537,76	74	12484,02				

In presenza di sole finestre: $z = -0,0363x^3 + 1,2813x^2 - 1420,7417x + 75446,5977$

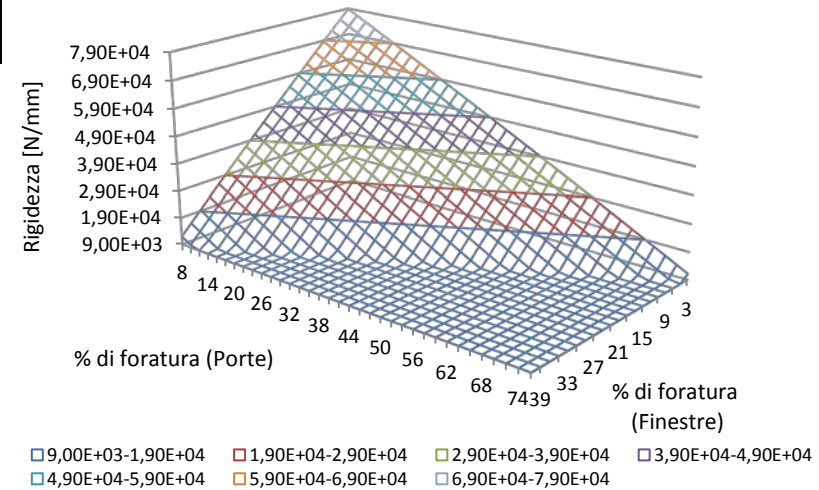
In presenza di sole porte: $z = -0,0134y^3 + 1,5983y^2 - 854,7812y + 75469,2819$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-1,94273	$a_4 =$	-0,71209
$a_2 =$	-2,34892	$a_5 =$	-747,42
$a_3 =$	-1332,73	$a_6 =$	74713,43

Lunghezza parete 7500 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)		% di foratura (Finestre) - x																				
		86985,45	83503,35	80027,49	76556,23	73087,94	69620,98	66153,72	62684,51	59211,73	55733,73	52248,88	48755,53	45252,06	41736,83	38208,20	34664,53	31104,19	27525,53	23926,93	20306,75	
		3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	
% di foratura (Porte) - y	84019,49	8	78836,22	75464,66	72076,75	68672,48	65251,88	61814,92	58361,62	54891,97	51405,97	47903,62	44384,93	40849,89	37298,50	33730,77	30146,69	26546,26	22929,48	19296,35	15646,88	11981,06
	81976,77	10	76932,28	73551,42	70154,21	66740,66	63310,76	59864,51	56401,92	52922,97	49427,68	45916,05	42388,06	38843,73	35283,05	31706,02	28112,65	24502,92	20876,85	17234,44	13575,67	9900,56
	79945,95	12	75023,10	71632,95	68226,45	64803,61	61364,42	57908,88	54436,99	50948,75	47444,17	43923,24	40385,96	36832,34	33262,37	29676,05	26073,38	22454,37	18819,00	15167,29	11499,24	
	77926,25	14	73108,70	69709,26	66293,47	62861,33	59412,85	55948,01	52466,83	48969,31	45455,43	41925,21	38378,64	34815,72	31236,46	27640,85	24028,89	20400,58	16755,93	13094,92	9417,57	
	75916,91	16	71189,07	67780,34	64355,26	60913,83	57456,05	53981,93	50491,45	46984,63	43461,47	39921,95	36366,09	32793,88	29205,32	25600,42	21979,17	18341,57	14687,62	11017,33		
	73917,16	18	69264,22	65846,19	62411,82	58961,10	55494,03	52010,61	48510,85	44994,73	41462,28	37913,47	34348,31	30766,81	27168,96	23554,77	19924,22	16277,33	12614,09	8934,51		
	71926,23	20	67334,14	63906,82	60463,15	57003,14	53526,78	50034,07	46525,01	42999,61	39457,86	35899,76	32325,31	28734,52	25127,38	21503,89	17864,05	14207,87	10535,34			
	69943,35	22	65398,83	61962,22	58509,26	55039,95	51554,30	48052,30	44533,95	40999,25	37448,21	33880,82	30297,08	26696,99	23080,56	19447,78	15798,65	12133,18	8451,35			
	67967,76	24	63458,30	60012,39	56550,14	53071,54	49576,60	46065,30	42537,66	38993,67	35433,34	31856,65	28263,62	24654,25	21028,52	17386,45	13728,03	10053,26				
	65998,68	26	61512,54	58057,34	54585,80	51097,91	47593,67	44073,08	40536,15	36982,87	33413,24	29827,26	26224,94	22606,27	18971,25	15319,89	11652,17					
	64035,35	28	59561,55	56097,06	52616,22	49119,04	45605,51	42075,63	38529,41	34966,83	31387,91	27792,65	24181,03	20553,07	16908,76	13248,10	9571,09					
	62077,01	30	57605,33	54131,55	50641,43	47134,95	43612,13	40072,96	36517,44	32945,57	29357,36	25752,80	22131,89	18494,64	14841,04	11171,09						
	60122,87	32	55643,89	52160,82	48661,40	45145,63	41613,52	38065,06	34500,25	30919,09	27321,58	23707,73	20077,53	16430,98	12768,09	9088,85						
	58172,18	34	53677,23	50184,86	46676,15	43151,09	39609,68	36051,93	32477,82	28887,37	25280,58	21657,43	18017,94	14362,10	10689,91							
	56224,17	36	51705,33	48203,67	44685,67	41151,32	37600,62	34033,57	30450,18	26850,43	23234,35	19601,91	15953,12	12287,99	8606,51							
	54278,07	38	49728,21	46217,26	42689,96	39146,32	35586,33	32009,99	28417,30	24808,27	21182,89	17541,16	13883,08	10208,66								
	52333,11	40	47745,86	44225,62	40689,03	37136,10	33566,81	29981,18	26379,20	22760,87	19126,20	15475,18	11807,81	8124,09								
	50388,52	42	45758,29	42228,76	38682,87	35120,65	31542,07	27947,15	24335,87	20708,25	17064,29	13403,97	9727,31									
	48443,53	44	43765,49	40226,66	36671,49	33099,97	29512,10	25907,88	22287,32	18650,41	14997,15	11327,54										
	46497,38	46	41767,46	38219,34	34654,88	31074,06	27476,90	23863,39	20233,54	16587,34	12924,78	9245,89										
44549,3	48	39764,21	36206,80	32633,04	29042,93	25436,48	21813,68	18174,53	14519,04	10847,19												
42598,52	50	37755,73	34189,02	30605,97	27006,58	23390,83	19758,74	16110,30	12445,51	8764,37												
40644,28	52	35742,02	32166,02	28573,68	24964,99	21339,95	17698,57	14040,84	10366,76													
38685,8	54	33723,09	30137,80	26536,16	22918,18	19283,85	15633,17	11966,15	8282,78													
36722,31	56	31698,92	28104,34	24493,42	20866,14	17222,52	13562,55	9886,23														
34753,06	58	29669,54	26065,67	22445,45	18808,88	15155,96	11486,70															
32777,26	60	27634,92	24021,76	20392,25	16746,39	13084,18	9405,63															
30794,16	62	25595,08	21972,63	18333,82	14678,67	11007,17																



28802,98	64	23550,02	19918,27	16270,17	12605,73
26802,96	66	21499,72	17858,68	14201,29	10527,56
24793,33	68	19444,20	15793,87	12127,19	
22773,32	70	17383,45	13723,83	10047,85	
20742,16	72	15317,48	11648,56		
18699,09	74	13246,28	9568,07		
16643,33	76	11169,85			

In presenza di sole finestre: $z = -0,0341x^3 + 1,2917x^2 - 1749,7142x + 92223,8875$

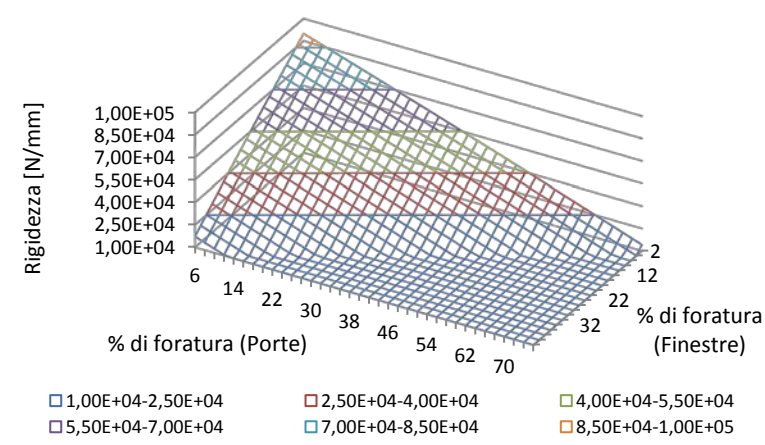
In presenza di sole porte: $z = -0,0160y^3 + 1,9666y^2 - 1052,8522y + 92324,6335$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-2,04344	$a_4 =$	-0,65333
$a_2 =$	-2,32306	$a_5 =$	-933,245
$a_3 =$	-1650,85	$a_6 =$	91370,69

Lunghezza parete 8125 mm

Valore della Rigidezza [N/mm] (z)			% di foratura (Finestre)																			
			96756,9	92939,7	89130,9	85328,9	81531,8	77738,0	73945,7	70153,3	66359,0	62561,1	58757,9	54947,6	51128,6	47299,0	43457,3	39601,7	35730,5	31841,8	27934,2	24005,7
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
% di foratura (Porte)	93853,3	6	89918,9	86232,7	82530,9	78813,7	75081,0	71332,8	67569,1	63789,9	59995,3	56185,1	52359,5	48518,3	44661,7	40789,6	36902,1	32999,0	29080,4	25146,4	21196,8	17231,8
	91620,3	8	87833,2	84138,5	80428,2	76702,4	72961,2	69204,4	65432,2	61644,5	57841,3	54022,6	50188,5	46338,8	42473,7	38593,0	34696,9	30785,3	26858,2	22915,6	18957,6	14984,0
	89398,8	10	85742,9	82039,5	78320,7	74586,4	70836,7	67071,4	63290,7	59494,4	55682,7	51855,5	48012,8	44154,6	40280,9	36391,7	32487,1	28566,9	24631,3	20680,2	16713,6	12731,5
	87188,2	12	83647,8	79935,9	76208,6	72465,8	68707,5	64933,7	61144,4	57339,6	53519,3	49683,6	45832,4	41965,6	38083,4	34185,7	30272,6	26343,9	22399,7	18440,1	14464,9	10474,3
	84987,8	14	81548,0	77827,6	74091,7	70340,4	66573,5	62791,2	58993,4	55180,1	51351,3	47507,0	43647,3	39772,0	35881,3	31975,0	28053,3	24116,1	20163,4	16195,2	12211,6	
	82797,0	16	79443,5	75714,6	71970,2	68210,3	64434,9	60644,1	56837,7	53015,9	49178,6	45325,7	41457,4	37573,7	33674,4	29759,6	25829,4	21883,6	17922,4	13945,7	9953,5	
	80615,0	18	77334,3	73596,9	69843,9	66075,5	62291,6	58492,2	54677,3	50847,0	47001,1	43139,8	39262,9	35370,6	31462,8	27539,5	23600,7	19646,5	15676,7	11691,5		
	78441,1	20	75220,4	71474,5	67713,0	63936,0	60143,6	56335,7	52512,3	48673,4	44819,0	40949,1	37063,7	33162,9	29246,5	25314,7	21367,4	17404,6	13426,3			
	76274,7	22	73101,9	69347,3	65577,3	61791,9	57990,9	54174,4	50342,5	46495,0	42632,1	38753,7	34859,8	30950,4	27025,6	23085,2	19129,4	15158,0	11171,2			
	74115,0	24	70978,6	67215,5	63437,0	59643,0	55833,5	52008,5	48168,0	44312,0	40440,6	36553,6	32651,2	28733,3	24799,9	20851,0	16886,6	12906,7				
	71961,5	26	68850,6	65079,0	61291,9	57489,4	53671,3	49837,8	45988,8	42124,3	38244,3	34348,8	30437,9	26511,4	22569,5	18612,1	14639,2	10650,8				
	69813,3	28	66717,9	62937,8	59142,2	55331,1	51504,5	47662,5	43804,9	39931,9	36043,4	32139,4	28219,9	24284,9	20334,4	16368,5	12387,0					
	67669,8	30	64580,5	60791,8	56987,7	53168,1	49333,0	45482,4	41616,3	37734,8	33837,7	29925,2	25997,1	22053,6	18094,6	14120,1	10130,2					
	65530,4	32	62438,4	58641,2	54828,6	51000,4	47156,8	43297,6	39423,0	35532,9	31627,4	27706,3	23769,7	19817,7	15850,1	11867,1						
	63394,3	34	60291,6	56485,9	52664,7	48828,0	44975,8	41108,2	37225,0	33326,4	29412,3	25482,7	21537,6	17577,0	13601,0							
	61260,9	36	58140,1	54325,9	50496,1	46650,9	42790,2	38914,0	35022,4	31115,2	27192,5	23254,4	19300,8	15331,7	11347,1							
	59129,5	38	55983,9	52161,1	48322,9	44469,1	40599,9	36715,2	32815,0	28899,3	24968,1	21021,4	17059,3	13081,6								
	56999,3	40	53823,0	49991,7	46144,9	42282,6	38404,9	34511,6	30602,9	26678,6	22738,9	18783,7	14813,0	10826,9								
	54869,7	42	51657,4	47817,5	43962,2	40091,4	36205,1	32303,3	28386,1	24453,3	20505,1	16541,3	12562,1									
	52740,0	44	49487,1	45638,7	41774,9	37895,5	34000,7	30090,4	26164,6	22223,3	18266,5	14294,2	10306,5									
50609,6	46	47312,1	43455,2	39582,8	35694,9	31791,5	27872,7	23938,4	19988,5	16023,2	12042,4											
48477,7	48	45132,4	41266,9	37386,0	33489,6	29577,7	25650,3	21707,5	17749,1	13775,3	9785,9											
46343,6	50	42948,0	39074,0	35184,5	31279,6	27359,2	23423,3	19471,9	15505,0	11522,6												
44206,7	52	40758,8	36876,3	32978,4	29064,9	25135,9	21191,5	17231,5	13256,1													
42066,3	54	38565,0	34674,0	30767,5	26845,5	22908,0	18955,0	14986,5	11002,6													
39921,6	56	36366,5	32467,0	28551,9	24621,4	20675,3	16713,8	12736,8														
37772,1	58	34163,3	30255,2	26331,6	22392,6	18438,0	14468,0															
35617,0	60	31955,4	28038,8	24106,6	20159,0	16196,0	12217,4															



33455,6	62	29742,8	25817,6	21877,0	17920,8	13949,2
31287,3	64	27525,4	23591,8	19642,6	15677,9	11697,8
29111,3	66	25303,4	21361,2	17403,5	13430,3	
26927,0	68	23076,7	19125,9	15159,7	11178,0	
24733,7	70	20845,3	16886,0	12911,2	8920,9	
22530,7	72	18609,1	14641,3	10658,0		
20317,3	74	16368,3	12392,0	8400,1		
18092,8	76	14122,8	10137,9			

In presenza di sole finestre: $z = -0,0358x^3 + 1,4827x^2 - 1916,4915x + 100584,2453$

In presenza di sole porte: $z = -0,0143y^3 + 1,7904y^2 - 1139,4738y + 100628,7971$

In presenza di porte e finestre: $z = a_1x^2 + a_2xy + a_3x + a_4y^2 + a_5y + a_6$

$a_1 =$	-1,9359048	$a_4 =$	-0,5876904
$a_2 =$	-2,133106	$a_5 =$	-1030,345
$a_3 =$	-1818,7118	$a_6 =$	99792,909

Bibliografia

- A.Conte, M. Piazza, R. Tomasi, and T. Sartori. *Indagine sperimentale su collegamenti tra fondazione in calcestruzzo e pareti intelaiate lignee*. Technical report, Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale - Università di Trento, 2010.
- Amerio C., Canavesio G. *Materiali per l'edilizia* (fa parte della collana Strumenti per la tecnologia delle costruzioni e la progettazione edilizia) Società Editrice internazionale - Torino,2005.
- Amerio C., Canavesio G. *Tecniche ed elementi costruttivi* (fa parte della collana Strumenti per la tecnologia delle costruzioni e la progettazione edilizia) Società Editrice internazionale -Torino, 2005.
- Antoniazzi S., *Analisi comparativa dell'impatto ambientale di alcune tipologie di edifici in legno*, tesi di laurea in tecnologie e industrie del legno, Dipartimento territorio e sistemi agro-forestali Università degli Studi di Padova, 2010.
- Arcangeli A., *Le costruzioni in legno* (fa parte di Tecnica delle costruzioni vol.2), Hoepli Editore, Milano,1949.
- Battistini B. *Strutture in legno in zona sismica*, tesi di laurea magistrale in ingegneria civile,Dipartimento di ingegneria civile,ambientale e dei materiali, Università di Bologna.
- Ceccotti A., Follesa M., Lauriola M.P., *Le strutture di legno in zona sismica, Criteri e regole per la progettazione ed il restauro*, Edizioni CLUT, Torino, 2005.
- Ceccotti A., *Progettazione e dettagli delle strutture* (fa parte de Il manuale del legno strutturale), Mancosu Editore, Roma, 2003
- Giordano G. ,Ceccotti A., Uzielli L., *Tecnica delle costruzioni in legno*,Hoepli Editore, 1999.
- Giordano G., *Caratteristiche meccaniche del legno*, Hoepli Editore, 1947.
- Giordano G., *Tecnica delle costruzioni in legno: caratteristiche qualificazione e formazione dei legnami da costruzione;progettazione e controllo delle strutture lignee tradizionali; applicazione dei moderni metodi di calcolo alle nuove tipologie costruttive;*

classi di resistenza dei legnami strutturali, secondo la normativa europea. Hoepli Editore, Milano,1999.

- Lavisci P., *La progettazione delle strutture di legno: Eurocodice 5 e norme tecniche per le costruzioni*, 2006.
- Piazza M., Tomasi R., Modena R. , *Strutture in legno*, Hoepli Editore,2009.
- Sartori T., *Comportamento strutturale di sistemi costruttivi in legno realizzati con pareti portanti intelaiate*, Dottorato di Ricerca in Ingegneria dei Sistemi Strutturali Civili e Meccanici XXV ciclo Università degli Studi di Trento 2012.

- CNR-DT-206:2007. *Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno*, 2007. CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, Italia.
- D.M. 14 -1-2008, in materia di *Norme Tecniche per le Costruzioni*.
- Eurocodice 5 UNI EN 1995-1-1:2009 *Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici*.
- Eurocodice 5 UNI EN 1995-1-2:2005 *Progettazione delle strutture in legno. Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio*.
- Eurocodice 5 UNI EN 1995-2:2005 *Progettazione delle strutture in legno. Parte 2: Ponti*.
- Eurocodice 8 UNI EN 1998-1:2013 *Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici*.

Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro vorrei ringraziare tutte le persone che hanno contribuito a vario titolo alla sua realizzazione.

In primis ringrazio i miei relatori, la professoressa Valentina Salomoni e l'ingegnere Giuseppe Cardillo per l'aiuto, la pazienza ed i preziosi suggerimenti grazie ai quali ho potuto portare a termine questo percorso. Rivolgo inoltre un sentito ringraziamento all'arch. Paolo Saccardi per la sua disponibilità, i suoi consigli, e per avermi trasmesso l'interesse per la materia .

Ringrazio i miei genitori e la mia famiglia perché anche grazie a loro ed al loro supporto, sono diventata la persona che sono. Un grazie speciale a mio fratello Federico per aver sopportato i miei momenti di crisi, le mie chiacchierate nel sonno e per il costante supporto tecnologico.

Un ringraziamento ai miei compagni di studio con i quali ho condiviso questi anni di fatiche, di esperienze e di crescita: alle vecchie e vecchissime glorie Matteo, Valentina, Laura, Alberto, Manuel e Matteo, per aver persistito nel su(o)pportarmi nei momenti di più cupo sconforto; ai nuovi compagni Gianluca e Daniele per avermi accolta come se fossi sempre stata una di loro. Dedico un ringraziamento speciale al mio compagno di sventure Massimiliano ed alla sua chiavetta USB, per i due (...) anni di fatiche condivise e per i suoi tentativi di diluire il mio pessimismo.

Un ringraziamento a Luigi per il costante supporto morale e perché senza di lui, probabilmente, il mio lavoro di tesi non potrebbe definirsi tale.

Volevo infine ringraziare due persone che hanno creduto in me senza riserve, spingendomi a dare sempre il massimo: ringrazio Elisa per aver sempre fatto il tifo per me e per essere stata un sostegno in tutti gli aspetti della mia vita; grazie a Samantha perché sin dal primo giorno di questa lunga avventura è stata il mio punto di riferimento, condividendo con me traguardi e sconfitte, il tutto tra lacrime e sorrisi.

Infine non posso non ringraziare il mio computer e tutta la tecnologia che in questo ultimo periodo mi si è dimostrata leggermente avversa.

