



La progettazione delle strutture in Legno nella nuova NTC 2018



Prof. Barbara Ferracuti,
Università degli studi Niccolò Cusano, Roma
barbara.ferracuti@unicusano.it

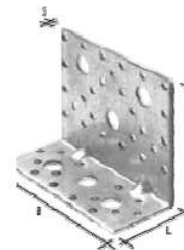
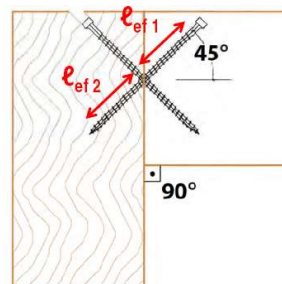


UNICUSANO
Università degli Studi Niccolò Cusano - Telematica Roma



OVERVIEW

- Le costruzioni in legno in Italia
- Evoluzione normativa
- Verifiche agli SLU e SLE
- Sistemi Costruttivi in Legno
- Progettazione sismica



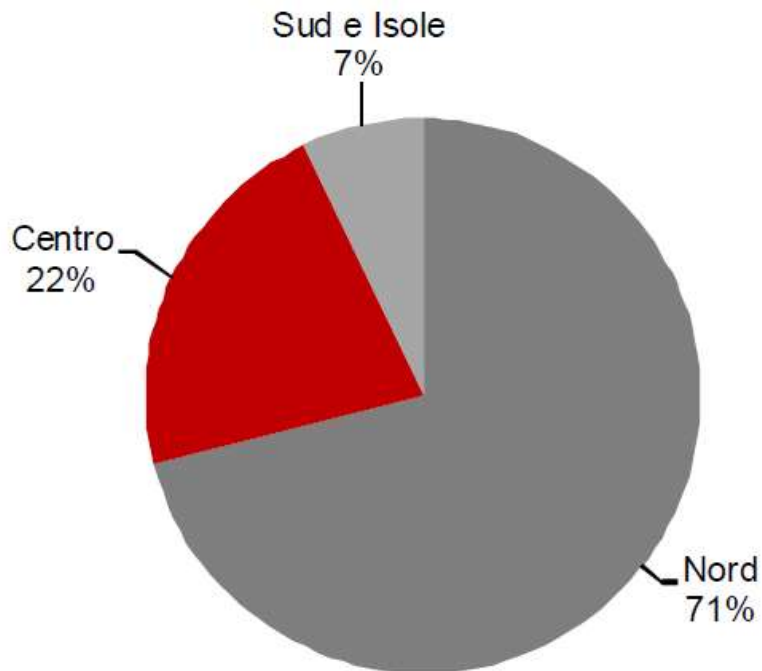


Le costruzioni in legno in Italia

- L'Italia ha assistito negli ultimi anni a una **vera e propria evoluzione del mercato del legno**. Se infatti fino a qualche tempo fa ad essere costruiti in legno erano soprattutto i tetti, oggi questo materiale comincia ad essere utilizzato per realizzare interi edifici, anche grazie alla disponibilità di nuovi prodotti ad alto contenuto tecnologico.
- **È l'unico settore dell'edilizia italiana che in questi anni di crisi riesce a crescere** persino sul fronte interno e a guardare con ottimismo ai prossimi anni.
- L'utilizzo del legno ha avuto una grande accelerazione negli ultimi anni in Italia, anche per **realizzare, in tempi ridotti, costruzioni sicure** nelle regioni colpite dal terremoto.
- A rendere competitive queste abitazioni sono **anche la certezza dei tempi e del prezzo finale**. Prezzo che non si discosta da quello delle costruzioni tradizionali.



Mercato delle costruzioni in legno



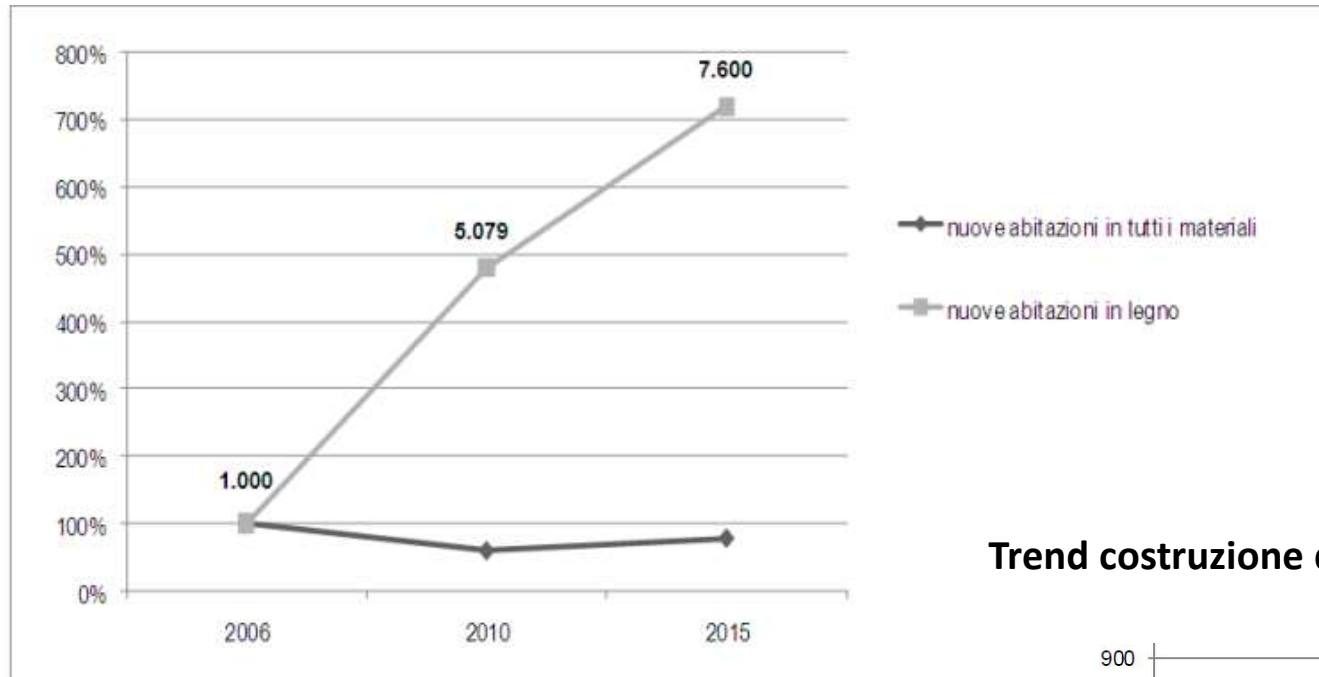
Al primo posto il Trentino/Alto Adige,
A distanza Veneto e Lombardia.
Seguono l'Emilia/Romagna, il Friuli, il Piemonte
e l'Abruzzo

Dati prima dell'emergenza sisma Emilia 2012

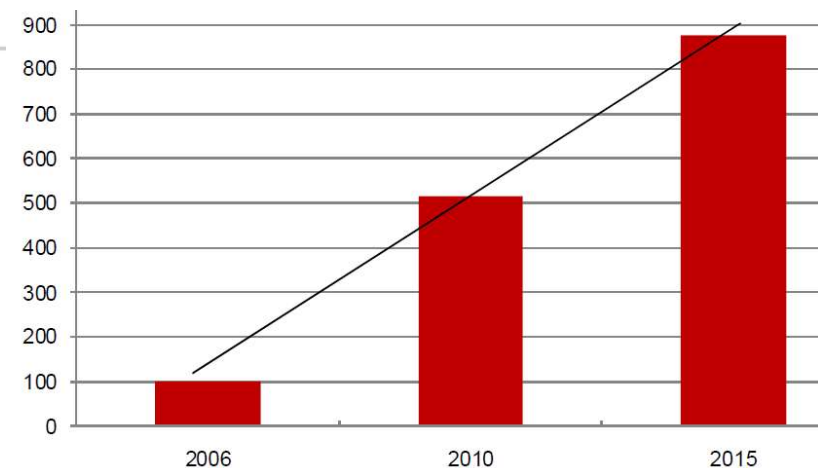
La richiesta di abitazioni in legno in Italia è cresciuta molto, ma soprattutto si è distribuita su tutto il territorio nazionale. Non più solo Trentino Alto Adige, ma in tutto il Nord Italia, al Centro e al Sud, e anche in città come Roma, Napoli, Bari.



Mercato delle costruzioni in legno



Trend costruzione di edifici non residenziali in legno
2006-2015. Numero edifici



Numero di abitazioni nel periodo 2006-2015 in tutti i materiali e in legno base 2006=100

Fonte: ricerca Gardino e Cresme



La progettazione delle strutture in Legno nella nuova NTC 2018

Ordine degli Ingegneri Roma
16 Aprile 2018

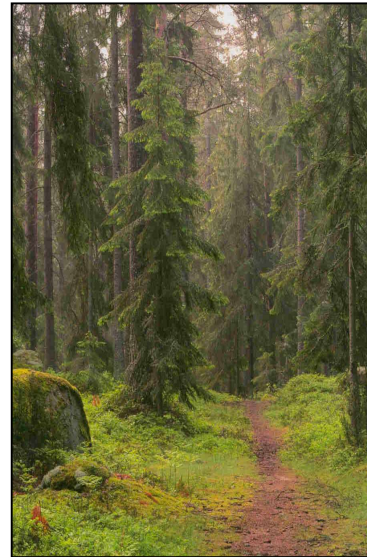
Recentemente pubblicato studio di settore da Federlegno





Motivazioni per la crescita delle costruzioni in legno

- Motivi ecologici
- Disponibilità di materia prima
- Tecnologia del legno
- Alto livello di prefabbricazione
- Rapidità di installazione
- **Inserimento delle strutture in legno nelle NTC08**





Riferimenti normativi per la progettazione di strutture in Legno:

- Eurocodice 5 - 2009 Progettazione delle Strutture di legno: UNI EN 1995-1-1 e UNI EN 1995-2
- Documento CNR DT 206/2007 Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno
- Norma Tecnica delle Costruzioni 2008

Recentemente aggiornati:

- **NTC 2018**
- **Documento CNR DT 206/2018** sottoposto ad inchiesta pubblica fino al 15/07/2018



NTC-18 Struttura Capitolo 4.4

4.4. COSTRUZIONI DI LEGNO

4.4.1. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

4.4.2. ANALISI STRUTTURALE

4.4.3. AZIONI E LORO COMBINAZIONI

4.4.4. CLASSI DI DURATA DEL CARICO

4.4.5. CLASSI DI SERVIZIO

4.4.6. RESISTENZA DI CALCOLO

4.4.7. STATI LIMITE DI ESERCIZIO

4.4.8. STATI LIMITE ULTIMI

4.4.9. COLLEGAMENTI

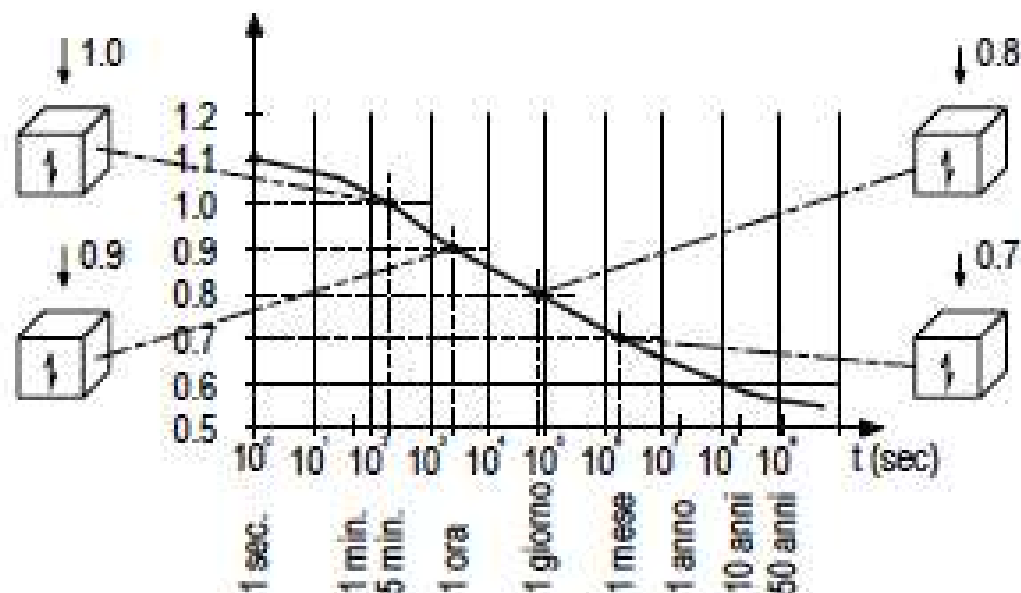


Le proprietà meccaniche del legno strutturale dipendono:

- 1- DURATA DEL CARICO
- 2- UMIDITÀ

LA NORMATIVA TIENE CONTO DI QUESTA DIPENDENZA
MEDIANTE DEGLI APPOSITI COEFFICIENTI CORRETTIVI
DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE:

$$K_{mod} - k_{def}$$



DURATA SOLLECITAZIONI

Classe di durata del carico	Durata accumulata del carico caratteristico	Esempi di carico
Permanente	più di 10 anni	peso proprio
Lunga durata	6 mesi -10 anni	carico di esercizio nei locali adibiti a deposito
Media durata	1 settimana - 6 mesi	carichi di esercizio in generale
Breve durata	meno di 1 settimana	neve (*)
Istantaneo	–	vento e carichi eccezionali

* In aree dove si registrano elevati carichi di neve per prolungati periodi di tempo è opportuno considerare una parte del carico come carico di media durata.



NTC08 = NTC18

4.4.4 CLASSI DI DURATA DEL CARICO

Le azioni di calcolo devono essere assegnate ad una delle classi di durata del carico elencate nella Tab. 4.4.I

Tabella 4.4.I - *Classi di durata del carico*

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi -10 anni
Media durata	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	--

Le classi di durata del carico si riferiscono a un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. Per un'azione variabile la classe appropriata deve essere determinata in funzione dell'interazione fra la variazione temporale tipica del carico nel tempo e le proprietà reologiche dei materiali.

Ai fini del calcolo in genere si può assumere quanto segue:

- il **peso proprio** e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura, appartengono alla **classe di durata permanente**;
- i **carichi permanenti** suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i carichi variabili relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di **lunga durata**;
- i **carichi variabili** degli edifici, ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di **media durata**;
- il sovraccarico da **neve** riferito al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è **da considerare in relazione alle caratteristiche del sito**;
- l'azione del **vento** e le azioni eccezionali in genere, appartengono alla classe di durata **istantanea**.



EFFETTO UMIDITA'

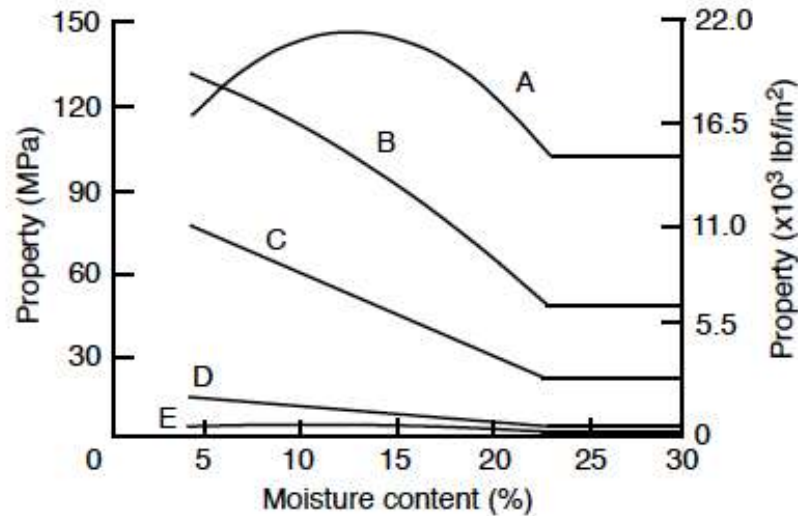
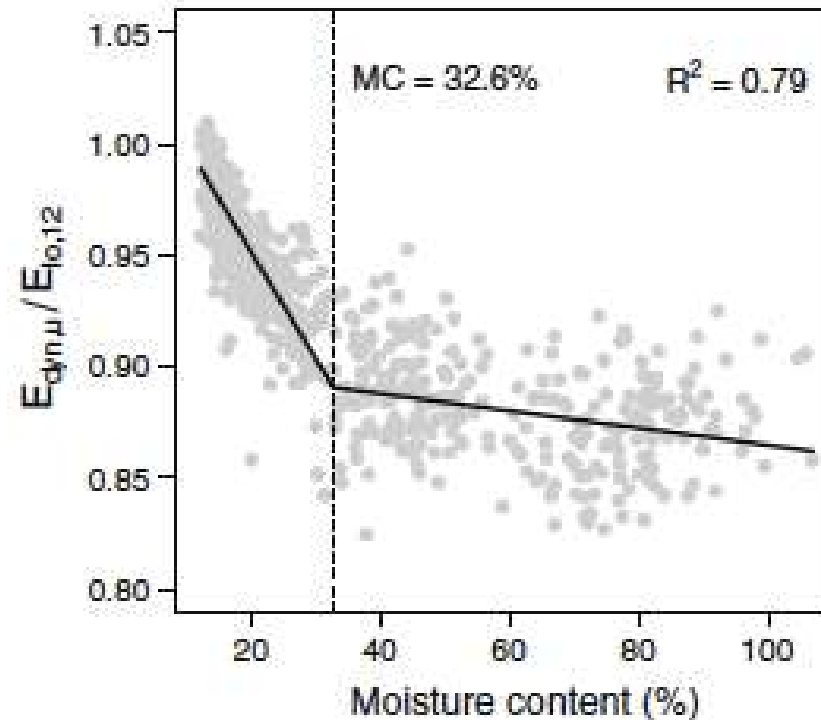


Figure 4-11. Effect of moisture content on wood strength properties. A, tension parallel to grain; B, bending; C, compression parallel to grain; D, compression perpendicular to grain; and E, tension perpendicular to grain.





La progettazione delle strutture in Legno nella nuova NTC 2018

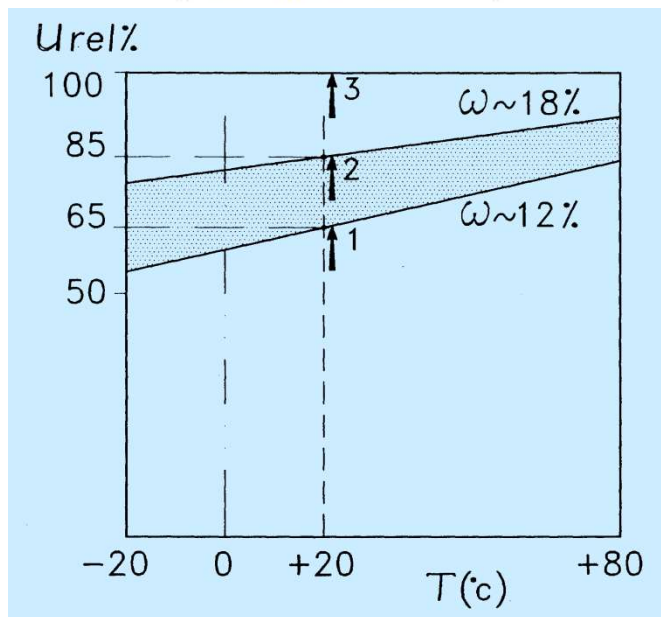
Ordine degli Ingegneri Roma
16 Aprile 2018

4.4.5 CLASSI DI SERVIZIO

Le strutture (o parti di esse) devono essere assegnate ad una delle 3 classi di servizio elencate nella Tab. 4.4.II.

Tabella 4.4.II - *Classi di servizio*

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.



Possono appartenere alla classe di servizio 1 gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all'interno di edifici.

Possono appartenere alla classe di servizio 2 gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare.

Possono appartenere alla classe di servizio 3 gli elementi lignei posti all'esterno direttamente esposti alle intemperie.



Valori di K_{mod} : tabella 4.4.IV NTC 2008

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

Materiale	Riferimento	Classe di servizi	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
	EN 14080	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	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

Non vi è differenza tra legno massiccio e legno lamellare

L' influenza della colla è rilevante

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				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
	EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90



Estratto NTC18

Tab. 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					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio	UNI EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
Legno lamellare incollato (*)	UNI EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
LVL	UNI EN 14374, UNI EN 14279	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	UNI EN 636:2015	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Pannello di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312 :2010	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		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	1,10
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MBH.HLS1 o 2	1 2	0,20 -	0,40 -	0,60 -	0,80 0,45	1,10 0,80
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

New

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

(*) I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

New



4.4.6 RESISTENZA DI CALCOLO

La durata del carico e l'umidità del legno influiscono sulle proprietà resistenti del legno.

I valori di calcolo per le proprietà del materiale a partire dai valori caratteristici si assegnano quindi con riferimento combinato alle classi di servizio e alle classi di durata del carico.

Il valore di calcolo X_d di una proprietà del materiale (o della resistenza di un collegamento) viene calcolato mediante la relazione:

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M} \quad (4.4.1)$$

dove:

X_k è il valore caratteristico della proprietà del materiale, come specificato al § 11.7, o della resistenza del collegamento. Il valore caratteristico X_k può anche essere determinato mediante prove sperimentali sulla base di prove svolte in condizioni definite dalle norme europee applicabili;

γ_M è il coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale, i cui valori sono riportati nella Tab. 4.4.III;

k_{mod} è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura. I valori di k_{mod} sono forniti nella Tab. 4.4.IV.

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.



Coefficienti di sicurezza del materiale

NTC2018

Tab. 4.4.III - Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	Colonna A γ_M	Colonna B γ_M
combinazioni fondamentali		
legno massiccio	1,50	1,45
legno lamellare incollato	1,45	1,35
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
pannelli di particelle o di fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
unioni	1,50	1,40
combinazioni eccezionali	1,00	1,00

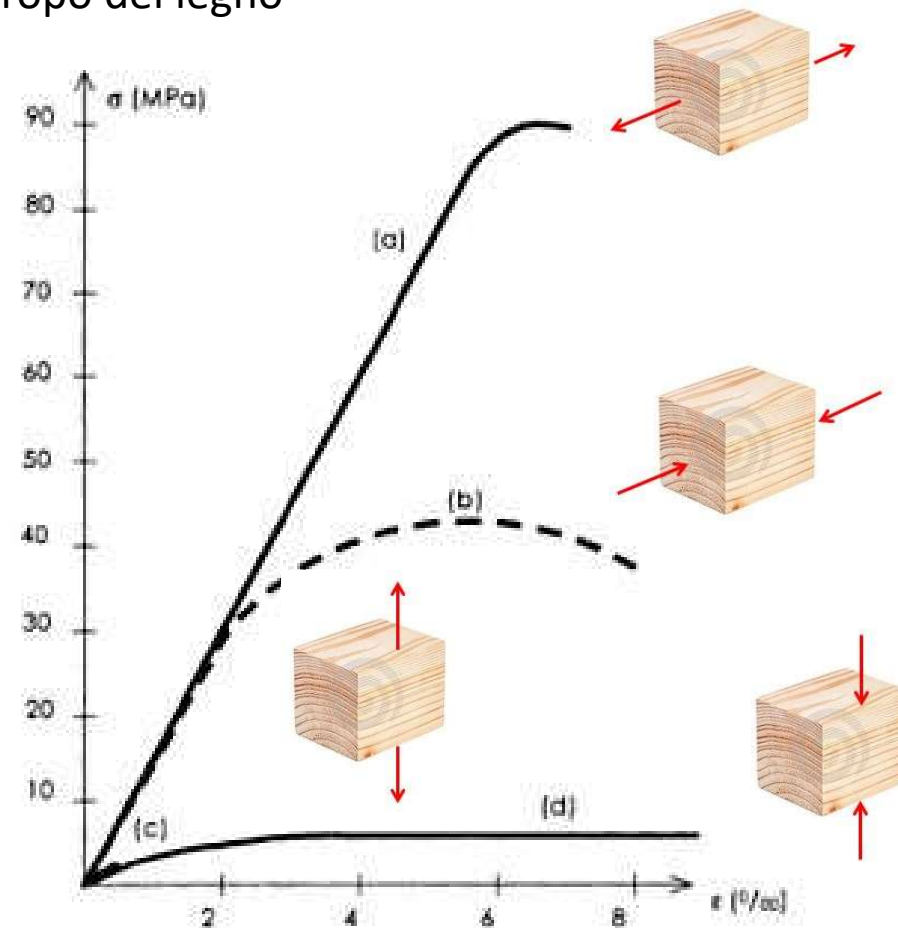
Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

EC5

Combinazioni fondamentali:	
Legno massiccio	1,3
Legno lamellare incollato	1,25
LVL, compensato, OSB,	1,2
Pannelli di particelle	1,3
Pannelli di fibre, alta densità	1,3
Pannelli di fibre, media densità	1,3
Pannelli di fibre, MDF	1,3
Pannelli di fibre, bassa densità	1,3
Connessioni	1,3
Mezzi di unione a piastra metallica punzonata	1,25

Il coefficiente di sicurezza è valutato secondo la colonna A della tabella 4.4.III. **Si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, per produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo del materiale dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 15%.** Le suddette produzioni devono essere inserite in un sistema di qualità di cui al § 11.7.

Comportamento ortotropo del legno



Curve tipiche tensione-deformazione per **legno** netto di conifera, per tensioni di trazione (a) e compressione (b) parallele alla direzione delle fibre, e per trazione (c) e compressione (d) ortogonali alla direzione delle fibre.



La progettazione delle strutture in Legno nella nuova NTC 2018

Ordine degli Ingegneri Roma
16 Aprile 2018

NORMA
EUROPEA

Legno strutturale Classi di resistenza

UNI EN 338

		Softwood species											Hardwood species								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Strength properties (in N/mm²)																					
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Stiffness properties (in kN/mm²)																					
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Density (in kg/m³)																					
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.

NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.

NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.

NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.



4.4.7 STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni applicate, degli stati di coazione, delle variazioni di umidità e degli scorrimenti nelle unioni, devono essere contenute entro limiti accettabili, sia in relazione ai danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia in relazione ai requisiti estetici ed alla funzionalità dell'opera.

In generale nella valutazione delle deformazioni delle strutture si deve tener conto della deformabilità dei collegamenti.

Considerando il particolare comportamento reologico del legno e dei materiali derivati dal legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine.

La deformazione istantanea si calcola usando i valori medi dei moduli elastici per le membrature e il valore istantaneo del modulo di scorrimento dei collegamenti.

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti.

Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale. I valori di k_{def} sono riportati nella Tab. 4.4.V.



Verifiche SLE di elementi monodimensionali

Deformazione istantanea + **Deformazione differita**
(carichi di breve durata) **(carichi prolungati nel tempo)**

- La **deformazione istantanea** si calcola usando i valori medi dei moduli elastici per le membrature e il valore istantaneo del modulo di scorrimento dei collegamenti.
- La **deformazione a lungo termine** può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$ per le membrature e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti.
- Il **coefficiente** k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def})}$$

I valori del coefficiente k_{def} forniti in NTC 2008 coincidono con quelli proposti nell'Istruzioni CNR e nell'Eurocodice 5.



Valori di k_{def} : Tabella 4.4.V bozza revisione NTC 2008

Tab. 4.4.V -Valori di k_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio		
		1	2	3
Legno massiccio	UNI EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Legno lamellare incollato *	UNI EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	UNI EN 14374, UNI EN 14279	0,60	0,80	2,00
Compensato	UNI EN 636:2015		0,80	-
			0,80	1,00
			0,80	1,00
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	UNI EN 300:2006	OSB/2	2,25	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312:2010	Parte 4	2,25	-
		Parte 5	2,25	3,00
		Parte 6	1,50	-
		Parte 7	1,50	2,25
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB.LA	2,25	-
		HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA	2,25	-
		MDF.HLS	2,25	3,00

Per materiale posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione delle fibre, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

* I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.



DEFORMABILITA' A TAGLIO

Nelle travi in legno, a causa dei **modesti valori del Modulo Elastico a Taglio "G"**, è fondamentale considerare nel calcolo della freccia anche la parte dovuta al taglio.

L'abbassamento si ottiene per integrazione dell'equazione della linea elastica che tiene conto del contributo deformativo dovuto al taglio:

$$\longrightarrow \frac{d^2\eta}{dx^2} = -\frac{M}{EJ} + \frac{dT}{dx} \cdot \frac{\chi}{GA}$$

Per una trave su due appoggi con carico e sezione costante:

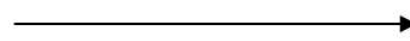
$$\longrightarrow f_{\max} = \frac{5ql^4}{384E_{0,mean}J} + \frac{\chi ql^2}{8G_{mean}A}$$

Il contributo della deformazione a taglio, rispetto a quella di flessione, diventa non trascurabile quando la snellezza della trave h/l assume valori maggiori di $1/10$.

Esempio:

L.M. C24; $E/G=15.94$

$h/l = 1/10$



$$\frac{f_T}{f_M} = 0.154$$

Nell'acciaio e nel calcestruzzo abbiamo **rapporti E/G modesti**, questo è il motivo per cui il contributo alla **deformazione del taglio è trascurabile**.

ACCIAIO; $E/G = 2$

$h/l = 1/10$



$$\frac{f_T}{f_M} = 0.019$$



L Deformazione istantanea
n (carichi di breve durata)

+

Deformazione differita
(carichi prolungati nel tempo)

Roma

**METODO RIGOROSO
PER IL CALCOLO DELLA DEFORMAZIONE FINALE**

$$u_{fin} = \mathfrak{I} \left[\left(G_k + \psi_{21} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{2i} Q_{ik}) \right) \cdot (1 + k_{def}) + Q_{1k} (1 - \psi_{21}) \right]$$

CNR 206

Deformazione a lungo termine della combinazione di carico quasi permanente

Deformazione istantanea dovuta alla sola aliquota mancante, nella combinazione quasi permanente, del carico accidentale prevalente

$$\Rightarrow u_{fin} = \mathfrak{I} \left(G_k \cdot (1 + k_{def}) + Q_{1k} \cdot (1 + \psi_{21} k_{def}) + \sum_{i=2}^{i=n} Q_{ik} \cdot (\psi_{2i} + \psi_{2i} k_{def}) \right)$$

Anche l'**EC5** introduce il metodo semplificato per la determinazione delle deformazioni finali per strutture costituite da membrature, componenti e connessioni che abbiano il medesimo comportamento viscoso e sotto l'ipotesi che le relazioni fra carichi e deformazioni siano lineari. Tale semplificazione è presentata nella seguente forma:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} k_{def})$$

$$u_{fin,Qi} = u_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,1} k_{def})$$

Che evidentemente coincide con la relazione ricavata precedentemente per il metodo semplificato.

EC5

$$\Rightarrow u_{fin} = \mathfrak{I} \left(G_k \cdot (1 + k_{def}) + Q_{1k} \cdot (1 + \psi_{21} k_{def}) + \sum_{i=2}^{i=n} Q_{ik} \cdot (\psi_{0i} + \psi_{2i} k_{def}) \right)$$



NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018

La freccia (valore dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento) netta di un elemento inflesso è data dalla somma della freccia dovuta ai soli carichi permanenti, della freccia dovuta ai soli carichi variabili, dedotta dalla eventuale controfreccia (qualora presente).

Nei casi in cui sia opportuno limitare la **freccia istantanea** dovuta ai soli **carichi variabili** nella **combinazione di carico rara**, in mancanza di più precise indicazioni, si raccomanda che essa sia **inferiore a $L/300$** , essendo **L la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.**

Nei casi in cui sia opportuno limitare **la freccia finale**, in mancanza di più precise indicazioni, si raccomanda che essa sia **inferiore a $L/200$** , essendo **L la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.**

Per il calcolo della freccia finale si potrà fare utile riferimento ai documenti di comprovata validità cui al capitolo 12.

I limiti indicati per la freccia costituiscono solo **requisiti minimi indicativi**. Limitazioni più severe possono rivelarsi necessarie in casi particolari, ad esempio in relazione ad elementi portati non facenti parte della struttura. In generale, nel caso di impalcati, **si raccomanda la verifica della compatibilità della deformazione con la destinazione d'uso.**

Sono stati introdotti i limiti di deformabilità

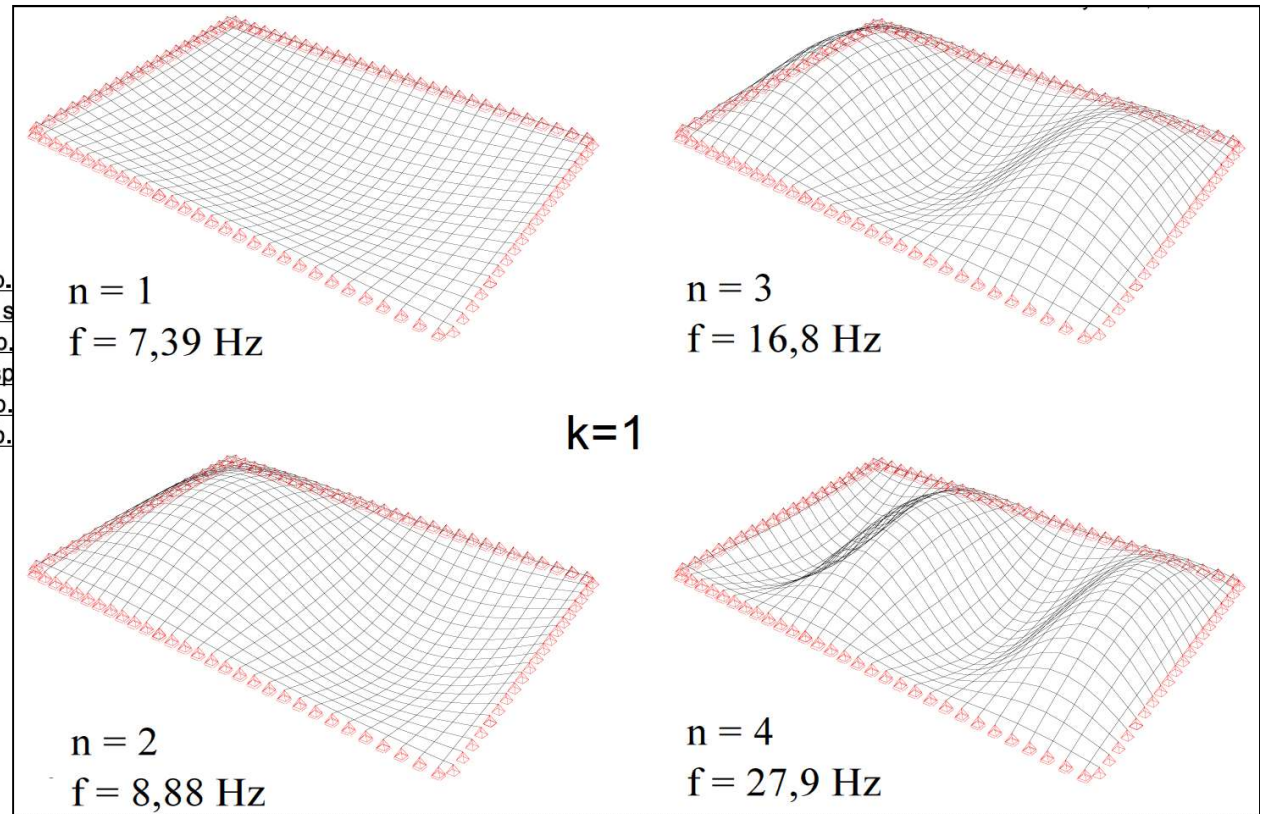
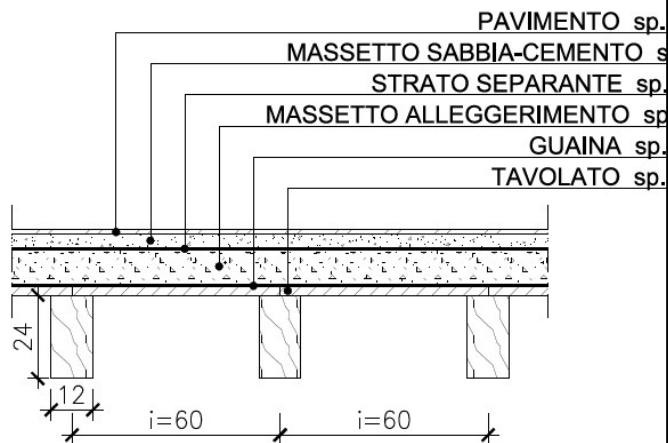
VERIFICHE

$u_{2,in} \leq L/300$ istantanea da variabile (raro)

$u_{2,fin} \leq L/200$ totale da variabile
(istant. su raro e differita su quasi perm.)

Stati limite di esercizio

- Vibrazione (nessuna indicazione nelle NTC18)
- EC5
- CNR





Sistemi Costruttivi

I sistemi costruttivi ad oggi più diffusi sono :

- **Strutture a telaio “Pesante”** sistema costruttivo ad intelaiatura di legno
- **Strutture a telaio Leggero (Platform frame and Baloon frame)** sistema costruttivo ad intelaiatura di legno
- **XLAM** pannelli in legno massiccio a strati incrociati
- **BLOCKBAU** sistema costruttivo massiccio

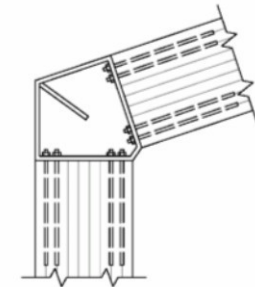
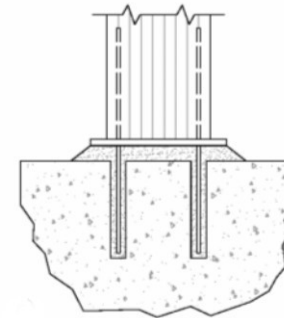
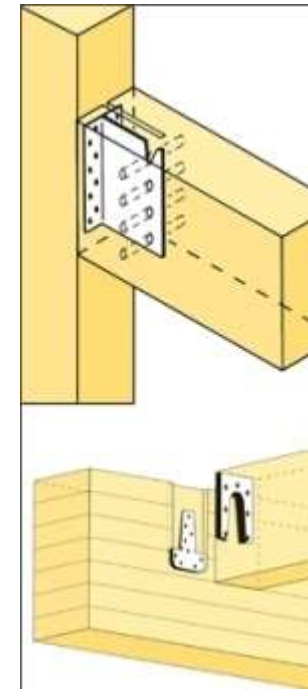
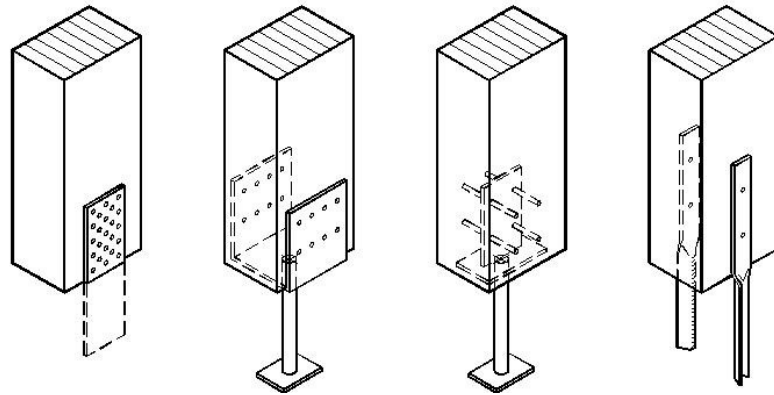


Sistema costruttivo a telaio
pesante





Connessioni





Capannoni industriali



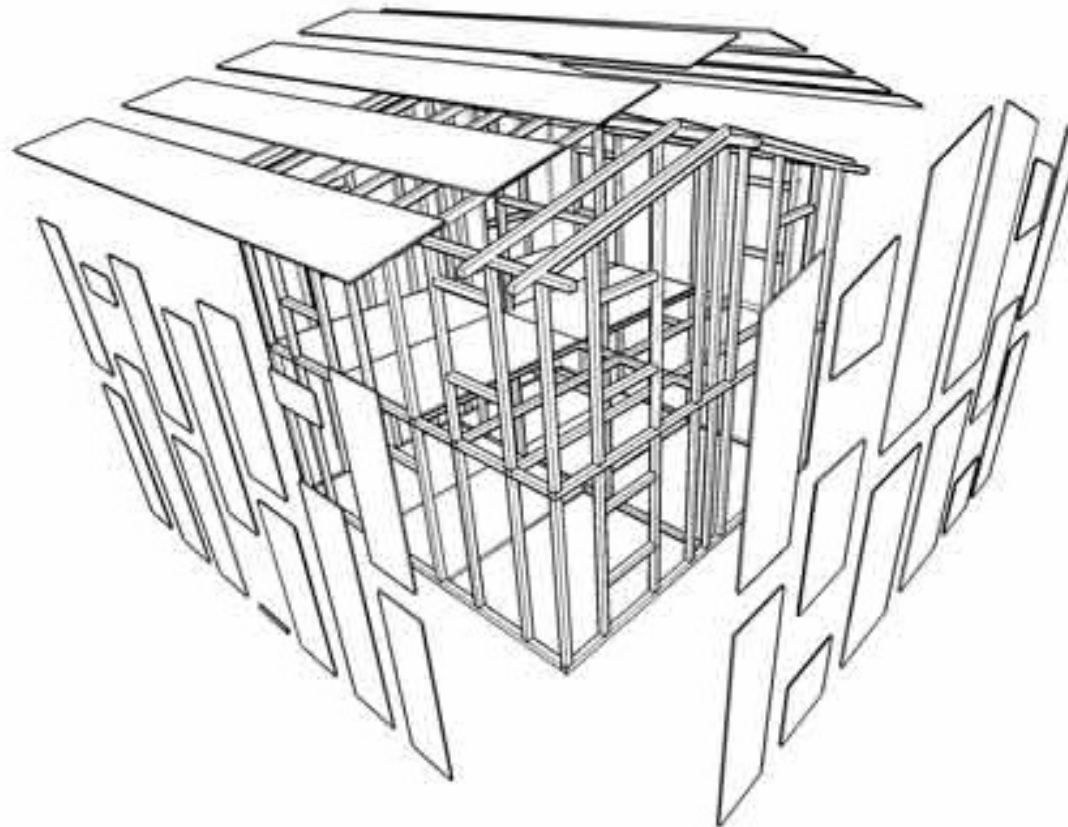
Controventi di
parete e di falda

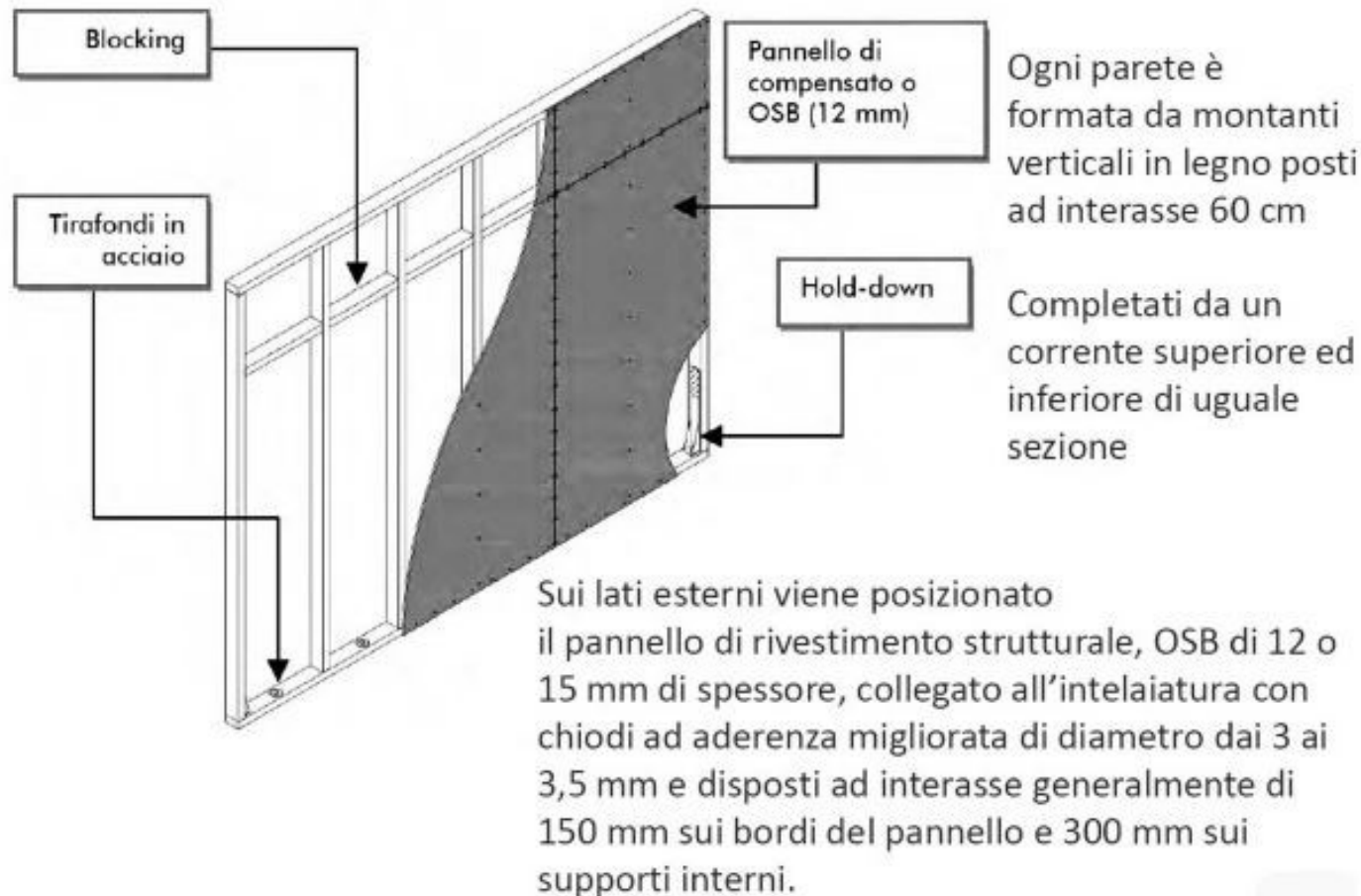




Sistemi a telaio leggero

Gli edifici a struttura intelaiata di legno vengono di regola costruiti piano per piano ("**platform frame**"). Occasionalmente (soprattutto in America) vengono impiegati anche elementi di altezza pari a più piani ("**balloon frame**").



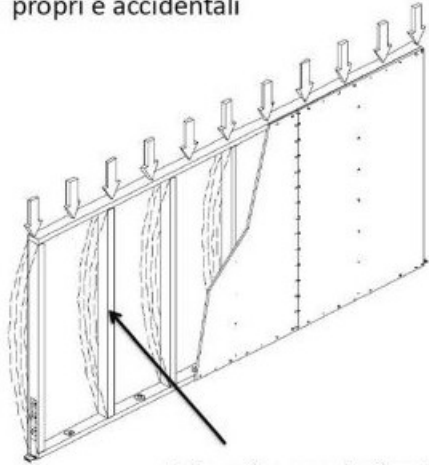




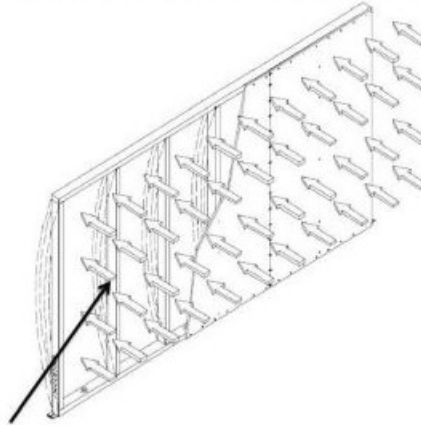
La progettazione delle strutture in Legno nella nuova NTC 2018

Ordine degli Ingegneri Roma
16 Aprile 2018

- Resistenza ai carichi verticali, pesi propri e accidentali



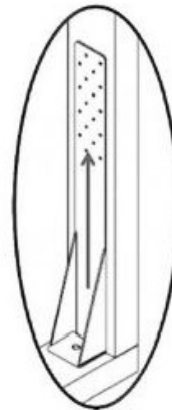
- Resistenza ai carichi orizzontali agenti nel piano della parete, vento.



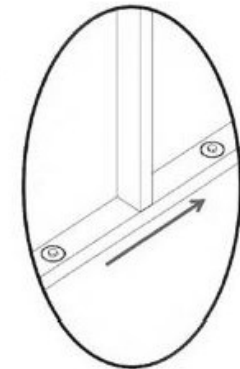
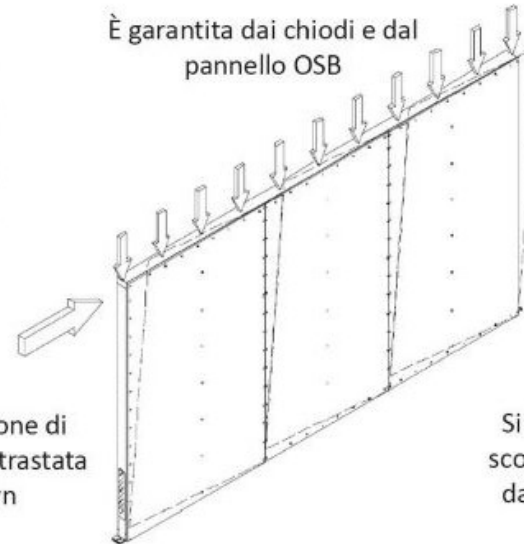
Entrambe queste funzioni sono svolte dai montanti verticali in legno lamellare

- Resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete, sisma e vento.

È garantita dai chiodi e dal pannello OSB



Si genera un azione di sollevamento contrastata dall'Holddown

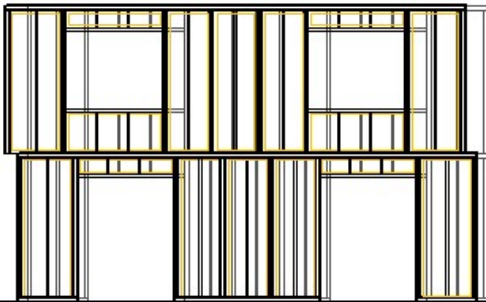


Si genera un azione di scorrimento contrastata dalle barre o tirafondi



SISTEMA PLATFORM FRAME – COMPORTAMENTO SISMICO

DEFORMAZIONI SOTTO CARICHI ORIZZONTALI



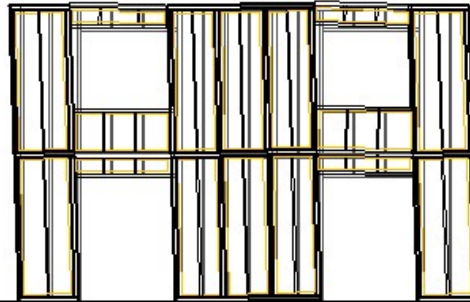
Scorrimento relativo

Le pareti scorrono rispetto alla fondazione e all'interpiano



Angolari – squadrette a L o
fissaggi a taglio della trave
dormiente

SCARSA CAPACITA' DISSIPATIVA



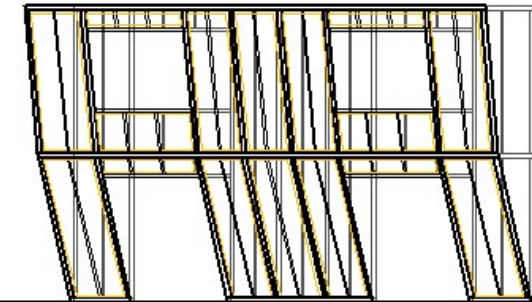
Effetto rocking

Ogni singolo setto tende a ruotare
rispetto alla base e a sollevarsi



Holdown – chiodi incrociati e
fissaggi a trazione della trave
dormiente

MEDIA CAPACITA' DISSIPATIVA



Deformazione a taglio

I pannelli si deformano a taglio
mantenendo i lati orizzontali paralleli

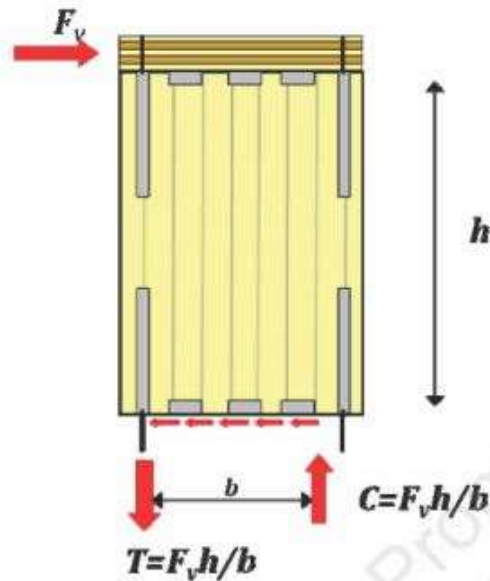
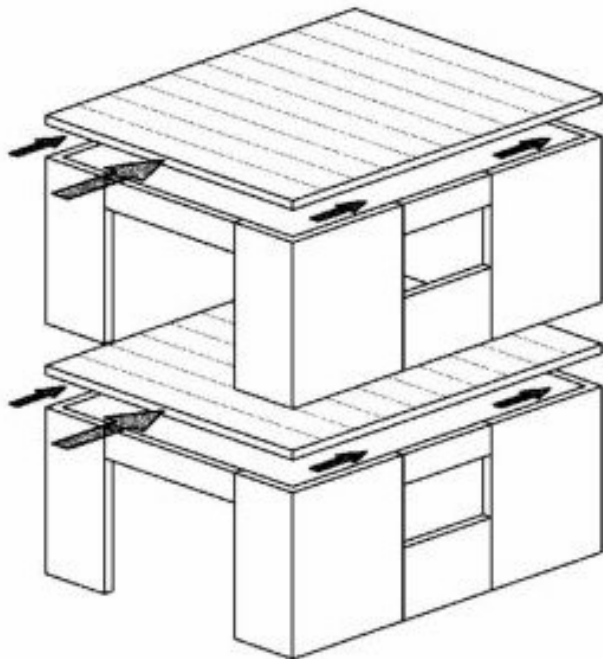
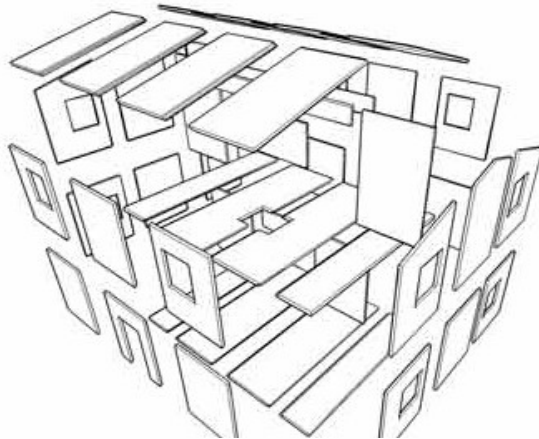


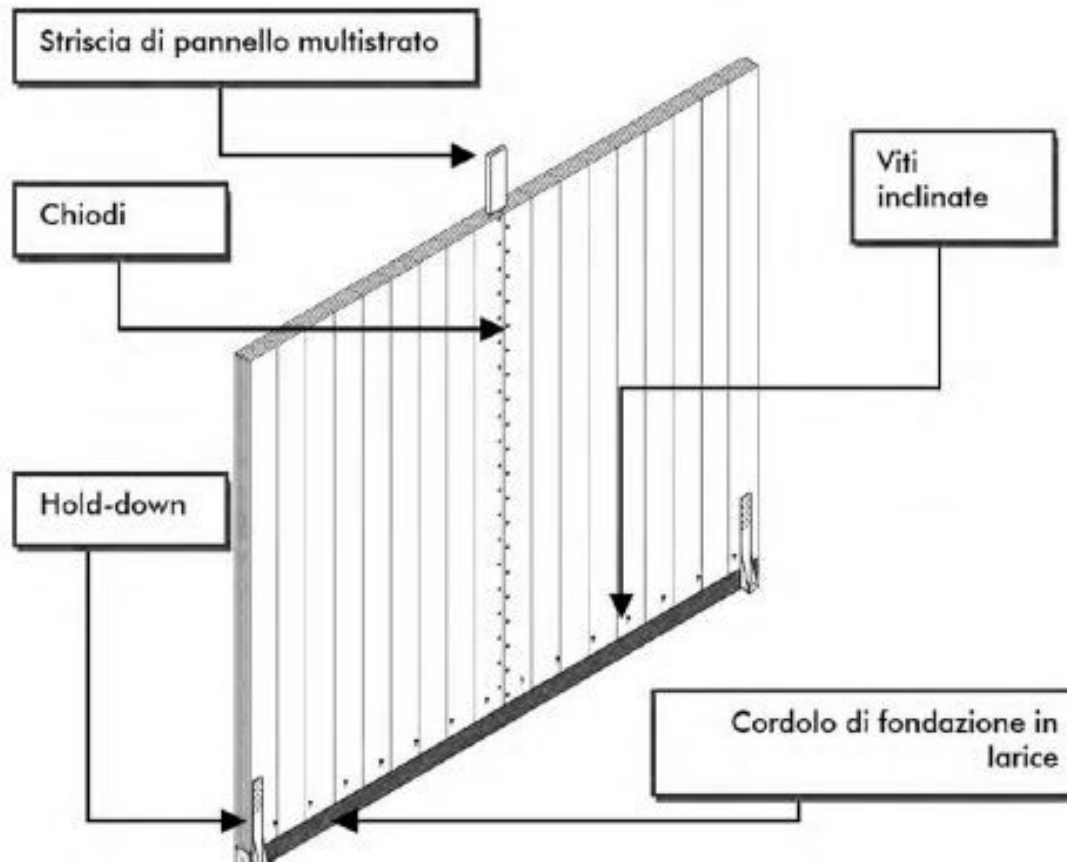
Chiodatura con chiodi o
cambrette tra pannello e
intelaiatura in legno

ELEVATA CAPACITA' DISSIPATIVA



Sistema a pannelli di legno massiccio a strati incrociati - XLam





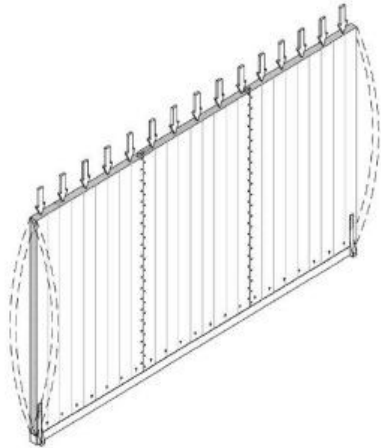
Ogni parete è formata mediante l'assemblaggio di più pannelli (di larghezza 1,25 m) collegati fra di loro mediante collegamenti meccanici realizzati con l'utilizzo di **strisce di pannello multistrato e viti o chiodi**.



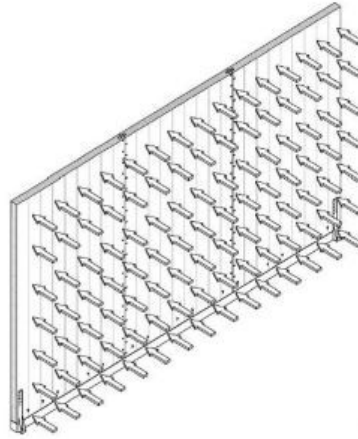
La progettazione delle strutture in Legno nella nuova NTC 2018

Ordine degli Ingegneri Roma
16 Aprile 2018

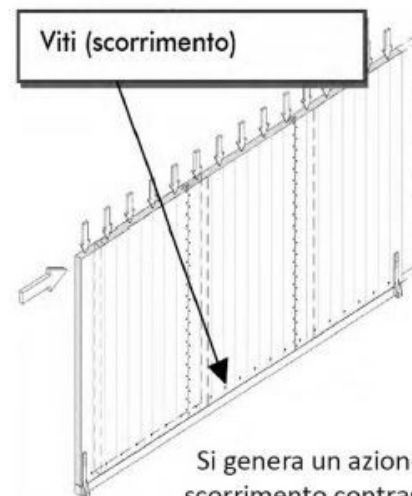
Resistenza ai carichi verticali, pesi propri e accidentali



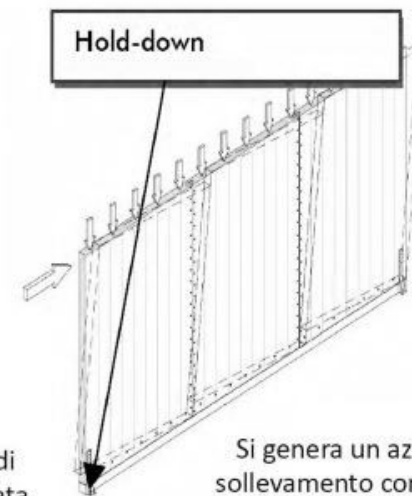
Resistenza ai carichi orizzontali agenti nel piano della parete, vento.



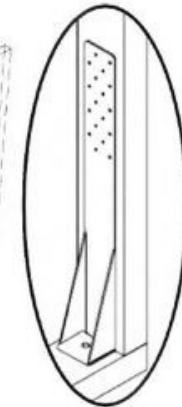
Resistenza alle azioni orizzontali agenti nel piano della parete, sisma e vento.



Si genera un azione di scorrimento contrastata dalle viti o angolari metallici



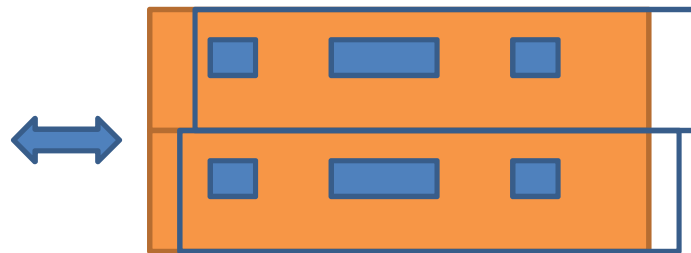
Si genera un azione di sollevamento contrastata dall'Hold-down





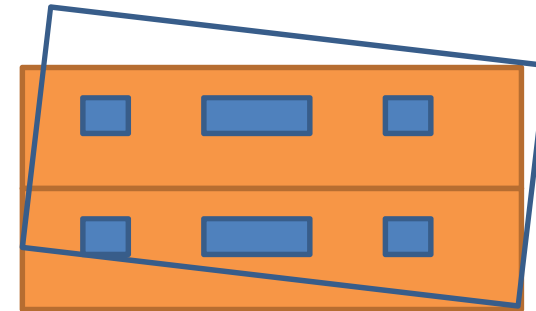
SISTEMA XLAM

Comportamento sotto azioni sismiche



Meccanismo di rottura per
taglio scorrimento

SEMPRE FRAGILE



Meccanismo di rottura per
pressoflessione - effetto rocking

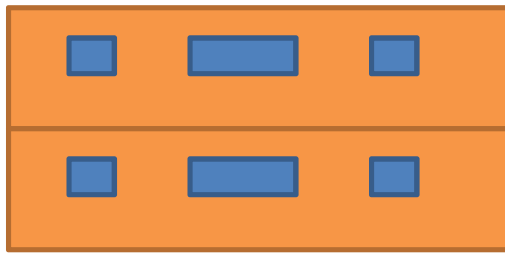
DUTTILE SOLO SE GLI HOLDOWN SONO
PROGETTATI CORRETTAMENTE





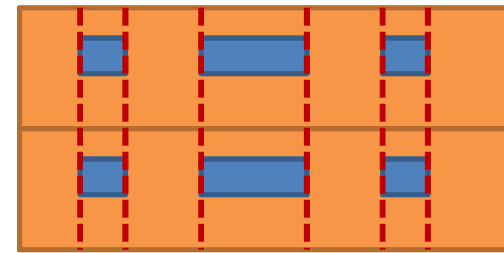
PARAMETRI CHE INFLUENZANO IL FATTORE DI STRUTTURA

1. pareti di pannelli di grandi dimensioni non giuntate verticalmente



POCHE CONNESSIONI

2. pareti di pannelli giuntate verticalmente



TANTE CONNESSIONI

**IL FATTORE DI STRUTTURA RISULTA «PROPORZIONALE»
AL NUMERO DI CONNESSIONI PRESENTI NELL'EDIFICIO**

NUMERO DI CONNESSIONI  Capacità dissipativa
Iperstaticità interna



Sistema costruttivo massiccio – Blockbau (tedesco) o Log House (inglese)

Le costruzioni massicce sono costituite da elementi massicci disposti orizzontalmente che, assemblati per comporre una parete massiccia, assolvono sia funzione portante che di irrigidimento. Il collegamento degli elementi massicci allo spigolo dell'edificio viene realizzato mediante intagli o connessioni di carpenteria classica.





Comportamento sismico di strutture in legno





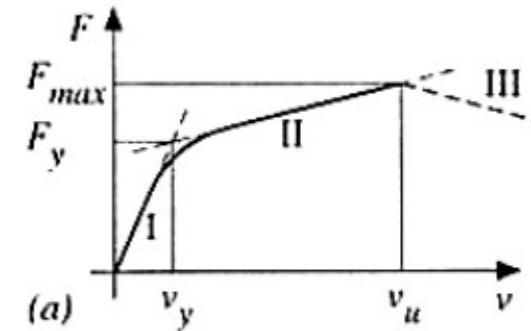
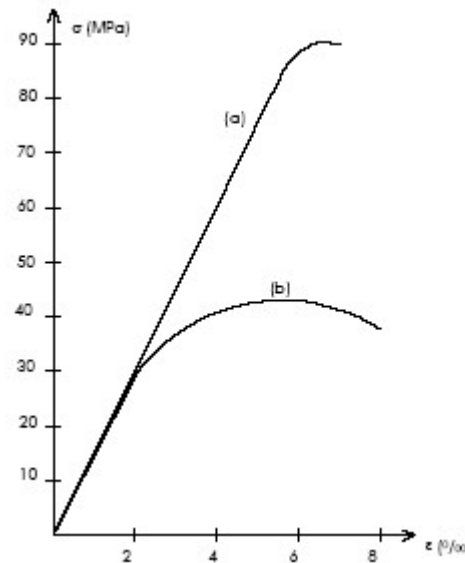
Risposta sismica del legno

DIFETTI

- Comportamento **fragile**

PREGI

- **Leggerezza**
- Carichi breve durata
- Capacità dissipativa nei nodi





IL LEGNO HA UN COMPORTAMENTO ELASTO-FRAGILE



Sono i **giunti metallici** a conferire alla struttura un adeguato **comportamento dissipativo** e quindi la capacità di resistere alle azioni sismiche

Le normative attualmente in vigore (EC8, NTC 2008) «impongono»:

- di progettare le membrature lignee in campo elastico
- di concentrare le zone dissipative nei giunti metallici semirigidi



Spettri di risposta di progetto

1) Spettro di progetto allo Stato Limite SLV

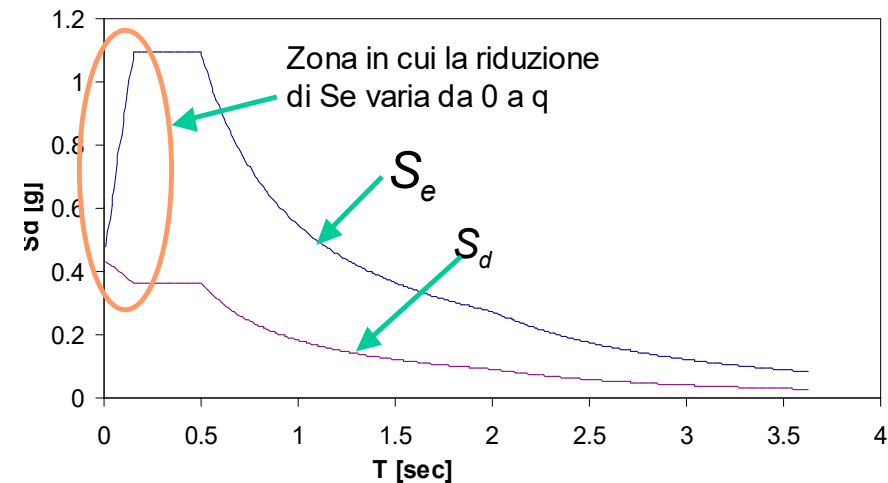
- Si ottiene dividendo per q (FATTORE DI STRUTTURA) le ordinate dello spettro elastico (riduzione grazie alla duttilità della struttura)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q} \left[\frac{T}{T_B} + \frac{q}{F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q}$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \quad S_d = a_g \cdot S \cdot \frac{F_0}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T} \right]$$



$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_D = 4 \frac{a_g}{g} + 1.6$$



STRUTTURE IN LEGNO

SISTEMI A PARETE

DISSIPATIVI

$$2.5 < q < 5$$

- **XLAM**
- Platform Frame



NON DISSIPATIVI

$$q = 1.5$$

- Blockbau
- Log house



SISTEMI A TELAIO E RETICOLARI

DISSIPATIVI

$$2.5 < q < 4$$

- Giunti con connettori
a gambo cilindrico



NON DISSIPATIVI

$$q = 1.5$$

- Giunti incollati o di
carpenteria





Estratto normativo – NTC 08

Tabella 7.7.I - Tipologie strutturali e fattori di struttura massimi q_0 per le classi di duttilità

Classe		q_0	Esempi di strutture
A	Strutture aventi una alta capacità di dissipazione energetica	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 (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del § 7.7.3)
		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 (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del § 7.7.3)
		2,5	Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del § 7.7.3)

$d \leq 12 \text{ mm}$
 $t \geq 10d$

Platform

$d \leq 12 \text{ mm}$
 $t \geq 8d$

Strutture isostatiche in genere, archi a due cerniere, travi reticolari con connettori, in mancanza di specifiche valutazioni, sono da considerare come strutture aventi una scarsa capacità di dissipazione energetica, alle quali si deve dunque assegnare un fattore di struttura q_0 non superiore a 1,5.



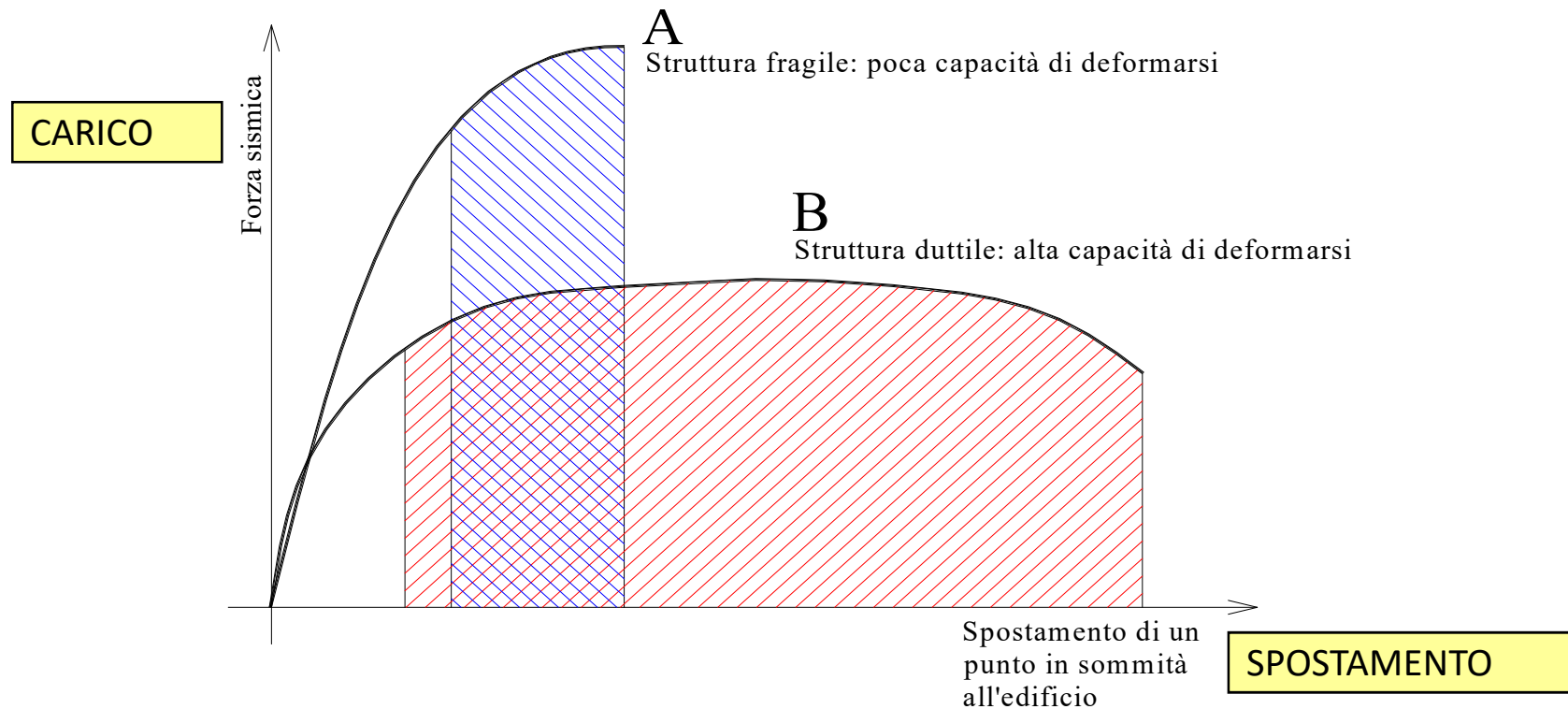
Estratto normativo – NTC 18

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Tipologia strutturale	q_0	
	CD "A"	CD "B"
Costruzioni di legno (§ 7.7.3)		
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati	3,0	2,0
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	2,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	Platform 5,0	3,0
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti	XLam	2,5



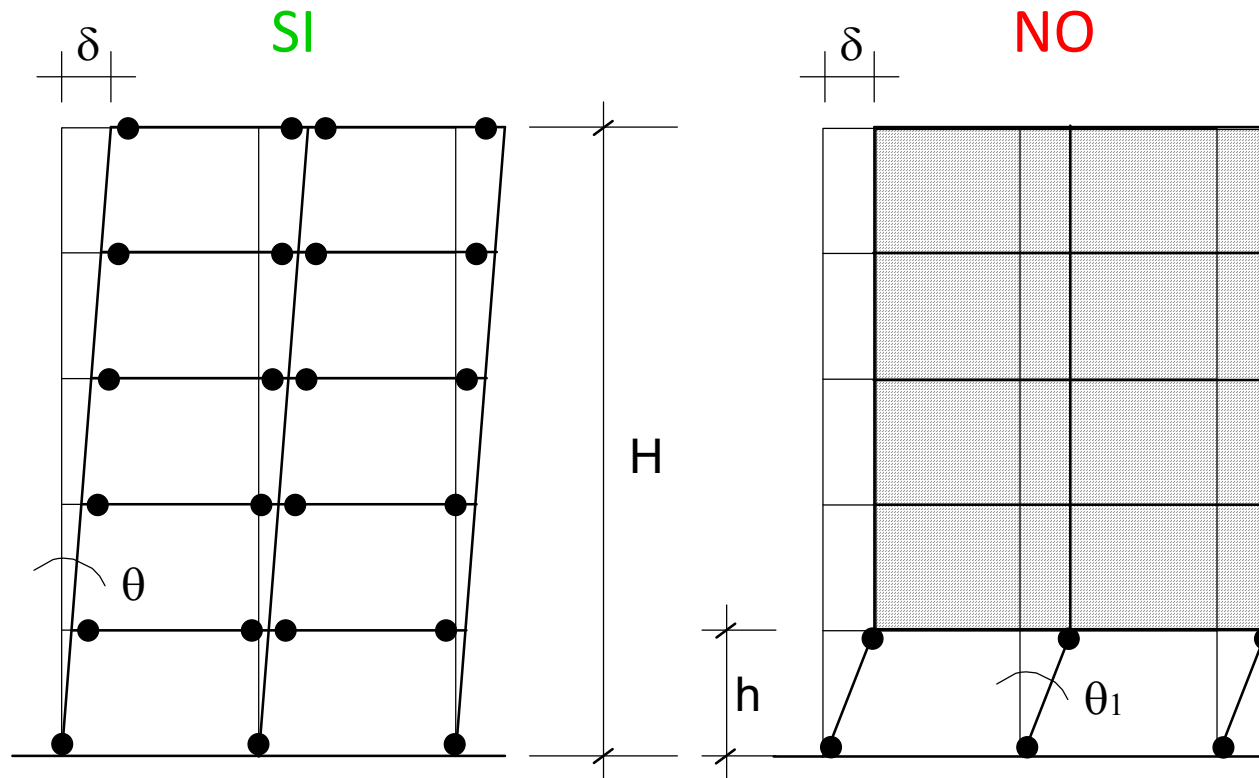
La **duttilità** è fondamentale in zona sismica, perché **rappresenta la capacità della struttura di deformarsi prima del collasso** e quindi è una misura della quantità di energia fornita dal sisma che l'edificio può dissipare





2) In UNA STRUTTURA IPERSTATICA, la duttilità delle sezioni più critiche consente una distribuzione delle sollecitazioni, consentendo così di raggiungere carichi superiori;

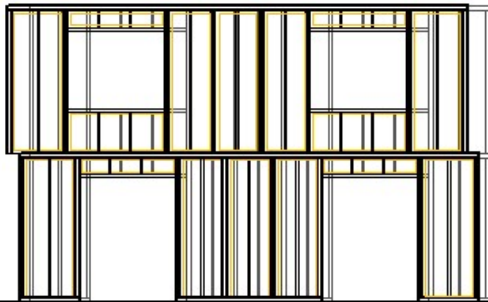
Si persegue un meccanismo duttile





SISTEMA PLATFORM FRAME – COMPORTAMENTO SISMICO

DEFORMAZIONI SOTTO CARICHI ORIZZONTALI



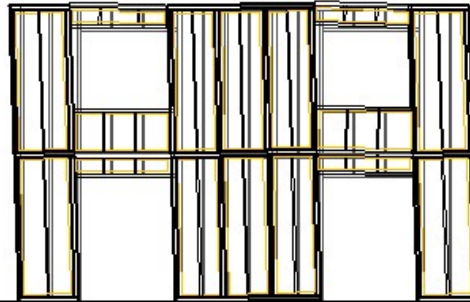
Scorrimento relativo

Le pareti scorrono rispetto alla fondazione e all'interpiano



Angolari – squadrette a L o
fissaggi a taglio della trave
dormiente

SCARSA CAPACITA' DISSIPATIVA



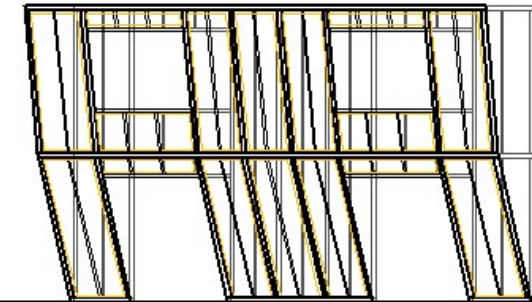
Effetto rocking

Ogni singolo setto tende a ruotare
rispetto alla base e a sollevarsi



Holdown – chiodi incrociati e
fissaggi a trazione della trave
dormiente

MEDIA CAPACITA' DISSIPATIVA



Deformazione a taglio

I pannelli si deformano a taglio
mantenendo i lati orizzontali paralleli



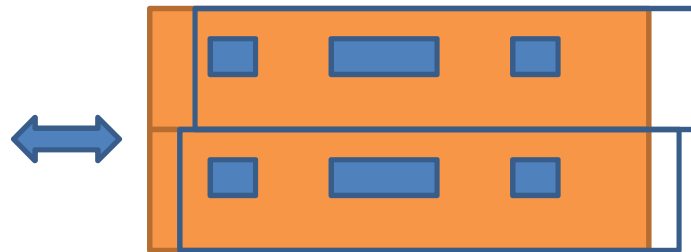
Chiodatura con chiodi o
cambrette tra pannello e
intelaiatura in legno

ELEVATA CAPACITA' DISSIPATIVA



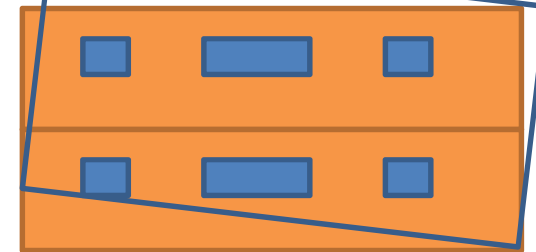
SISTEMA XLAM

Comportamento sotto azioni sismiche



Meccanismo di rottura per
taglio scorrimento

SEMPRE FRAGILE



Meccanismo di rottura per
pressoflessione - effetto rocking

DUTTILE SOLO SE GLI HOLDOWN SONO
PROGETTATI CORRETTAMENTE





PROGETTO DI STRUTTURE IN LEGNO



Grazie per l'attenzione

Prof. Barbara Ferracuti,

Università degli studi Niccolò Cusano, Roma

barbara.ferracuti@unicusano.it



UNICUSANO

Università degli Studi Niccolò Cusano - Telematica Roma