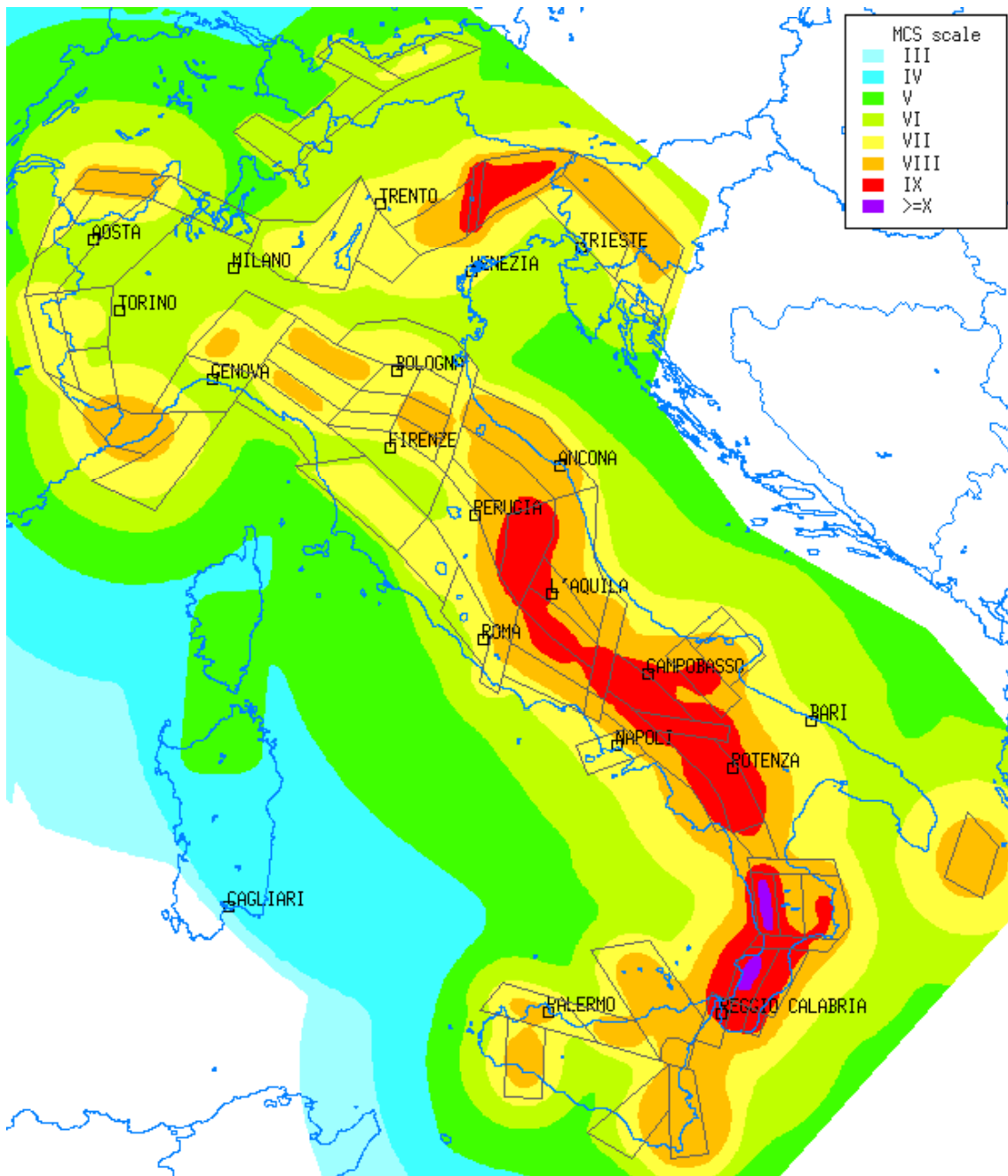


# Progettazione sismica delle strutture di legno

Maurizio Piazza, Roberto Tomasi



Progettazione sismica delle strutture di legno  
alla luce dei nuovi riferimenti normativi

## **COLLEGAMENTI**

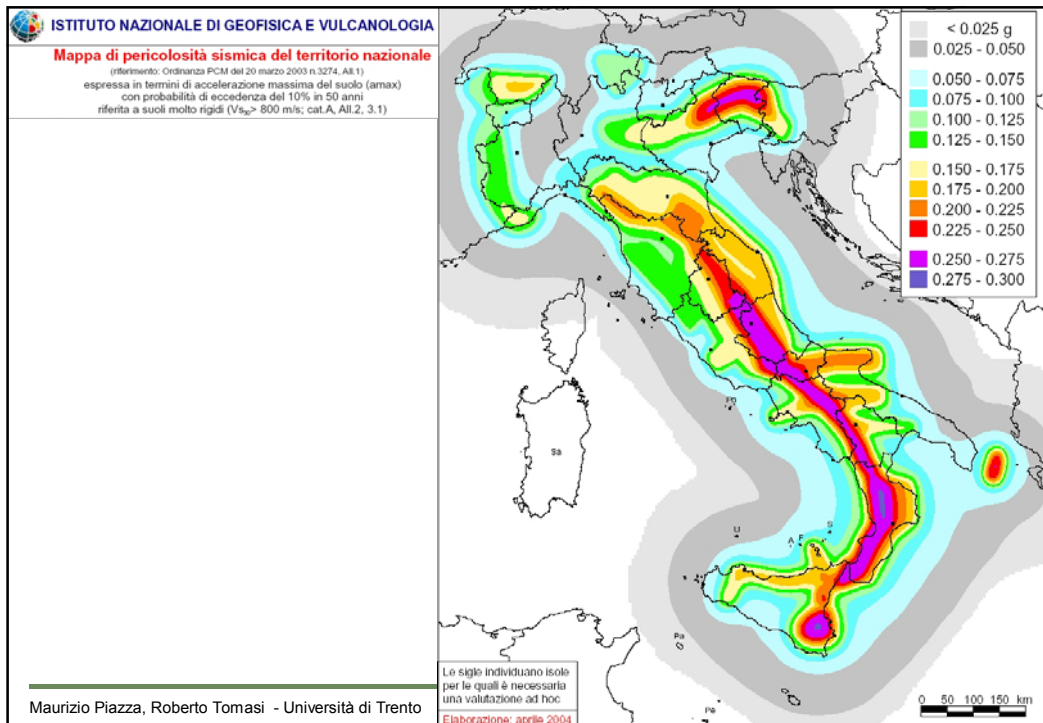
### **Problemi speciali nelle costruzioni di legno in zona sismica**

*Comportamento strutturale del legno per carichi dinamici,  
panorama normativo, casi di studio relativi alle coperture  
storiche, proprietà antisismiche di nuove tecnologie lignee*

### **Le costruzioni in legno tradizionale e lamellare in zona sismica**

**Ordinanza sismica OPCM 3274 / 3431**  
**Criteria e regole di progettazione (all.2 – cap.9)**

- Osservazione dei danni
- Panorama normativo
- Il legno materiale strutturale
- Comportamento strutturale del legno
- Comportamento delle strutture lignee per carichi dinamici
- Capacità antisismiche di nuove tipologie lignee
- Casi di studio relativi alle coperture storiche



## promo\_ legno

Collegamenti - Problemi speciali <sup>4</sup>

**1985 ⇒ 1995 Cambiamenti importanti nel modo di progettare**  
 soprattutto per strutture di acciaio & calcestruzzo

**Mexico city, 1985**

**Northridge, 1994** Near fault. Fragilità dei dettagli saldati

**Kobe, 1995** Near fault. Fragilità dei collegamenti

U.B.C. California ver. 1960, '76, '88, '91, '94, '97





Lisbona, 1755



San Francisco, 1906

**... learn from failures ...**





Case in legno (timber-frame) moderne non danneggiate, e casa vecchia crollata (Nishinomiya, Japan)





Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento

I corsi promo\_legno



Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento

I corsi promo\_legno

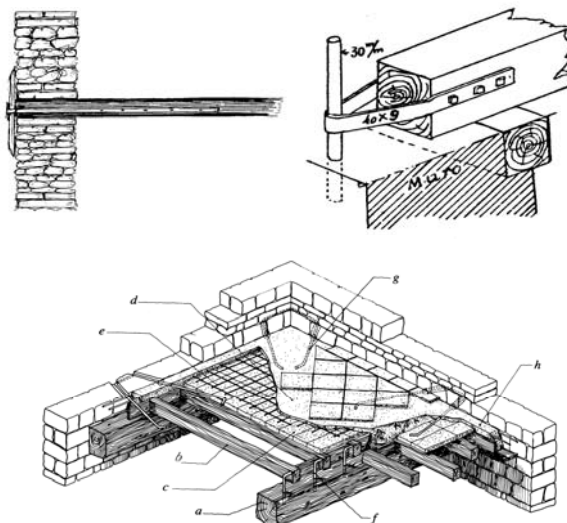
## Vittime in edifici a struttura di legno

Earthquake	M	No. of Persons Killed (Approx.)		No. of Wood-frame Houses (Estimated)
		Total	In Wood-frame House	
Alaska, 1964	8.4	130	<10	
San Fernando, 1971	6.7	63	4	100 000
Edgecumbe, 1987	6.3	0	0	7 000
Saguenay, 1988	5.7	0	0	10 000
Loma Prieta, 1989	7.1	66	0	50 000
Northridge, 1994	6.7	60	16 + 4	200 000
Hyogo-ken Nambu (Kobe), 1995	6.8	6 300	0	8 000
Hyogo-ken Nambu (Kobe), 1995	6.8	6 300	????	mixed 55 000



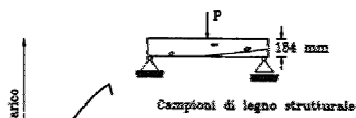
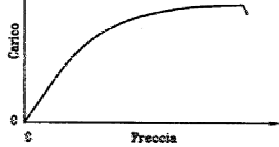
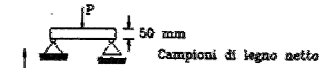


**Friuli 1976 (Gemona e Vito d'Asio)**

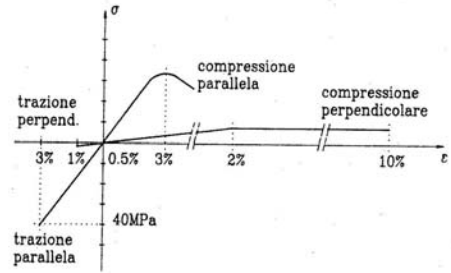




Aspetti positivi e negativi nell'uso delle strutture di legno in zona sismica



(da Stiechla, 1986)  
Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento



COMPORTAMENTO "ANTISISMICO" DEL LEGNO ?

DIFETTI

Comportamento **fragile**

PREGI

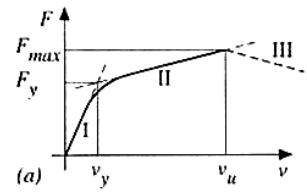
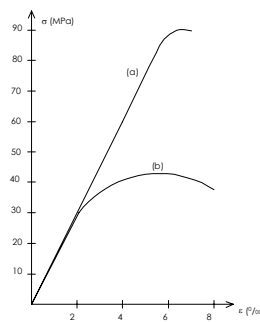
**Leggerezza**

Resistenza

Rigidezza

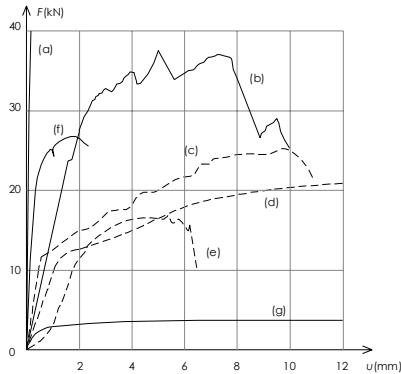
Carichi breve durata

Capacità **dissipativa** nei nodi  
**(duttilità concentrata)**



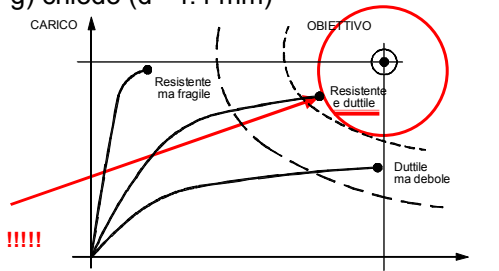
Materiale	f/p (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	E/f
Cls. (f <sub>k</sub> = 25 MPa)	10400	1250
Acciaio (f <sub>k</sub> = 430 MPa)	55000	480
Legno lamellare (f <sub>k</sub> = 20 - 36 MPa)	58000 - 64000	350 - 450
Alluminio (f <sub>k</sub> = 355 MPa)	127000	200

**Comportamento meccanico dei collegamenti lignei**



- a) collegamento incollato (12500 mm<sup>2</sup>);
- b) anello (d= 100 mm);
- c) piastra dentata (d= 62 mm);
- d) perno (d= 14 mm);
- e) bullone (d= 14 mm);
- f) piastra stampata (100x100 mm<sup>2</sup>);
- g) chiodo (d= 4.4 mm)

**COMPORAMENTO OTTIMALE  
COLLEGAMENTO FORTE E DUTTILE !!!!!**



Haller, P. (1998)

Tipologie strutturali

**Strutture leggere ("light timber structures")**



**Finlandia**

**Sistemi "post and beam"**

**Sistemi a pannelli**

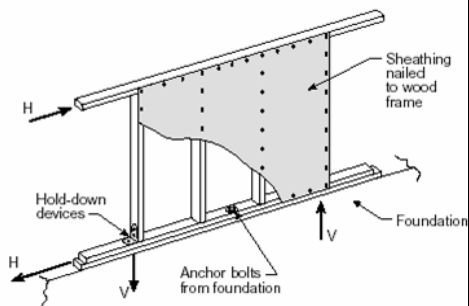


**Nord Europa, Nord America, Estremo oriente**

**Poco diffusi in Italia!!!!**

Tipologie strutturali

**Strutture leggere ("light timber structures")**



**Alta ridondanza strutturale**

**Sistema nord-americano Platform frame**

Tipologie strutturali

**Grandi strutture moderne in legno lamellare incollato ("heavy timber structures")**



**Portali (capannoni, maneggi, spazi espositivi, palestre...)**

**Grandi coperture**

Tipologie strutturali

**Grandi strutture moderne in legno lamellare incollato**  
**("heavy timber structures")**



**Ponti (passerelle pedonali)**

**Strutture industriali**

Tipologie strutturali

**Strutture lignee molto diffuse in Italia**



**Coperture in legno di abitazioni civili**

**Coperture esistenti e storiche**

**Ordinanza OPCM 3431**

**NORMATIVA SISMICHE**

D. M. 16-1-1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica"

Nuova normativa italiana emessa con l'ordinanza 20/03/2003 n. 3274 e n. 3431 03/05/2005, Allegato 2: Edifici



**Cap. 9 EDIFICI CON STRUTTURA IN LEGNO:** Le norme relative agli edifici in legno verranno prodotte successivamente alla emanazione delle corrispondenti norme relative alle combinazioni di carico *non sismiche*



Normativa Italiana Costruzioni in Legno (NiCoLe): normativa agli stati limite ultimi, emanata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nell' Ottobre 2001, rivista e modifica da una commissione del CNR nel 2003, in attesa di emanazione

**Ordinanza OPCM 3431**

**QUADRO NORMATIVE ITALIANE SULLE NUOVE COSTRUZIONI IN LEGNO**

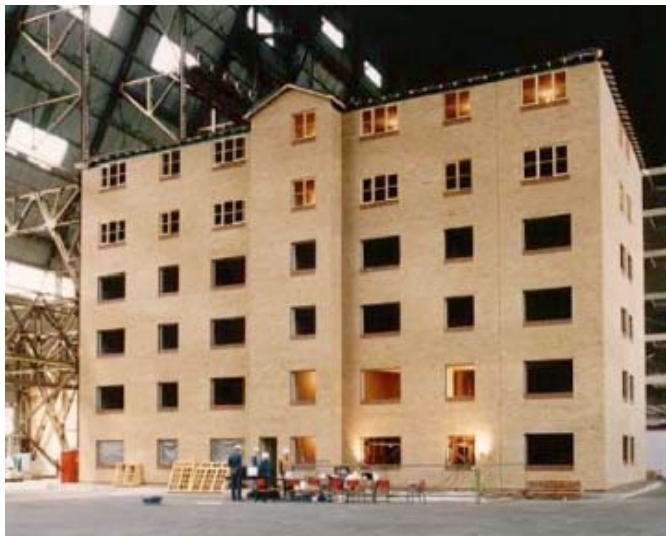
**ORDINANZA PUNTO 4.2**

**Tabella 4.2 ALTEZZE MASSIME CONSENTITE**

*Zona sismica*

	4	3	2	1
Sistema costruttivo	Altezza massima consentita (in m)			
Edifici con struttura in calcestruzzo	<b>Nessuna limitazione</b>	<b>Nessuna limitazione</b>		
Edifici con struttura in acciaio				
Edifici con struttura mista in acciaio e calcestruzzo				
Edifici con struttura in muratura ordinaria		<b>16</b>	<b>11</b>	<b>7,5</b>
Edifici con struttura in muratura armata		<b>25</b>	<b>19</b>	<b>13</b>
Edifici con struttura in legno	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	

*"Per le costruzioni in legno è ammessa la costruzione di uno zoccolo in calcestruzzo o in muratura, di altezza non superiore a 4 m, nel qual caso i limiti indicati si riferiscono alla sola parte in legno."*



Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento

#### 4.2 Distanze e altezze



*“I limiti indicati non si riferiscono a strutture interamente realizzate in legno lamellare (con fondazioni in calcestruzzo e collegamenti in acciaio), per le quali non è prevista alcuna limitazione in altezza.”*

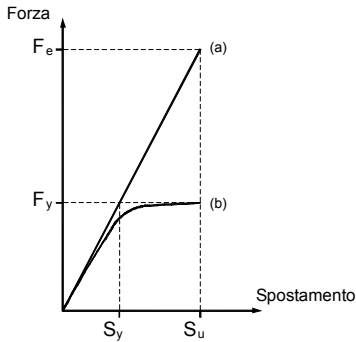


Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento

**q** fattore di struttura (Eurocodice 8, Ordinanza sismica)

**q (o ARF)**

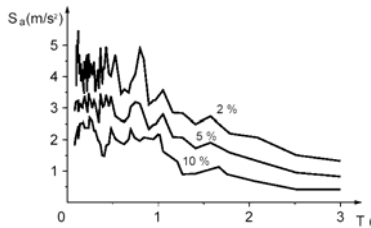
*e' un fattore da usare nel calcolo delle azioni sismiche di progetto, tale che per una struttura calcolata "elasticamente" (sollecitazioni e resistenze di progetto), si possa tenere conto del suo comportamento elasto - plastico*



$$\mu = \frac{S_u}{S_y} \quad q = \frac{F_e}{F_y}$$

$$A = \frac{M \cdot a_{pga} \cdot R(T_0, \xi)}{q}$$

- $a_{pga} = 0,35 \cdot g$  (zona I)
- $0,25 \cdot g$  (zona II)
- $0,15 \cdot g$  (zona III)
- $0,05 \cdot g$  (zona IV)



prEN 1998-1 FinalDraft December 2003

8.1.3 (4)P dove avviene la dissipazione energetica?

FATTORE DI STRUTTURA Q	ESEMPI DI STRUTTURE
<p><b>A</b></p> <p>STRUTTURE AVENTUNA BASSA CAPACITA' DI DISSIPAZIONE ENERGETICA</p> <p>1,5</p>	<p>Strutture isostatiche (le travi, le mensole, gli archi a tre cerniere)</p>
<p><b>B</b></p> <p>STRUTTURE AVENTUNA MEDIA DI DISSIPAZIONE ENERGETICA</p> <p>2 - 2,5</p>	<p>Portali iperstatici e travi reticolari con connettori a gambo cilindrico (perni e bulloni)</p>
<p><b>C</b></p> <p>STRUTTURE AVENTUNA BUONA CAPACITA' DI DISSIPAZIONE ENERGETICA</p> <p>3 - 5</p>	<p>Pannelli con intelaiature inchiodate</p>

- Le zone dissipative sono localizzate nei nodi e nei collegamenti
- Gli elementi lignei sono ritenuti elastici
- Nel vecchio draft ENV 1998 i valori possibili  $q = 1 \div 3$



**Ordinanza OPCM 3431**

**ORDINANZA PUNTO 9.3 - Classi di duttilità e fattori di struttura**

**Comportamento strutturale dissipativo**

Tabella 9.1

Classe	$q$	Esempi di strutture
A Strutture aventi una <b>alta</b> 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 paragrafo 9.3)
	5,0	Pannelli di parete chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi e bulloni
B Strutture aventi una <b>bassa</b> 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
	2,5	Portali isostatici con giunti con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del paragrafo 9.3)
		Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, spinotti e bulloni (con le precisazioni contenute nei seguenti capoversi del paragrafo 9.3)

**Ordinanza OPCM 3431**

**ORDINANZA PUNTO 9.3 - Classi di duttilità e fattori di struttura**

**Comportamento strutturale scarsamente dissipativo**

→  $q = 1,5$

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



ORDINANZA PUNTO 9.3 - Classi di duttilità e fattori di struttura

**Ordinanza OPCM 3431**

Comportamento strutturale dissipativo

→ q fino a 5

STRUTTURE RETICOLARI CON COLLEGAMENTI A MEZZO DI BULLONI O SPINOTTI

PANNELLI DI PARETE CHIODATI CON DIAFRAMMI CHIODATI, COLLEGATI MEDIANTE CHIODI E BULLONI



**BASSA CAPACITÀ**

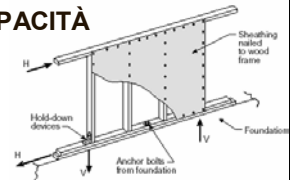
q = 2

unioni con solo perni e bulloni

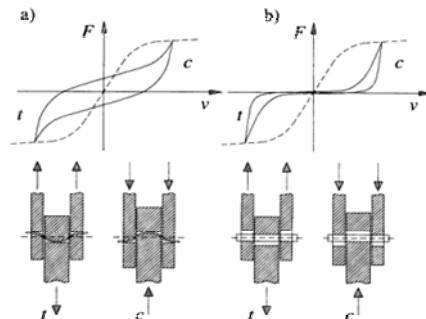
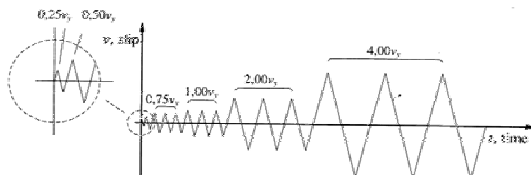
**ALTA CAPACITÀ**

q = 5

solo unioni chiodate



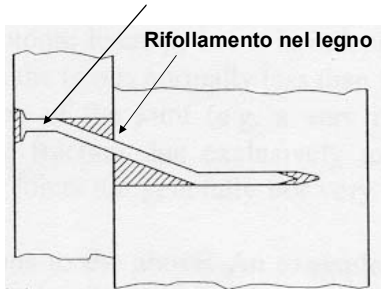
prEN 12512 "Timber Structures - Test Methods - Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners"



## Connettori a gambo cilindrico: resistenza e duttilità

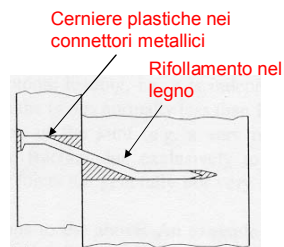
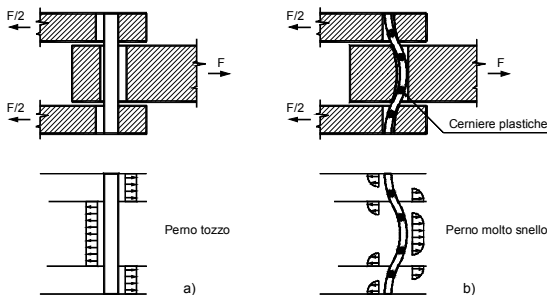
Due meccanismi di rottura (lato acciaio e lato legno)

Cerniere plastiche nei connettori metallici



## Resistenza e duttilità nei collegamenti a gambo cilindrico

Nel punto 8.3 (4)P la normativa considera soddisfatta la condizione di "collegamento dissipativo", nel caso di collegamenti con perni e bulloni, se il diametro  $d$  dei connettori non è superiore ai 12 mm, mentre gli elementi da connettere devono avere uno spessore maggiore di  $10 \cdot d$ .



AUMENTANDO LA SNELLEZZA DEL CONNETTORE AUMENTA LA DUTTILITÀ

**Modo di rottura dal comportamento elastoplastico**

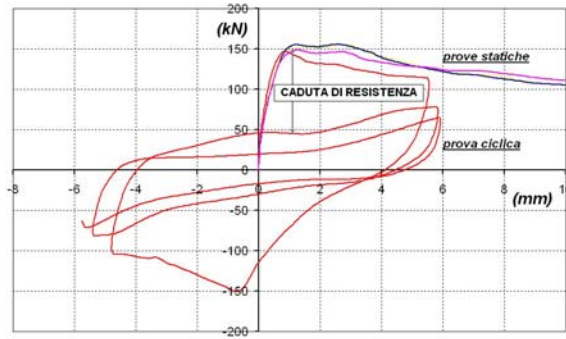
**ATTENZIONE CHE NON INSORGA PRIMA UN MECCANISMO DI ROTTURA FRAGILE!!!!!!**

**Ordinanza OPCM 3431**

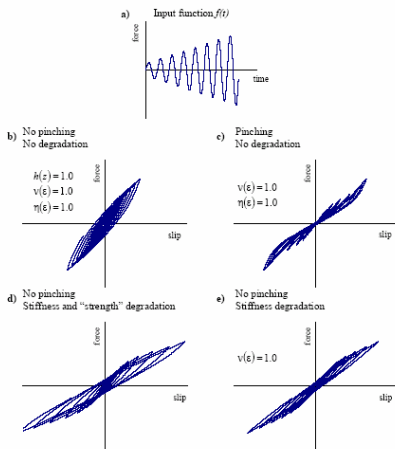
a) adeguato comportamento di tipo oligociclico (vedi punto 9.3(3));

**DEFINIZIONE DA NORMATIVA**

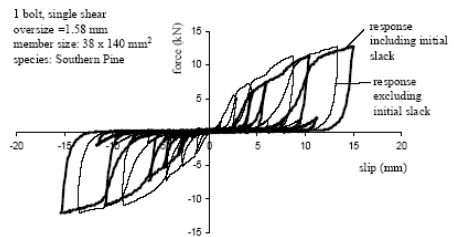
Al fine di garantire i valori precedenti per il **fattore di struttura  $q$** , le zone considerate **dissipative** devono essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno **tre cicli a inversione completa** con un rapporto di duttilità statica pari a **4** per le **strutture di tipologia B** e **6** per le **strutture di tipologie A**, senza che si verifichi una riduzione della loro resistenza maggiore del 20%.



Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento



8.3 (3)P: si prescrive che un collegamento giudicato dissipativo deve essere in grado di deformarsi plasticamente per almeno tre cicli di carico e scarico, con una resistenza residua maggiore dell'80% della resistenza iniziale, secondo un livello di duttilità statica pari a 4 per le strutture a media capacità di dissipazione energetica (classe M), e pari a 6 per le strutture a buona capacità di dissipazione energetica (classe H).



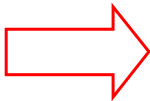
Maurizio Piazza, Roberto Tomasi - Università di Trento

**Ordinanza OPCM 3431**

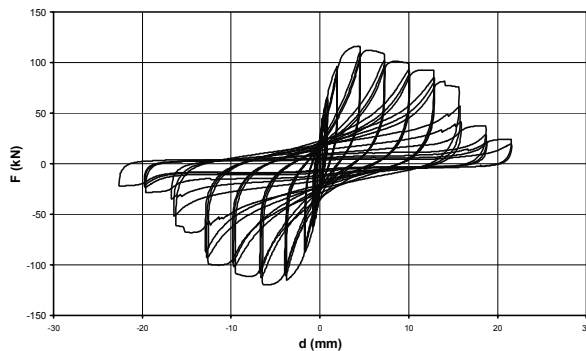
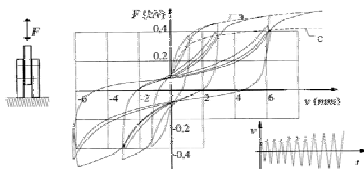
**ORDINANZA PUNTO 9.3**

Prescrizioni normative atte a considerare **adeguato** il comportamento di tipo **oligociclico** di giunti a gambo cilindrico (vedi punto 9.3 (3)):

- *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  **$10 \cdot d$** ;
- *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  **$4 \cdot d$**  e con diametro  **$d$**  dei chiodi non superiore a **3,1 mm**.

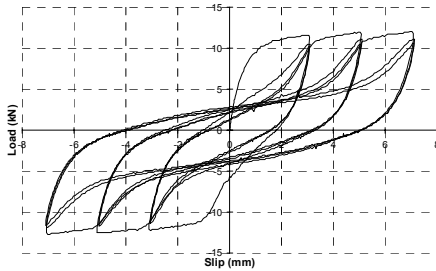


**I collegamenti possono essere considerati sufficientemente dissipativi**

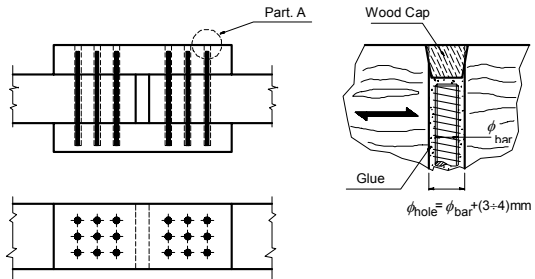
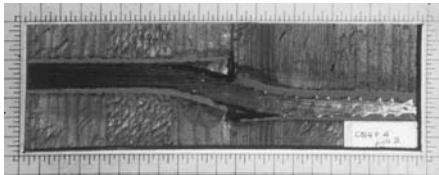


Comportamento isteretico di un collegamento a taglio con viti (Tomasi, 2004)

b) Le giunzioni incollate delle membrature non sono ritenute dissipative, in genere



Comportamento isteretico di un collegamento a taglio legno - legno con perni incollati (perno  $\phi$  10 mm, foro  $\phi$  14 mm, acciaio FeB 44k)



## Problema sismico

In fase di progettazione, si devono adottare tutti gli accorgimenti che si rendono necessari, vista la particolare azione che si considera ...

... **corretta progettazione dei giunti**

Gerarchia delle resistenze: elementi fragili devono essere "protetti" ...

... **collegamenti caratterizzati da "duttilità"**



*Generalmente (in zone caratterizzate da minore intensità sismica), si può affermare che, per tipologie strutturali a unico piano, difficilmente l'azione sismica risulta determinante nella verifica della struttura*