

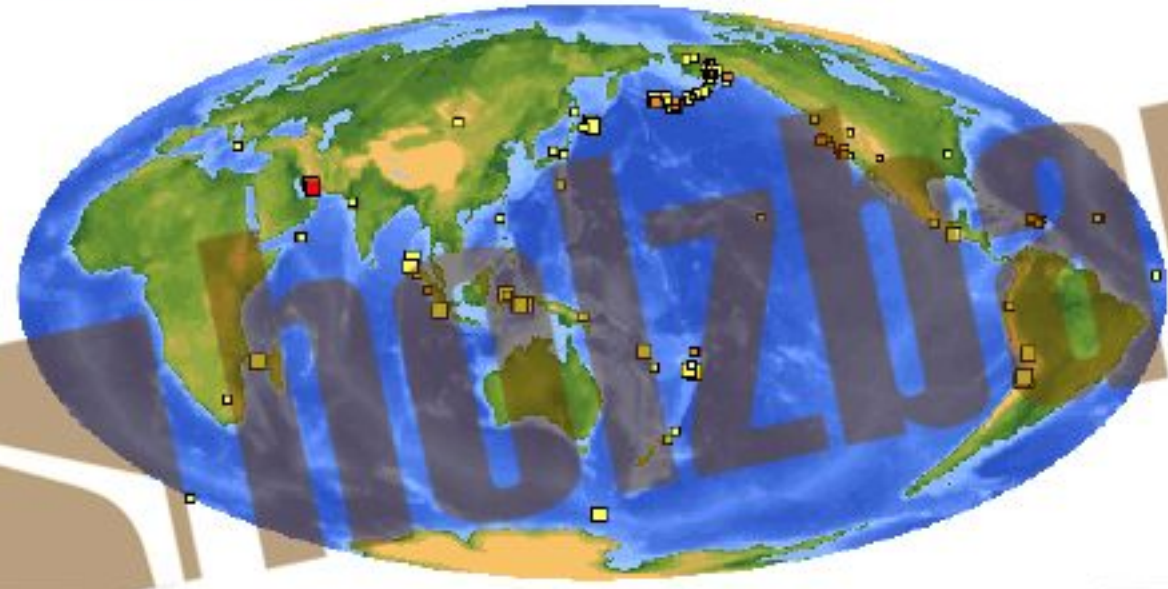
# Il comportamento sismico delle strutture in legno



**prof. Maurizio Piazza**

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale  
*Università degli Studi di Trento*

Wed Jun 28 21:29:36 UTC 2006 178 earthquakes on this map



ages			magnitudes			
■ last hour	■ day	■ week	□ >7	□ >5	□ >2.5	⊠ ? (not known)

Fonte: USGS US geological survey



prof. Maurizio Piazza

### Frequency of Occurrence of Earthquakes

Descriptor	Magnitude	Average Annually
Great	8 and higher	1 <sup>1</sup>
Major	7 - 7.9	17 <sup>2</sup>
Strong	6 - 6.9	134 <sup>2</sup>
Moderate	5 - 5.9	1319 <sup>2</sup>
Light	4 - 4.9	13,000 (estimated)
Minor	3 - 3.9	130,000 (estimated)
Very Minor	2 - 2.9	1,300,000 (estimated)

<sup>1</sup> Based on observations since 1900.

<sup>2</sup> Based on observations since 1990.

*Aspettative*

*Sismi disastrosi,  
perché ?*

80% Megacittà (>10milioni)  
60% grandi (2 milioni)

sono in zona sismiche  
sono in zona sismiche



prof. Maurizio Piazza



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

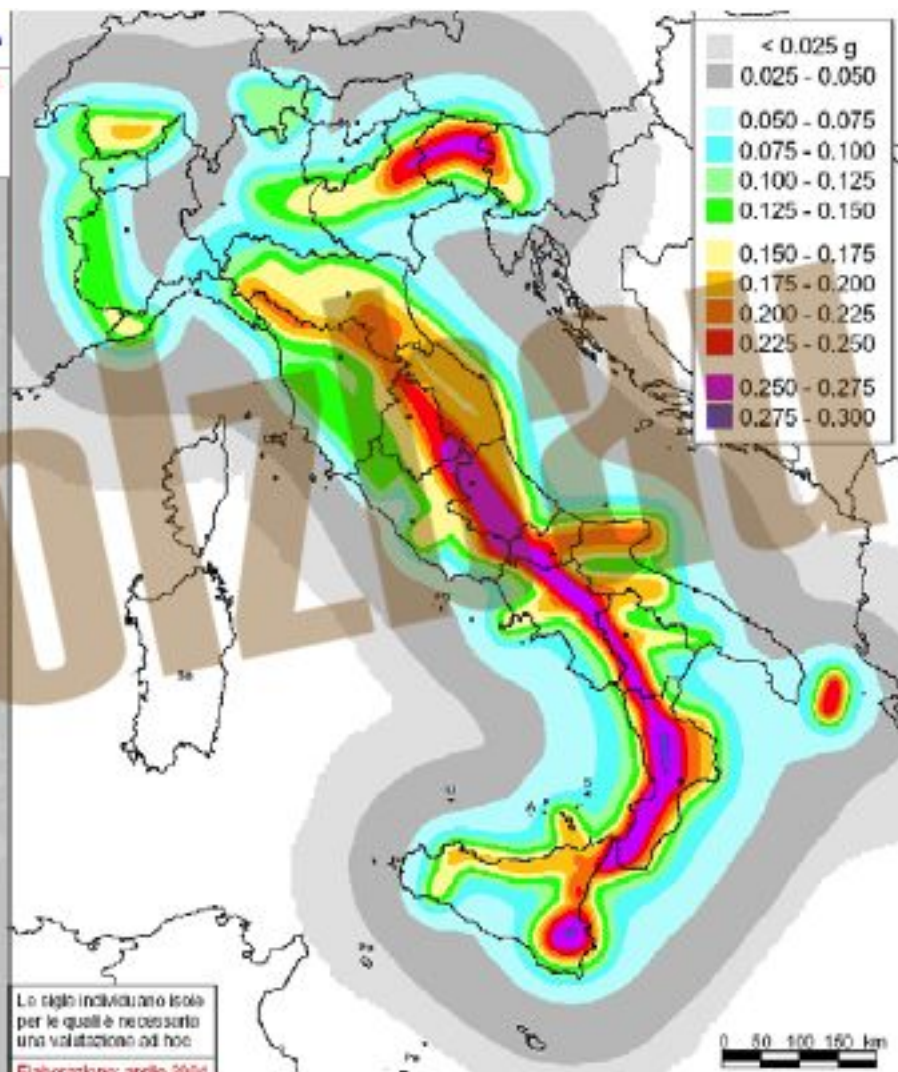
### Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

intorno all'Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 3274, Art. 1)  
espressa in termini di accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ )  
con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni  
riferita a suoli molto rigidi ( $V_{s0} > 800$  m/s; cat. A, Art. 2.3.1)

**Ordinanza OPCM 3519  
28 Aprile 2006**



prof. Maurizio Piazza





PRESIDENZA DEL CONSIGLIO  
DEI MINISTRI  
DIPARTIMENTO DELLA  
PROTEZIONE CIVILE

## ORDINANZA n. 3431

REVISIONE DELLA  
NORMATIVA SISMICA (ALL.  
ALLA 3274 DEL 20/03/03)

*Presidenza del Consiglio dei Ministri*

Ordinanza n. **3431**

Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

*Testo integrato dell'Allegato 2 – Edifici – all'Ordinanza 3274 come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05*

## 9 EDIFICI CON STRUTTURA DI LEGNO

### 9.1 Generalità

#### 9.1.1 Campo di applicazione

Le presenti prescrizioni sono da intendere quali integrazioni per le strutture in zona sismica delle regole di pertinenti prescrizioni tecnico - normative italiane, quando disponibili.

#### 9.7 Controllo del progetto e della costruzione

Per le strutture di legno in zona sismica dovrà essere redatta apposita relazione di calcolo relativa, in particolare, ai requisiti e alle condizioni assunte per il progetto, all'impostazione generale della progettazione strutturale con riferimento al comportamento strutturale assunto (dissipativo o scarsamente dissipativo), agli schemi di calcolo e alle azioni considerate, alle verifiche delle singole fasi costruttive. I disegni di progetto devono riportare obbligatoriamente i seguenti elementi, fornendo per essi le istruzioni per i controlli specifici durante la fase costruttiva:

- a) collegamenti degli elementi tesi e qualsiasi collegamento alle strutture di fondazione;
- b) elementi utilizzati quali elementi di controvento;
- c) collegamenti tra impalcati (diaframmi orizzontali) ed elementi verticali di controvento;
- d) collegamenti tra i pannelli e le intelaiature lignee nei diaframmi orizzontali e verticali.

Le strutture di legno in zona sismica dovranno essere sottoposte a collaudo statico nel rispetto delle prescrizioni generali previste per il collaudo delle opere di ingegneria.

## ALLEGATO 11.E. – CRITERI PER GLI INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI IN MURATURA

### Interventi in copertura

E' in linea generale opportuno il mantenimento dei tetti in legno, in quanto capaci di limitare le masse nella parte più alta dell'edificio e di garantire un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante.

### Decreto Ministeriale 16-1-1996

#### C.8 Edifici con struttura in legno

*"Le costole montanti e le altre parti costituenti l'organismo statico degli edifici in legno devono essere di un solo pezzo oppure collegate in modo da non avere indebolimenti in corrispondenza*

#### C.9.8 Interventi di miglioramento per gli edifici in muratura ordinaria

##### C.9.8.2 Solai

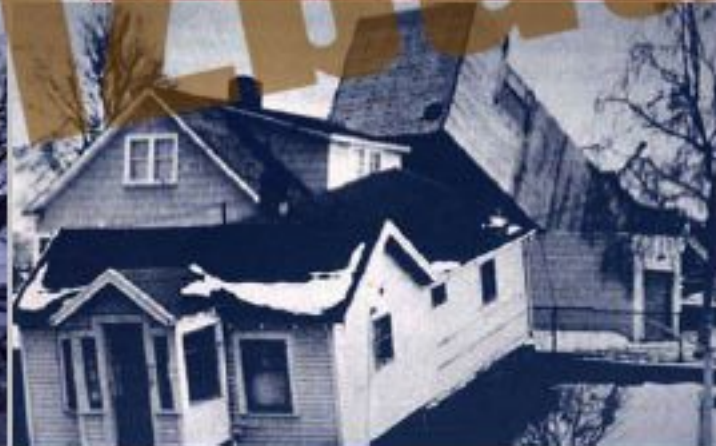
*"Ove si proceda alla sostituzione di solai, questi devono essere del tipo in cemento armato ordinario o precompresso ...*

*Possano usarsi solai in legno solo ove richiesto da particolari esigenze architettoniche"*

?

?

*... osservazione dei danni ...*







View of traditional and reinforced concrete buildings  
after the 1999 Duzce earthquake (Turkey)



*prof. Maurizio Piazza*

Table 1  
Turkey earthquakes and damages of buildings

Earthquake	$M_w$ or $M_L$	$a_g$	$d_r$	$r$	Buildings			Behaviour of traditional wooden buildings
					HD	MD	LD	
July 2, 2004 Doğubeyazıt [13,14]	5.0	0.09	9	5	300	200	500	There is no detailed information about wooden buildings. Especially poorly constructed Hatıl structures were heavily damaged or collapsed
March 25, 2004 Erzurum [14]	5.1	5.45	5.5	5	-	-	-	
July 26 2003 Buldan [14,15]	5.6	1.2	10.6	25	330		313	Kaplan et al. [15] illustrated damaged traditional wooden building photos
May 01, 2003 Bingöl [14,16]	6.4	5.45	10.5	15	3214	3448	6096	The hatıl construction fared the worst
January 27, 2003 Fılımür [14,17]	6.0	1.13	10	-	21			There is no detailed information about wooden buildings. Especially poorly constructed hatıl structures were heavily damaged or collapsed
February 03, 2002 Saltandığı [18]	6.3	0.94	10	10	4300	1730	9556	Most of the injuries and loss of life took place in the region are associated with the total collapse of the hünüs dwellings built with heavy roofs
June 6, 2000, Çankırı [14,19]	5.9	0.63	10	10				The hatıl barns fared the worst. Collapses were limited to abandoned structures with rotted timbers. Some damaged traditional structure photos illustrated by references [16,19,20]
November 12, 1999 Düzce [2], [22]	7.2	5.14	20	20	1,364	493	825	Wooden buildings have been discussed the most after these earthquakes. Many Traditional timber framed buildings were performed better than the other buildings with different material [5,6,23]
August 17, 1999 Kocaeli [17,22]	7.4	3.22	20	40	41,266	43,618	48,008	
October 01, 1995 Dinar [14,22]	6.1	2.83	24	15	4909			It was reported that 30% of the private buildings either collapsed or suffered heavy damage. Only one photo illustrated for damage to an adobe building [24]
30 October, 1983 Erzurum [14,22]	6.8	1.73	16					Hughes [9] reported some weakness and recommend some suggestion for hatıl construction
28 March, 1970 Gediz [22]	7.2		18					Bağladi constructions performed better than the hünüs constructions, 12% of the bağladi and 45% of the hünüs constructions damaged heavily [25]
1967 Mudurnu [22]	7.1		18					Some timber framed buildings in which framing elements supported on single rock collapsed [26]
1944 Bolu-Gerede [22]	7.2		10					Tagman [11] recommended after this earthquake that wooden buildings should be preferred masonry building
1939 Erzincan [22]	7.9		20					500 wood houses were taken from Austria just after the earthquake and constructed within four months. These houses were well appreciated and used long time by the people lived in Erzincan [27]
1894 İstanbul								concluded that timber structures outperformed masonry buildings even if they were old and poorly built [1]

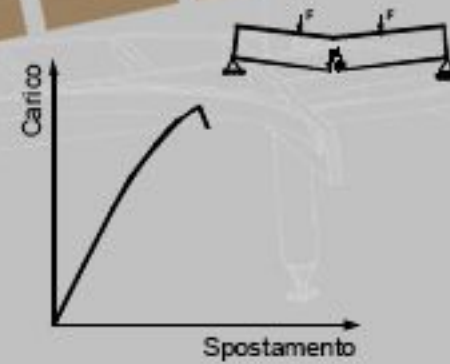
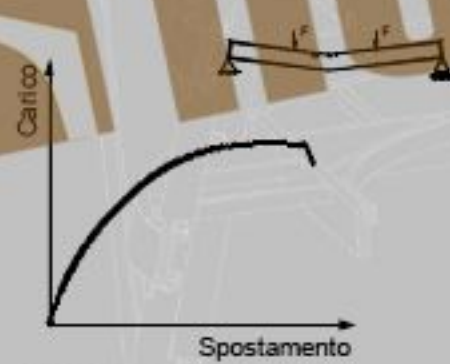
## Uso delle strutture di legno in zona sismica



Materiale	$f/\rho$ ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ )	$E/f$
<i>Cls. (<math>f_k = 25 \text{ MPa}</math>)</i>	<i>10400</i>	<i>1250</i>
<i>Acciaio (<math>f_k = 430 \text{ MPa}</math>)</i>	<i>55000</i>	<i>480</i>
<i>Legno lamellare (<math>f_k = 20 - 36 \text{ MPa}</math>)</i>	<i>58000 - 64000</i>	<i>350 - 450</i>
<i>Alluminio (<math>f_k = 355 \text{ MPa}</math>)</i>	<i>127000</i>	<i>200</i>



## Uso delle strutture di legno in zona sismica



prof. Maurizio Piazza

## Uso delle strutture di legno in zona sismica

### DIFETTI

Comportamento **fragile** degli elementi di legno in dimensione di utilizzo

### PREGI

**Leggerezza**

Resistenza

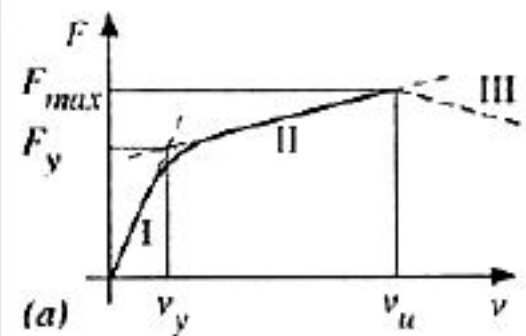
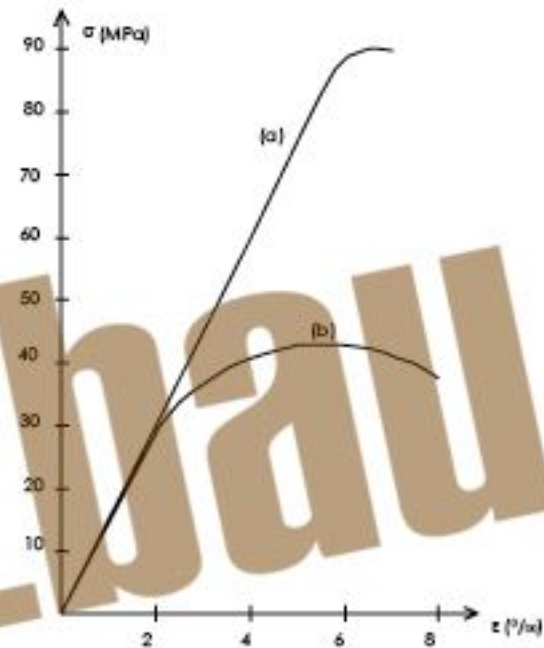
Rigidezza

Carichi breve durata

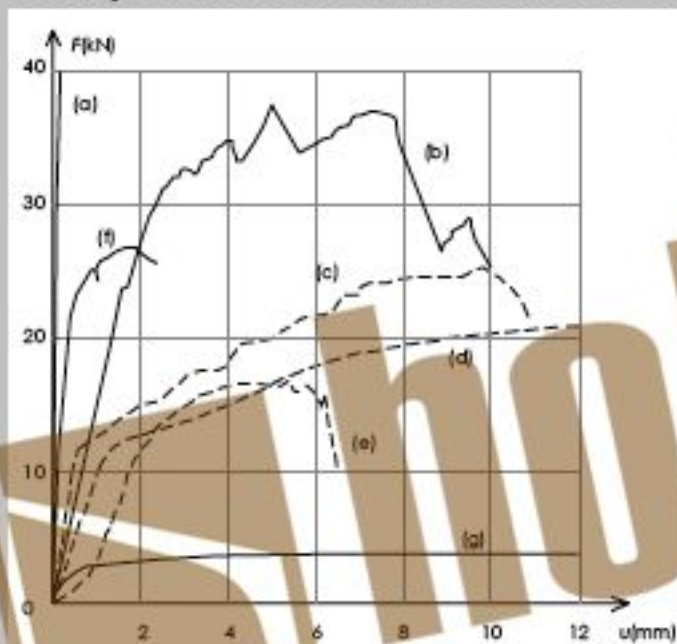
**Capacità dissipativa nei nodi**  
(DUTTILITA' CONCENTRATA)



prof. Maurizio Piazza



## Comportamento meccanico dei collegamenti lignei



- a) collegamento incollato ( $12500 \text{ mm}^2$ );
- b) anello ( $d= 100 \text{ mm}$ );
- c) piastra dentata ( $d= 62 \text{ mm}$ );
- d) perno ( $d= 14 \text{ mm}$ );
- e) bullone ( $d= 14 \text{ mm}$ );
- f) piastra stampata ( $100 \times 100 \text{ mm}^2$ );
- g) chiodo ( $d= 4.4 \text{ mm}$ )

**COMPORTAMENTO OTTIMALE  
COLLEGAMENTO FORTE E DUTTILE !**



Haller, P. (1998)



prof. Maurizio Piazza

## Tipologie strutturali

### Strutture leggere (“light timber structures”)



*Finlandia*

Sistemi “post and beam”

Sistemi a pannelli



*Italia*

Nord Europa, Nord America, Estremo oriente

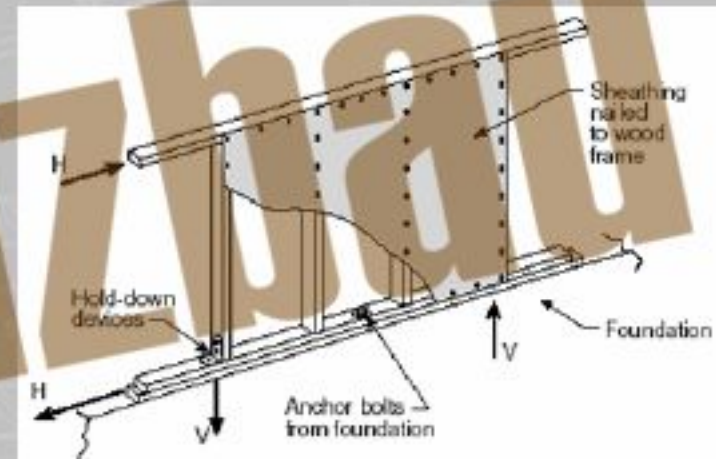
Poco diffusi in Italia !



prof. Maurizio Piazza

## Tipologie strutturali

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



### Alta ridondanza strutturale

### Sistema nord-americano



prof. Maurizio Piazza

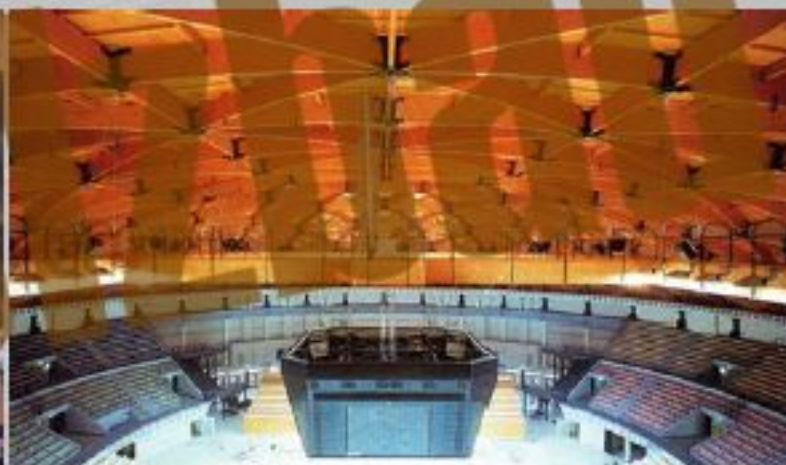


## Tipologie strutturali

### 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



## NORMATIVA SISMICA

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 3431 03/05/2005, Allegato 2: Edifici

Cap. 9 EDIFICI CON STRUTTURA IN LEGNO

La Normativa Italiana Costruzioni in Legno (NiCoLe), redatta dal C.S.LL.PP. (Ott 2001, rev. Ott 2003), verrà proposta come **CNR DT 206: Istruzioni per la Progettazione, Esecuzione e Controllo delle Strutture di Legno**



**NORMATIVA SISMICA****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	Nessuna limitazione	Nessuna limitazione		
Edifici con struttura in acciaio				
Edifici con struttura mista in acciaio e calcestruzzo				
Edifici con struttura in muratura ordinaria		16	11	7,5
Edifici con struttura in muratura armata	25	19	13	
Edifici con struttura in legno	10	7	7	

*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.*



## NORMATIVA SISMICA

### 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"*



prof. Maurizio Piazza



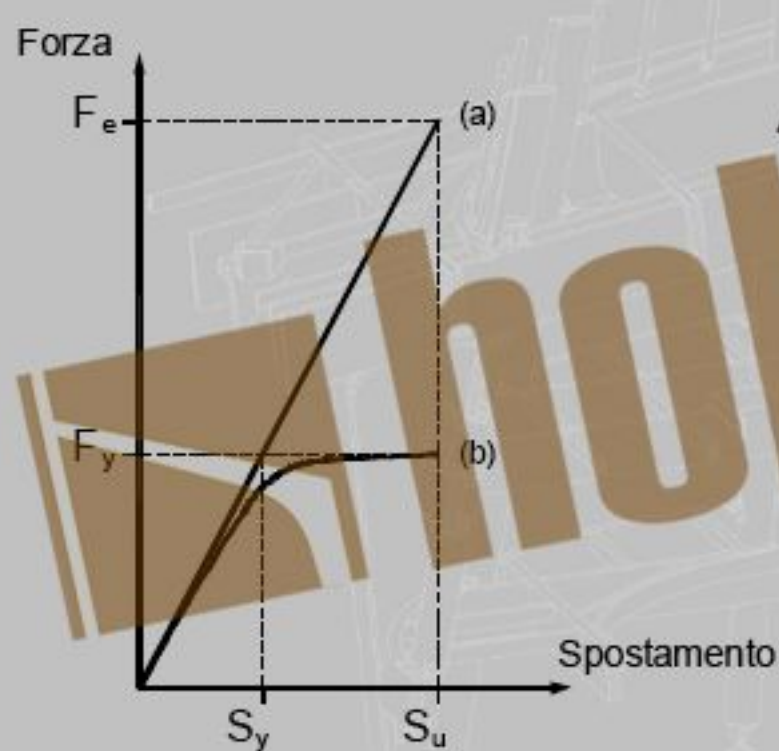
## NORMATIVA SISMICA

Approccio normativo al calcolo mediante il fattore di struttura  
(Eurocodice 8, Ordinanza sismica)

**q** 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



## NORMATIVA SISMICA



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

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

$$a_{pga} = \begin{array}{l} 0,35 \cdot g \text{ (zona I)} \\ 0,25 \cdot g \text{ (zona II)} \\ 0,15 \cdot g \text{ (zona III)} \\ 0,05 \cdot g \text{ (zona IV)} \end{array}$$





## NORMATIVA SISMICA

EN 1998-1 FinalDraft December 2003

### 8.1.3 (4)P dove avviene la dissipazione energetica?


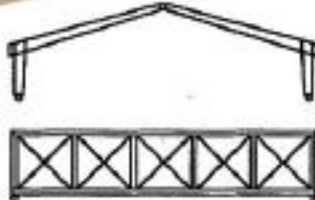

Zone dissipative localizzate nei nodi e nei collegamenti

Elementi lignei ritenuti elastici

Nel precedente ENV 1998  $q = 1+3$



prof. Maurizio Piazza

FATTORE DI STRUTTURA Q	ESEMPI DI STRUTTURE
<p><i>A</i> STRUTTURE AVENTURA BASSA CAPACITA' DI DISSIPAZIONE ENERGETICA</p> <p>1,5</p>	 <p>Strutture ipostatiche (le travi, le mensole, gli archi a tre cerniere)</p>
<p><i>B</i> STRUTTURE AVENTURA CAPACITA' 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><i>C</i> STRUTTURE AVENTURA BUONA CAPACITA' DI DISSIPAZIONE ENERGETICA</p> <p>3 - 5</p>	 <p>Pannelli con intelaiature in chiodate</p>

**NORMATIVA SISMICA****ORDINANZA PUNTO 9.3 - Classi di duttilità e fattori di struttura****Comportamento strutturale dissipativo**

Tabella 9.1

Classe	$q$	Esempi di strutture
<b>A</b> 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>B</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 iperstatici con giunti 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  $\Rightarrow$   $q = 1,5$

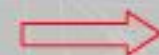
Strutture isostatiche in genere, archi a due cerniere, reticolari con connettori, in mancanza di specifiche valutazioni, sono da considerare come strutture aventi una scarsa capacità di dissipazione energetica alle quali si dovrà dunque assegnare un fattore di struttura non superiore a 1,5.



## Ordinanza OPCM 3431

ORDINANZA PUNTO 9.3 - Classi di duttilità e fattori di struttura

Comportamento strutturale dissipativo



$q$  fino a 1,5

STRUTTURE RETICOLARI CON COLLEGAMENTI A MEZZO DI BULLONI O SPINOTTI

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



**BASSA CAPACITÀ**

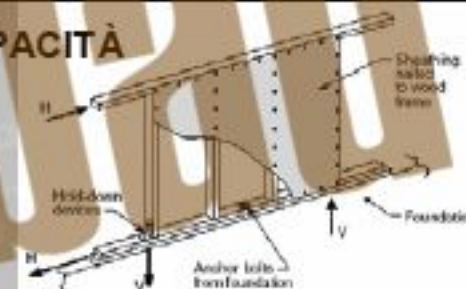
$q = 2$

unioni con solo perni e bulloni

**ALTA CAPACITÀ**

$q = 5$

solo unioni chiodate



## Resistenza e duttilità nei collegamenti a gambo cilindrico

*Si osserva che il legno a contatto con il connettore presenta notevoli deformazioni locali (rifollamento) ed i connettori possono mostrare una o più “cerniere plastiche” ovvero zone ristrette dove si concentrano le deformazioni (rotazioni) anelastiche*



## Resistenza e duttilità nei collegamenti a gambo cilindrico

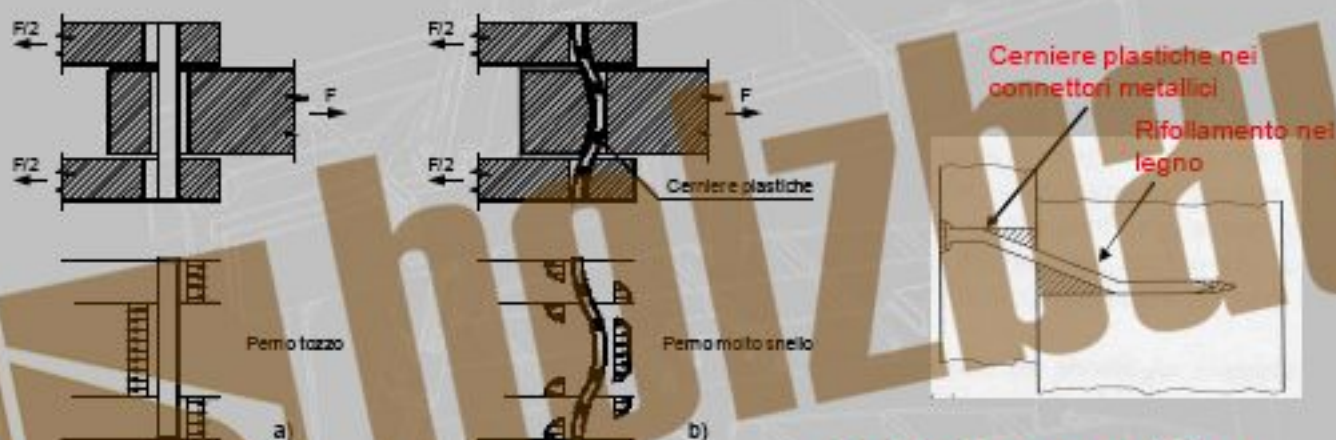
Due meccanismi di rottura (lato acciaio e lato legno)

Cerniere plastiche nei connettori metallici



## Resistenza e duttilità nei collegamenti a gambo cilindrico

Ordinanza OPCM 3431



**Modo di rottura tipico  
comportamento elastoplastico**

AUMENTANDO LA SNELLEZZA DEL  
CONNETTORE AUMENTA LA DUTTILITA'

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

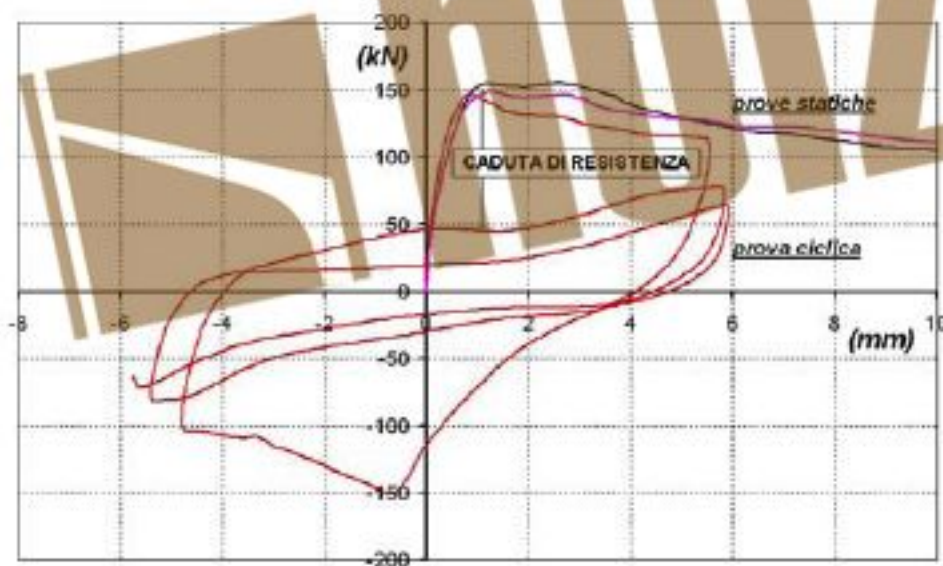


**Ordinanza OPCM 3431**

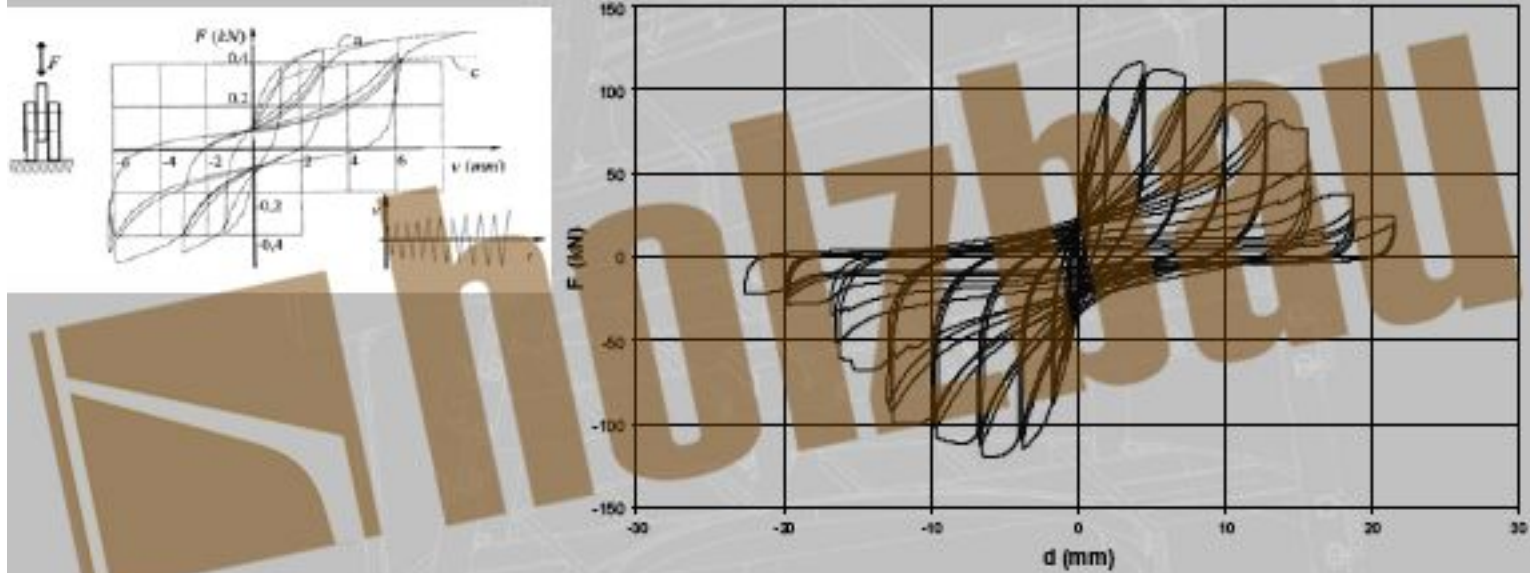
Adeguate comportamento di tipo oligociclico (vedi punto 9.3(3));

**DEFINIZIONE DA NORMATIVA**

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%.







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



**Ordinanza OPCM 3431**

Adeguate comportamento di tipo oligociclico (vedi **punto 9.3**)

**DEFINIZIONE DA NORMATIVA**

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.



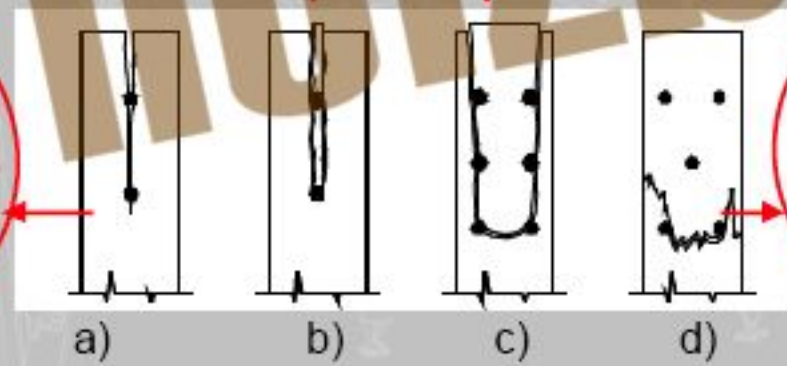
**I collegamenti così realizzati  
possono essere considerati  
*sufficientemente dissipativi***



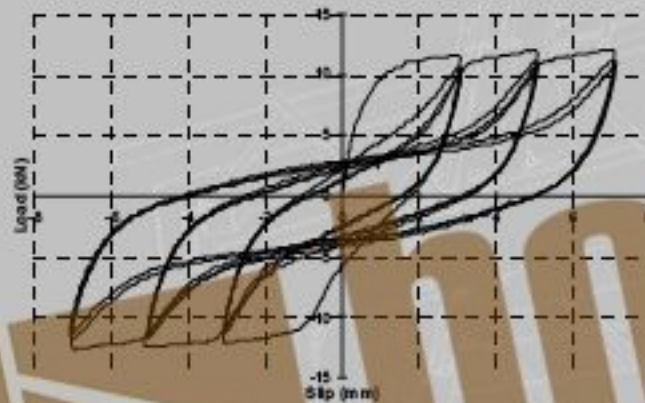
## Modalità di rottura fragili non previste dalla teoria di Johansen



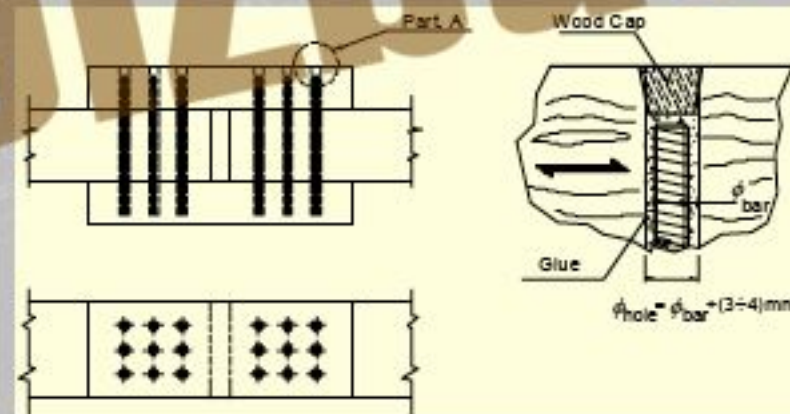
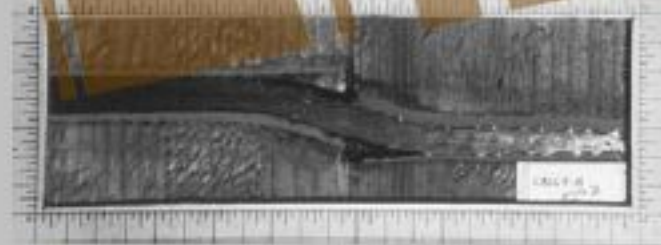
- a) *Fenditura*
- b) *Estrazione di uno più "tasselli" di legno*
- c) *Strappo di parte dell'elemento ligneo in corrispondenza di un gruppo di connettori*
- d) *Rottura dell'elemento per trazione*



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)



# Testo Unico

## NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI



### 5.7.12 PRESCRIZIONI PARTICOLARI PER GLI EDIFICI CON STRUTTURA IN LEGNO

#### 5.7.12.1 Generalità

Gli edifici in legno vanno progettati secondo le regole di cui al punto 5.3.

Nell'analisi strutturale si deve tenere in conto della deformabilità dei collegamenti e dei nodi. Per la valutazione delle deformazioni e sollecitazioni si adottano i valori di modulo elastico per "azioni istantanee", ricavati a partire dai valori medi di modulo elastico riportati nei profili resistenti.

#### 5.7.12.2 Disposizioni costruttive

Le membrature compresse ed i loro collegamenti (come per esempio i giunti di carpenteria), per cui possa essere prevedibile il collasso a causa dell'inversione di segno della sollecitazione, devono essere progettati in modo tale che non si verifichino separazioni, dislocazioni e disassamenti.

Il collegamento realizzato mediante spinotti o chiodi a gambo liscio non deve essere utilizzato senza accorgimenti aggiuntivi volti ad evitare l'apertura del giunto e lo sfilamento dei medesimi mezzi di unione.

## 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** a comportamento dissipativo

Gerarchia della resistenza: elementi o "zone" 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*

