

# Hilti Seismic Academy

## Seismic issues for concrete and prefabricated buildings

**Dr. Roberto Nascimbene**

Ricercatore Responsabile Settore Analisi Strutturale

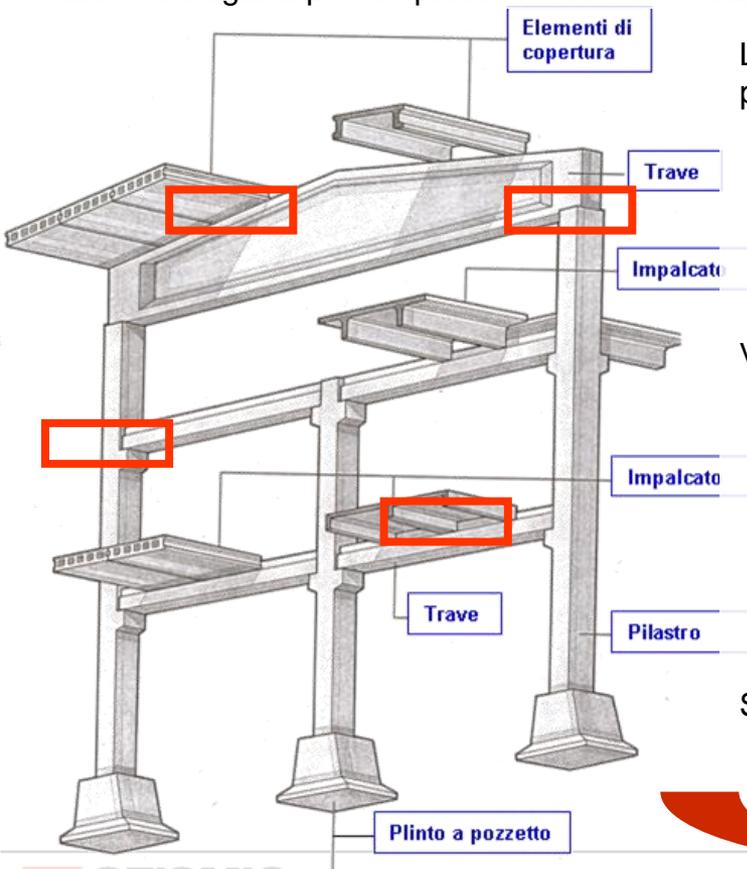
Eucentre – European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering



# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

## Vantaggi vs. svantaggi

- Struttura prefabbricata: assemblaggio di elementi (pilastri, travi, tegoli) prodotti in appositi stabilimenti, trasportati in cantiere e assemblati (oppure prodotti a piè d'opera)
- Prefabbricazione: "organizzazione industriale della produzione di manufatti in calcestruzzo armato", sviluppatasi insieme alla tecnologia di precompressione del calcestruzzo come necessità di ottimizzazione del processo costruttivo



L'utilizzo di elementi strutturali prefabbricati è cresciuto progressivamente a partire dalla metà del secolo scorso, grazie all'evolversi di condizioni quali:

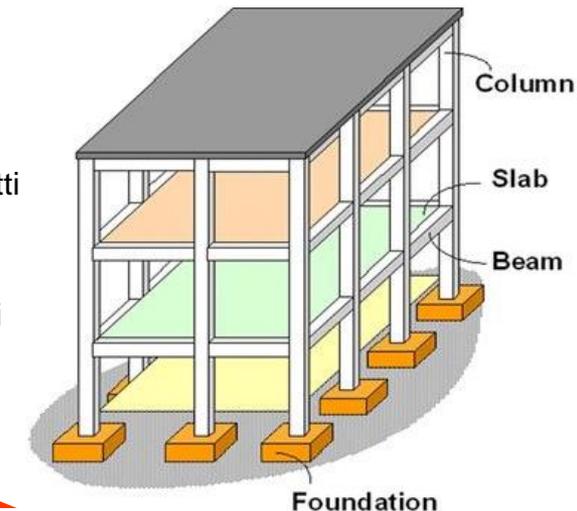
- miglioramento prestazioni materiali di base e relativi controlli
- miglioramento processi industriali di produzione dei manufatti
- sviluppo delle tecniche di precompressione del calcestruzzo armato
- sviluppo delle reti viarie

### VANTAGGI

- Velocità di realizzazione
- Costi relativamente ridotti
- Controllo dimensionale dei manufatti
- Miglioramento delle prestazioni statiche e al fuoco
- Durabilità di materiali e componenti

### SVANTAGGI

- Trasporto degli elementi



Typical RC Frame Building

# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Esempi di travi di produzione corrente



**Trave Boomerang**  
(L 12-20 m, P fino a 11 kN/m, H 1.3-1.6 m)



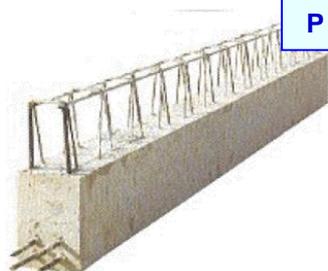
**Trave a doppia pendenza** (L 10-40 m, P 5.5-14 kN/m, H 1.3-2.9 m)



**Trave reticolare** (L oltre 30 m, P variabile, H 2-2.5 m)



**Trave "Y"** (L 8-16 m, P 7-11.5 kN/m, H 0.6-1.0 m)



**Trave rettangolare con staffe sporgenti** (8 – 16m)

**Trave "L"** (L 8-16 m, P 7-17 kN/m, H 0.4-1.2 m)



**Trave "T" rovescio**  
(L 8-16 m, P 7-17 kN/m, H 0.4-1.2 m)

**Trave a "I"** (L 8 – 20 m, P 4-9 kN/m, H 0.8-1.4 m)



**Trave "H"** (L 8-16 m, P 8-12 kN/m H 0.8-1.4 m)

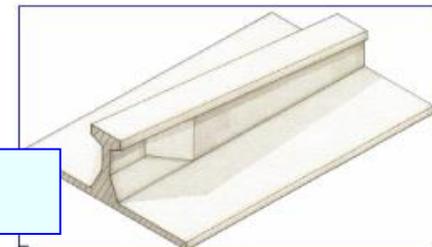


# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

## Elementi da impalcato e copertura di produzione corrente



Lastre nervate rovesce



Spezzone di tegolo ad intradosso piano



Lastra alveolare



Tegolo TT

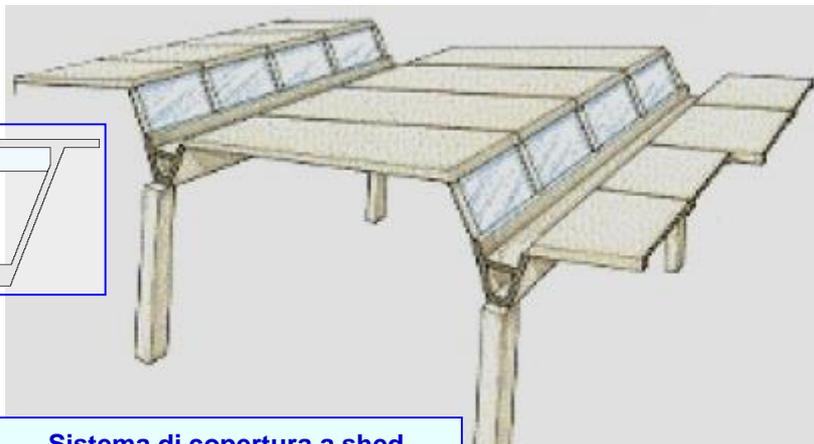
Tipologia elemento	Sezioni tipiche	Dimensioni sagoma standard [m]		Peso totale [kN/m]	Luci correnti d'impiego [m]	Interasse [m]
		base	altezza			
Solai totalmente prefabbricati (in c.a.p)	lastra alveolare	1.20	0.12 ÷ 0.80*	2.00 ÷ 8.50	6 ÷ 24	affiancati
	tegolo binervato	2.50	0.30 ÷ 1.20*	2.00 ÷ 5.00	8 ÷ 24	affiancati (o con lucernari in coperture piane)
	tegolo omega	2.25	0.40 ÷ 1.00*	2.50 ÷ 6.00	10 ÷ 20	affiancati
Solai parzialmente prefabbricati	tegolo binervato ad intradosso piano	1.20	0.50 ÷ 1.00*	3.5 ÷ 8.5	10 ÷ 20	0 ÷ 2.50
	lastra nervata	1.20	0.20 ÷ 0.30	1.50 ÷ 2.50	< 10	0 ÷ 2.50
	a travetti in c.a.p.	0.12 ÷ 2.50**	0.16 ÷ 0.24***	3.00 ÷ 15.00	4 ÷ 10	0 ÷ 0.80
	traliccio (predalles)	1.20÷2.50	0.15÷0.60	-	3.5÷8	Affiancati

\* escluso eventuale getto integrativo in c.a. di spessore 5 ÷ 10 cm; \*\* relativa al singolo travetto; \*\*\* relativa all'intero solaio, escluso il getto integrativo di 5 ÷ 6 cm all'estradosso.

Descrizione tipologica dei principali tegoli e solai di produzione corrente

# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

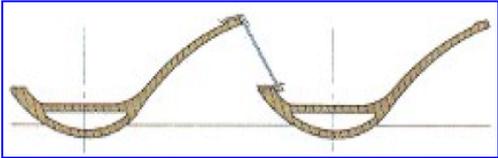
Elementi di copertura di grande luce di produzione corrente



Sistema di copertura a shed



Sistema di copertura con tegoli alari e lucernari



Tipologia elemento	Sezioni tipiche	Dimensioni sagoma standard [m]		Peso totale [kN/m]	Luci correnti d'impiego [m]	Interasse [m]
		base	altezza			
Tegoli di copertura		2.50	1.00 ÷ 1.10	6.00 ÷ 8.00	16 ÷ 32	0 ÷ 6.00

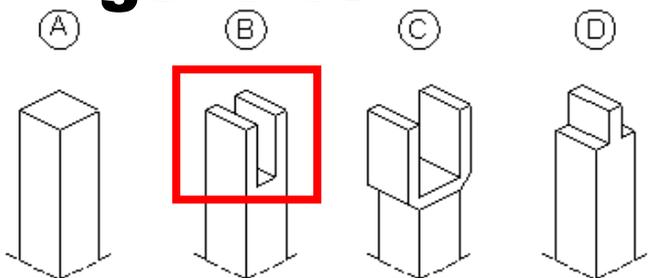
Descrizione tipologica dei principali tegoli di grande luce di produzione corrente



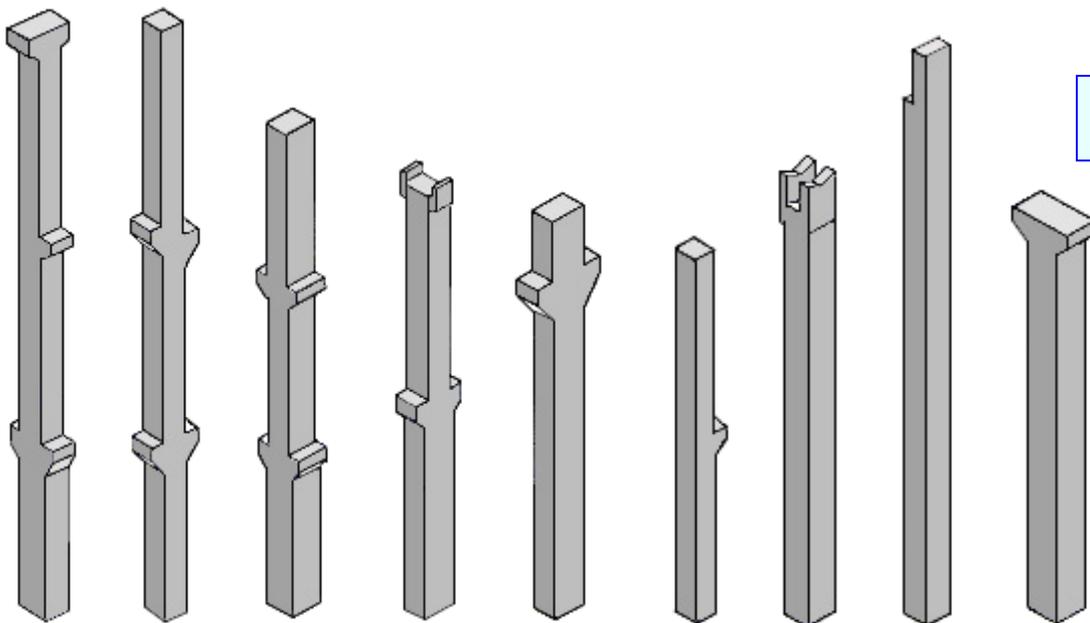
Sistema microshed

# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

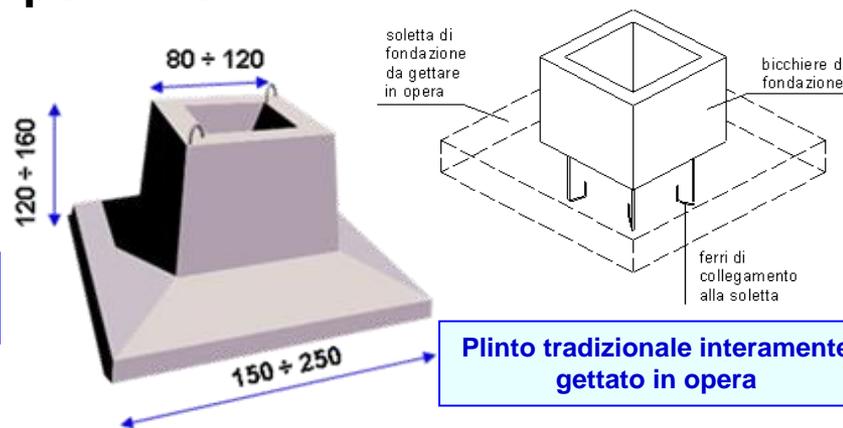
## Pilastri e plinti a pozzetto



Teste pilastri: a) piatta (travi rettangolari o "I"); b) a forcilla (travi doppia pendenza); c) a forcilla con allargamento; d) a baionetta (travi "H")

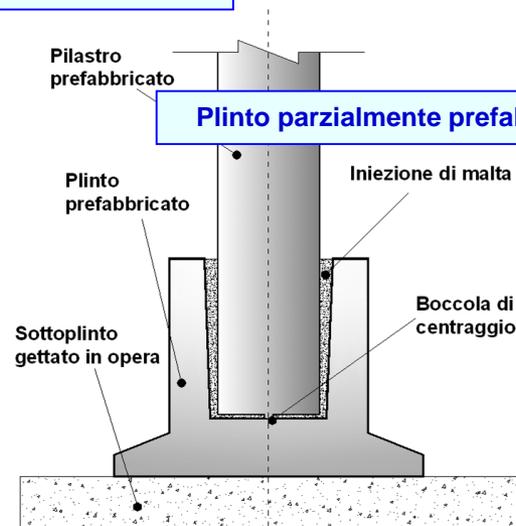


Morfologia dei pilastri: sezione trasversale quadrata, rettangolare, ad H (per l'inserimento dei tamponamenti verticali). Hmax 12 - 14 m, fino a 24 - 26 m in casi molto rari. Limitazioni: maglia, schema statico, instabilità, SLD



Plinto tradizionale interamente gettato in opera

Dimensioni massime e minime indicative



Plinto parzialmente prefabbricato

# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Struttura a pannelli orizzontali



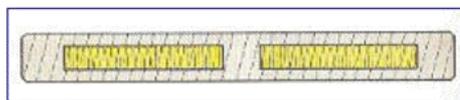
Struttura a pannelli verticali



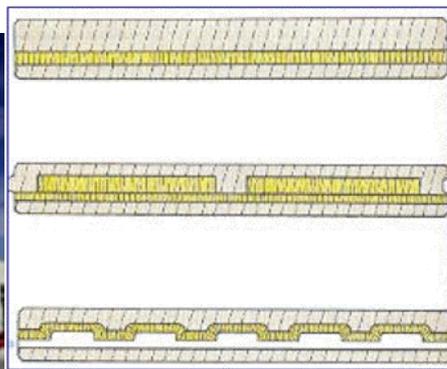
## Pannelli di tamponamento



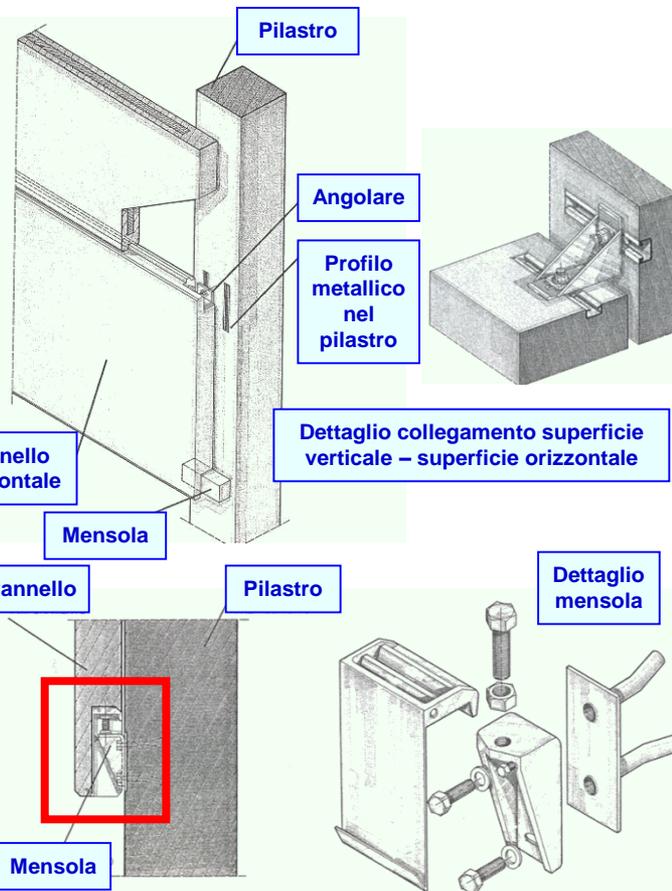
Sezione di un pannello monolitico



Sezione di un pannello alleggerito (a travetti)



Sezione di pannelli a strati (sandwich)

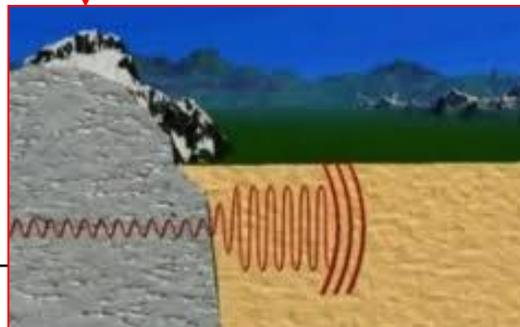
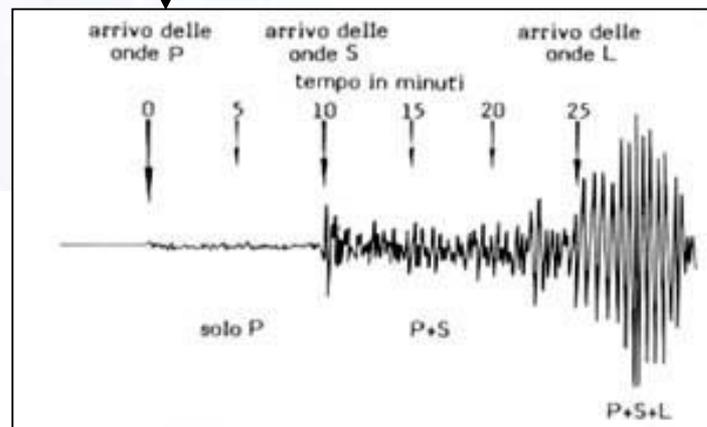
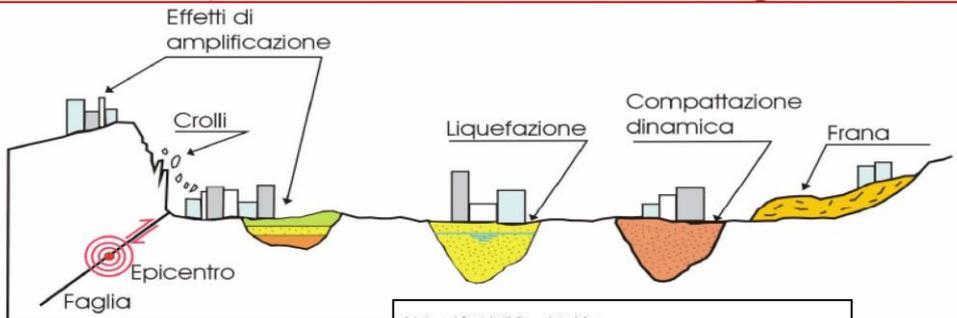
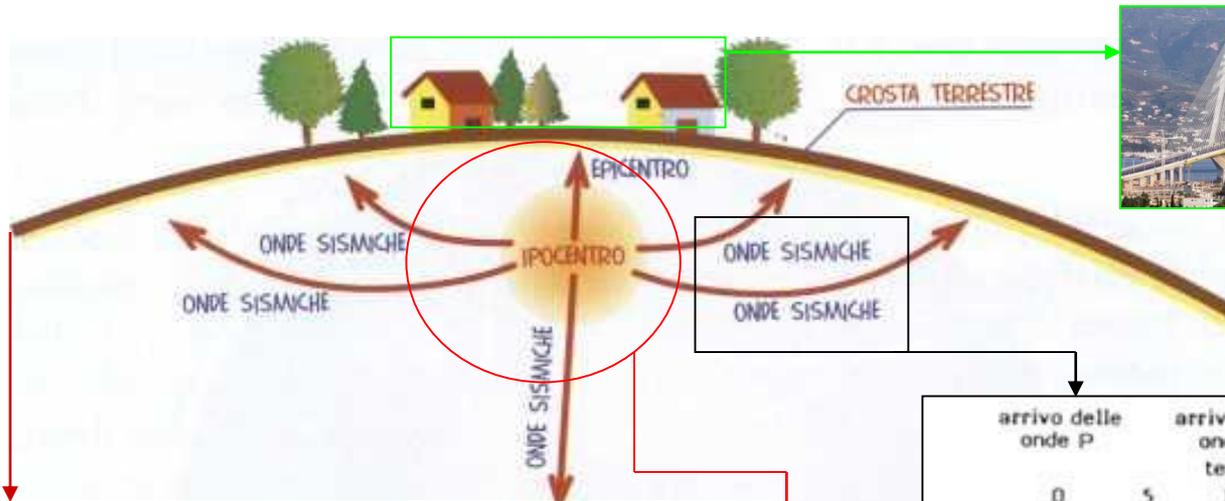


**Pannelli monolitici:** sono i più pesanti. Spessori massimi: 8 ÷ 10 cm. Impiegati per le elevate prestazioni meccaniche, oppure come pareti tagliafuoco; scarsa capacità coibente.

**Pannelli a travetti:** costituiti da un telaio perimetrale e da travetti armati orizzontali e verticali con interposte parti di materiale di alleggerimento (es: polistirolo). Spessore standard 20 cm, larghezza media 2.50 ÷ 3.0 m, altezza max circa 10 m, peso 3.50 ÷ 4.00 kN/m<sup>2</sup>. Buona capacità coibente e resistenza, anche fuori piano.

**Pannelli a strati (o sandwich):** Composizione base: strato portante interno (lastra in calcestruzzo armato), strati intermedi coibenti e di alleggerimento (eventualmente anche camere d'aria), strati esterni di protezione e finitura superficiale.

# Strutture in c.a. e prefabbricate: analisi sismica !!



# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

## Analisi sismica completa: equazione generale

**Punto 7.3.4.2**

**DM. 14/01/2008**

L'analisi non lineare dinamica consiste nel calcolo della risposta sismica della struttura mediante integrazione delle equazioni del moto, utilizzando un modello non lineare della struttura e gli accelerogrammi definiti al § 3.2.3.6. Essa ha lo scopo di valutare il comportamento dinamico della struttura in campo non lineare.

ACCELERAZIONE OUTPUT

VELOCITA'

SPOSTAMENTO

ACCELEROGRAMMA

(periodo, spettro di risposta, suolo)

IRREGOLARITA'

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + K(U)U = -MR\ddot{x}_g$$

MASSA

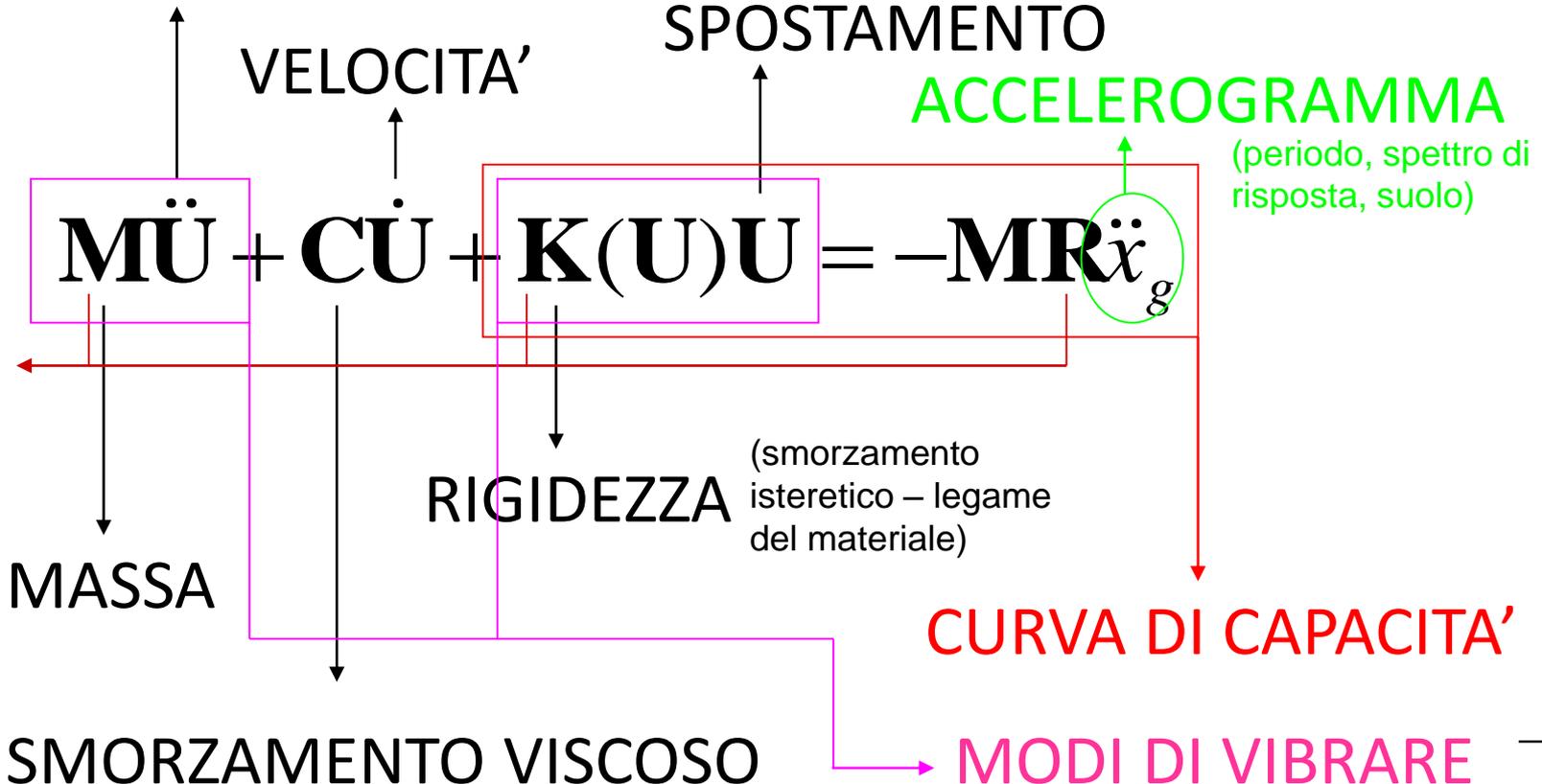
RIGIDEZZA

(smorzamento isteretico – legame del materiale)

CURVA DI CAPACITA'

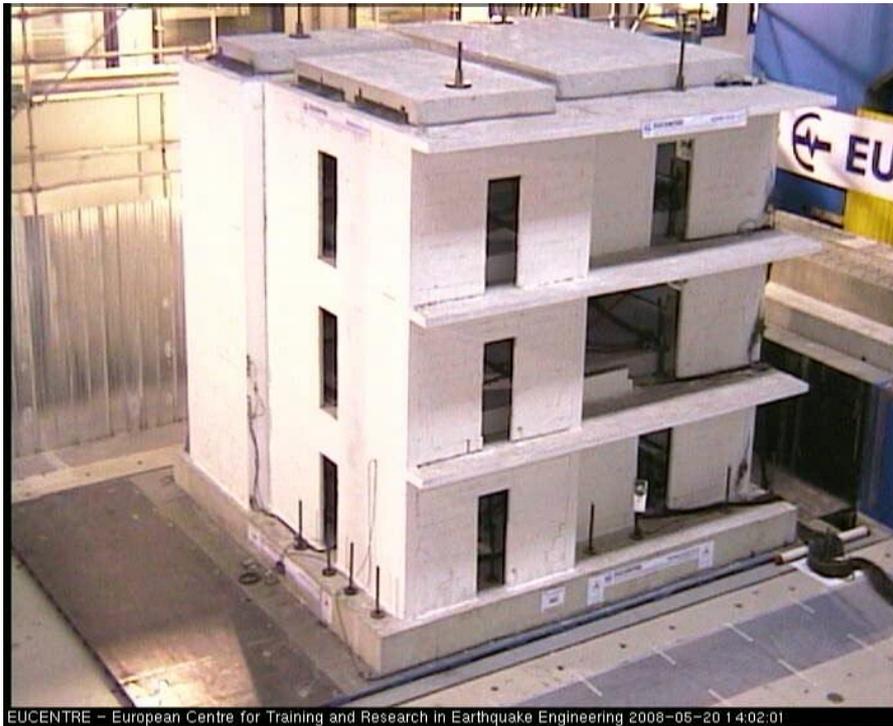
SMORZAMENTO VISCOSO

MODI DI VIBRARE



# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Analisi sismica completa: **MASSE**



EUCENTRE - European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering 2008-05-20 14:02:01



EUCENTRE - European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering 2011-03-22 17:04:35

# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Analisi sismica completa: **RIGIDENZE**

STRUTTURA  
RIGIDA

Arena di Verona



Tende a spostarsi con il terreno

STRUTTURA  
FLESSIBILE

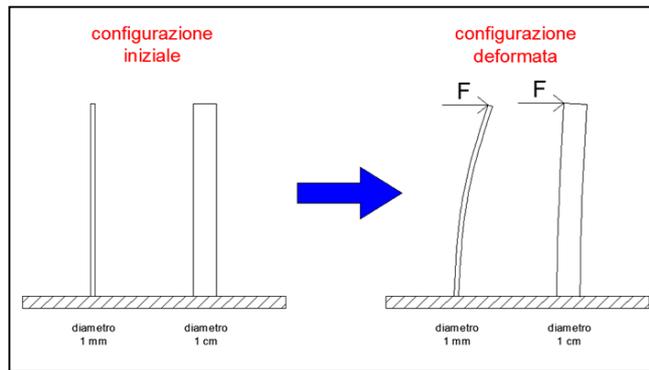
CN Tower - Toronto



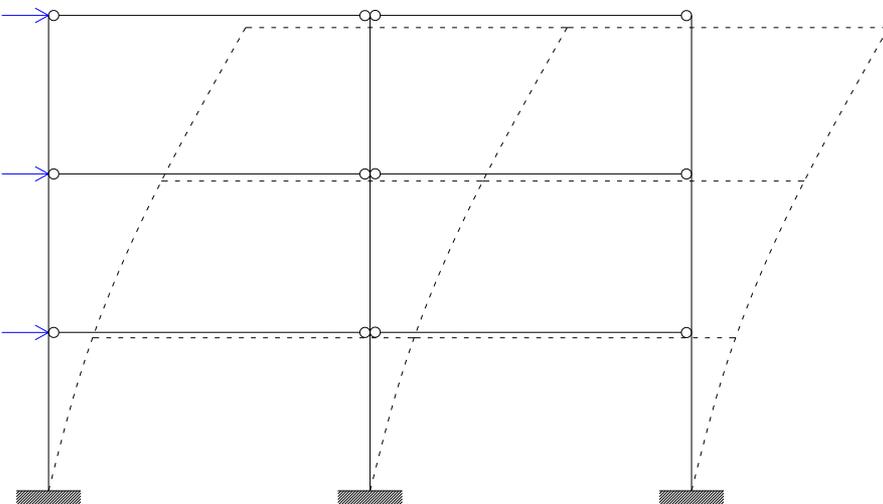
Tende a deformarsi molto  
rispetto al terreno

# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

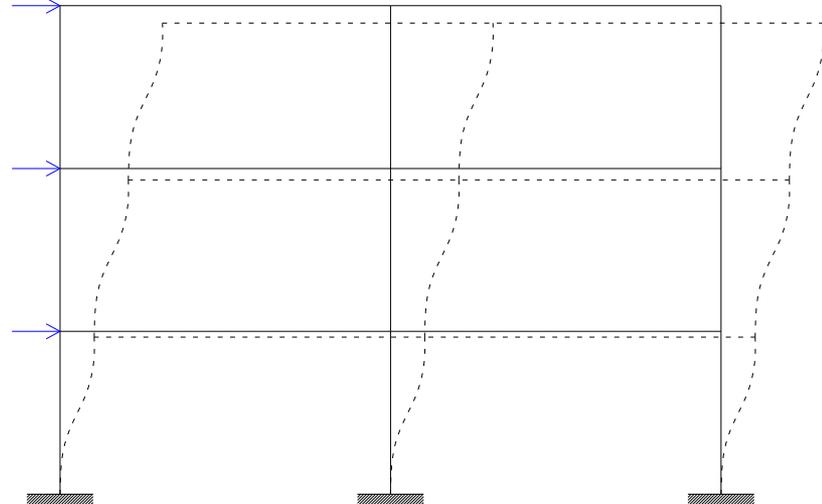
Analisi sismica completa: **RIGIDENZE**



Struttura pluripiano a pilastri incastrati alla base e travi incernierate



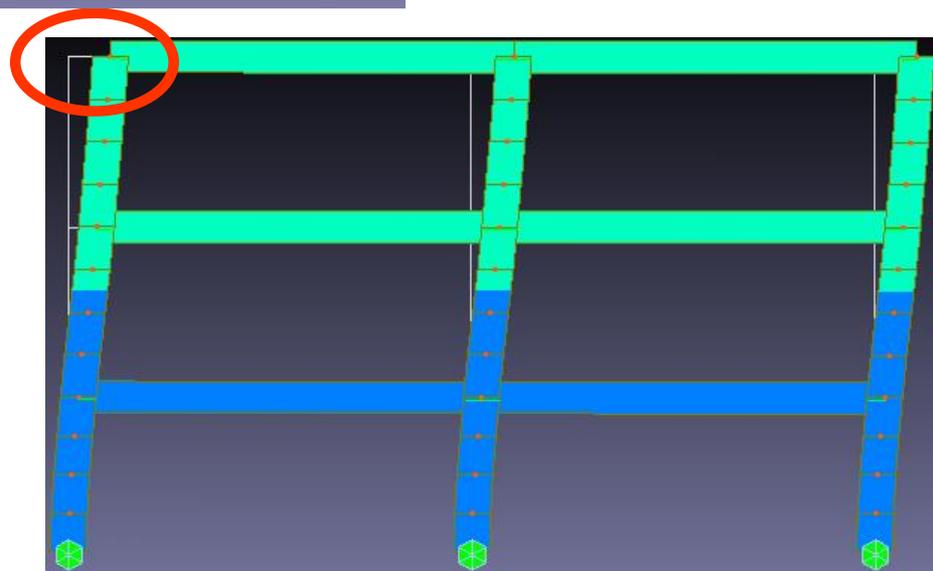
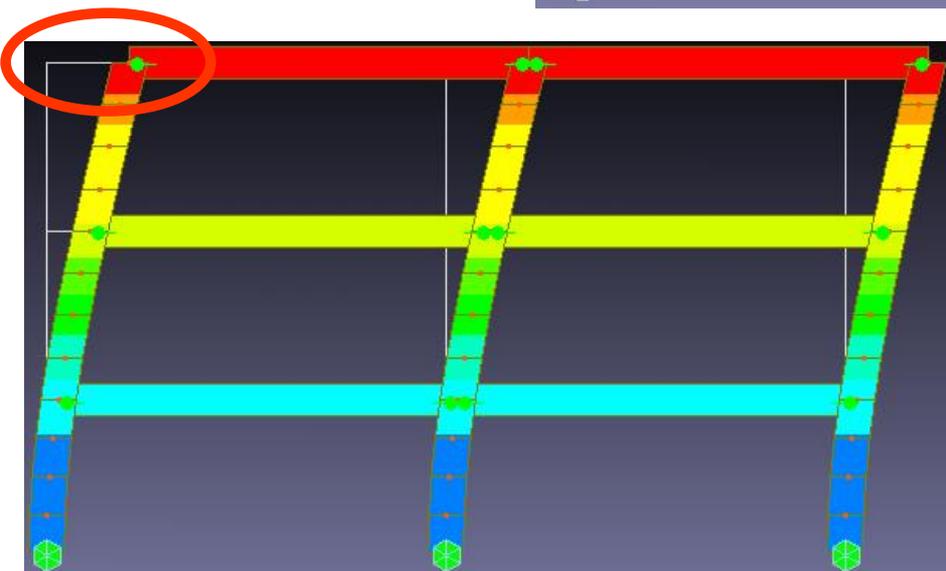
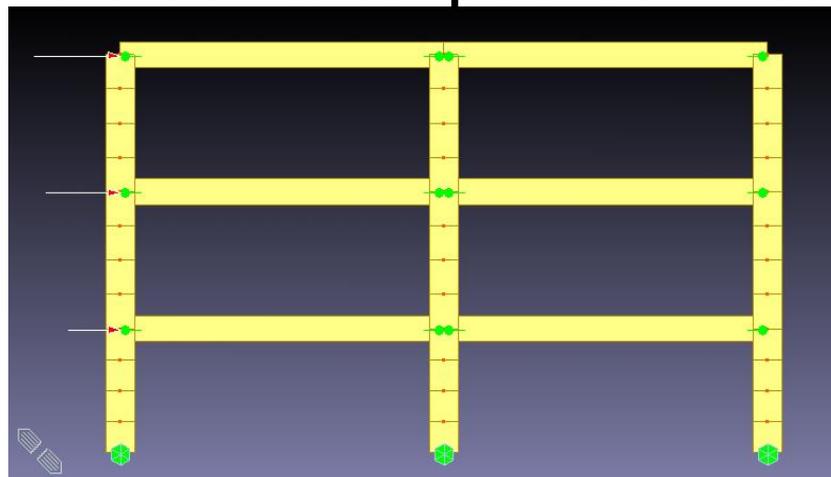
Struttura pluripiano intelaiata a connessioni monolitiche



**CONNESSIONI**

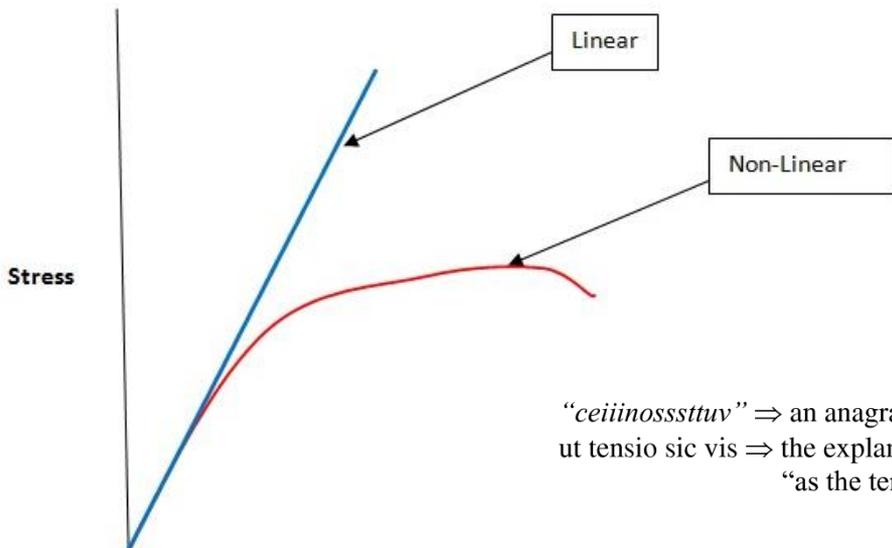
# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Analisi sismica completa: **CONNESSIONI**

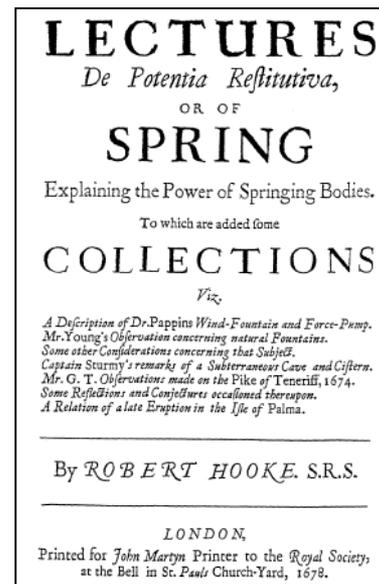


# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

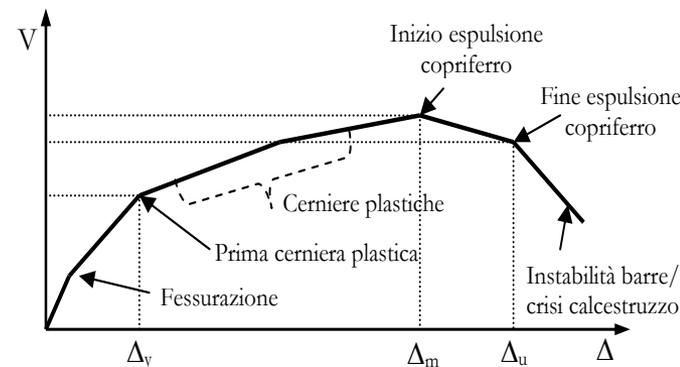
Analisi sismica completa: **MATERIALE**



“ceiinosstuv” ⇒ an anagram by Robert Hooke (1676)  
 ut tensio sic vis ⇒ the explanation by Robert Hooke (1678)  
 “as the tension so the displacement”



Strain



Kobe Bridge Collection, E.E.R.C., University of California, Berkeley

# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



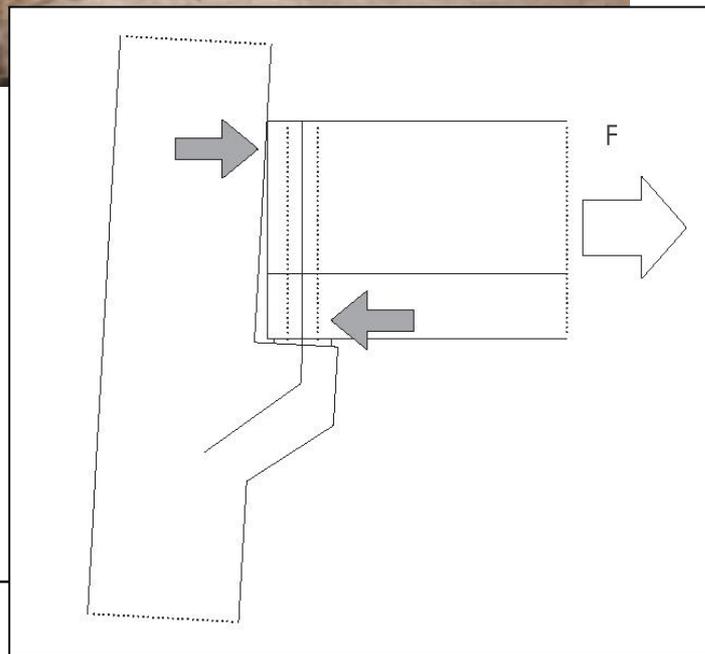
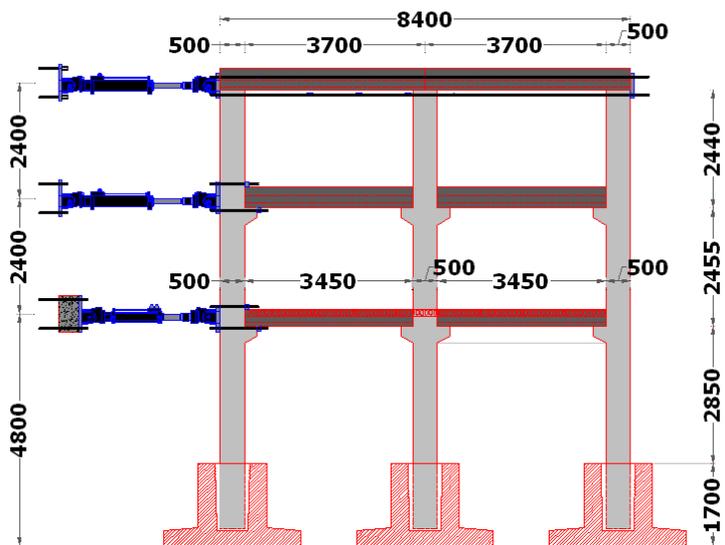
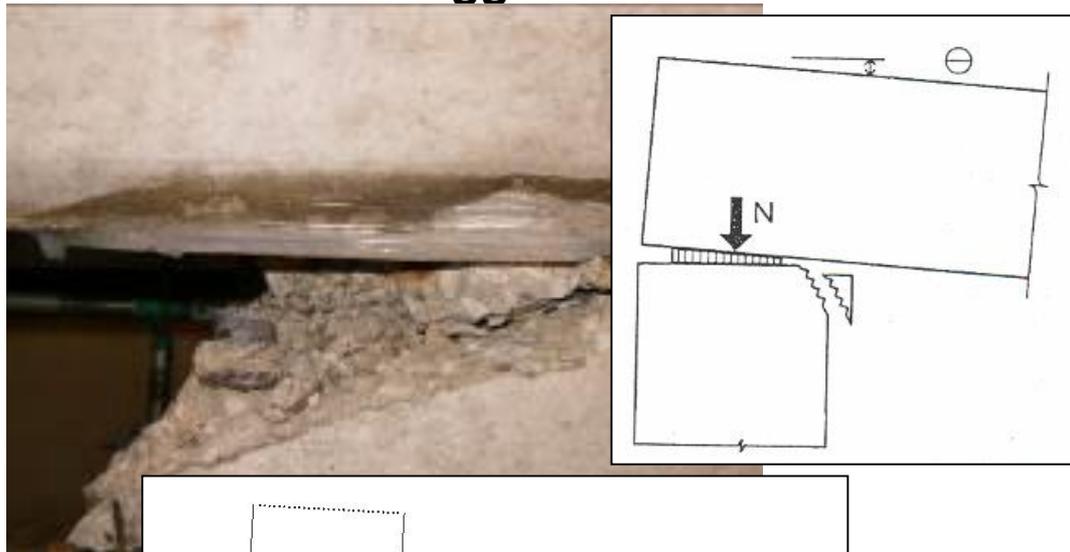
# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



(a)

© ReLUIS 2012



(b)

© ReLUIS 2012



(c)

© ReLUIS 2012

**Crisi della connessione di un pannello di tamponatura orizzontale nella sua parte superiore: (a) dettaglio dell'ancoraggio superior e realizzato tramite profilo a C in acciaio annegato nel pilastro che ha subito il fenomeno dello slabbramento, (b) squadretta di collegamento e (c) connettore con testa a martello**

# Strutture prefabbricate: caratteristiche generali

Evento sismico in Emilia: 20 e 29 Maggio 2012



229. Qualora un costruttore costruisca una casa per qualcuno, e non la costruisca debitamente e la casa che costruì cada ed uccida il proprietario, allora quel costruttore sarà messo a morte.

