

# Hilti Seismic Academy

## Seismic issues for concrete and prefabricated buildings

**Dr. Roberto Nascimbene**

Ricercatore Responsabile Settore Analisi Strutturale

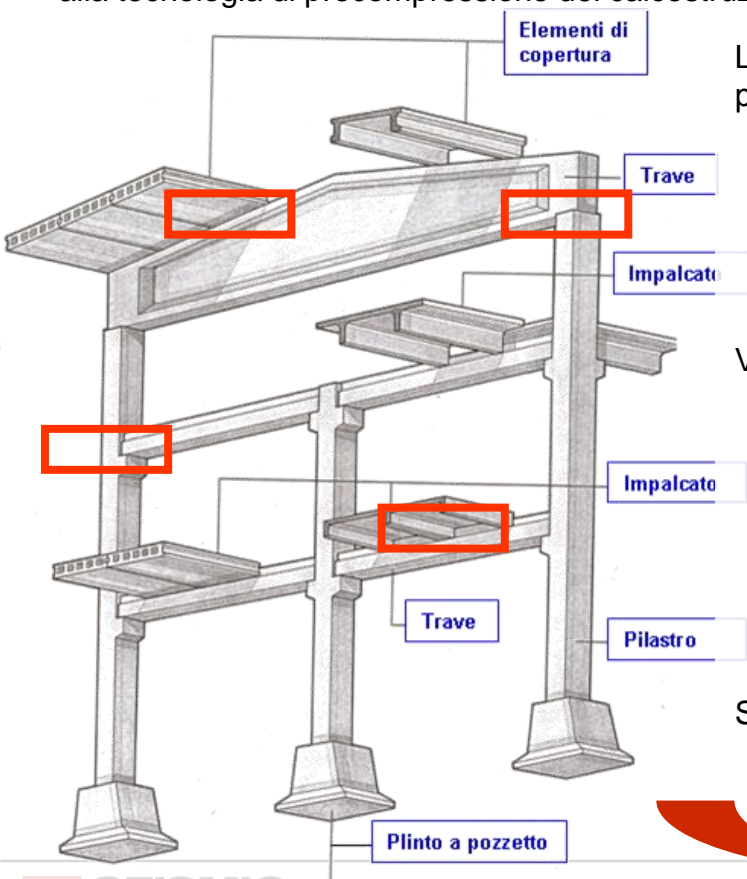
Eucentre – European Centre for Training and Research in Earthquake Engineering



# 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", sviluppata 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:

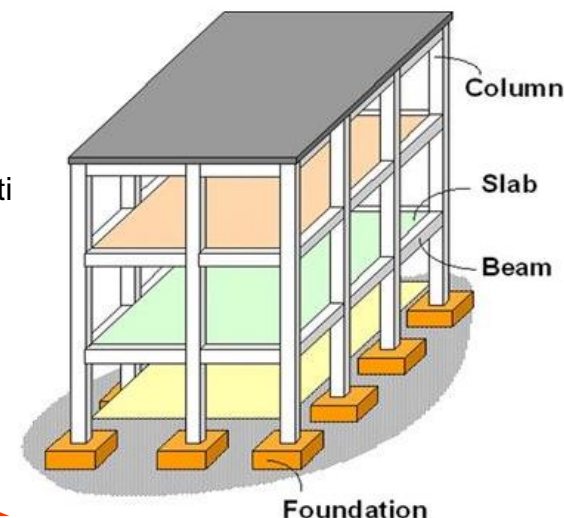
- miglioramento prestazioni materiali di base e relativi controlli
- miglioramento processi industriali di produzione dei manufatti
- sviluppo delle tecniche di precompressione del calcestruzzo armato
- sviluppo delle reti viarie

### 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)



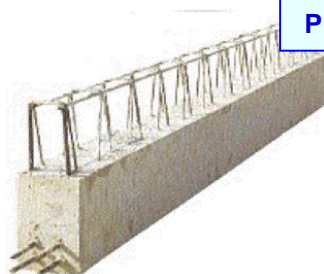
**Trave a doppia pendenza** (L 10-40 m, P 5.5-14 kN/m, H 1.3-2.9 m)



**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)

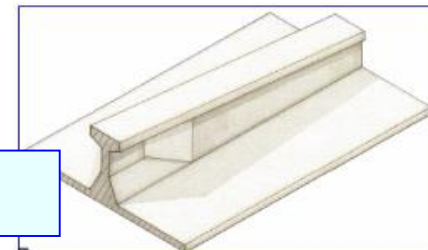


# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

## 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
	tegolo binervato		2.50	0.30 ÷ 1.20*	2.00 ÷ 5.00	8 ÷ 24
	tegolo omega		2.25	0.40 ÷ 1.00*	2.50 ÷ 6.00	10 ÷ 20
Solai parzialmente prefabbricati	tegolo binervato ad intradosso piano		1.20	0.50 ÷ 1.00*	3.5 ÷ 8.5	10 ÷ 20
	lastra nervata		1.20	0.20 ÷ 0.30	1.50 ÷ 2.50	< 10
	a travetti in c.a.p.		0.12 ÷ 2.50**	0.16 ÷ 0.24***	3.00 ÷ 15.00	4 ÷ 10
	tralicciato (predalles)		1.20÷2.50	0.15÷0.60	-	3.5÷8

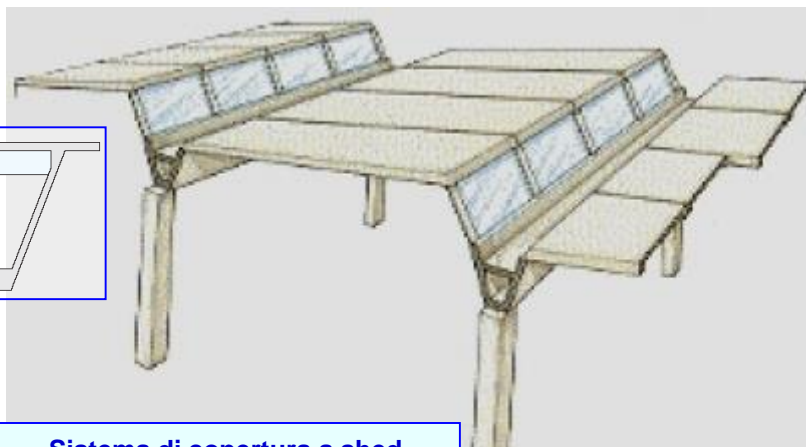
\* escluso eventuale getto integrativo in c.a. di spessore 5 ÷ 10 cm; \*\* relativa al singolo travetto; \*\*\* relativa all'intero solaio, escluso il getto integrativo di 5 ÷ 6 cm all'estradosso.

**Descrizione tipologica dei principali tegoli e solai di produzione corrente**



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

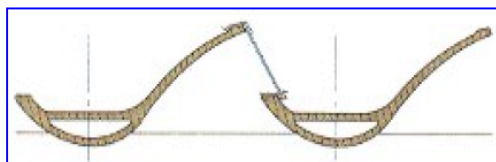
Elementi di copertura di grande luce di produzione corrente



Sistema di copertura a shed



Sistema di copertura con tegoli alari e lucernari



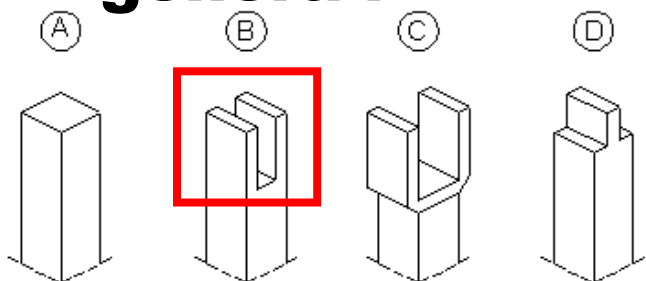
Tipologia elemento	Sezioni tipiche	Dimensioni sagoma standard [m]		Peso totale [kN/m]	Luci correnti d'impiego [m]	Interasse [m]
		base	altezza			
Tegoli di copertura						
		2.50	1.00 ÷ 1.10	6.00 ÷ 8.00	16 ÷ 32	0 ÷ 6.00

Descrizione tipologica dei principali tegoli di grande luce di produzione corrente

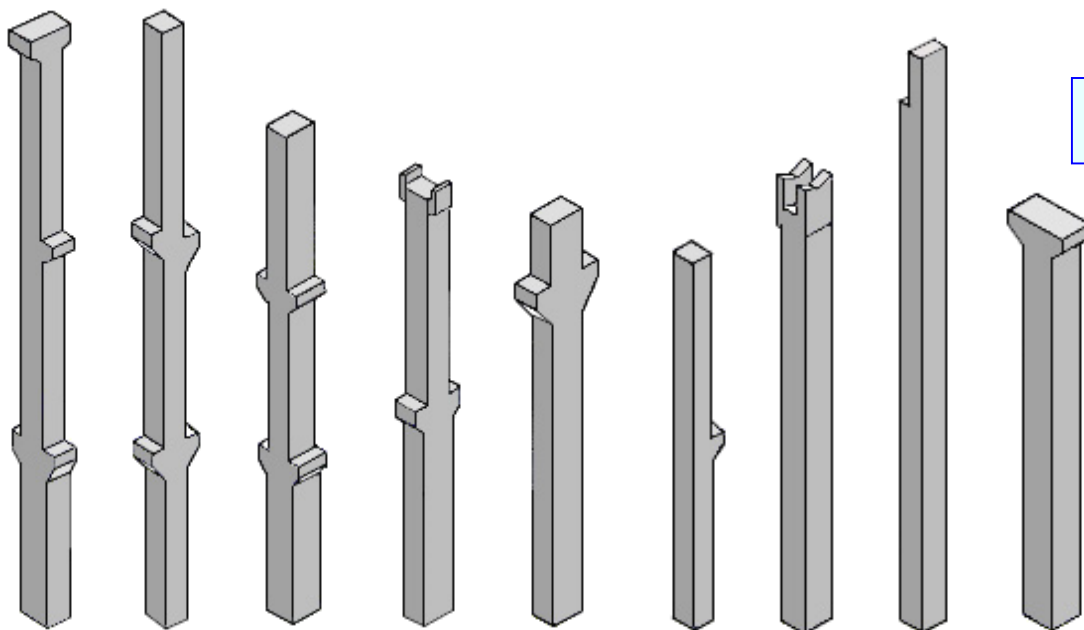
Sistema microshed

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

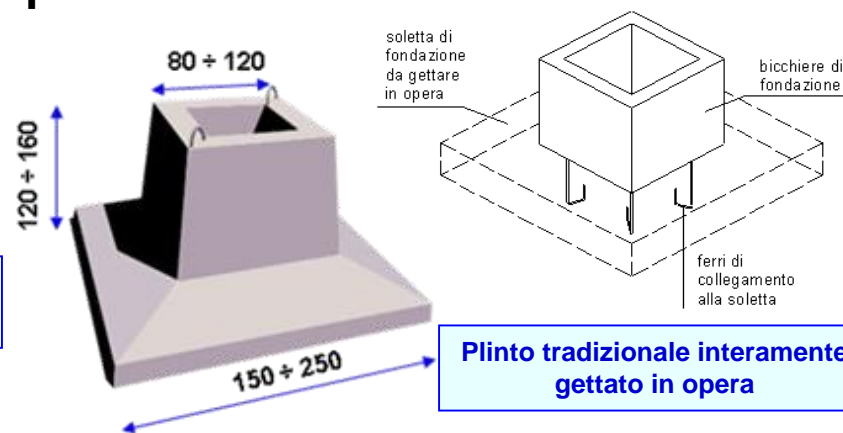
## Pilastri e plinti a pozzetto



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

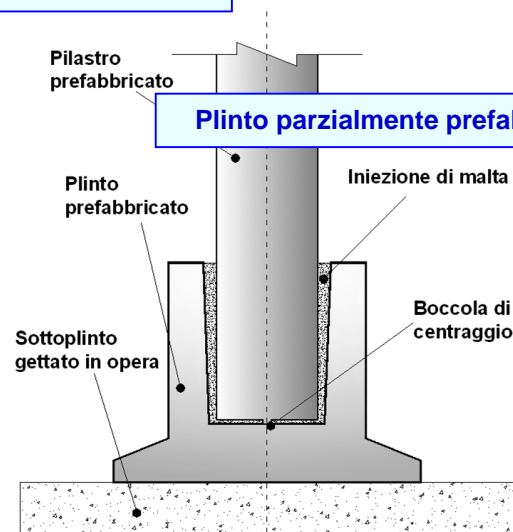


**Morfologia dei pilastri:** sezione trasversale quadrata, rettangolare, ad H (per l'inserimento dei tamponamenti verticali). Hmax 12 – 14 m, fino a 24 – 26 m in casi molto rari. Limitazioni: maglia, schema statico, instabilità, SLD



**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

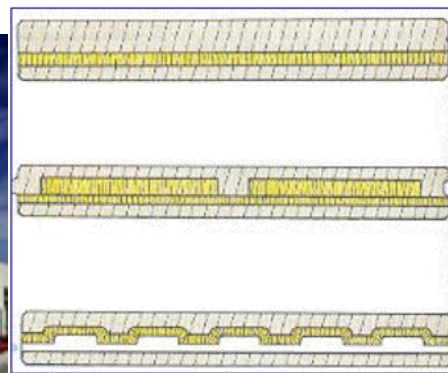


## Pannelli di tamponamento

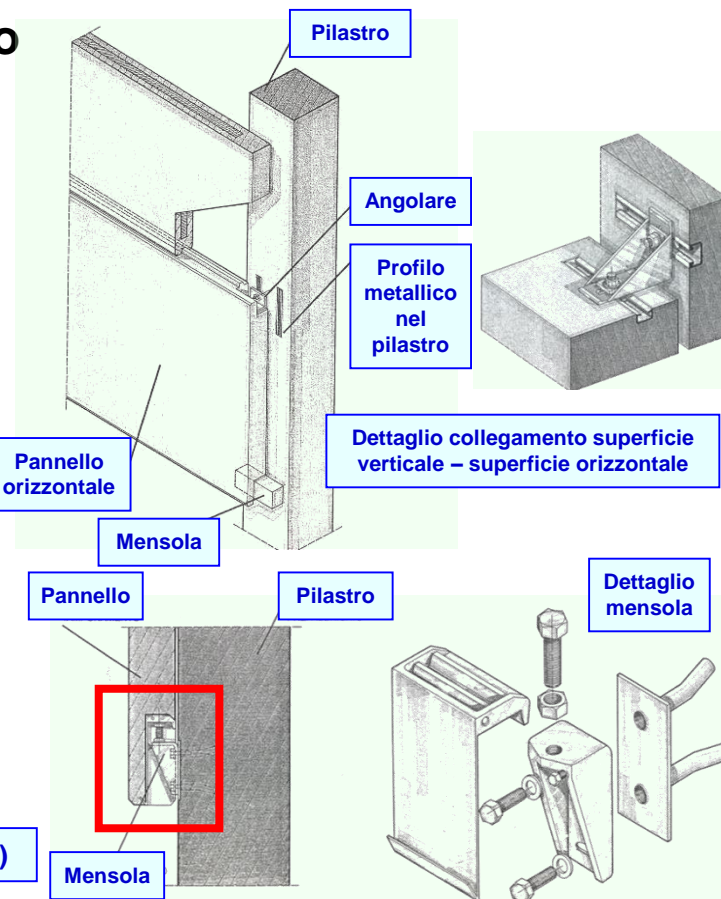
Sezione di un pannello monolitico



Sezione di un pannello alleggerito (a travetti)



Sezione di pannelli a strati (sandwich)



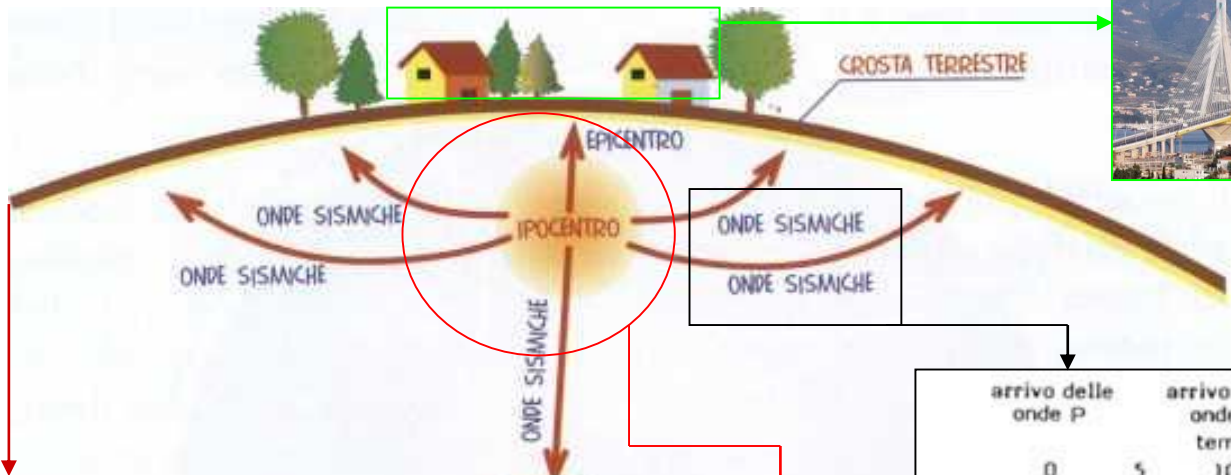
**Pannelli monolitici:** sono i più pesanti. Spessori massimi:  $8 \div 10$  cm. Impiegati per le elevate prestazioni meccaniche, oppure come pareti tagliafuoco; scarsa capacità coibente.

**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  $2.50 \div 3.0$  m, altezza max circa 10 m, peso  $3.50 \div 4.00$  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 !!





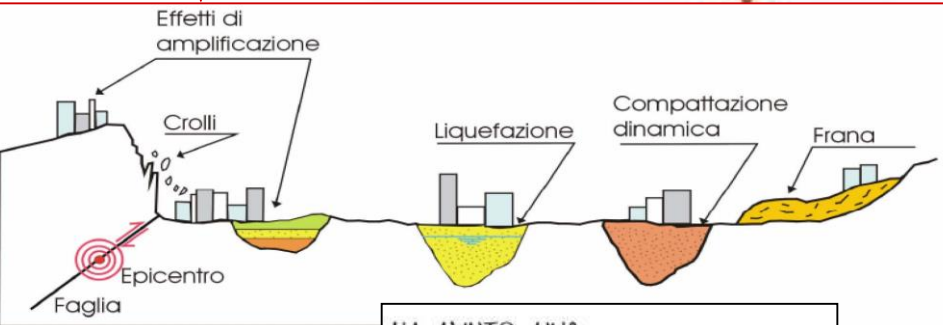
CROSTA TERRESTRE

EPICENTRO

IPOCENTRO

ONDE SISMICHE





Effetti di amplificazione

Crolli

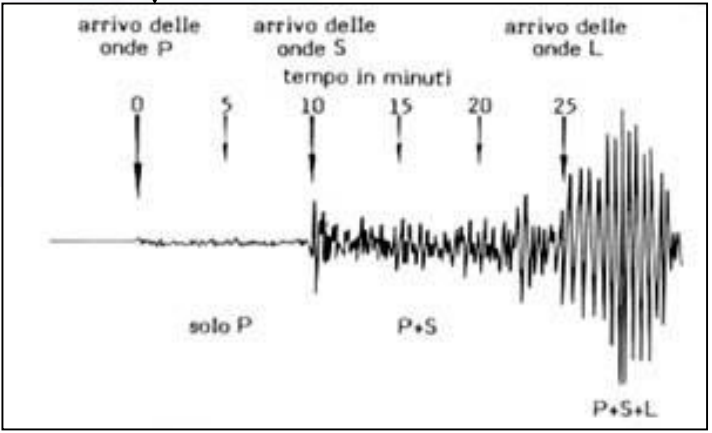
Liquefazione

Compattazione dinamica

Frana

Epicentro

Faglia



arrivo delle onde P

arrivo delle onde S

arrivo delle onde L


tempo in minuti

0 5 10 15 20 25

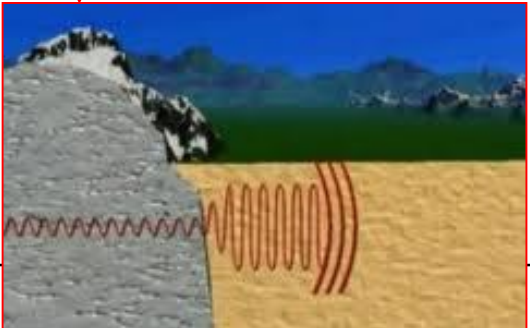
solo P


P+S

P+S+L



HA AVUTO UNA CONCESSIONE EDILIZIA MOLTO FAVOREVOLE





**SEISMIC ACADEMY**

I Pavia 29 Ottobre 2015

8



# 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'

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

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

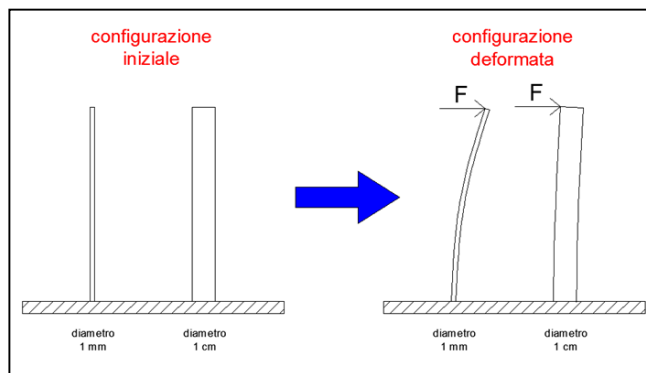
CN Tower - Toronto



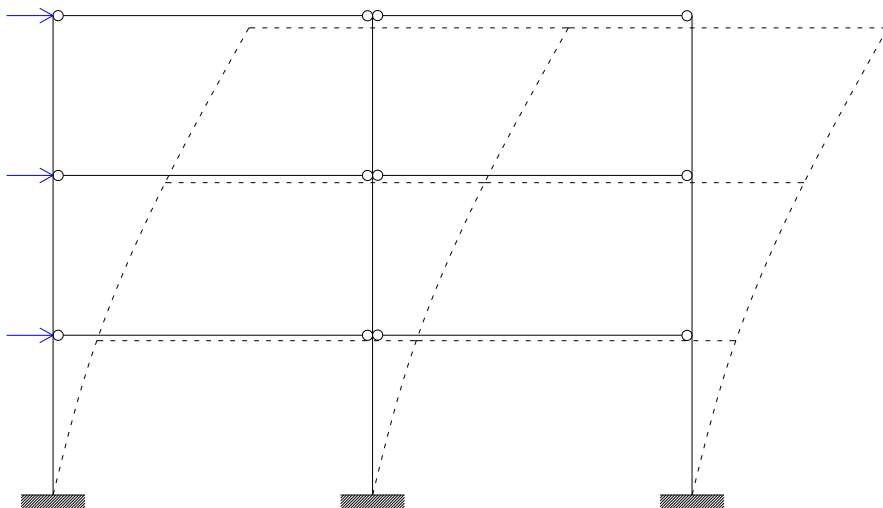
Tende a deformarsi molto  
rispetto al terreno

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

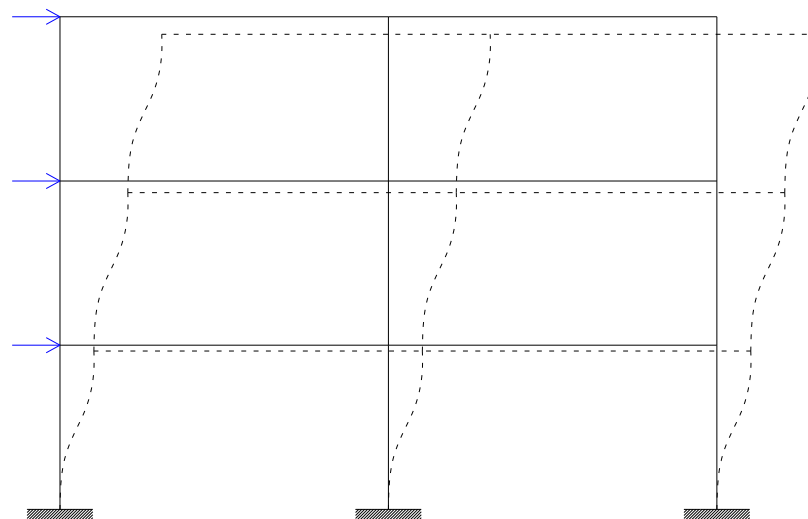
Analisi sismica completa: **RIGIDENZE**



Struttura pluripiano a pilastri incastrati alla base  
e travi incernierate



Struttura pluripiano intelaiata  
a connessioni monolitiche

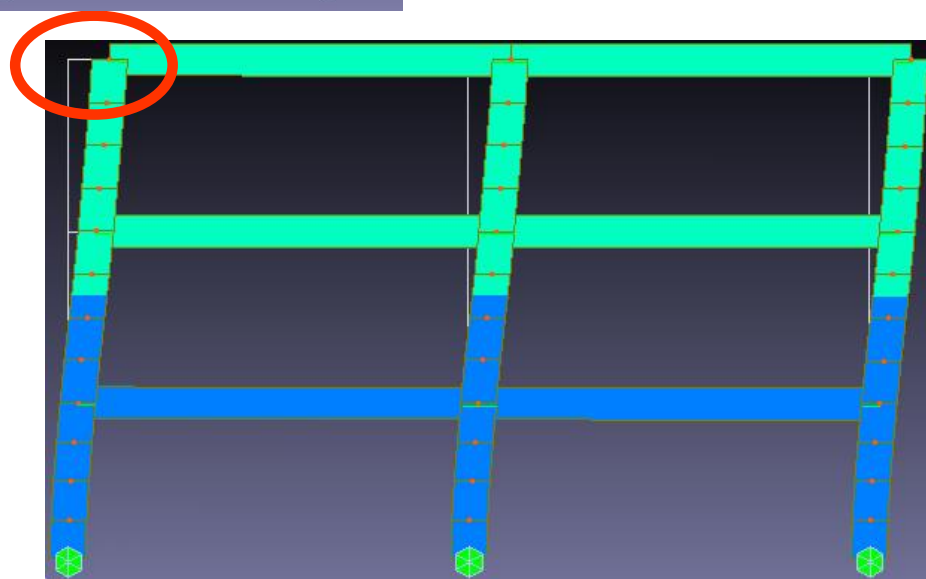
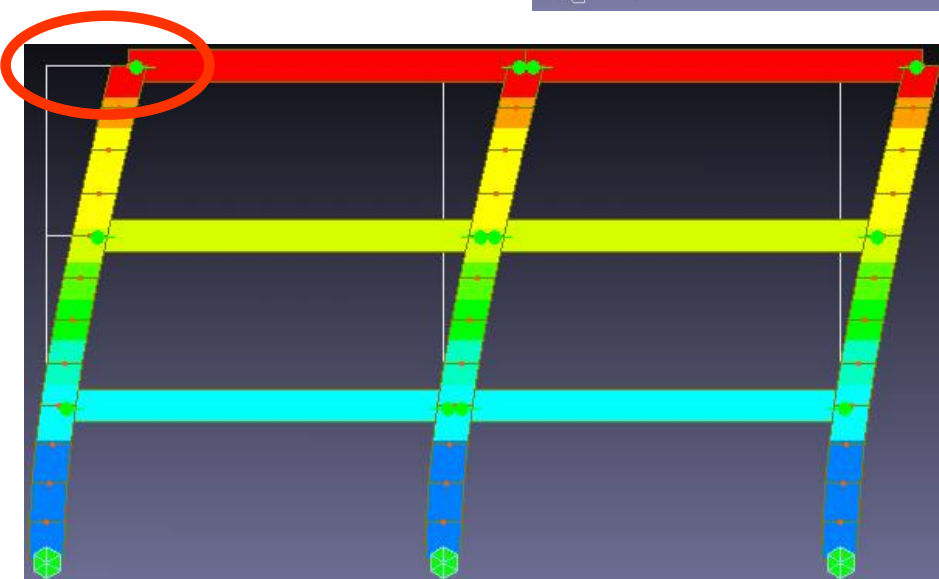
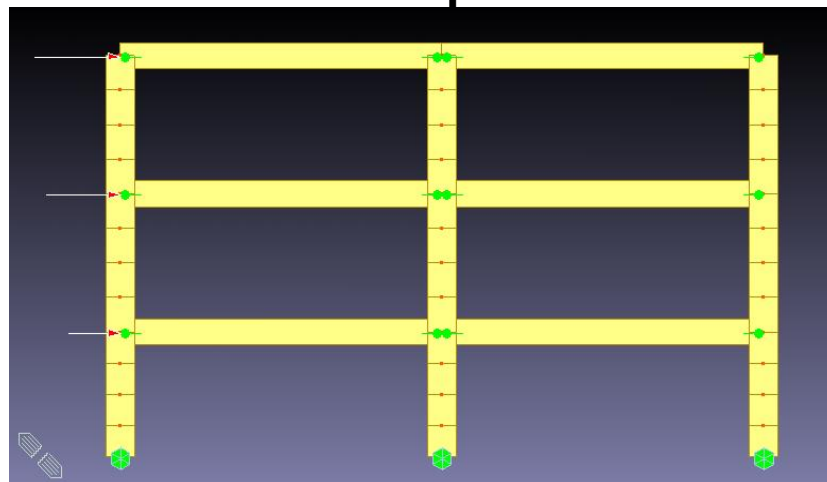


**CONNESSIONI**



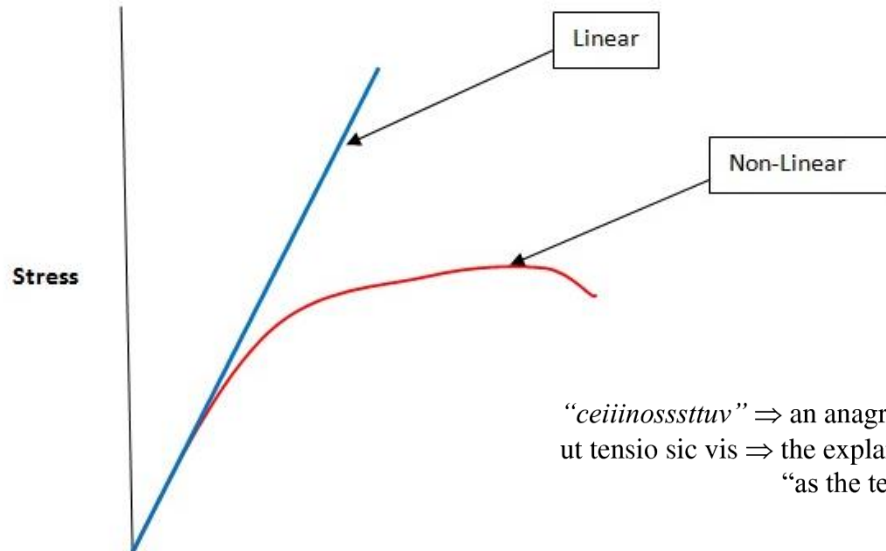
# Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Analisi sismica completa: **CONNESSIONI**

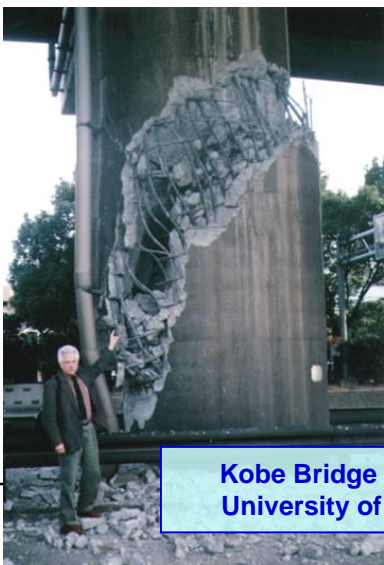
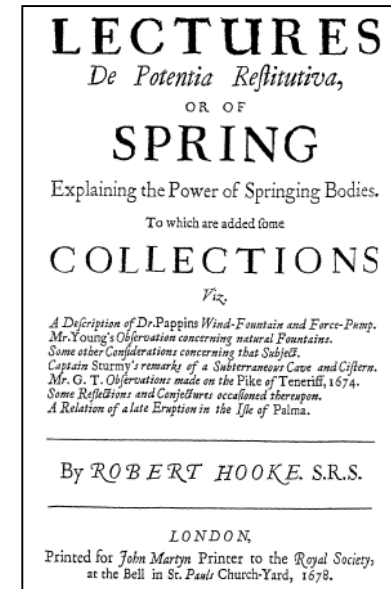


## Strutture in c.a. e prefabbricate: caratteristiche generali

Analisi sismica completa: **MATERIALE**



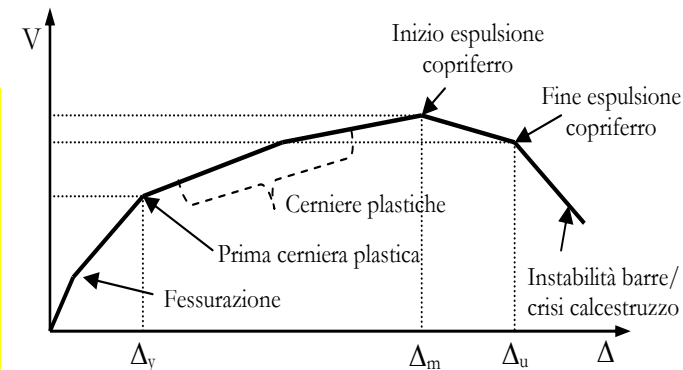
“ceiinosstuv”  $\Rightarrow$  an anagram by Robert Hooke (1676)  
 ut tensio sic vis  $\Rightarrow$  the explanation by Robert Hooke (1678)  
 “as the tension so the displacement”



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





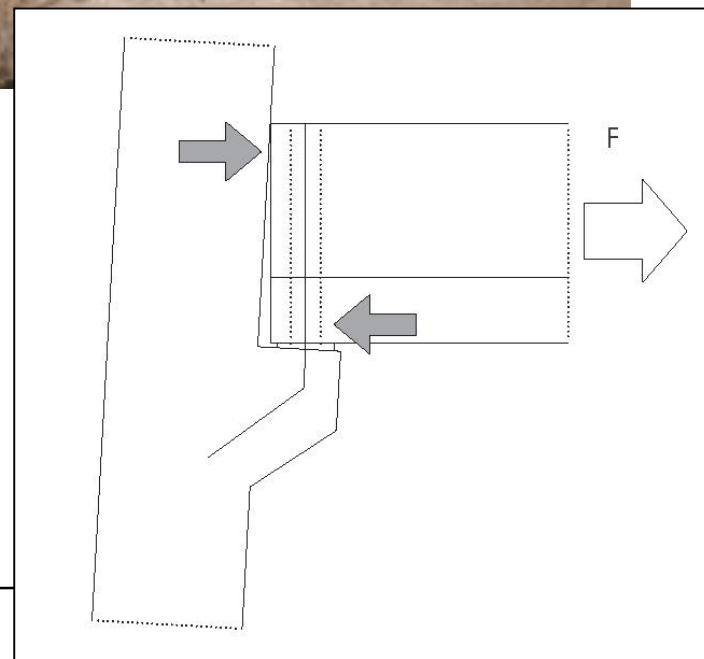
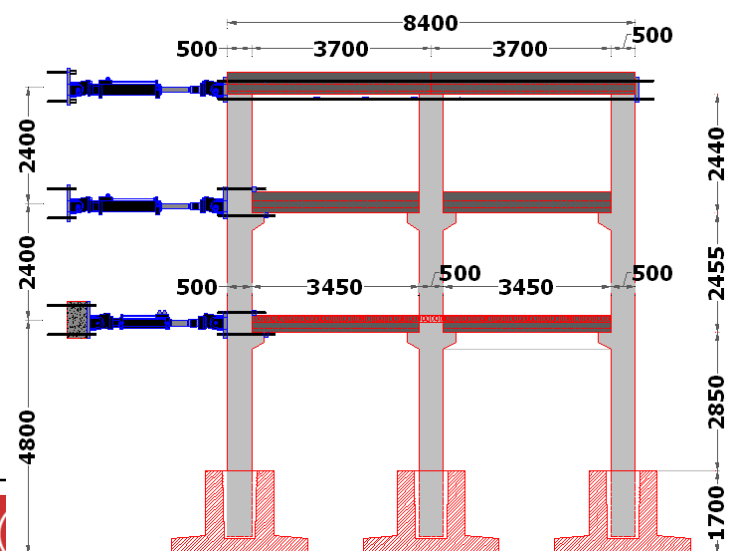
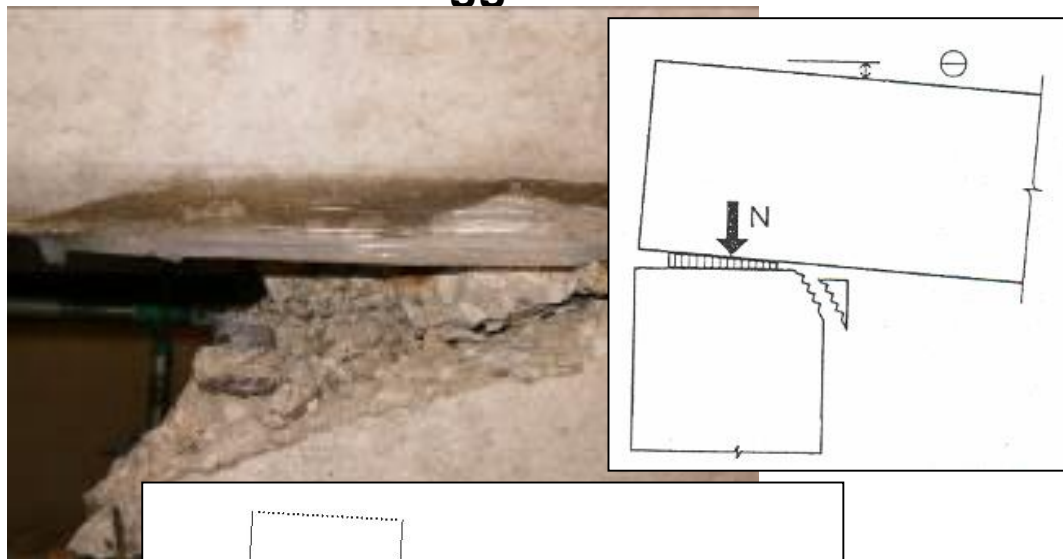
# **Strutture prefabbricate: caratteristiche generali**

**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)



(b)



(c)

**Crisi della connessione di un pannello di tamponatura orizzontale nella sua parte superiore: (a) dettaglio dell'ancoraggio superiore 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.

