

Ordine degli ingegneri della provincia di Napoli
Corso di aggiornamento professionale

*"La progettazione strutturale in zona sismica.
Il nuovo quadro normativo"*

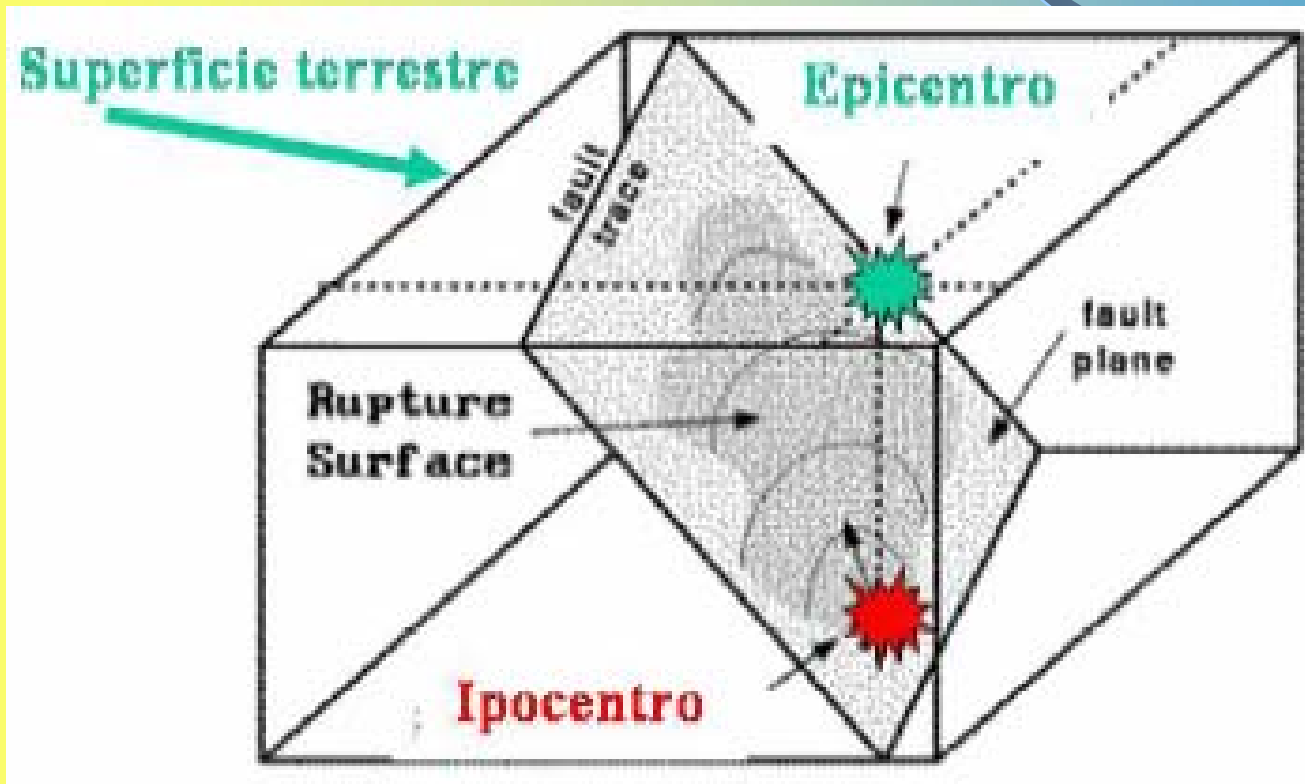
*Elementi di dinamica e principi di ingegneria
sismica*

PROF. ROBERTO RAMASCO

(Università degli Studi di Napoli Federico II)

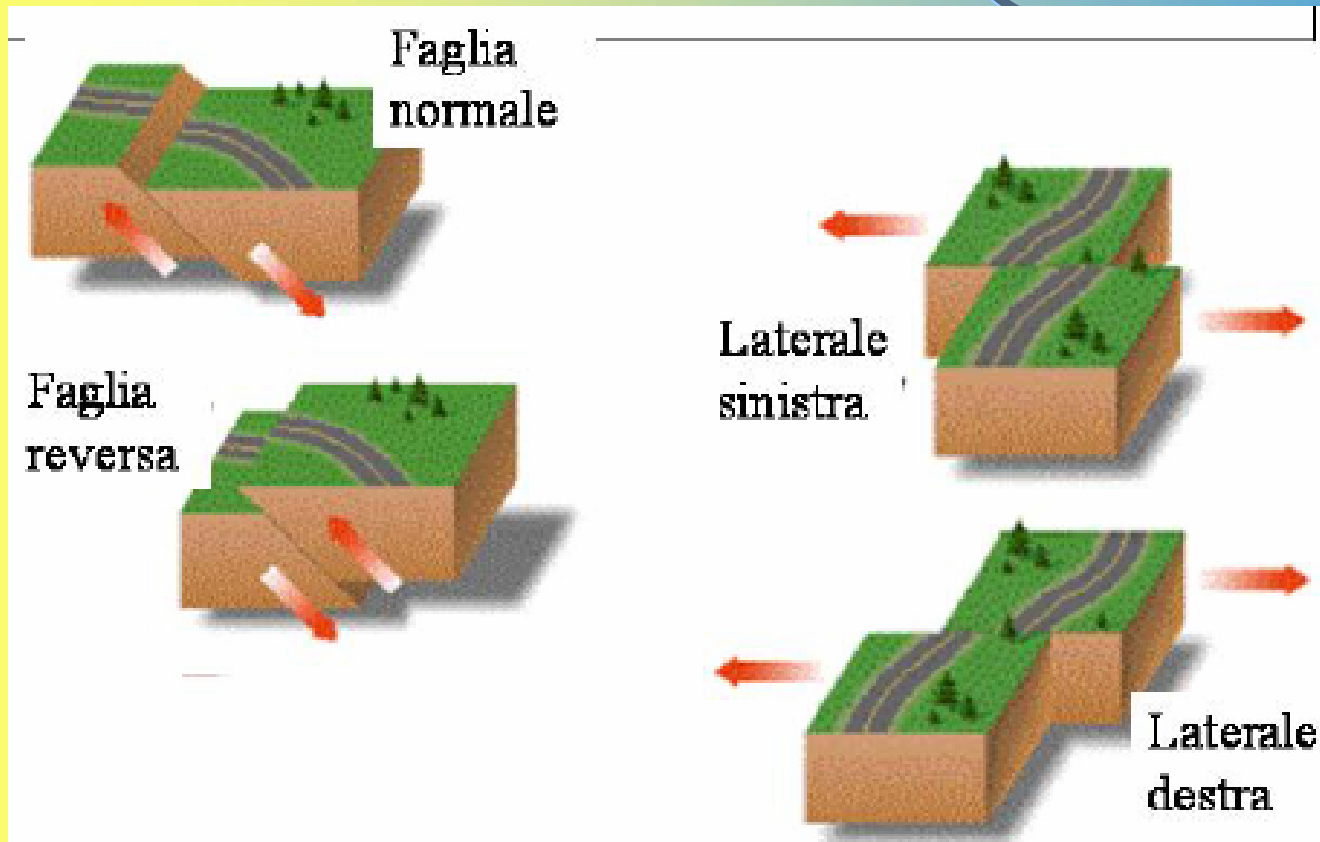
Origine dei terremoti

Ipocentro ed epicentro



Origine dei terremoti

Geometria delle faglie



Misura dei terremoti

La scala Mercalli modificata

Misura l'intensità sismica in relazione agli effetti provocati sulle persone, sugli oggetti e sulle costruzioni.

Relazione fra la velocità massima del terreno v e la Intensità Mercalli Modificata:

$$I_{MM} = \frac{\log 14v}{\log 2}$$

Misura dei terremoti

L'Intensità Richter (o Magnitudo)

La Magnitudo M è una misura dell'energia E rilasciata dal terremoto e si determina attraverso la valutazione dello spostamento massimo del terreno fornito da un sismografo standard posto alla distanza di 100 km dall'epicentro.

Magnitudo del terremoto 1 la differenza:

$$M = \log A_1 - \log A_0$$

A_0 : spostamento massimo provocato da un terremoto campione, che è il terremoto che provoca alla distanza di 100 km uno spostamento massimo A_0 , misurato con lo strumento standard, pari a 0,001 mm.

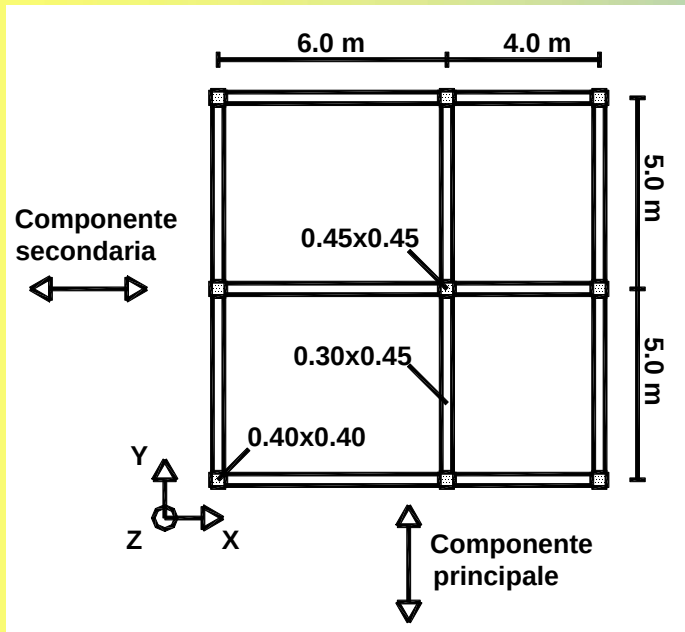
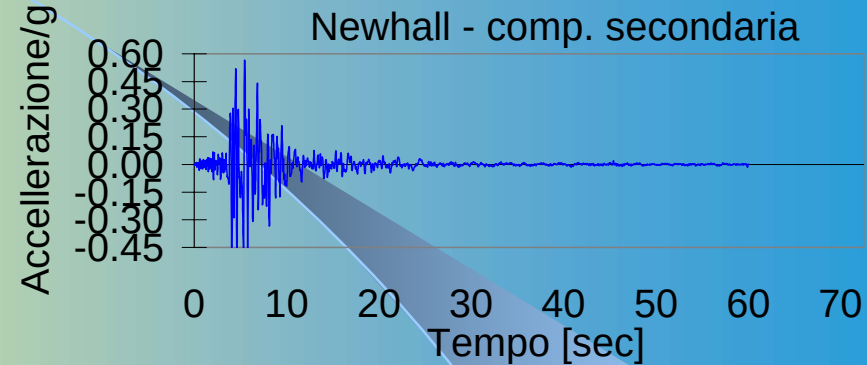
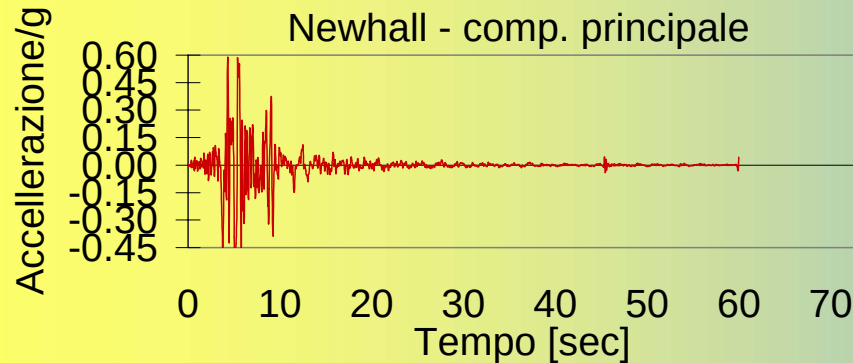
Misura dei terremoti

L'Intensità Richter (o Magnitudo)

Correlazione fra la Magnitudo e l'energia rilasciata:

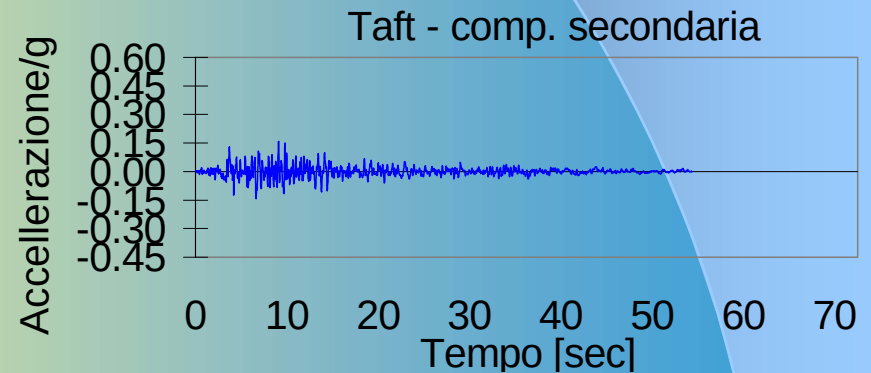
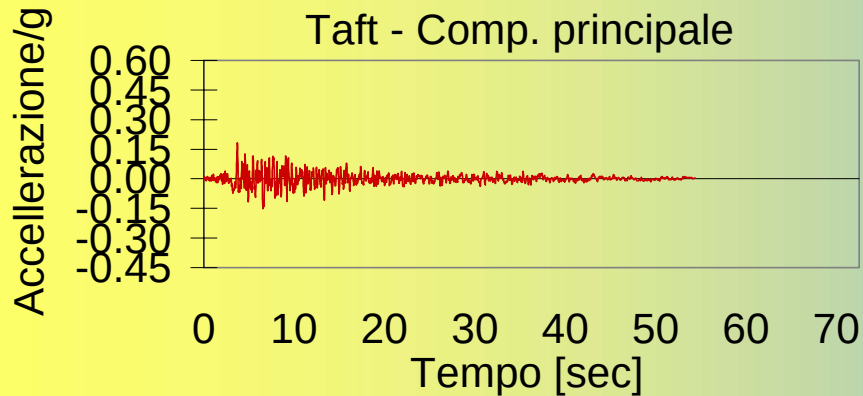
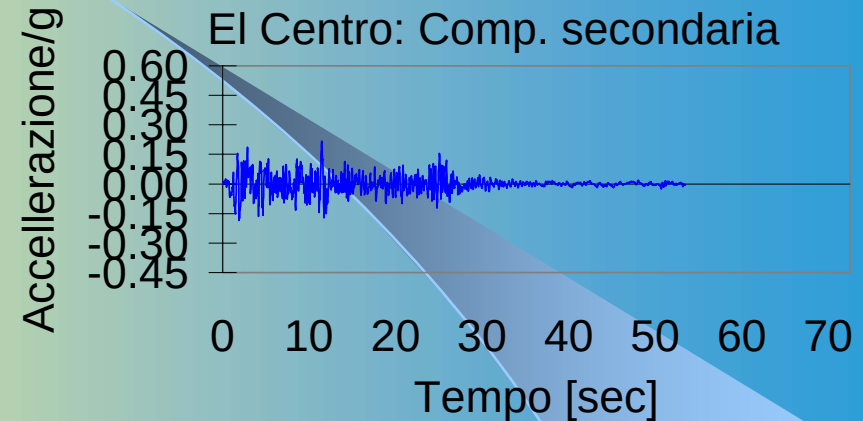
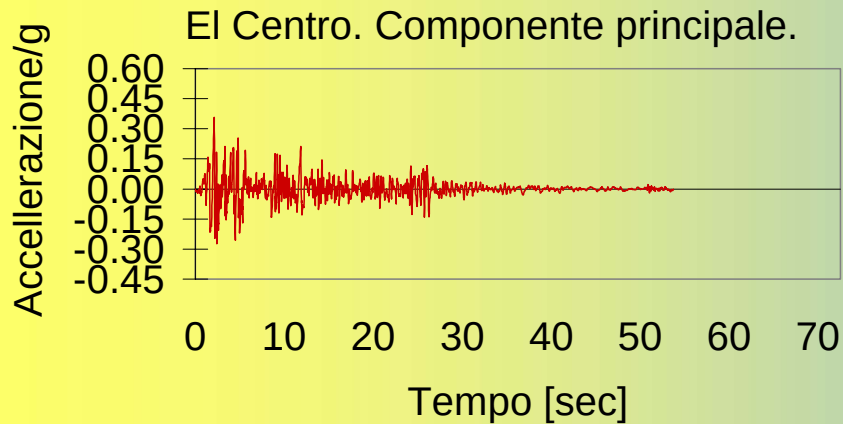
$$\log E = 11,8 + 1,5M$$

Componenti orizzontali di terremoti storici

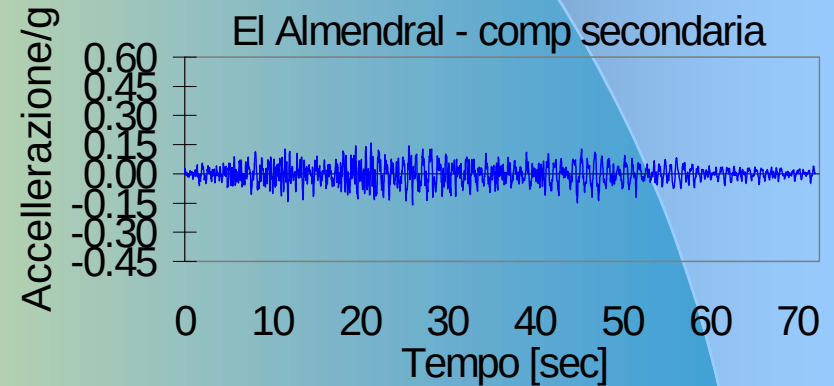
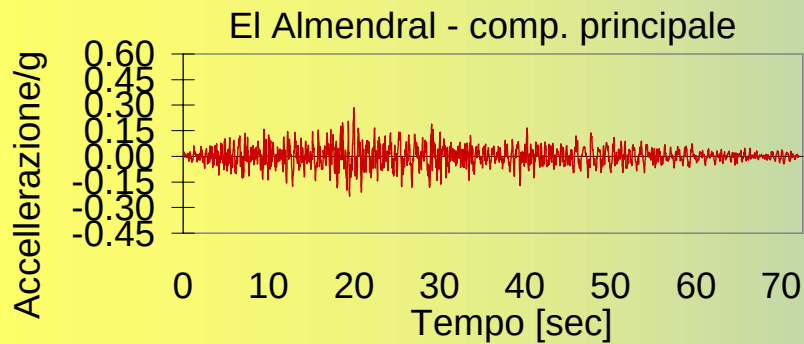
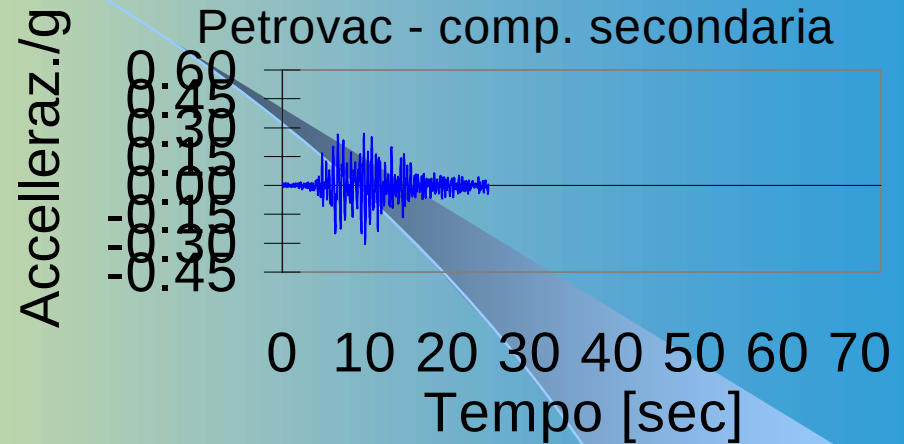
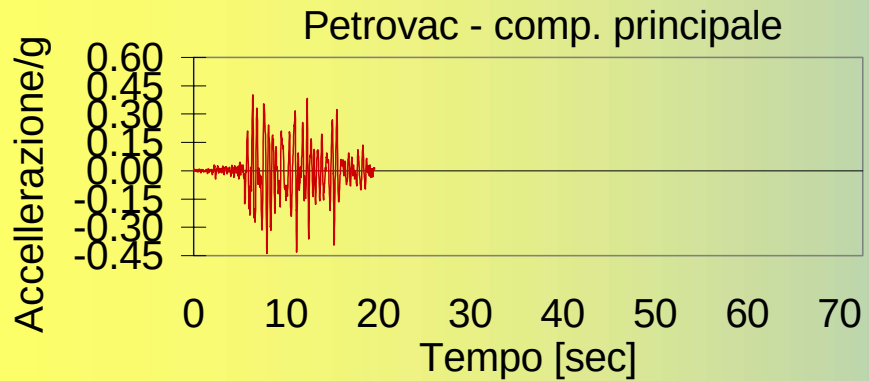


La componente verticale è generalmente trascurabile rispetto a quelle orizzontali

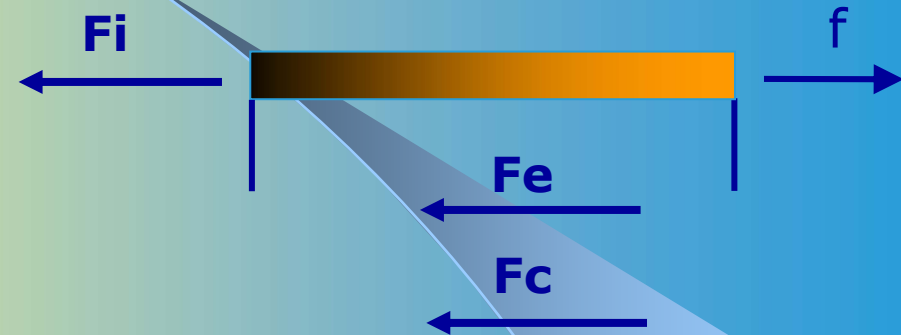
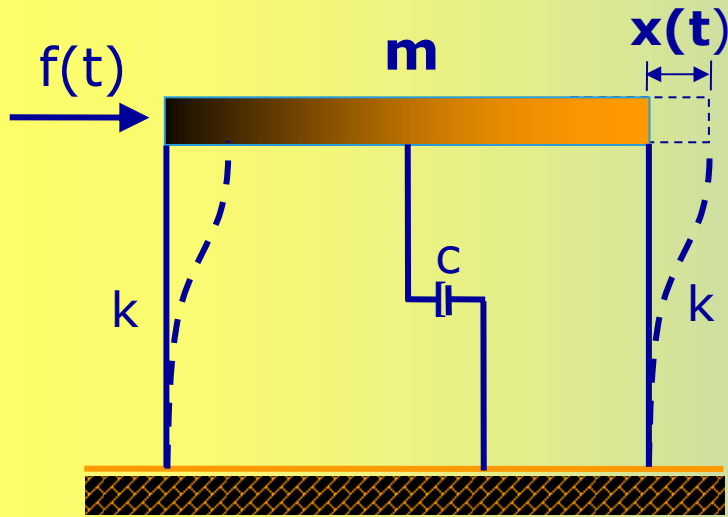
Componenti orizzontali di terremoti storici



Componenti orizzontali di terremoti storici



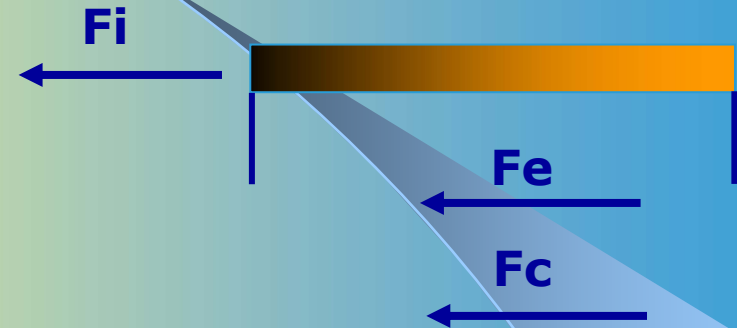
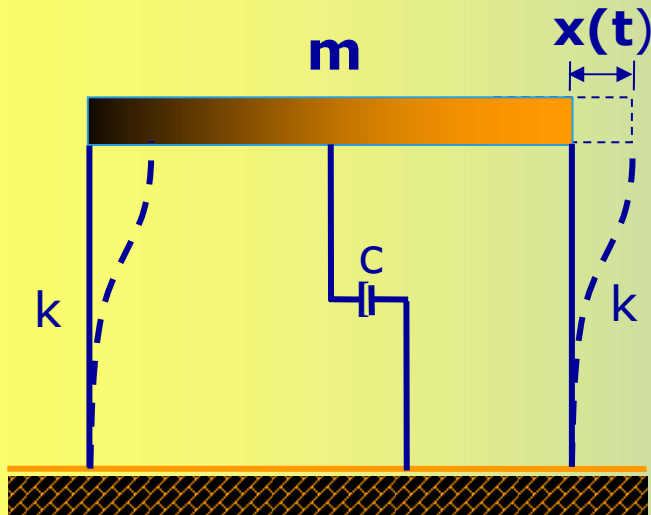
Risposta Statica - Risposta Dinamica



$$\underbrace{F_i + F_c + F_e}_{\text{Comportamento dinamico}} = f$$

Comportamento Statico

Risposta dinamica di sistemi ad un grado di libertà - SDOF



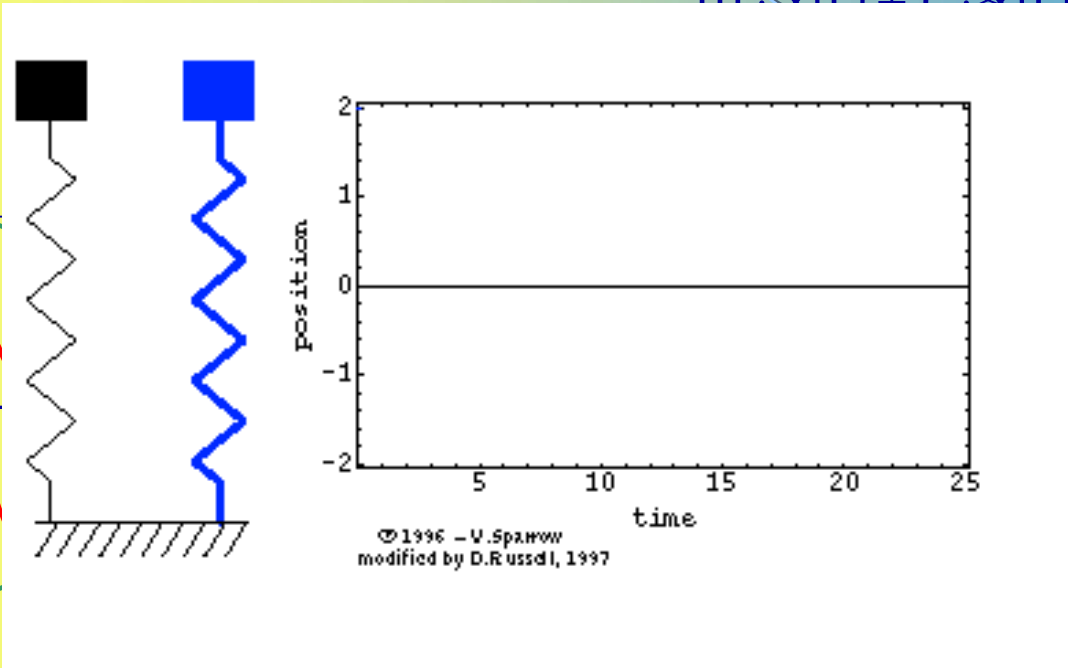
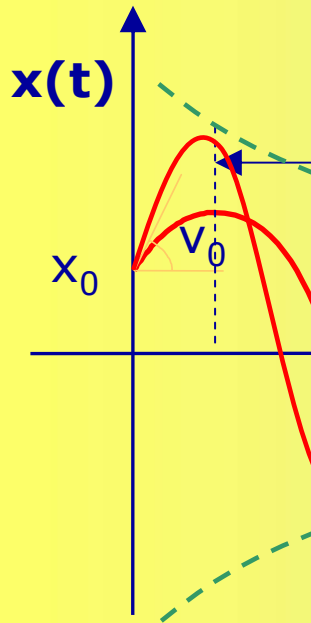
$$F_i + F_c + F_e = 0$$

$$m(\ddot{x} + \ddot{u}_g) + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = 0$$

Risposta libera

SENZA SMORZAMENTO

$$m \cdot \ddot{x}(t) + c \cdot \dot{x}(t) + k \cdot x(t) = 0$$



$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

$$f = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

SENZA

di smorzamento

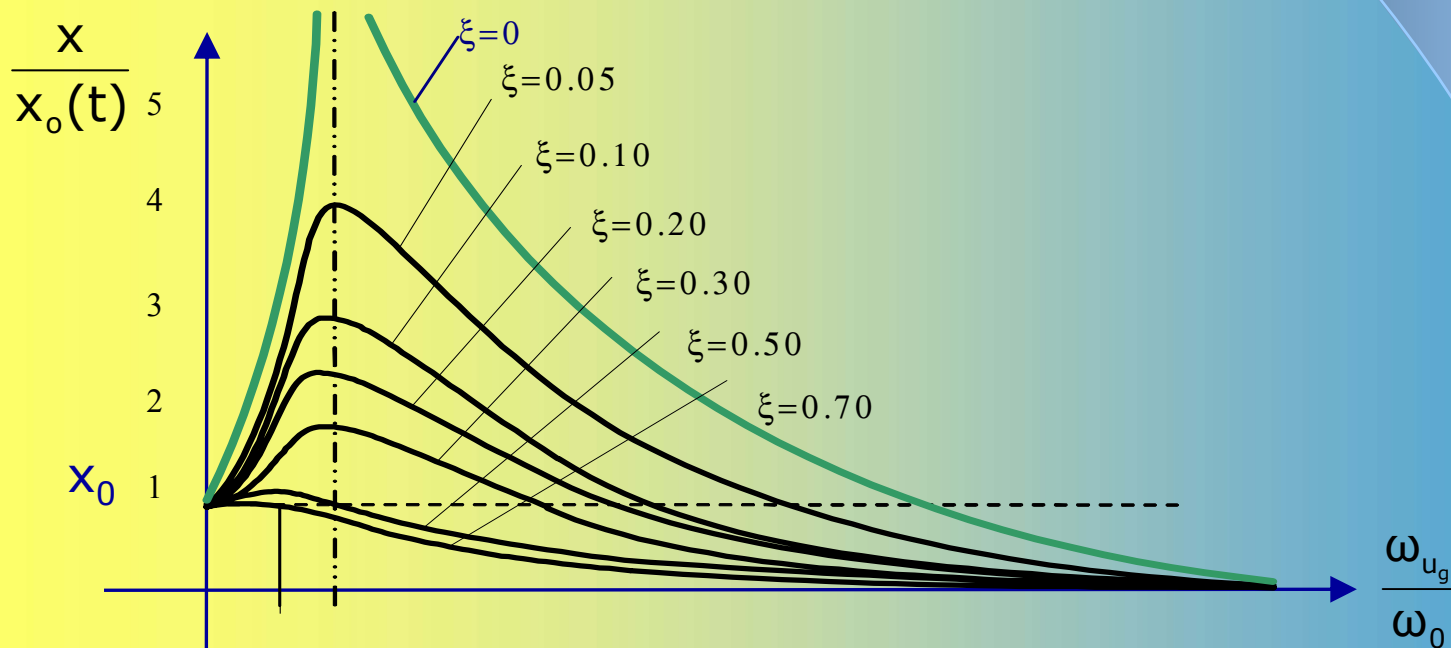
$$x(t) = e^{-\xi \omega_0 t} \left[a \cos \omega_s t + b \sin \omega_s t \right] \quad c_0 = 2\sqrt{k \cdot m}$$

$$\omega_\xi = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$$

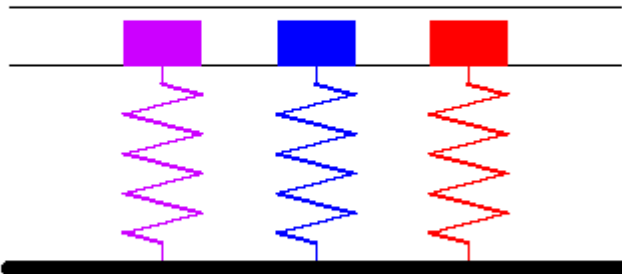
Risposta forzata

$$m \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = -m \cdot u_g = f(t)$$

$$u_g = A \cdot \cos(\omega_{u_g} t) \quad x_0(t) = \frac{f(t)}{k}$$



La Risonanza



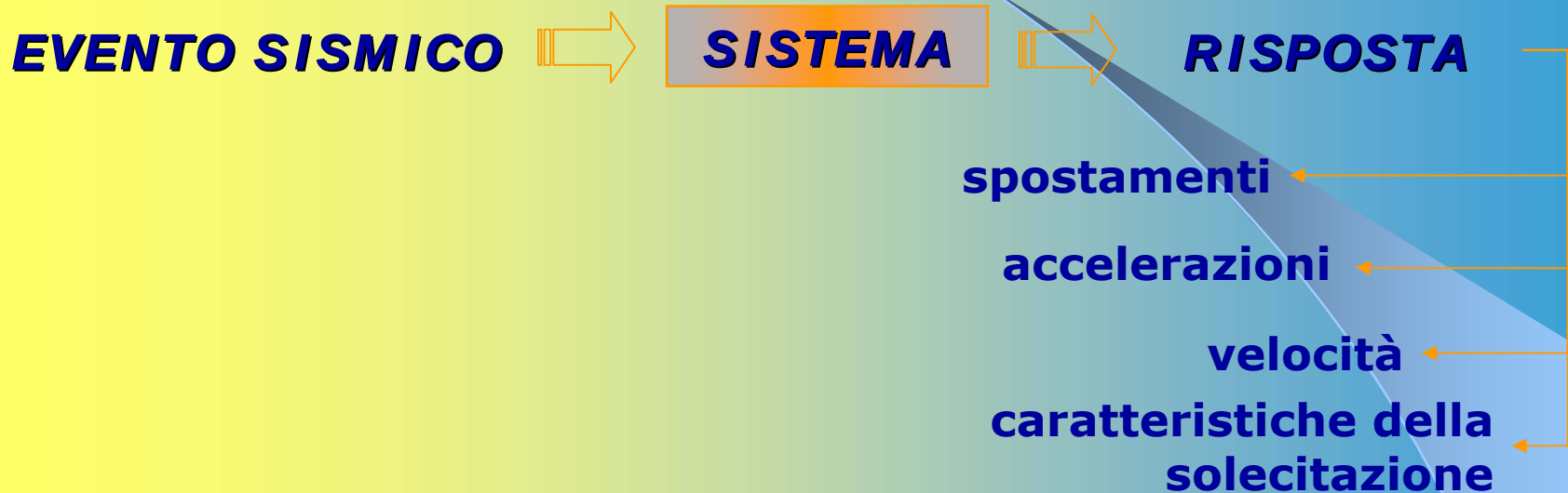
©1999, Daniel A. Russell



$f_1=1.6$, $f_2=1.0$, $f_3=0.63$ (Hz)

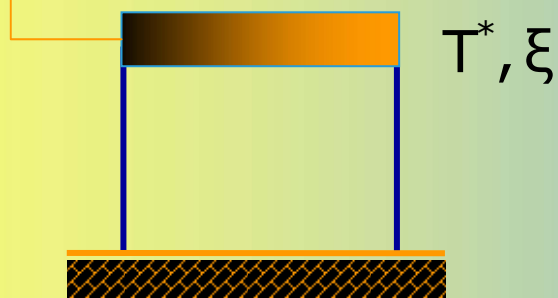
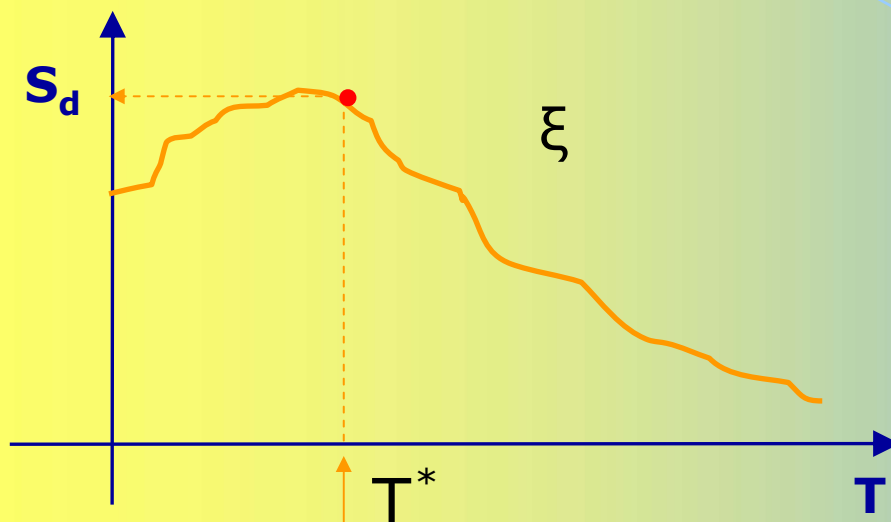
Moto alla base 1,001 Hz

Lo spettro di Risposta



*Si definisce **spettro** la massima risposta dell'oscillatore semplice ad un dato evento sismico al variare del periodo proprio di vibrazione e per un fissato smorzamento*

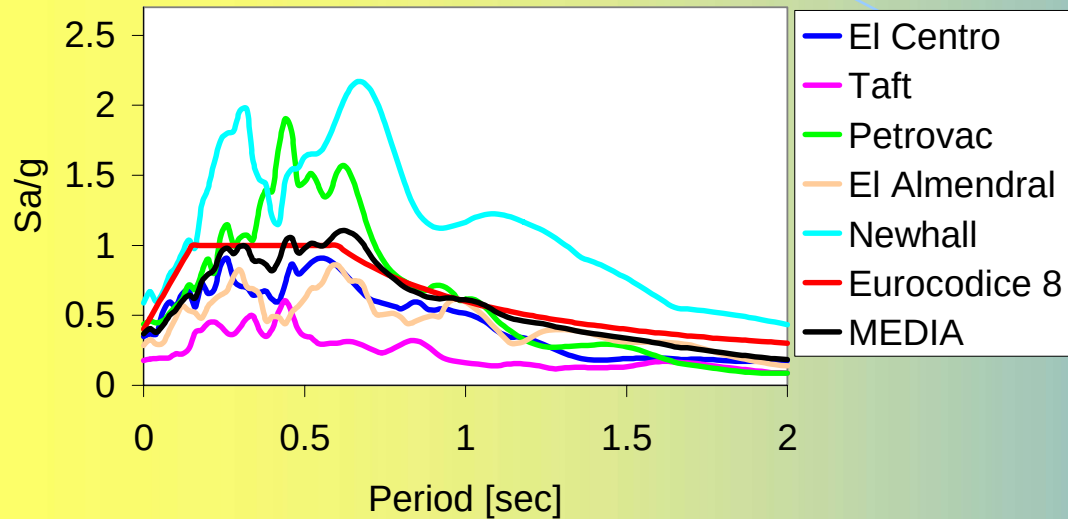
Spettri di risposta



TIPOLOGIE DI SPETTRI

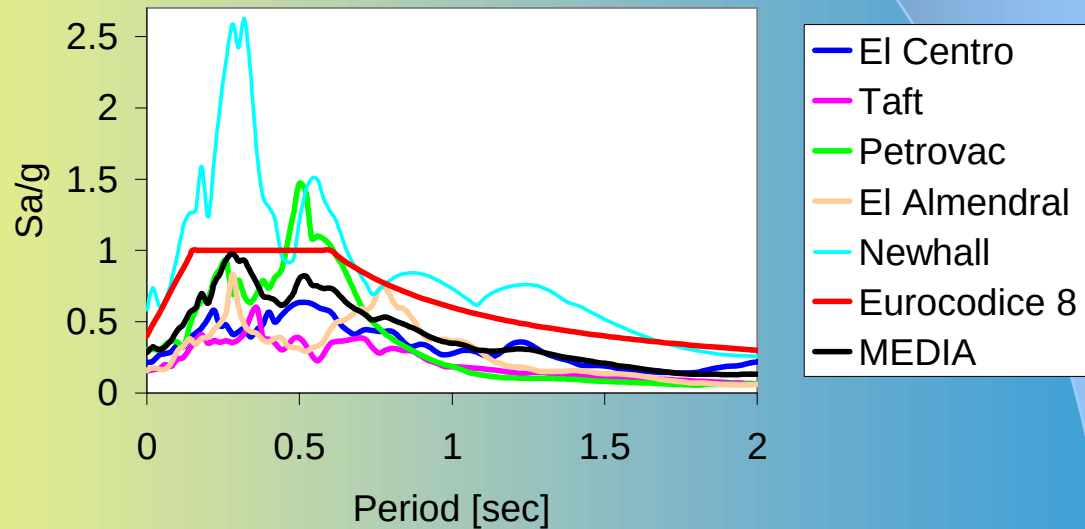
- ☐ spettro degli spostamenti
- ☐ spettro delle velocità
- ☐ spettro delle accelerazioni
- ☐ spettro delle pseudovel.
- ☐ spettro delle pseudo accel.
- ☐ ...

Spettri elastici di cinque terremoti storici



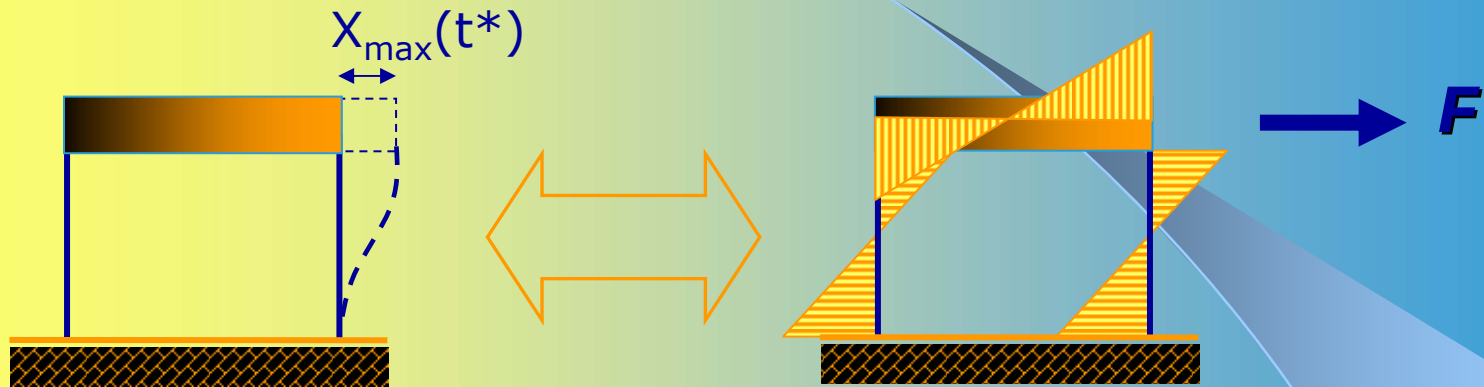
Componenti principali

Componenti secondarie



Pseudo Accelerazione Spettrale

Definizione dell'azione equivalente



$$X_{\max} = S_d$$

$$F = X_{\max} \cdot k = S_d \cdot \frac{k}{m} m$$

$$F = m \cdot S_d \cdot \omega_0^2 = m \cdot S_{pa}$$

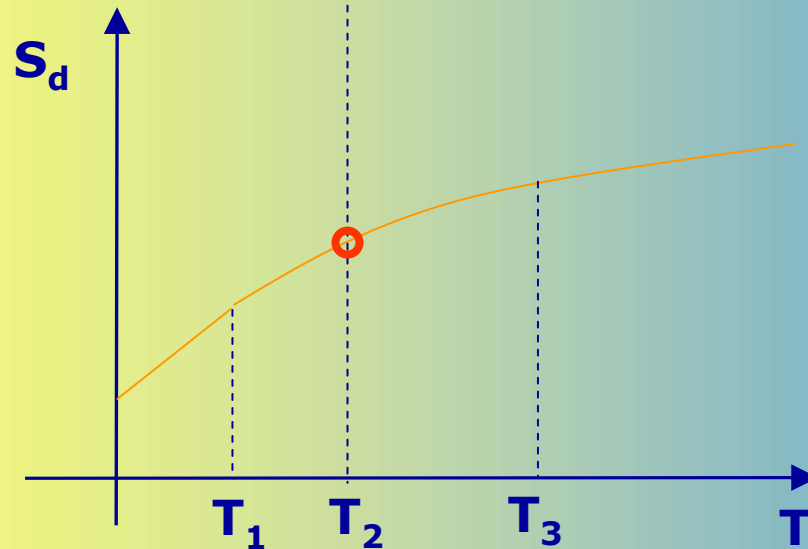
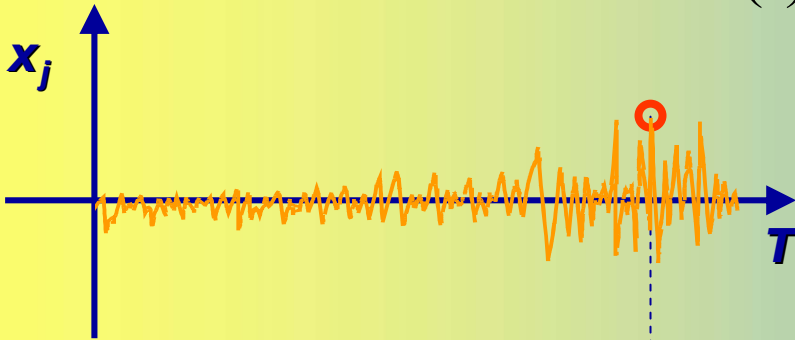
$$S_{pa} = S_d \cdot \omega_0^2$$

**Spettro delle
Pseudo-Accelerazioni**

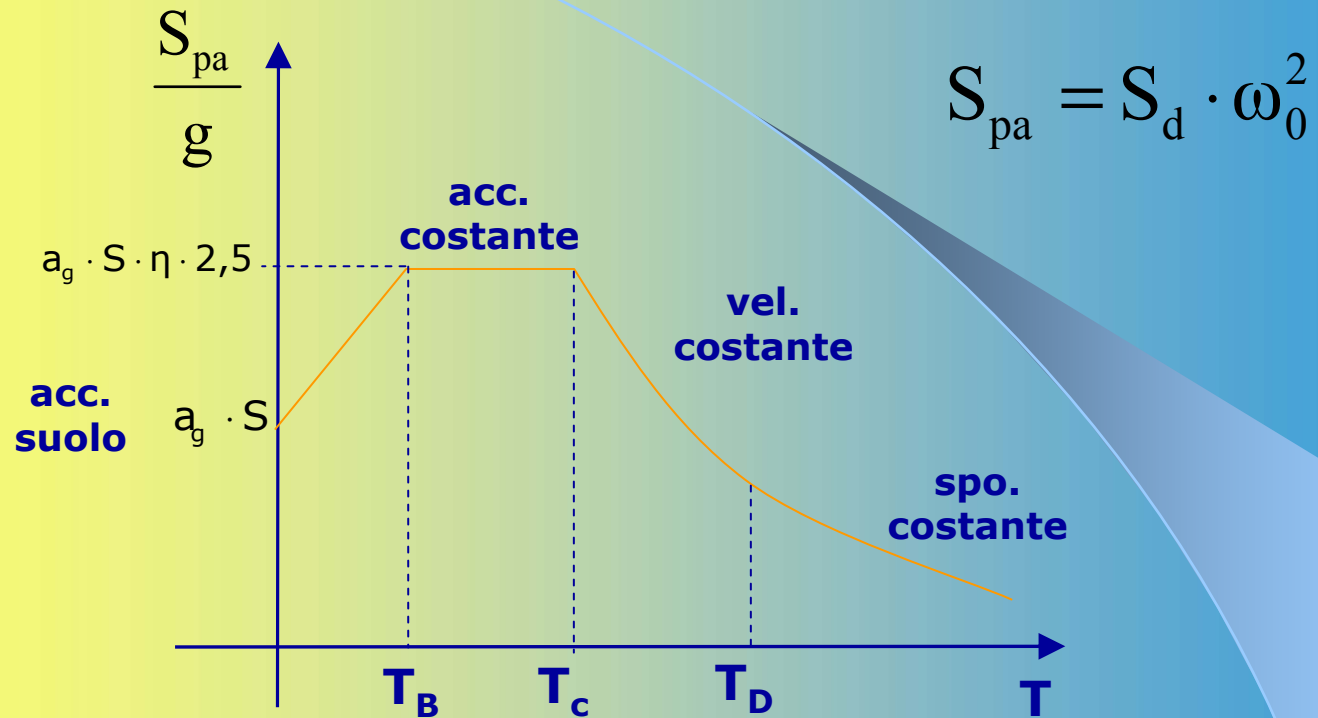
Costruzione dello spettro S_d

Integrale di Duhamel

$$x(t) = \frac{1}{\omega_\xi} \int_0^t \ddot{u}_g e^{-2\xi\omega_0\tau} \sin[\omega_\xi(t-\tau)] d\tau$$



Pseudo Accelerazione Spettrale



a_g massima accelerazione al suolo in frazioni di g

S fattore profilo stratigrafico suolo

η fattore coefficiente di smorzamento

Analisi del comportamento dinamico

Approccio Energetico

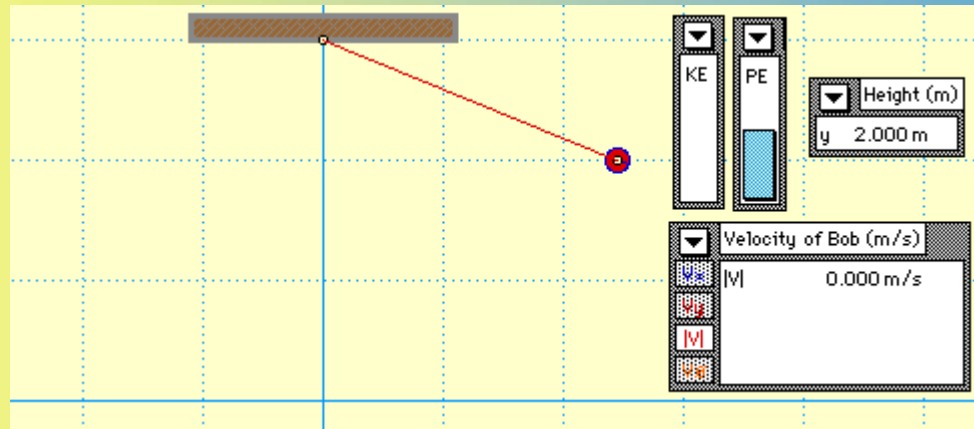
$$E_I + E_c + E_e = E_{in}$$

↳ Energia in Ingresso

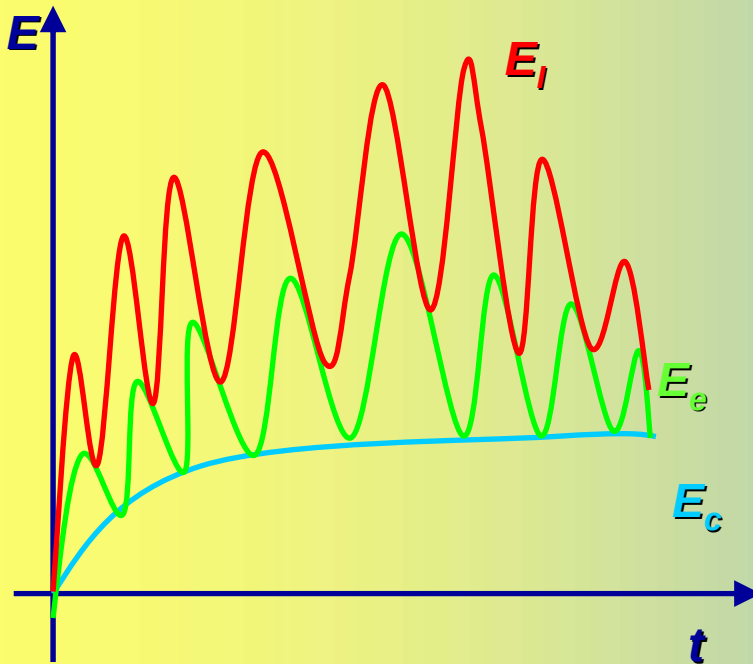
↳ Energia Cinetica

↳ Energia Dissipata

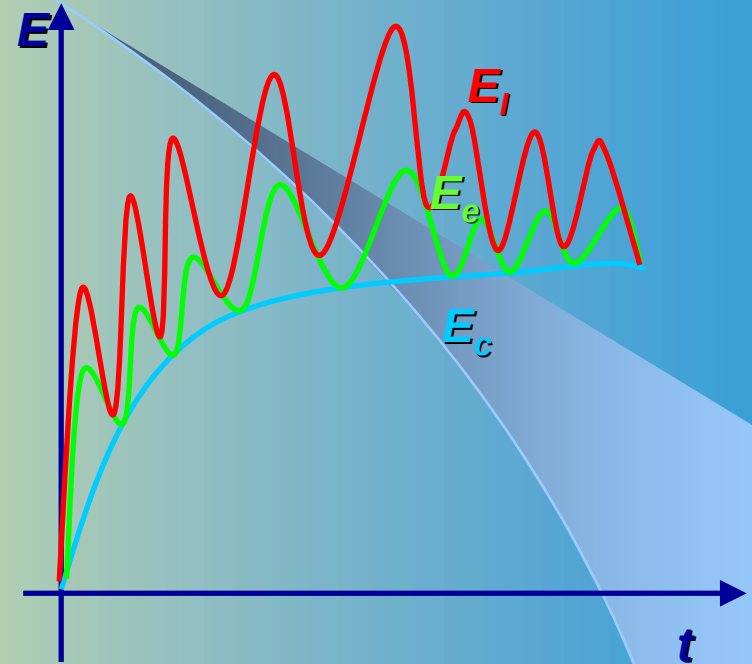
↳ Energia Elastica



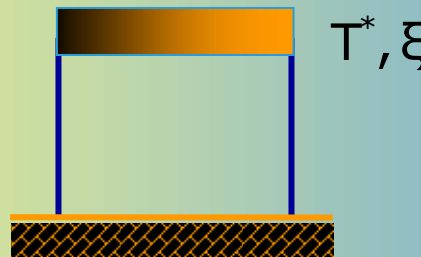
L'approccio energetico



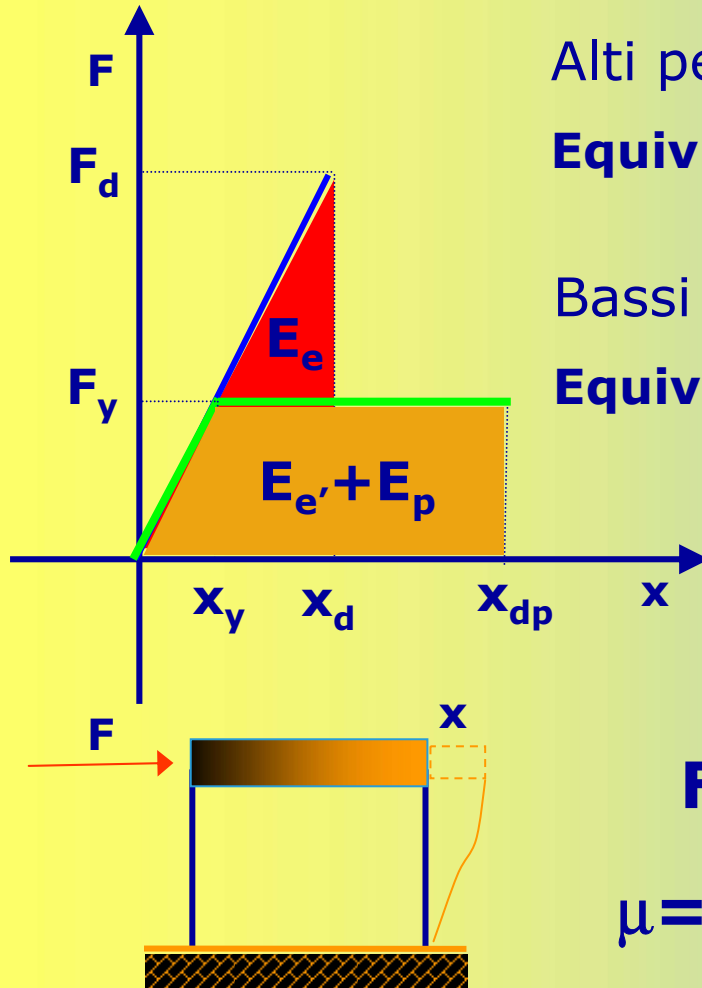
**Strutture con
Bassa dissipazione**



**Strutture con
Alta dissipazione**



Il comportamento post-elastico



Alti periodi $T > 0,5$ sec

Equiv. Spostamenti $x_d = x_{dp}$

Bassi periodi $T < 0,4$ sec

Equiv. Energetica $A = A$

$$F_d \Rightarrow E_d \leq R_d$$

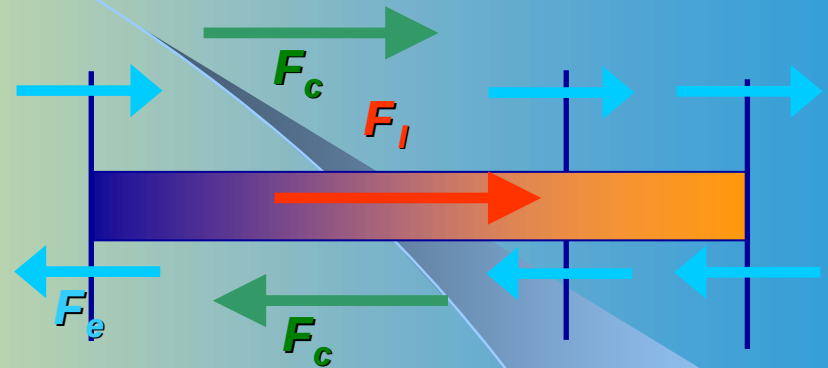
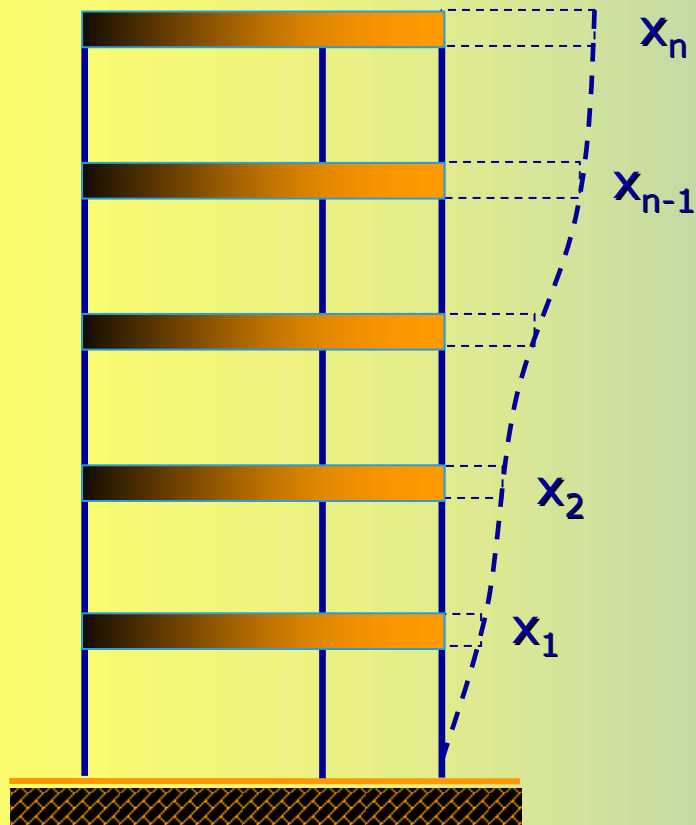
$$\mu = x_{dp} / x_y \text{ Duttività}$$

$$\frac{F_d}{F_y} = \mu$$

$$\frac{F_d}{F_y} = \sqrt{2(\mu - 1)}$$

Fattore
di struttura
q

Analisi dinamica modale



$$\{F_I\} = [M] \cdot \{\ddot{U}\}$$

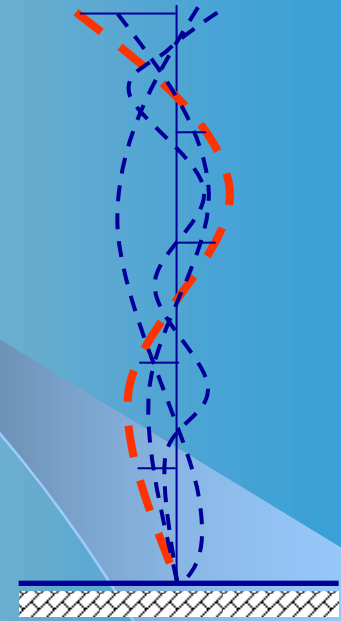
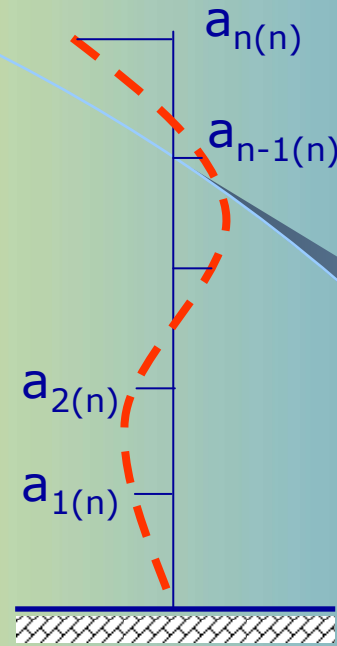
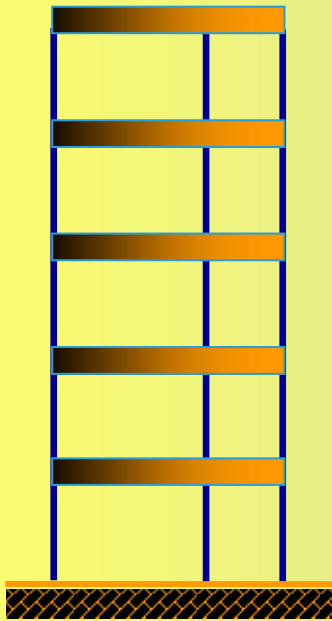
$$\{F_c\} = [C] \cdot \{\dot{X}\}$$

$$\{F_e\} = [K] \cdot \{X\}$$

$$\{F_I\} + \{F_c\} + \{F_e\} = 0$$

$$[M] \cdot \{\ddot{X}\} + [C] \cdot \{\dot{X}\} + [K] \cdot \{X\} = -[M] \cdot \{\ddot{U}_g\}$$

Analisi dinamica modale



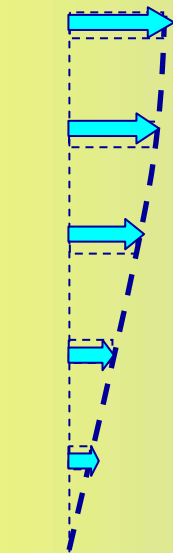
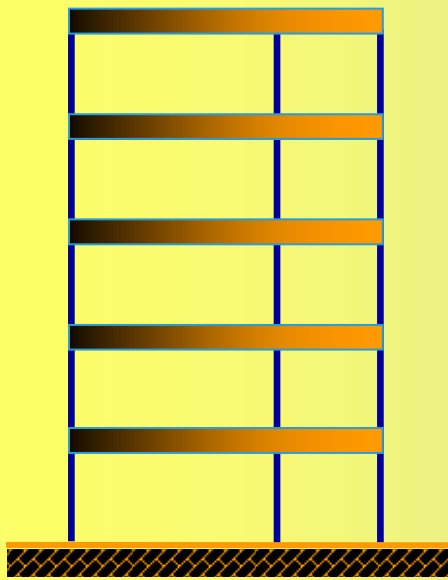
$$[M] \{ \ddot{x}(t) \} + [K] \{ x(t) \} = \{ 0 \} \quad \Rightarrow \quad \{ x(t) \} = \{ a \} \varphi(t)$$

Problema caratteristico

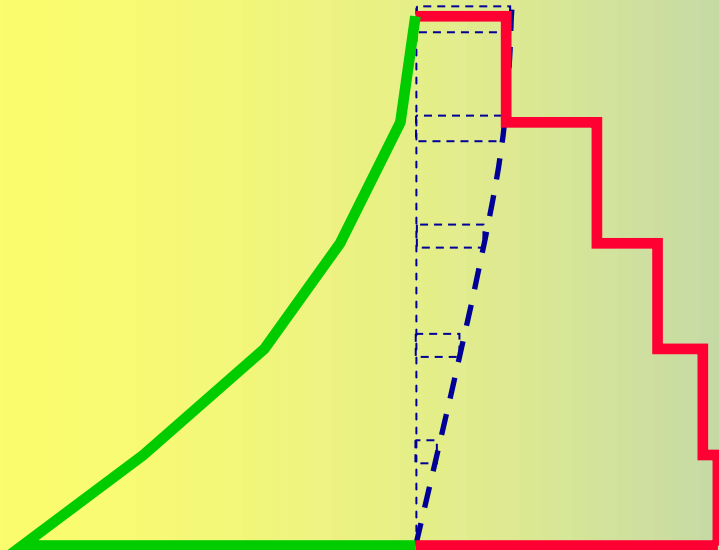
$$([K] - \omega^2 [M]) \{ a \} = \{ 0 \}$$

$\{ a \}$ *la forma della deformata è fornita dal vettore*
 $\varphi(t)$ *l'ampiezza è descritta nel tempo dalla funzione*

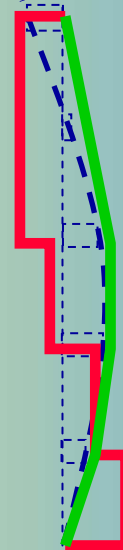
Analisi dinamica modale



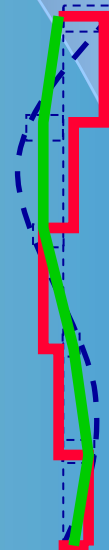
I modo



II modo



III modo



Analisi dinamica modale

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K_t^*]\{x\} = \{M\}\ddot{s}(t)$$

**Cambiamento di
coordinate**

$$\{x(t)\} = [A]\{p(t)\}$$



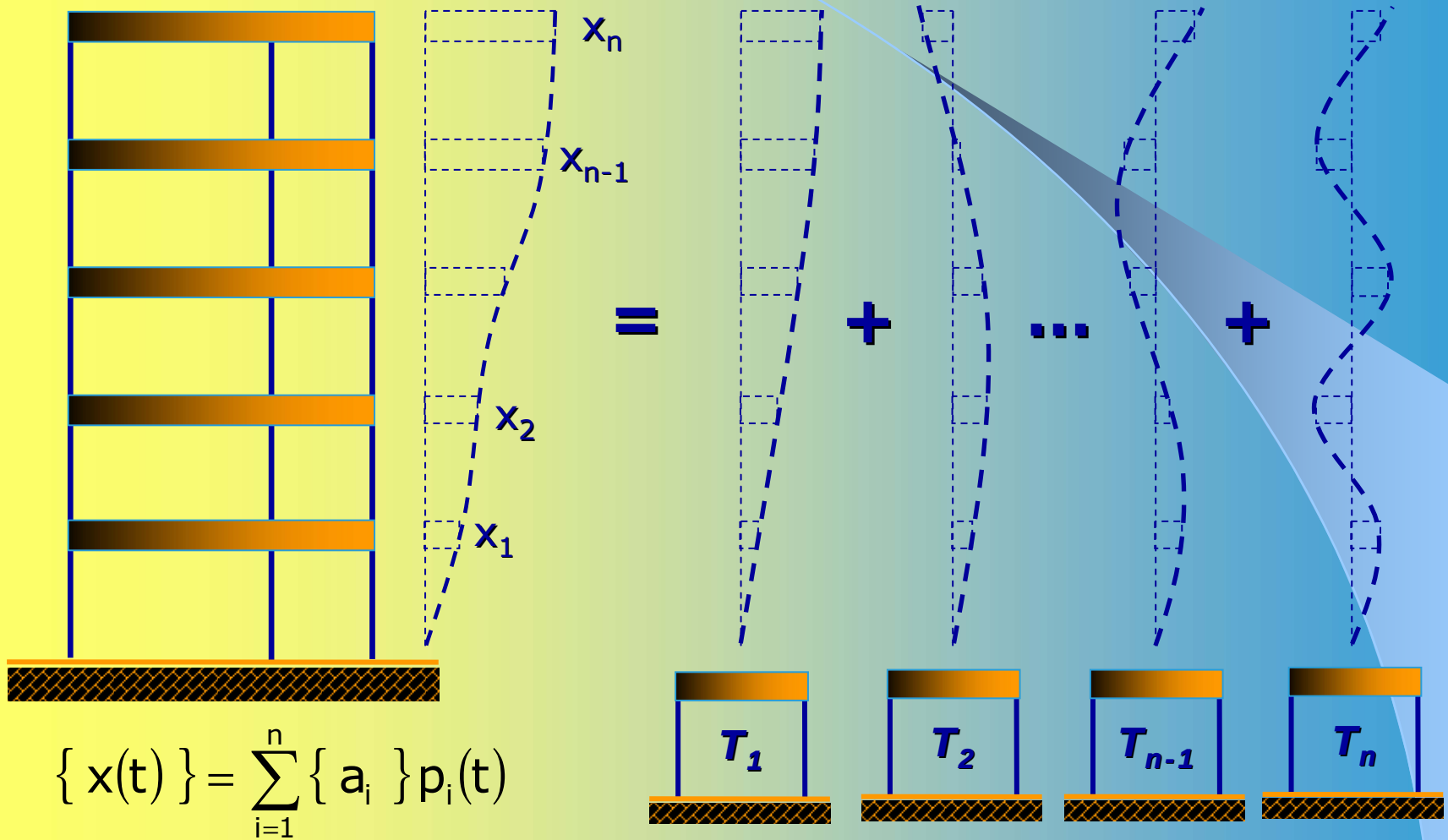
$$\ddot{p}_i + 2\xi_i^* \omega_i \dot{p}_i + \omega_i^2 p_i = -G_i \ddot{s}(t)$$

**Disaccoppiamento
Modale**

$$G_i = \frac{\{a_i\}^T \{M\}}{l_i} = \frac{\{a_i\}^T [M] \{I\}}{\{a_i\}^T [M] \{a_i\}}$$

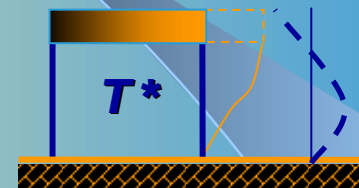
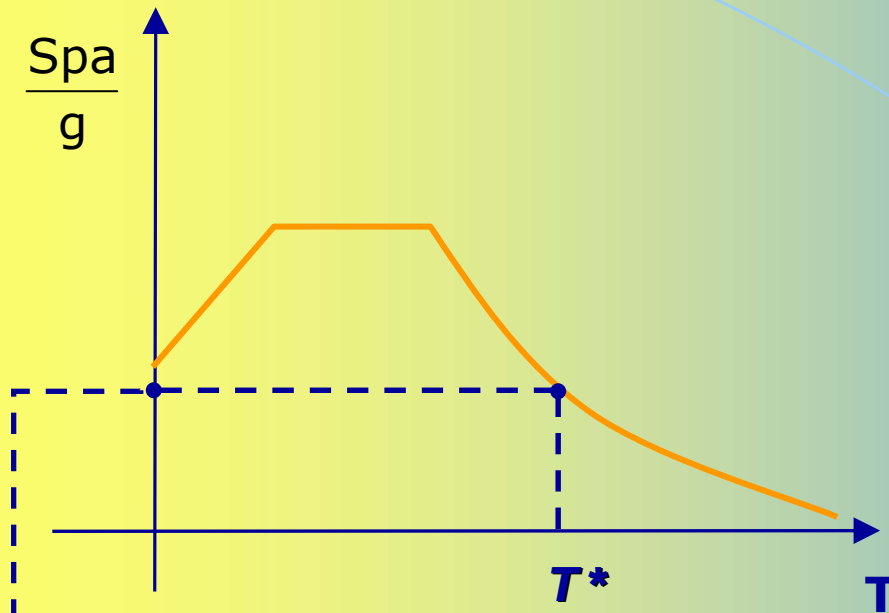
**Fattore di
partecipazione**

Analisi dinamica modale



Analisi dinamica modale

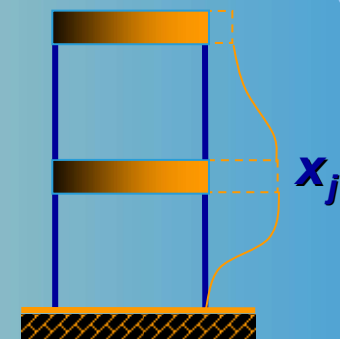
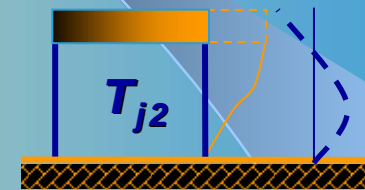
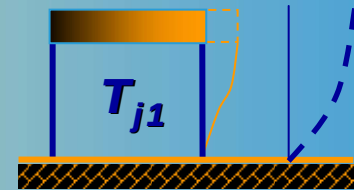
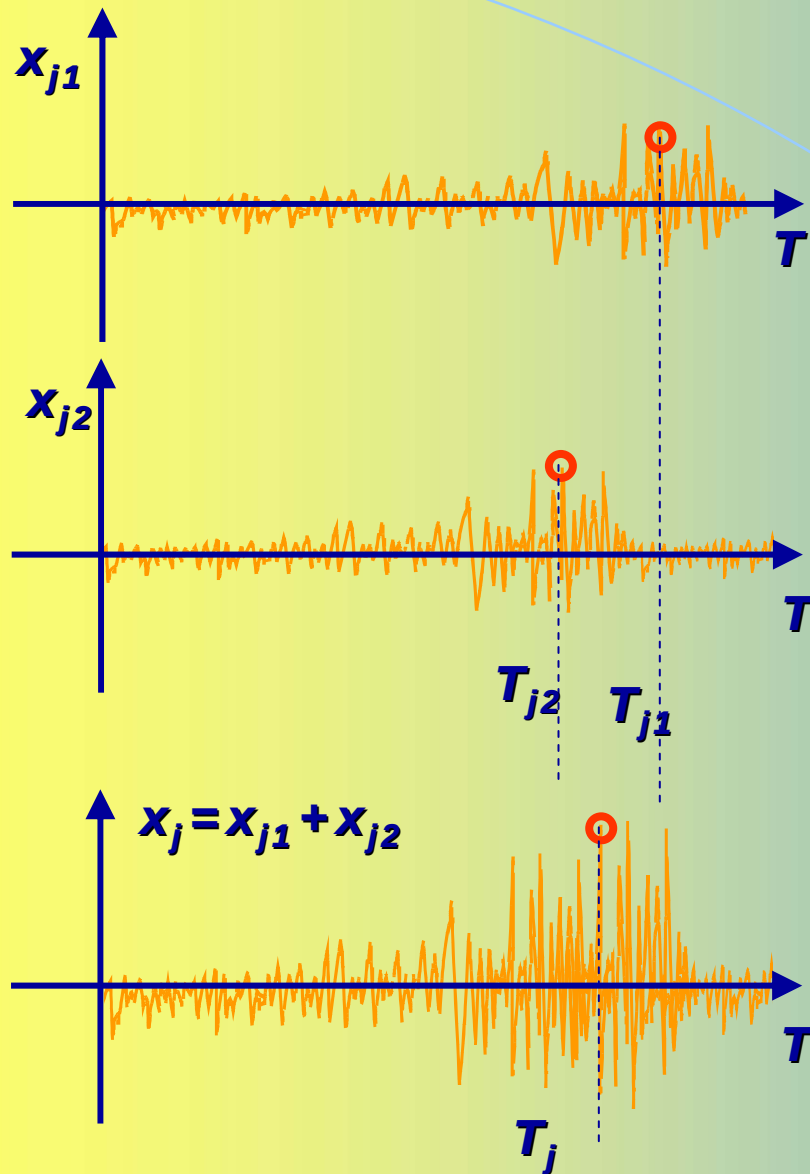
Contributo della forma modale i-ma



$$\rightarrow Sd_{i-ma} = \frac{Spa}{\omega_i^2} \quad \text{---} \rightarrow \quad \{Q_i(t)\}_{\max} = [K_t^*] \{x_i(t)\}_{\max} = [K] \{a_i\} G S_d(T_i, \xi_i^*)$$

Calcolo Effetti **E**

Combinazione Contributi Modali



Somma in Quadratura

$$E = \sum_i (E_i^2)^{1/2}$$

E_i Componente della risposta dovuta al modo i-mo

*Applicabile nel caso in cui le forme modali distano
più del 10% in termini di periodo*

Combinazione Quadratura Completa

$$E = \sum_i \sum_j (\rho_{ij} E_i E_j)^{1/2}$$

$$\rho_{ij} = \frac{(8 \xi^2 (1 + \beta_{ij}) \beta_{ij}^{3/2})}{((1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij} (1 + \beta_{ij})^2)}$$

coefficiente di correlazione

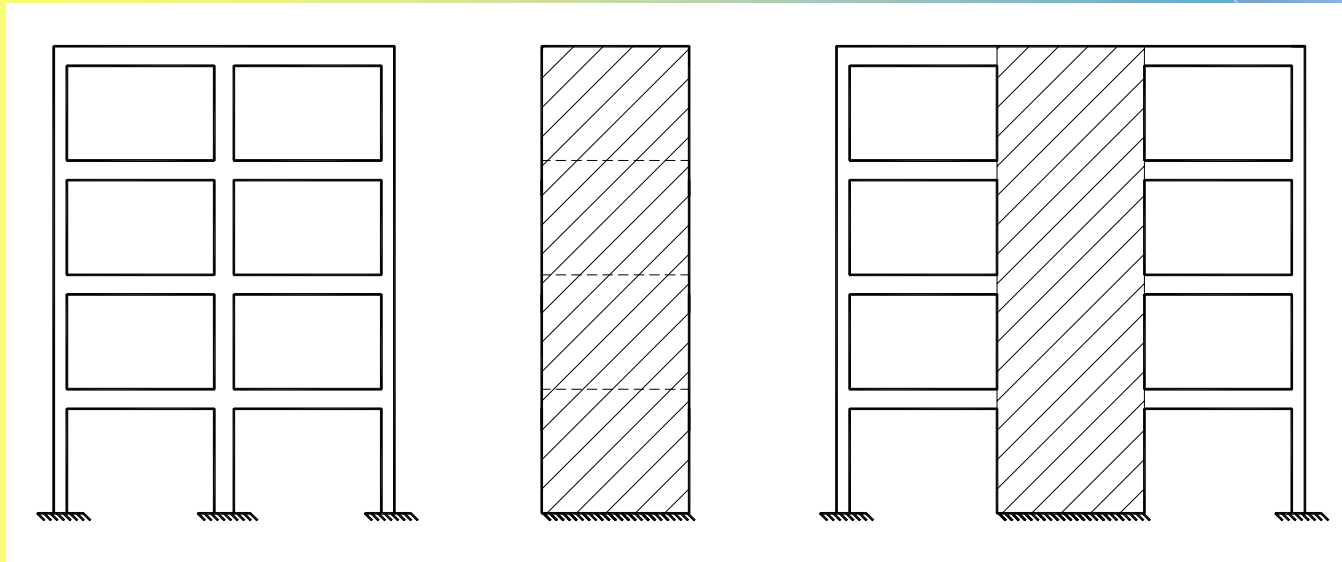
SISMA

Effetti sulle costruzioni

Oscillazioni orizzontali

Oscillazioni verticali

Schermi idonei ad assorbire azioni orizzontali

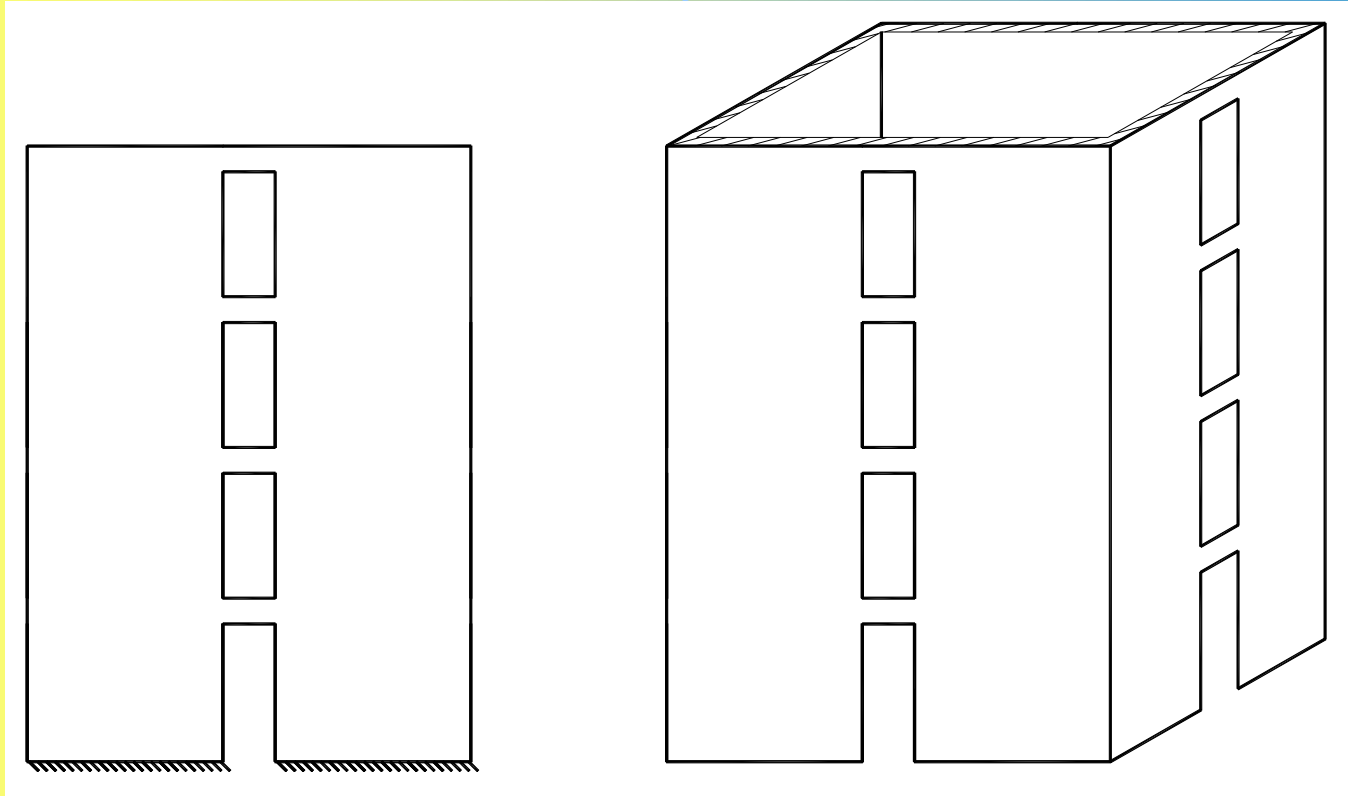


Telaio

Parete

Parete-Telaio

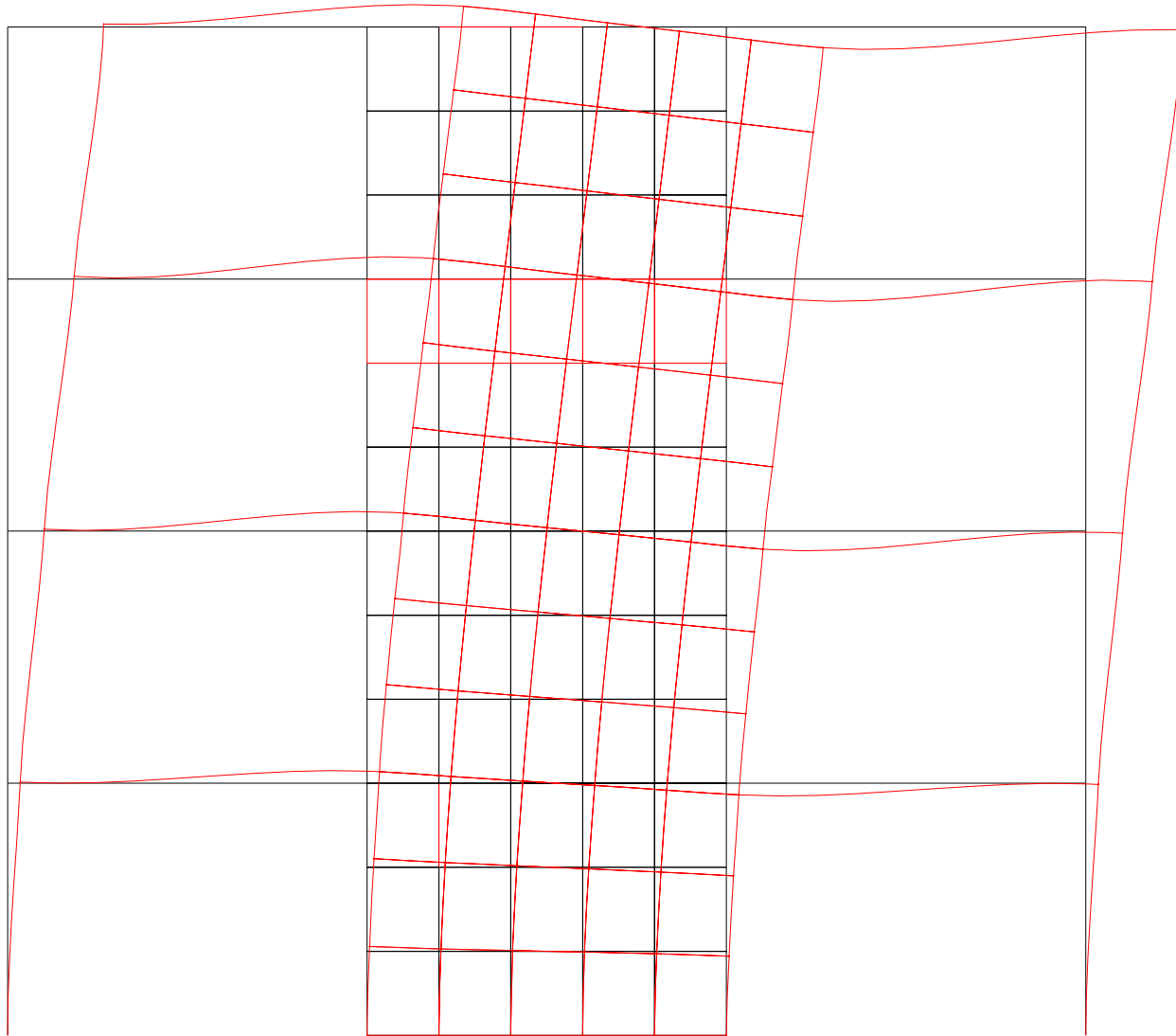
Schermi idonei ad assorbire azioni orizzontali



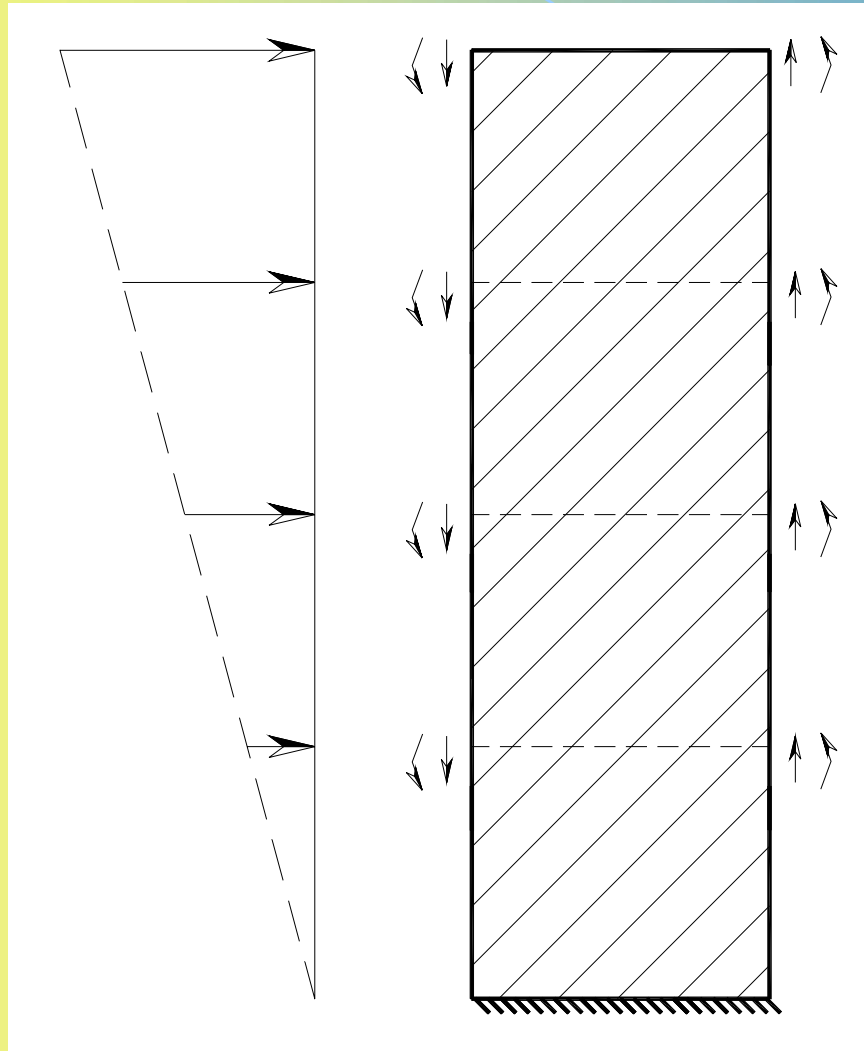
Pareti accoppiate

Nucleo

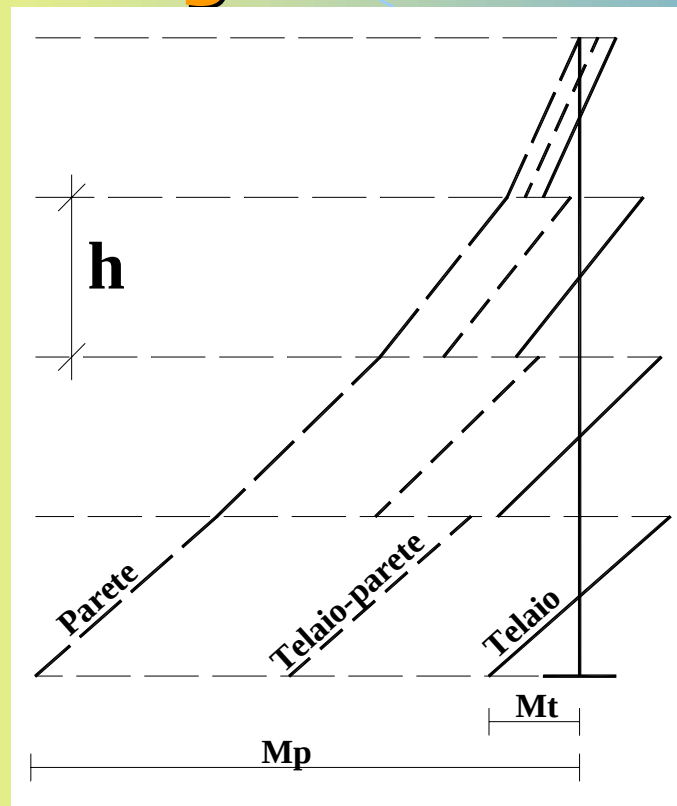
Deformata del sistema Telaio Parete



Azioni trasmesse alla Parete



Andamento dei momenti flettenti lungo l'altezza



$$M_p = C \cdot n \cdot W_i \cdot \frac{2}{3} \cdot n \cdot h$$

$$M_t = C \cdot n \cdot W_i \cdot \frac{h}{2}$$

$$\frac{M_p}{M_t} = \frac{4}{3} \cdot n$$

Sollecitazioni indotte sulle strutture dal moto sismico

- **Molto elevate se si richiede che la struttura rimanga in campo elastico**
- **Molto variabili per intensità e distribuzione da evento ad evento**
- **Diverse fra siti vicini anche nell'ambito di uno stesso evento**

POSSIBILI DIRETTRICI DELLA FILOSOFIA PROGETTUALE

A. Strategia tradizionale

Progettare strutture idonee a dissipare la massima energia possibile attraverso meccanismi di danneggiamento che la preservino dal crollo.

B. Strategia innovativa

Mitigare gli effetti del sisma attraverso opportuni sistemi di isolamento.

A. Strategia tradizionale

La struttura deve avere una elevata capacità di adattamento plastico nel suo comportamento complessivo al crescere delle azioni sismiche orizzontali, ovvero:

- elevata regolarità nella distribuzione delle rigidezze e delle resistenze sia in pianta che in elevazione;
- elevata capacità rotazionale in campo plastico delle cosiddette zone critiche (zone di possibile localizzazione delle cerniere plastiche);
- sovreresistenza nei riguardi delle sollecitazioni che possono dar luogo a comportamenti a rottura di tipo fragile (tagliante ed assiale).

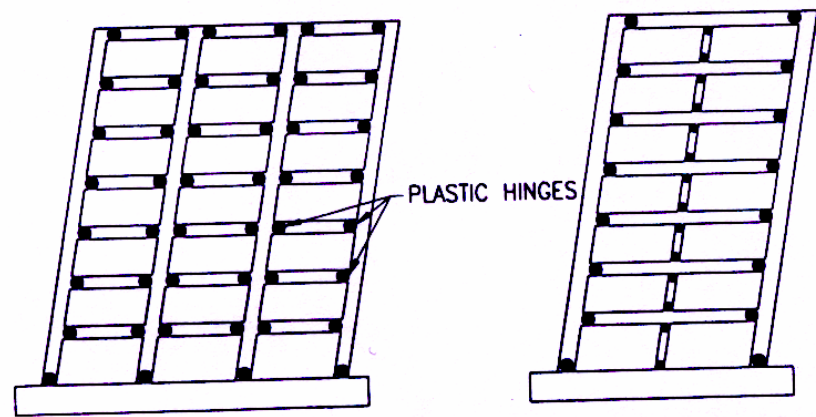
Nelle strutture a telaio in cemento armato questo comportamento si ottiene:

- Limitando lo sforzo normale nelle colonne;
- Conferendo sovreresistenza a taglio ai nodi, alle colonne ed alle travi;
- Adottando nelle sezioni critiche (zone di estremità) delle travi e delle colonne staffe chiuse con passo ravvicinato;
- Conferendo una sovreresistenza flessionale alle colonne in maniera da ottenere un comportamento complessivo da telaio a travi deboli e pilastri resistenti.

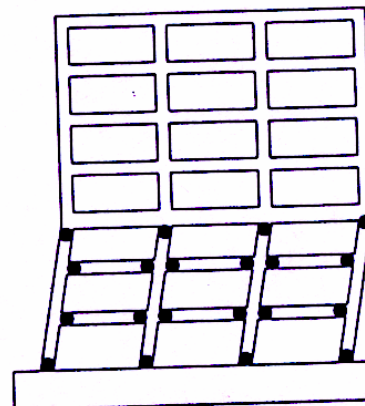
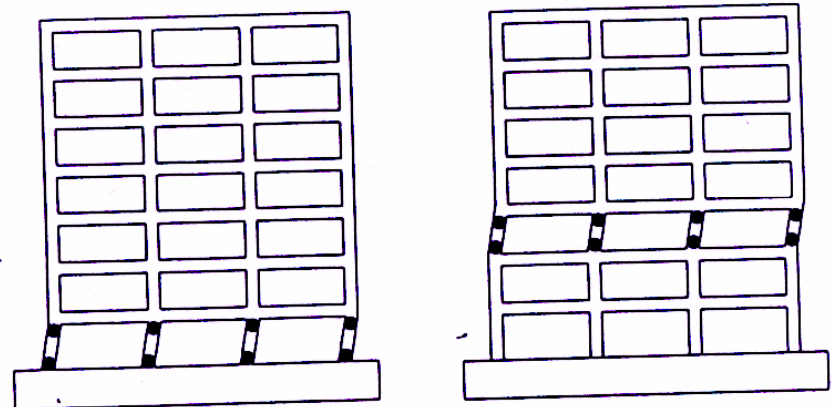
MECCANISMI DI COLLASSO

Meccanismo
globale

Meccanismo locale

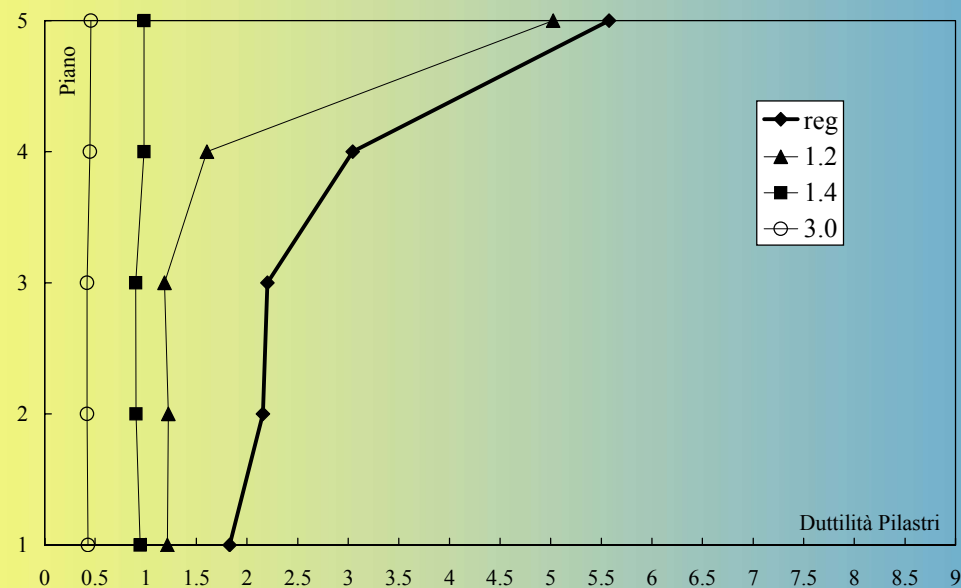
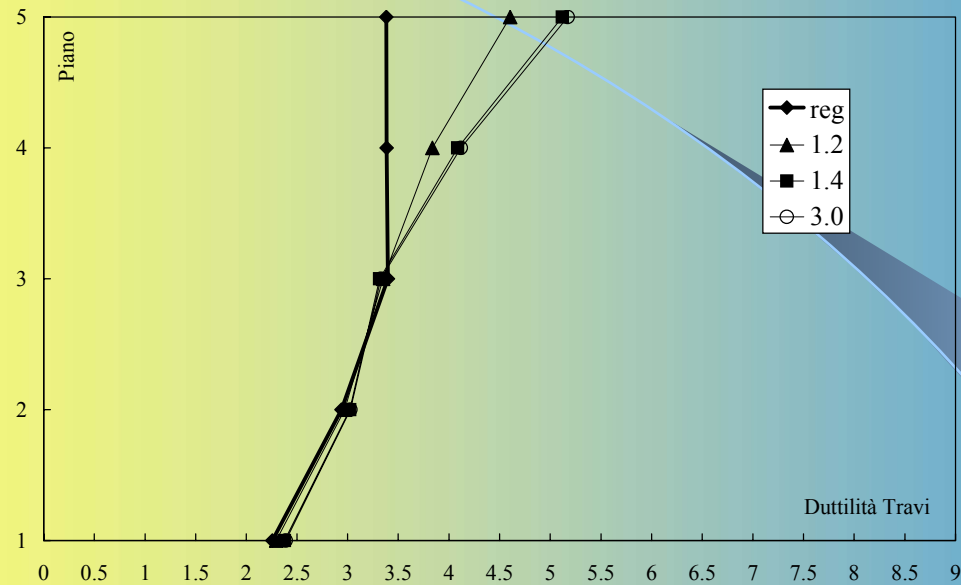


(a) DESIRABLE PLASTIC MECHANISMS

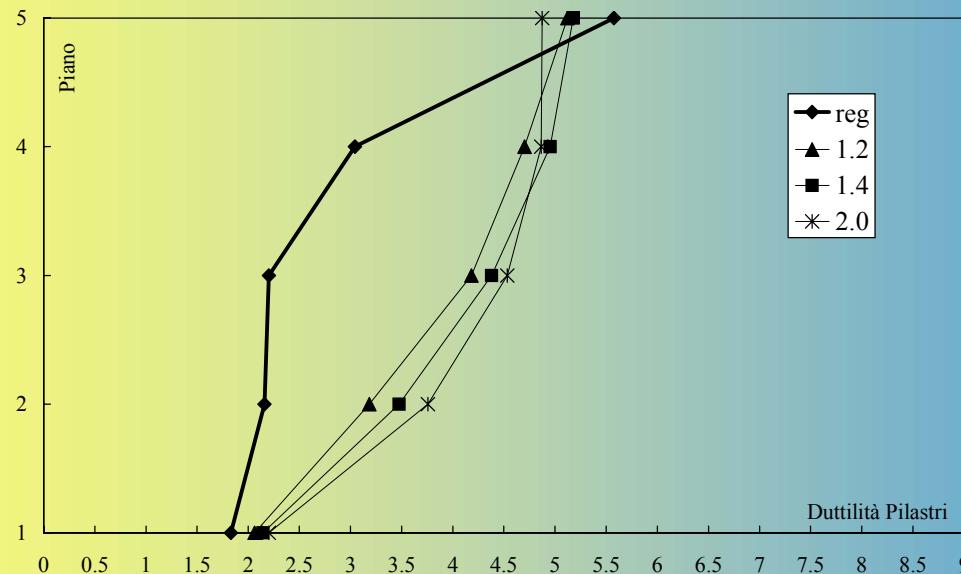
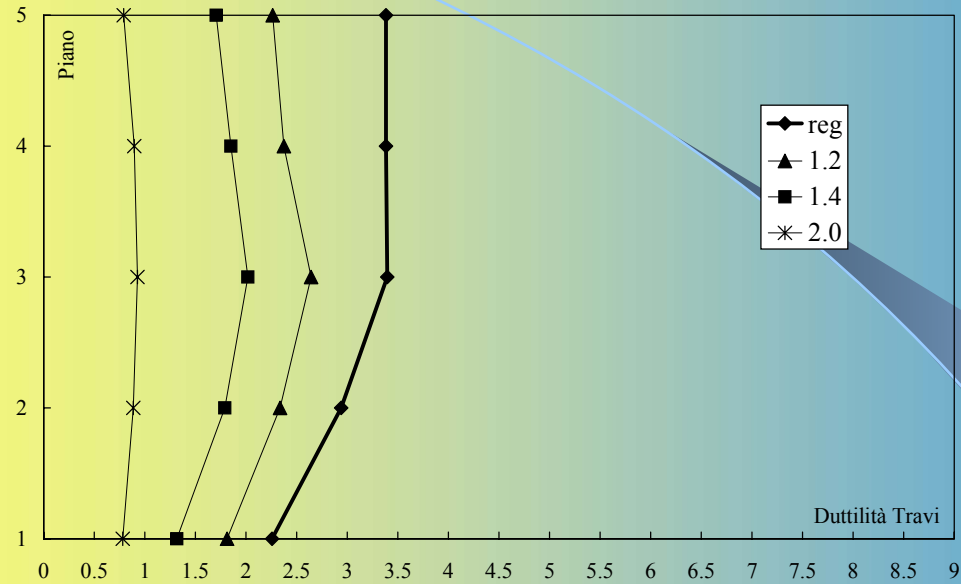


(b) UNDESIRABLE PLASTIC MECHANISMS

Incremento della resistenza dei pilastri

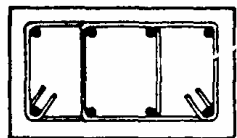
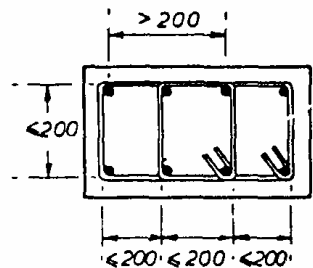
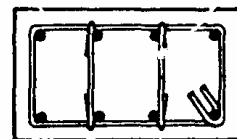
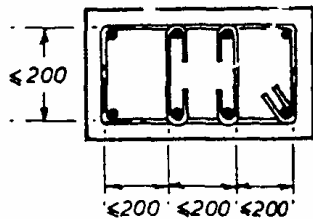
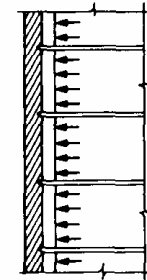
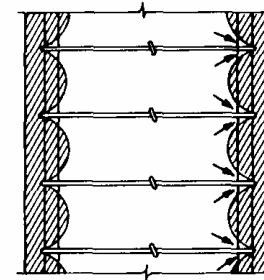
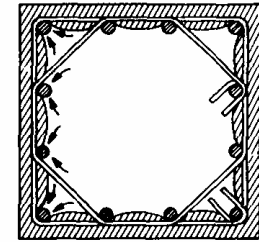
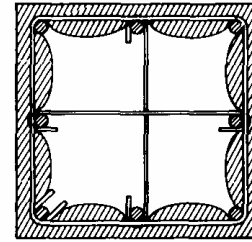


Incremento della resistenza delle travi



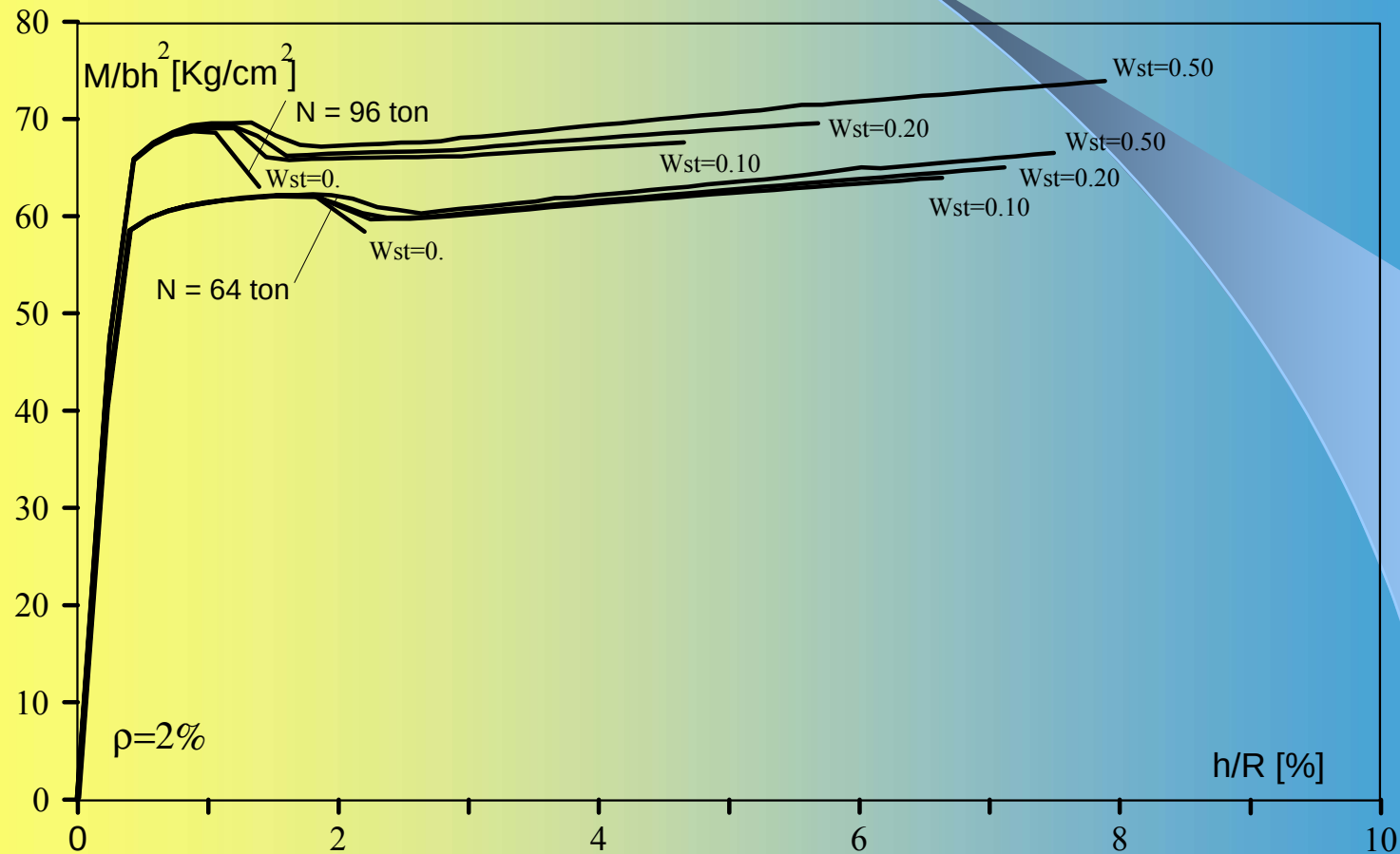
Armatura trasversale

Confinamento

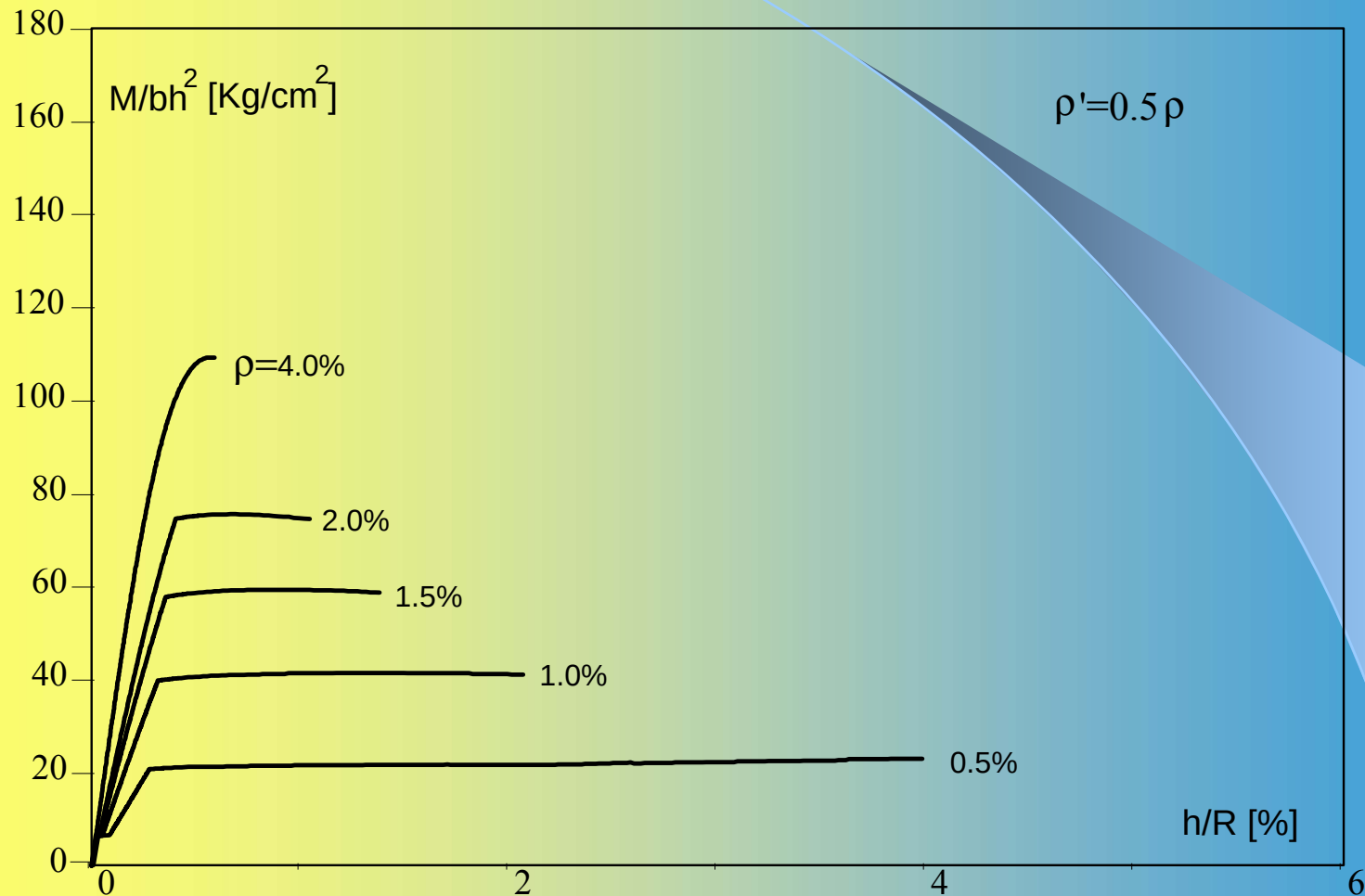


Staffe chiuse

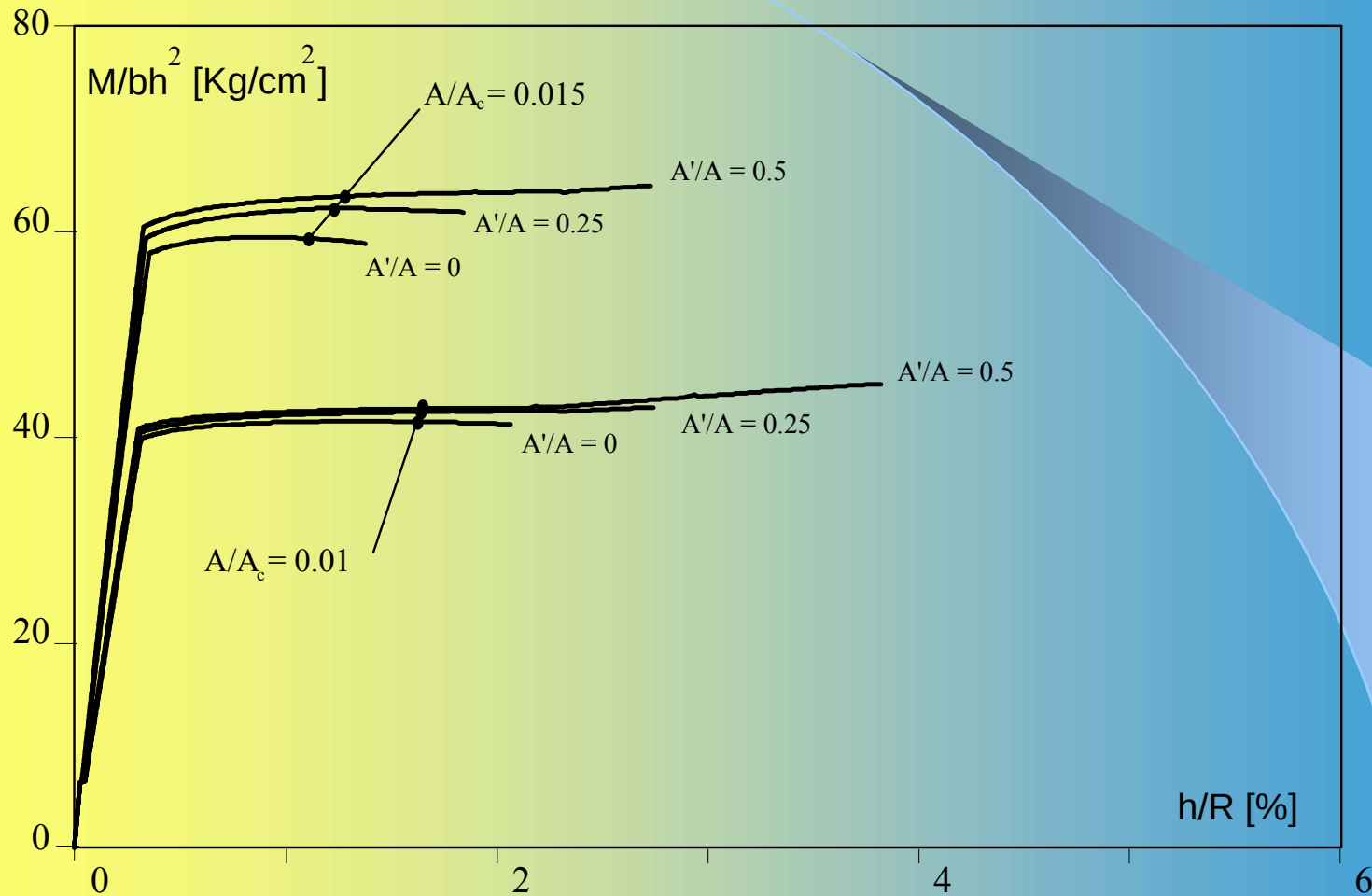
Influenza della percentuale di armatura trasversale sui diagrammi momento-curvatura



Influenza della percentuale di armatura tesa

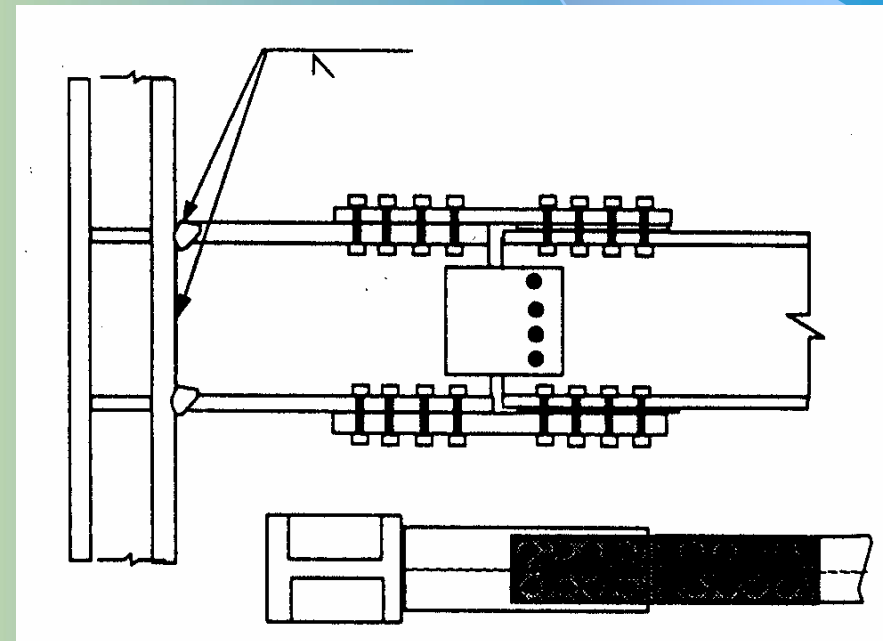
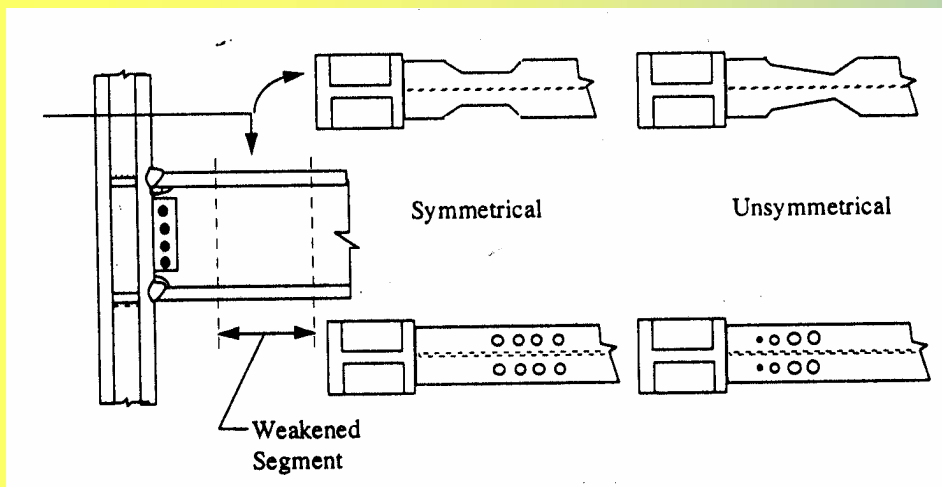


Influenza della percentuale di armatura compressa

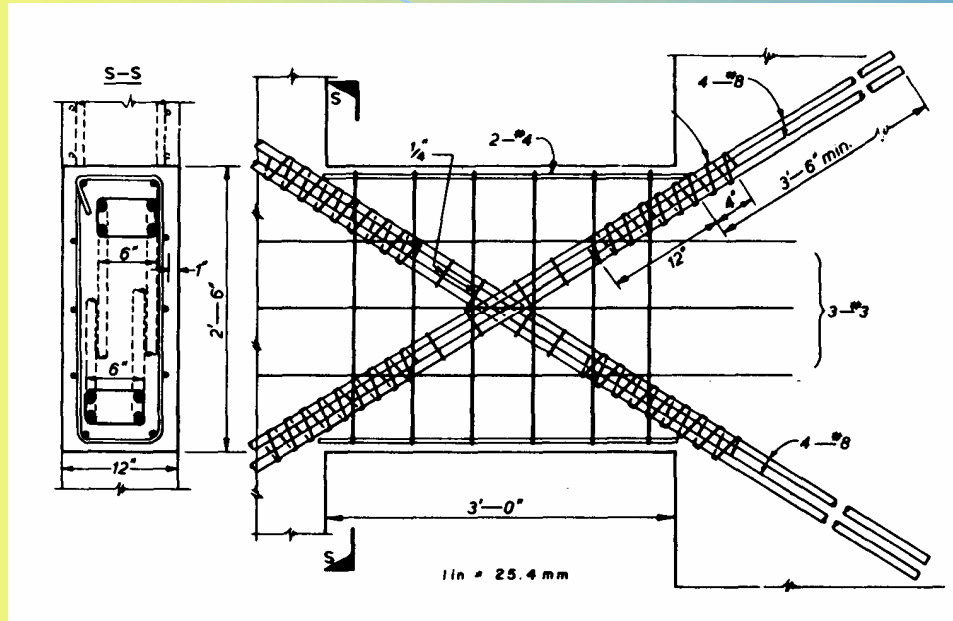


Nelle strutture a telaio in acciaio questo comportamento si ottiene:

- Usando profilati "tozzi" (bassi valori b/t) in maniera da non avere fenomeni prematuri di instabilità locale;
- Proporzionando opportunamente i collegamenti;
- Eventualmente introducendo appositi indebolimenti delle travi.



Travi di accoppiamento delle pareti



Quando $L / H < 3$
Armatura a flessione $A_f = A'_f$;
Armatura di parete eguale a
quella a taglio in maniera da
formare due reti a maglie
quadrate;

Se $\tau \geq 3 \tau_0$
Tutto il taglio deve essere
assorbito da un treliccio
diagonale.
In ogni caso deve essere:
 $\tau \leq 4.50 \tau_0$

Santa Monica

Northridge, California earthquake, Jan. 17, 1994 M 6.69



**Edificio con struttura intelaiata in c.a.
non duttile, meccanismi a taglio**

San Francisco

California earthquake, Oct. 17, 1989 M 7.09



Marina District, Beach St. Collasso incipiente – Piano Soffice

Japan

Niigata earthquake, Jun. 16, 1964 M 7.50



Liquefazione dei terreni

Building 'C'- Adapazari, Turkey

Izmit (Kocaeli), Turkey earthquake, Aug. 17, 1999 M 7.4

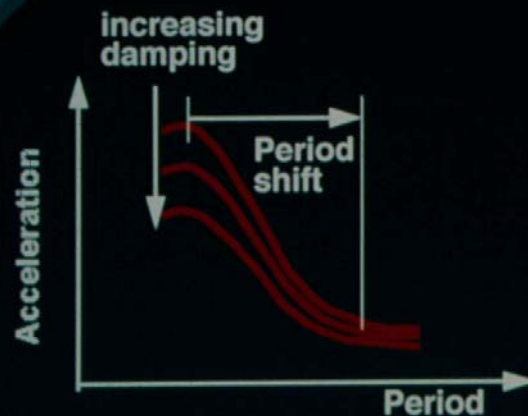


**Danno al nodo
colonna - trave**

B)Strategia innovativa

- Isolamento passivo
- Isolamento attivo

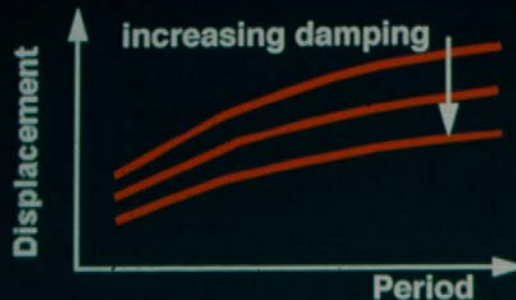
Concept of seismic isolation



Period shift



Elastomers with low G



Increasing damping



Elastomers with high ν

B) Strategia innovativa

