



Ordine dei Geologi delle Marche

Convegno

FAGLIE CAPACI-FRANE SISMOINDOTTE EFFETTI DI SITO-DANNI SULLE STRUTTURE

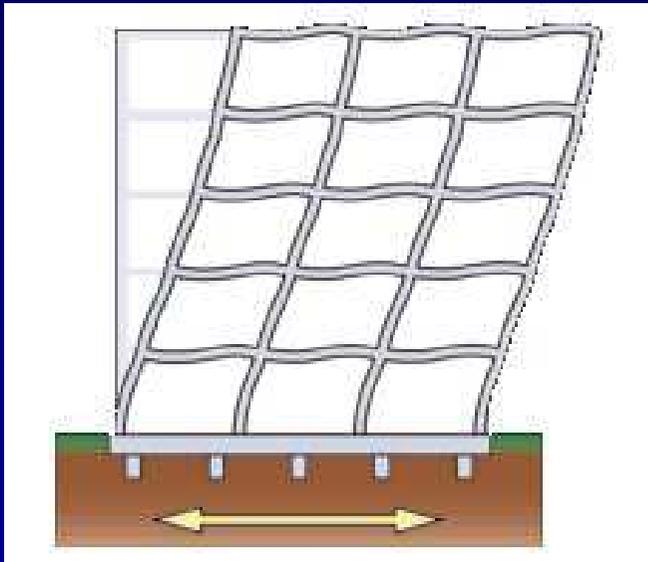
JESI 20 Dicembre 2016

c/o Hotel FEDERICO II - Via Ancona 100 Jesi (AN)

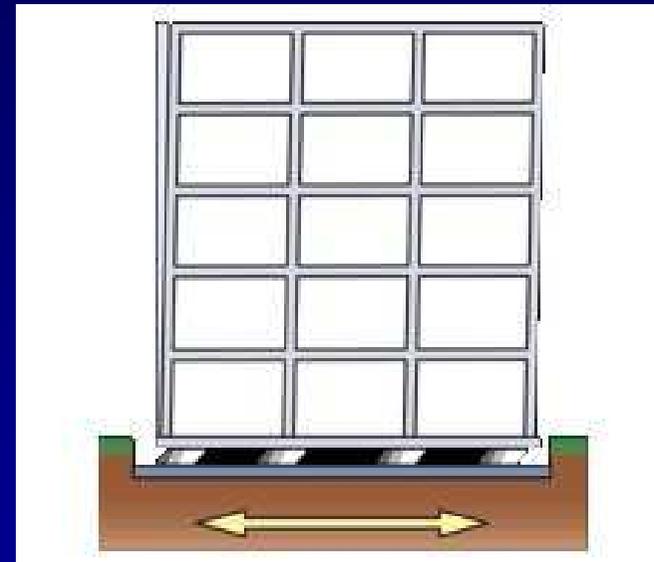


Ing. Roberto Giacchetti

Direttore del Laboratorio SidLab s.r.l. Osimo



Struttura a base fissa

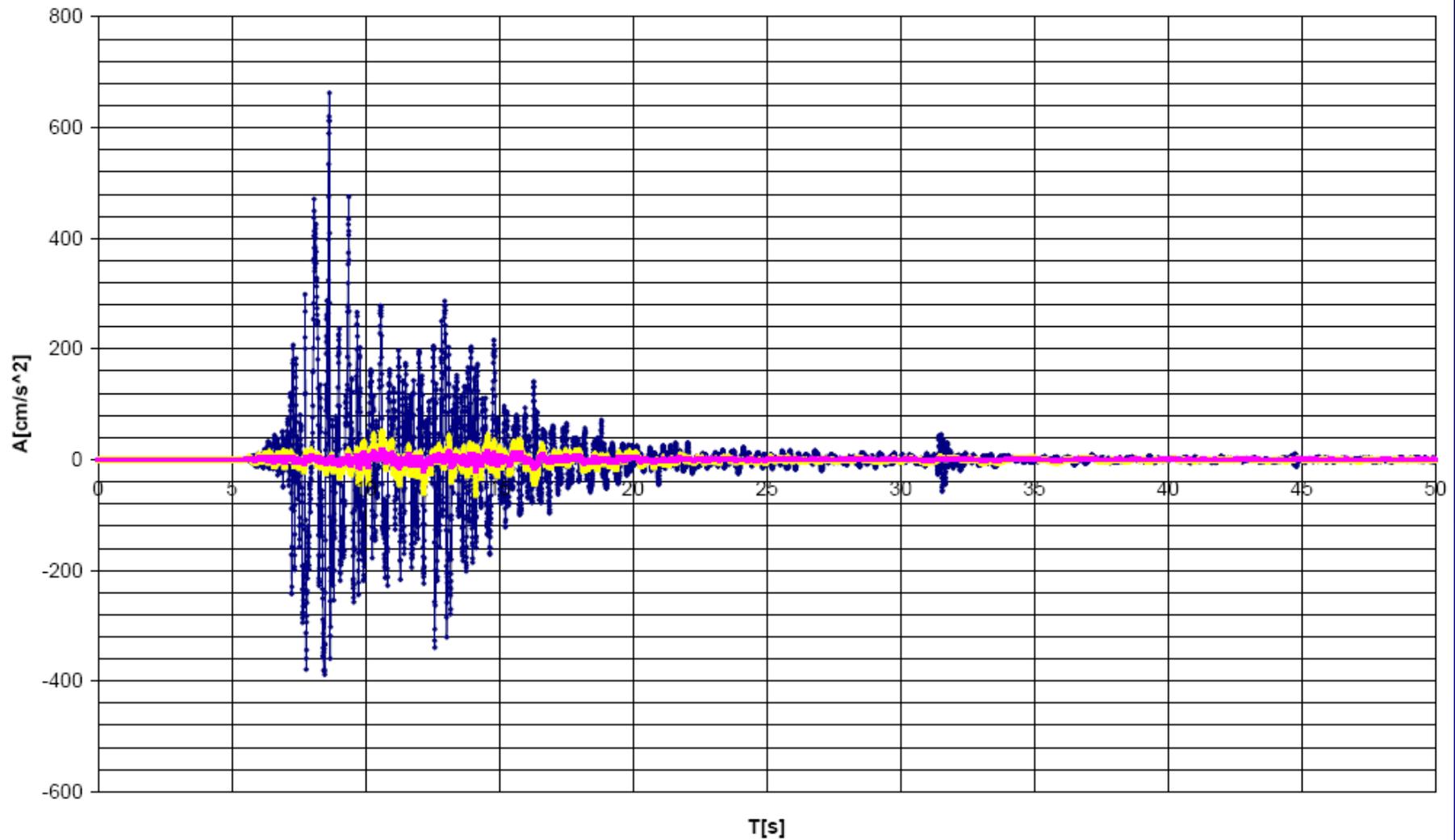


Struttura a base mobile

Input sismico e risposta strutturale

La sopravvivenza legata al rapporto Capacità/Domanda

Descrizione del terremoto nel dominio del tempo



—●— Stazione AQV - dist.Epicentrale: 4.80 km —●— Stazione GSG (scalato x 3) —●— Stazione GSG - Dist.Epicentro 22,60 km

Descrizione del terremoto nel dominio delle frequenze

La trasformata di Fourier dell'accelerazione del terreno è data da:

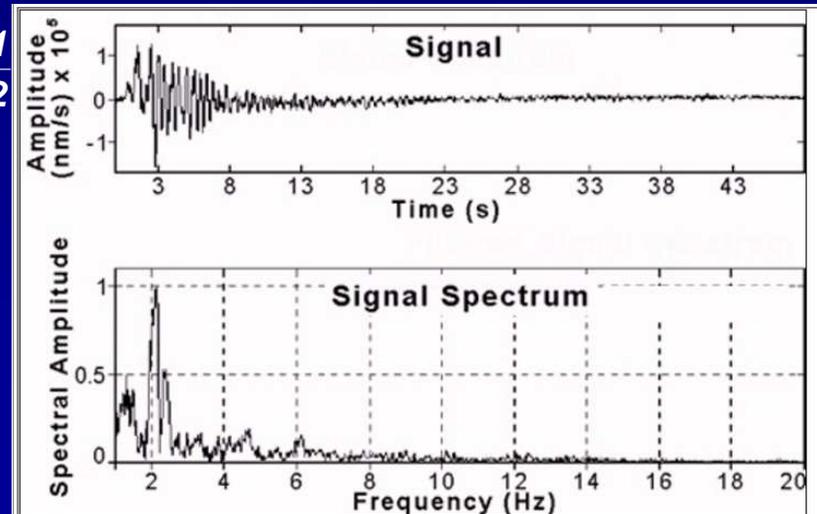
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}_g(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

Essendo il terremoto di durata finita da 0 a t_1 :

$$F(\omega) = \int_0^{t_1} \ddot{x}_g(\tau) \cos \omega\tau d\tau - i \int_0^{t_1} \ddot{x}_g(\tau) \sin \omega\tau d\tau$$

$$|F(\omega)| = \left\{ \left[\int_0^{t_1} \ddot{x}_g(\tau) \cos \omega\tau d\tau \right]^2 + \left[\int_0^{t_1} \ddot{x}_g(\tau) \sin \omega\tau d\tau \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

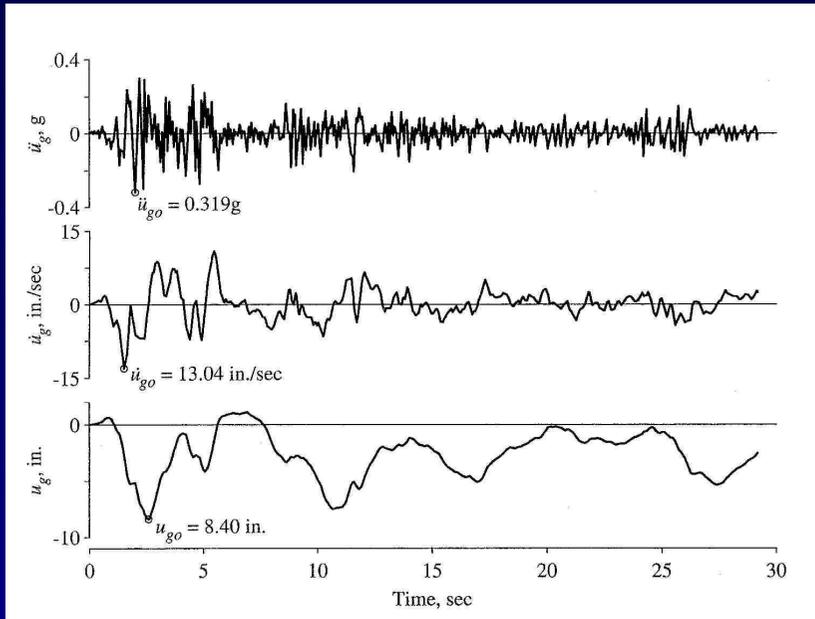
$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$



TOP: A record of ground motion caused by an earthquake. Amplitude is speed at which the ground moved up and down. This signal seems to have some dominant frequency, but the signal is certainly not only a simple sinusoid.

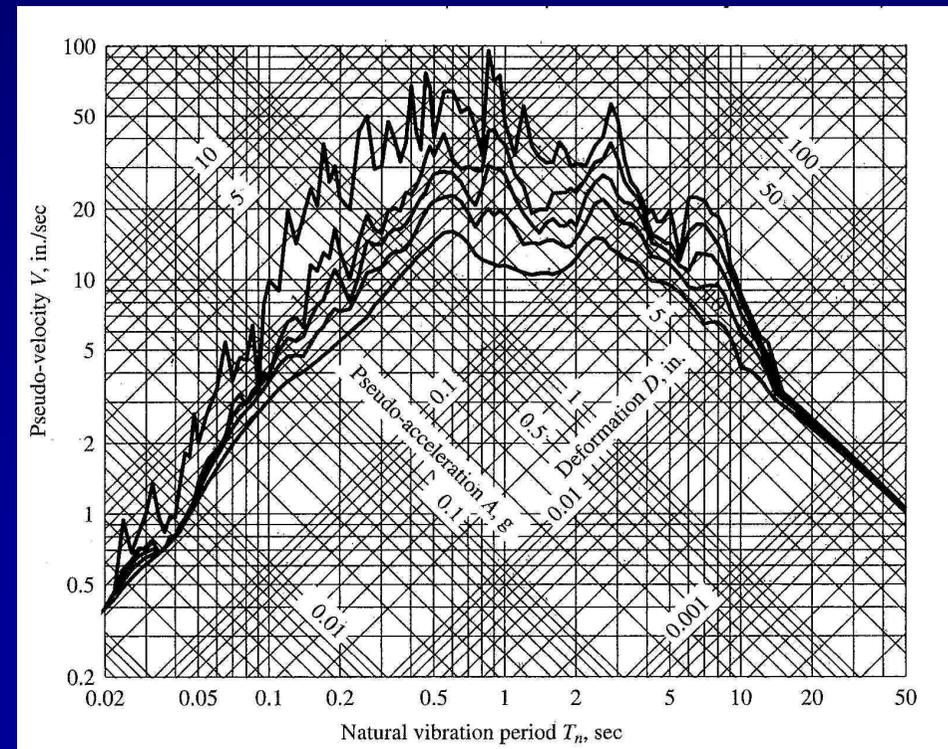
BOTTOM: This signal's amplitude spectrum. The signal's dominant frequency is clear (the spike at 2 Hertz), but the spectrum shows that there are also small amounts of other lower and higher frequencies contributing to the signal.

Descrizione del terremoto in termini di spettri di risposta

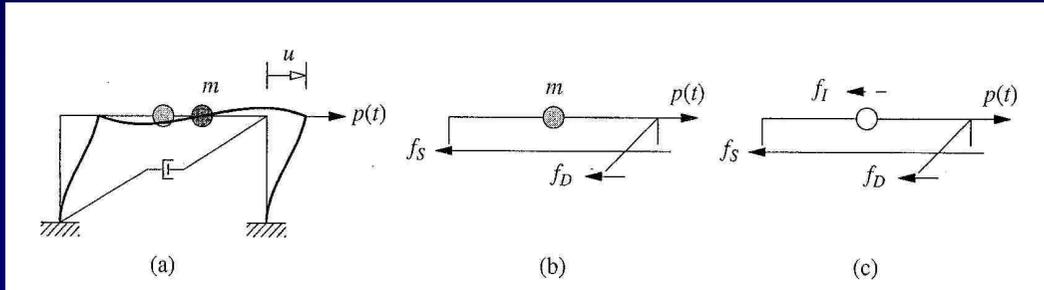


Componente N-S dell'accelerazione, della velocità e dello spostamento orizzontale - El Centro, California - 18 maggio 1940

Spettri di risposta elastica combinati per $\xi = 0, 2, 5, 10, 20\%$

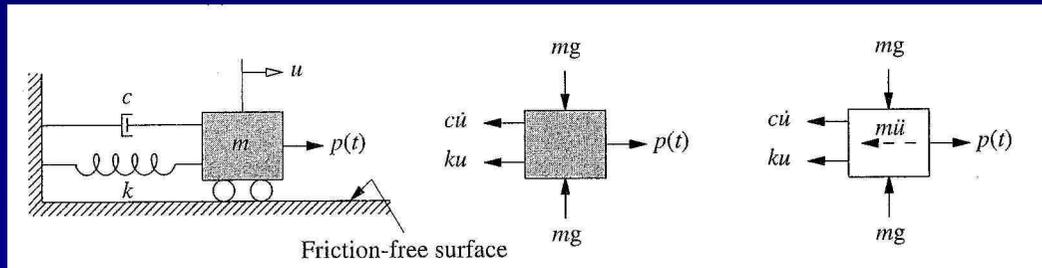


Risposta di un oscillatore armonico smorzato (SDOF) ad una forzante variabile nel tempo



EQ. EQUILIBRIO

$$f_I(t) + f_D(t) + f_S(t) = p(t)$$



$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t)$$

EQUAZIONE DIFFERENZIALE DEL MOTO

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \text{pulsazione naturale del sistema}$$

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega} = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \text{fattore di smorzamento viscoso}$$

$$\ddot{u}(t) + 2\zeta\omega\dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = \frac{p(t)}{m}$$

$$\ddot{x}(t) + 2\zeta\omega\dot{x}(t) + \omega^2 x(t) = \frac{F(t)}{m}$$

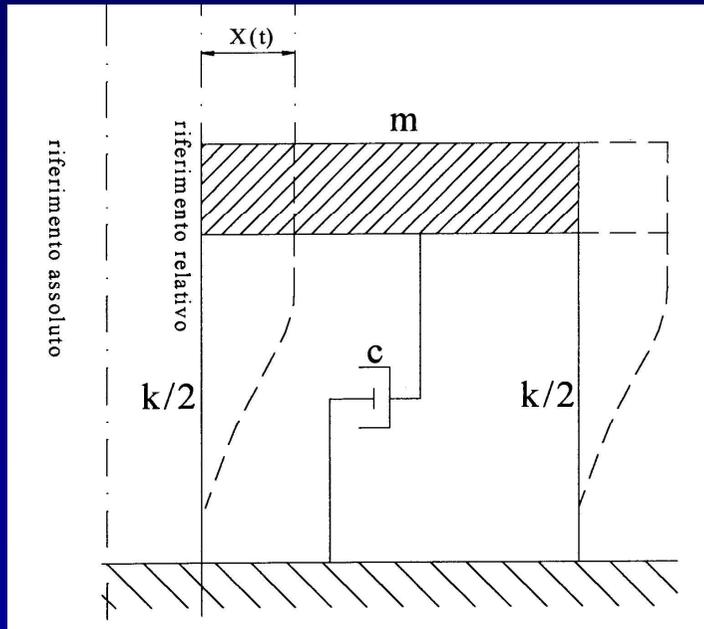
Risposta di un oscillatore armonico smorzato (SDOF) ad una forzante armonica

EQ. EQUILIBRIO

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F_0 \sin \bar{\omega}t$$

EQ. DEL MOTO

$$\ddot{x}(t) + 2\xi\bar{\omega}\dot{x}(t) + \bar{\omega}^2 x(t) = \frac{F_0}{m} \sin \bar{\omega}t$$



$$\bar{\omega} = \sqrt{\frac{k}{m}} := \text{pulsazione naturale del sistema}$$

$$\bar{\omega} := \text{pulsazione della forzante}$$

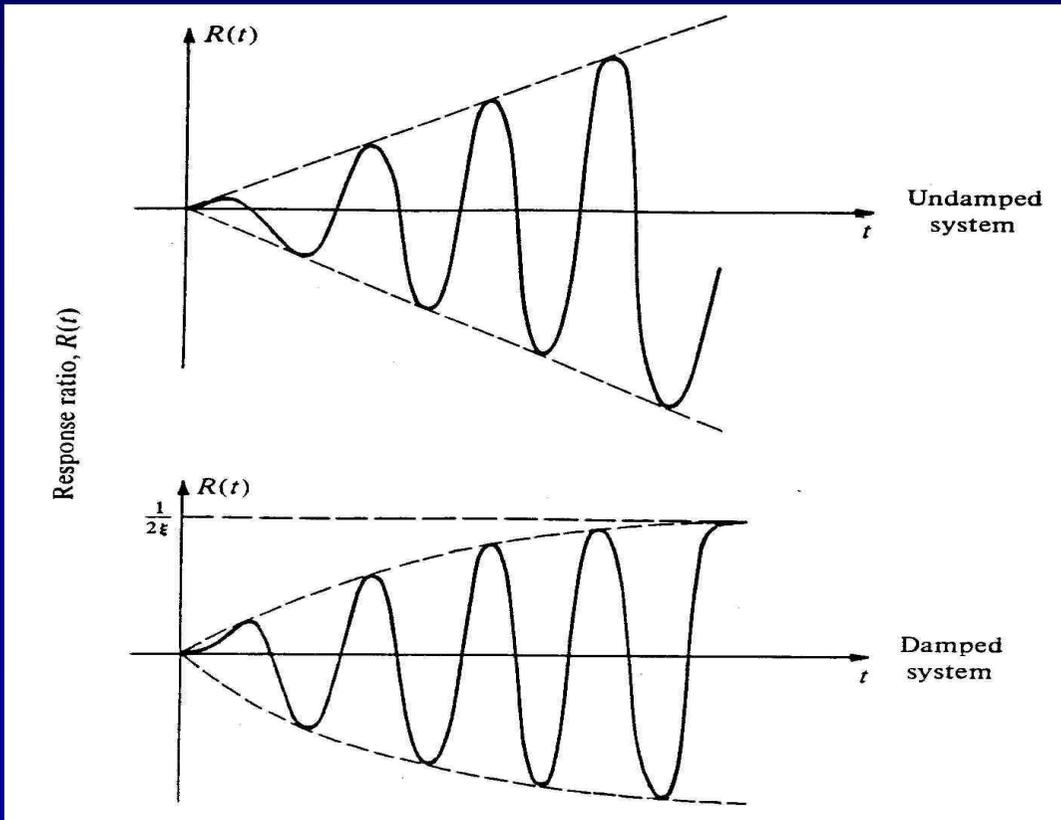
$$\xi = \frac{c}{2m\bar{\omega}} = \frac{c}{2\sqrt{km}} := \text{fattore di smorzamento}$$

$$\beta = \frac{|\bar{\omega}|}{\bar{\omega}}$$

$\beta = 1 \longrightarrow$ *CONDIZIONE DI RISONANZA*

Risposta di un oscillatore armonico smorzato (SDOF) ad una forzante armonica

Ponendo $R(t) = \frac{x(t)}{\frac{F_0}{k}}$ si ottengono i diagrammi seguenti



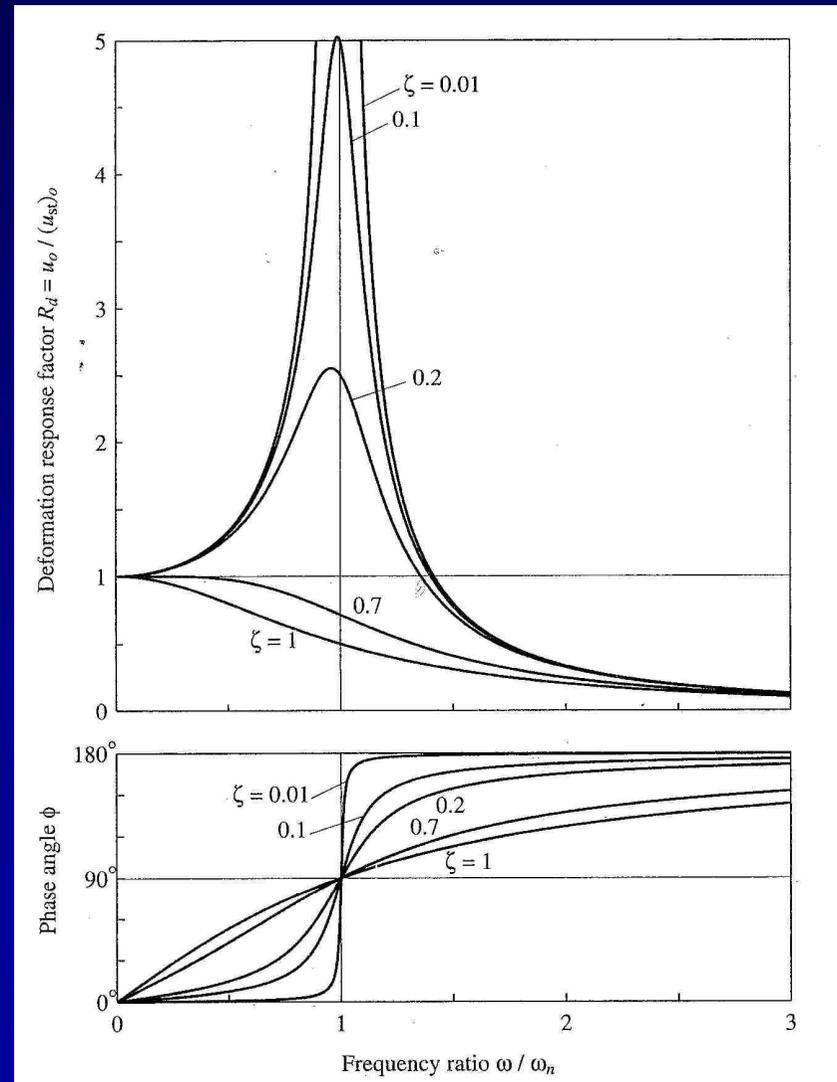
$$R(t) \cong \frac{1}{2} (\sin \omega t - \omega t \cos \omega t)$$

$$R(t) \cong \frac{1}{2\xi} (e^{-\xi\omega t} - 1) \cos \omega t$$

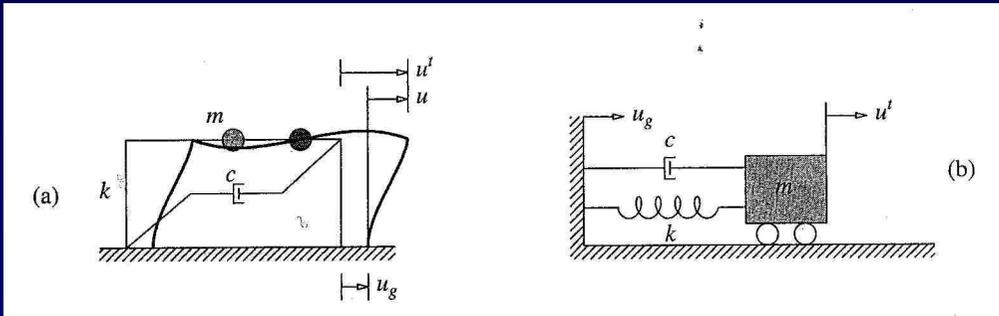
Risposta di un oscillatore armonico smorzato (SDOF) ad una forzante armonica

$$D = \sqrt{\frac{1}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2}}$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{(2\xi\beta)}{(1 - \beta^2)}$$

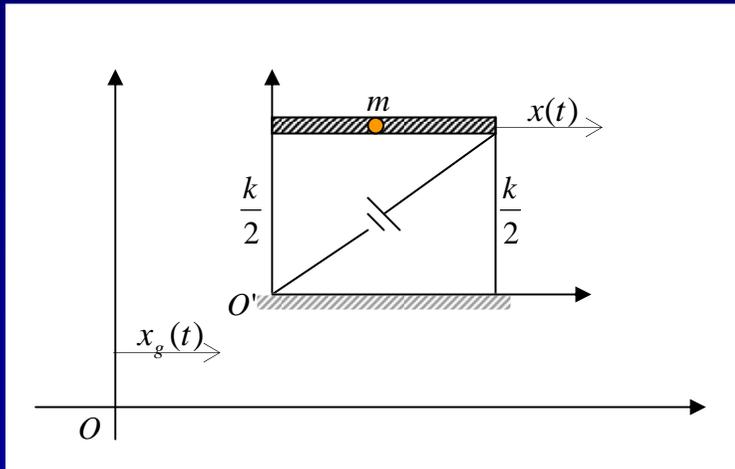


Risposta di un oscillatore armonico smorzato (SDOF) ad una accelerazione alla base



$$m[\ddot{u}_g(t) + \ddot{u}(t)] + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t)$$



$$m[\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t)] + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0$$

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t)$$

L'equazione del moto è in questo caso formalmente uguale a quella valida per una forzante se si pensa: $F(t) = -m\ddot{x}_g(t)$

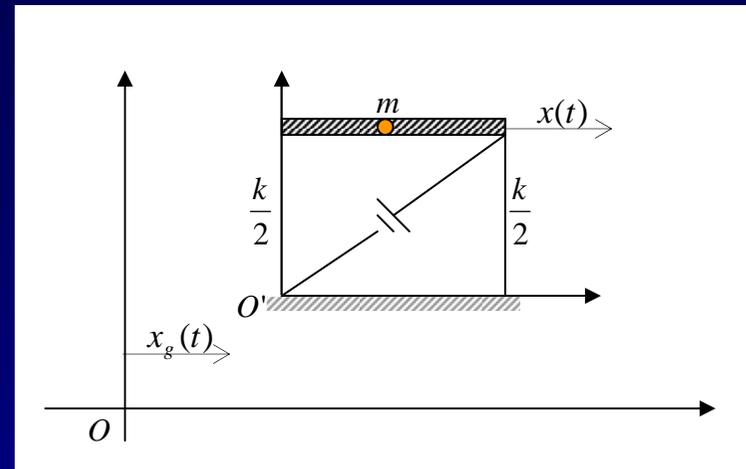
CONCLUSIONE: La risposta dell'oscillatore ad una accelerazione alla base è uguale a quella che si ottiene applicando una forzante $F(t)$ in corrispondenza della massa

Integrale di convoluzione per un SDOF soggetto ad accelerazione alla base

posto $F(\tau) = -m\ddot{x}_g(\tau)$

la convoluzione temporale diventa

$$x(t) = -\frac{1}{\omega_D} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \text{sen } \omega_D(t-\tau) d\tau$$



per sistemi a basso fattore di smorzamento

$\omega_D \cong \omega$ quindi:

$$x(t) = -\frac{1}{\omega} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \text{sen } \omega(t-\tau) d\tau$$

IMPORTANTE: La risposta del sistema dipende dalla pulsazione naturale ω_0 , che è lo stesso, dal periodo T e dallo smorzamento viscoso ξ

Considerazioni sul significato dello spettro di Fourier di un terremoto

per sistemi per cui $\xi \Rightarrow 0$

$\omega_D = \omega$ quindi:

$$x(t) = -\frac{1}{\omega} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \sin \omega(t - \tau) d\tau$$

L'energia totale del sistema all'istante t vale:

$$E(t) = \frac{1}{2} m [\dot{x}(t)]^2 + \frac{1}{2} k [x(t)]^2$$

$$\sqrt{\frac{2E(t)}{m}} = \left\{ [\dot{x}(t)]^2 + [\omega x(t)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\sqrt{\frac{2E(t)}{m}} = \left\{ \left[\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \cos \omega \tau d\tau \right]^2 + \left[\int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \sin \omega \tau d\tau \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Pertanto risulta:

$$\boxed{\sqrt{\frac{2E(t)}{m}} = |F(\omega)|}$$

Gli spettri di risposta elastica

$$\max|x(t)| = \frac{\left| \max \int_0^t \ddot{x}_g(t) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau \right|}{\omega} = S_D = \frac{S_V}{\omega}$$

$\xrightarrow{\text{red arrow}} \underline{\text{Velocità spettrale o pseudo-velocità}}$
 $\xrightarrow{\text{red arrow}} \underline{\text{Spostamento spettrale}}$

$$\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t) \cong -\omega^2 x(t)$$

$$\max|\ddot{x}_g(t) + \ddot{x}(t)| \cong \omega^2 \max|x(t)| \cong \omega^2 S_D = \omega S_V = S_A$$

$\xrightarrow{\text{red arrow}} \underline{\text{Accelerazione spettrale o pseudo-accelerazione}}$

Assegnato l'accelerogramma S_V , S_D e S_A sono funzioni di T e ξ

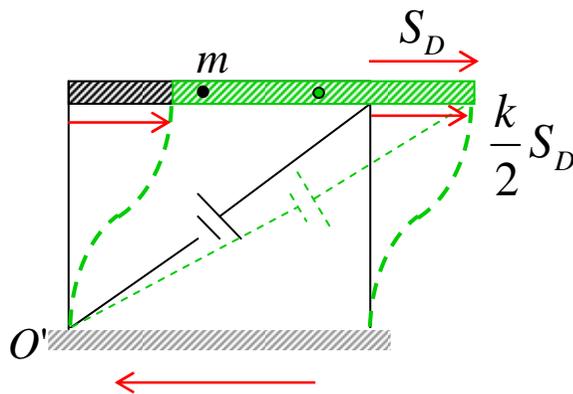
INTENSITA' SPETTRALE
(secondo Housner)

$$SI(\xi) = \int_{0,1}^{2,5} S_V(\xi, T) dT$$

Gli spettri di risposta elastica

Lo SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA è il luogo dei punti ognuno dei quali rappresenta il valore massimo della risposta di un SDOF a comportamento elastico caratterizzato da un periodo di vibrazione T e smorzamento ξ per un assegnato terremoto.

$$S_D(T, \xi) = \max |x(t)| = \frac{\max \left| \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi \frac{2\pi}{T}(t-\tau)} \sin \frac{2\pi}{T}(t-\tau) d\tau \right|}{\frac{2\pi}{T}}$$



$$T_b = kS_D = \frac{k}{\omega^2} S_A = mS_A$$

Il TAGLIO ALLA BASE o azione sismica è dato dal prodotto dello spostamento spettrale S_D per la rigidezza k , che è lo stesso, dell'accelerazione spettrale per la massa

Integrale di convoluzione per un SDOF soggetto ad accelerazione alla base

S_v si chiama pseudovelocità perché ha le dimensioni di una velocità. In realtà l'espressione della velocità reale si ottiene derivando nel tempo la risposta in spostamento:

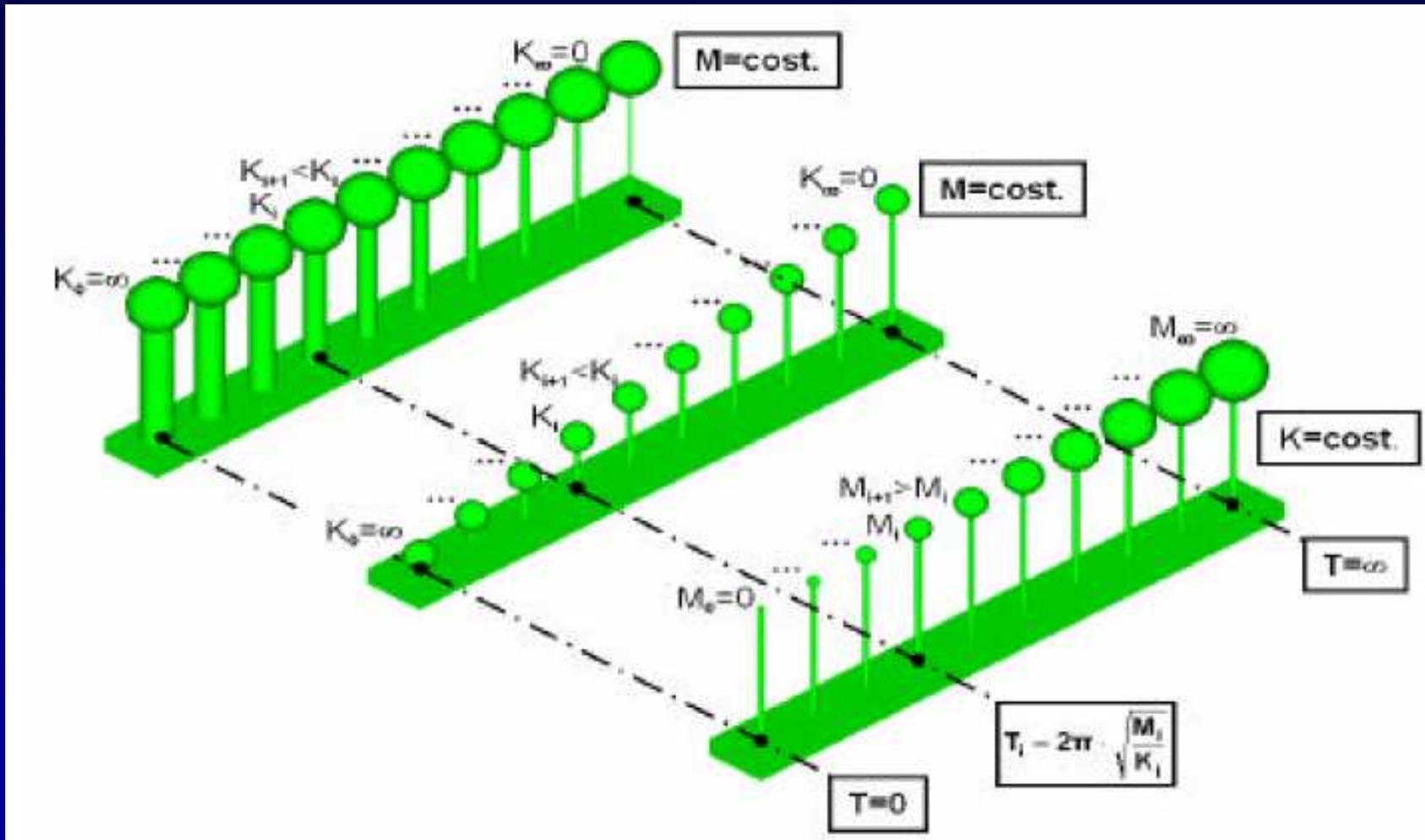
$$x(t) = -\frac{1}{\omega} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin \omega(t-\tau) d\tau$$

Risulta:

$$\dot{x}(t) = \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \cos \omega(t-\tau) d\tau - \xi\omega x(t)$$

I valori massimi degli integrali sono simili ed il secondo termine dell'espressione della velocità è trascurabile dato il piccolo valore di ξ

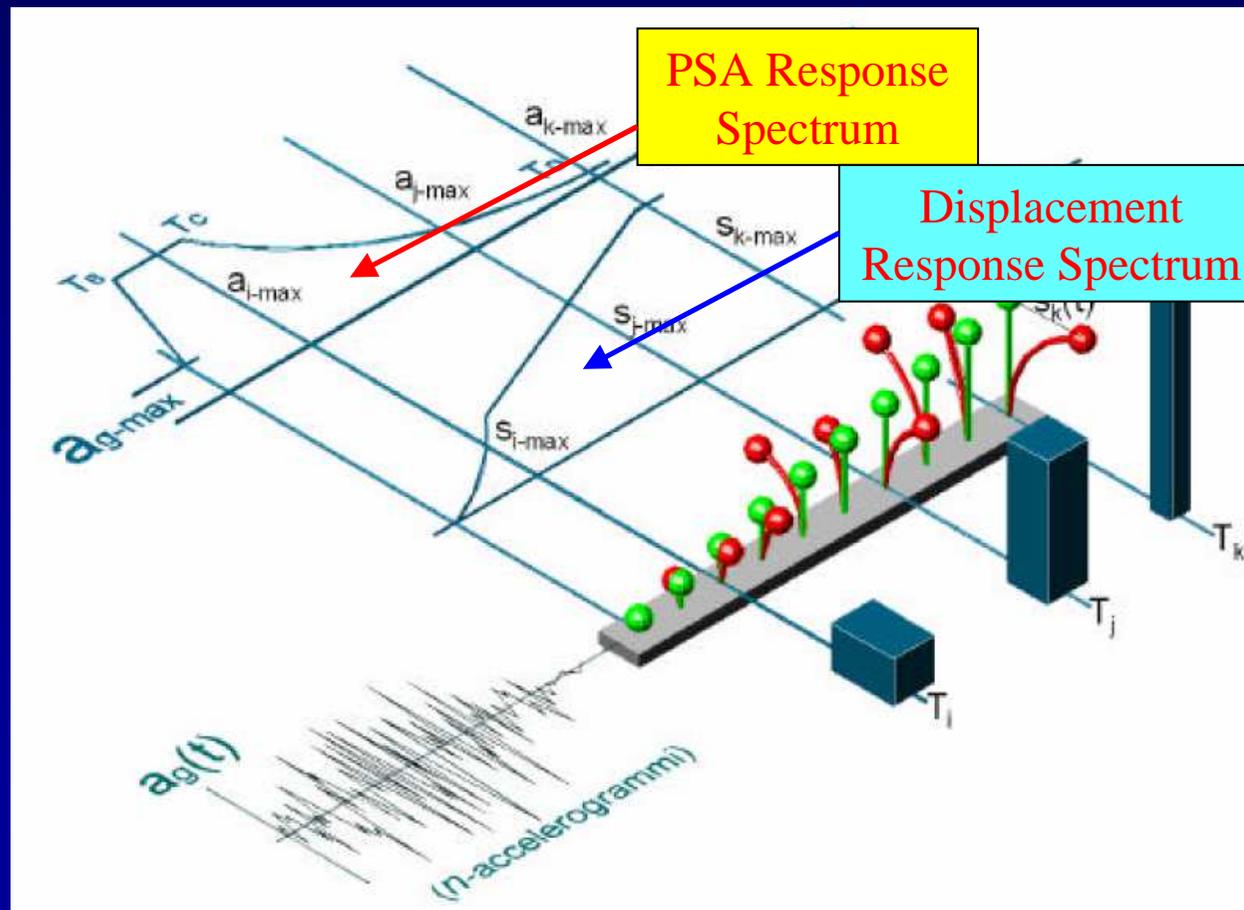
How to determine the Earthquake Response Spectrum



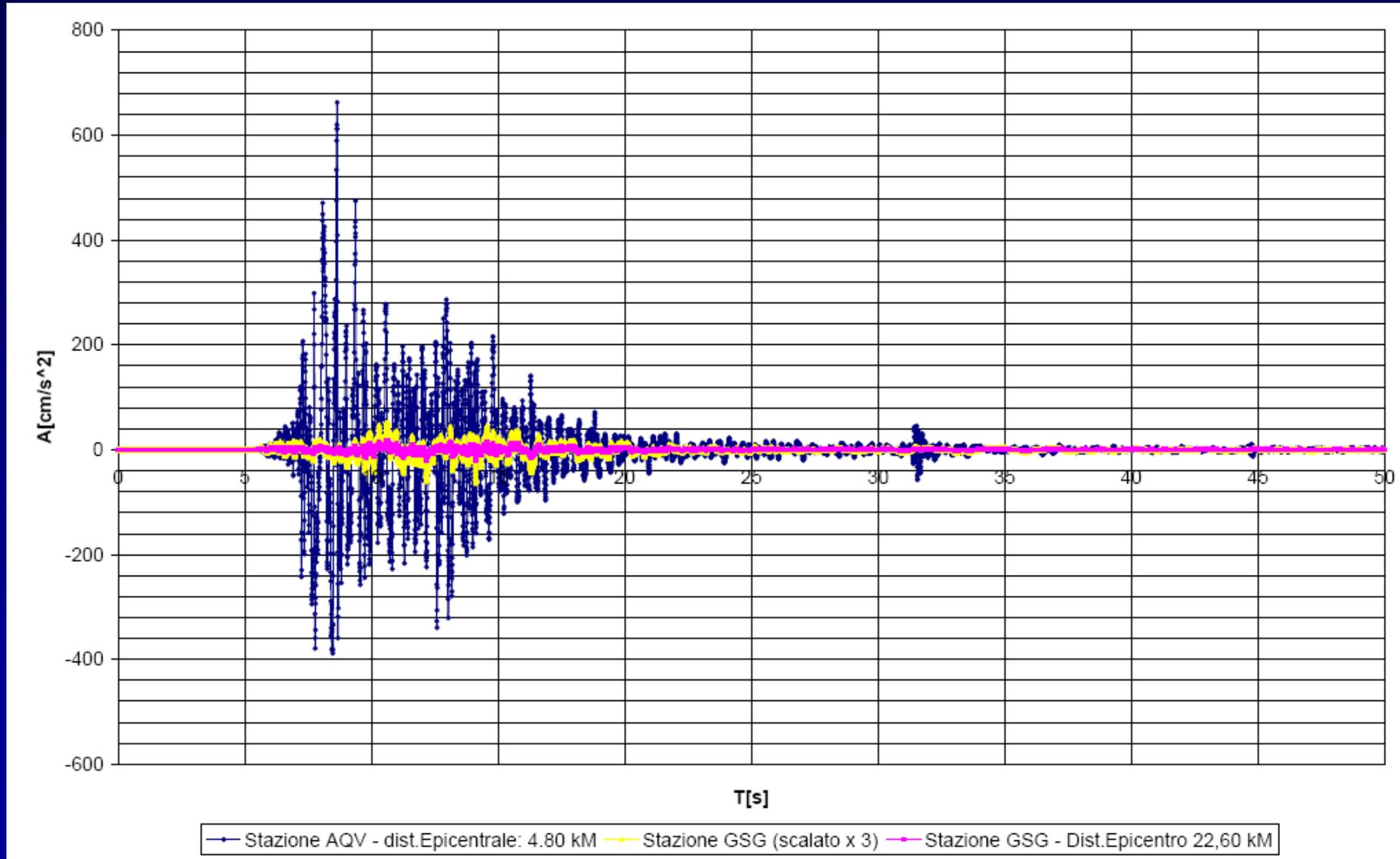
An infinite set of SDOF systems can be obtained by continuously varying the stiffness while keeping both the mass and the damping constant. Thus a theoretically infinite number of earthquake elastic responses (peak displacements) are calculated each of which is associated to the system's relevant period of vibration. This procedure can be repeated for different values of damping and for any ground motion.

Need for a Smoothed Elastic Response Spectrum

The presence of peaks and valleys that characterize the real response spectra makes it impractical to use these spectra for design purpose. In fact, slight deviation around the calculated period may cause significant changes in acceleration response.

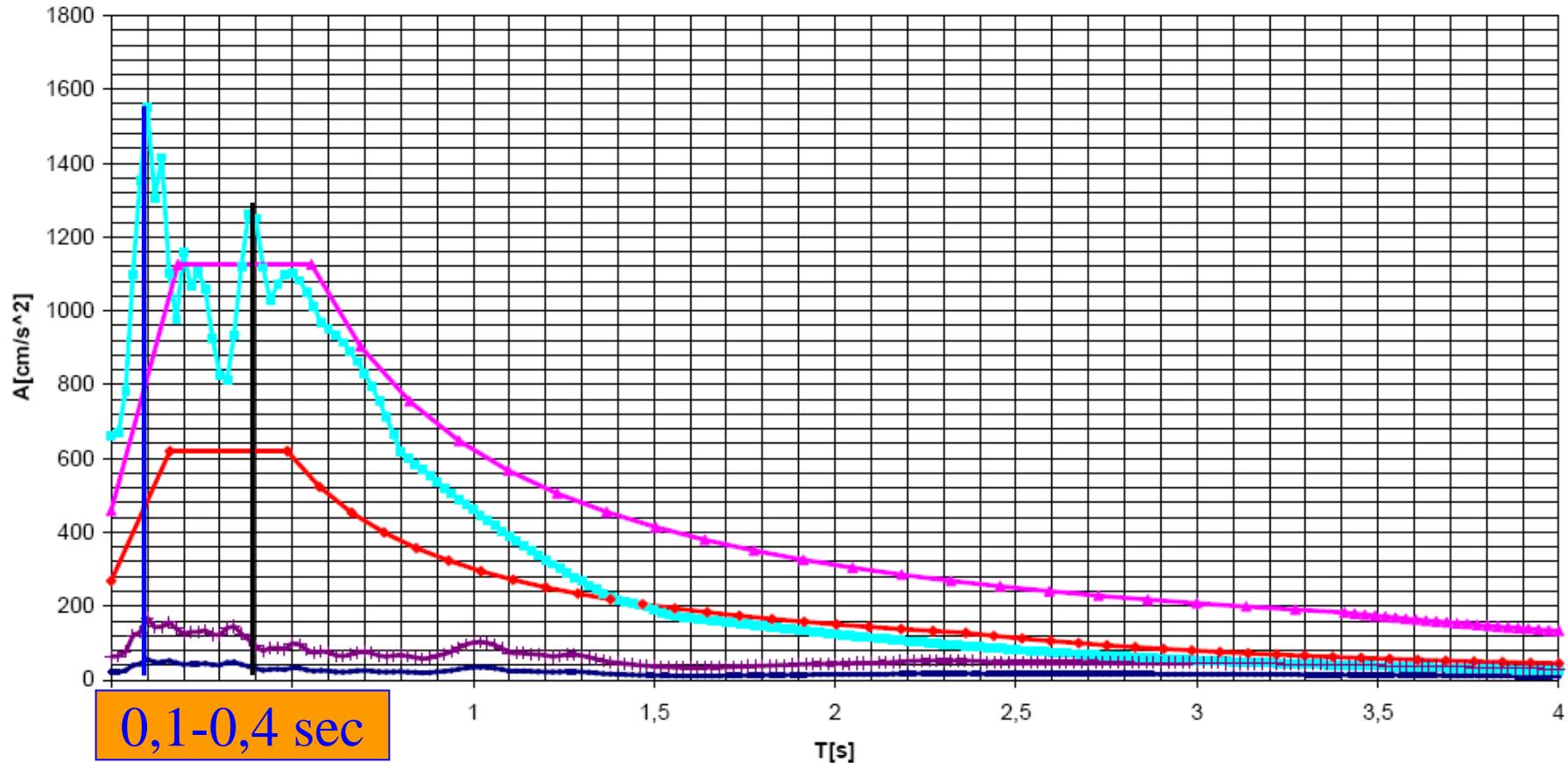


Scossa registrata a L'Aquila – ore 3:32 del 06/04/2009 – $M_L=5.8$



Scossa registrata a L'Aquila – ore 3:32 del 06/04/2009 – $M_L=5.8$

Terremoto del 6.4.2009 - M=5.8 - Spettri di Risposta



0,1-0,4 sec

- Stazione GSG- Gran Sasso (Lab. INFN galleria) - d.epic.=22,6 km
- Stazione Aqv - d.epic =4,8 km(42.377068-13.343884)
- NTC 2008 - S.L. Collasso - sot. C -T1 -D=5% - V=100 anni - coeff.uso=2
- NTC 2008 - S.L.D - sot. C -T1 -D=5% - V=100 anni - coeff.uso=2
- Stazione GSG - scalato (x 3)

Effetti del terremoto dell'Aquila – Scossa delle ore 3:32 del 6 aprile 2009

Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 metri di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, il periodo del modo di vibrare principale T_1 può essere stimato, in assenza di calcoli più dettagliati, utilizzando la formula seguente:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{\frac{3}{4}}$$

dove:

H è l'altezza della costruzione, in metri, dal piano di fondazione;

C₁ vale: 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio;

0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato;

0,050 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura

Strutture in c.a.: per $T_1=0,4$ sec risulta $H=9,0$ m (3 piani)

Strutture murarie: per $T_1=0,1$ sec risulta $H=2,5$ m (1 piano)

Spettro di risposta elastica secondo NTC08

Lo spettro di risposta elastica della componente orizzontale dell'accelerazione è definito da:

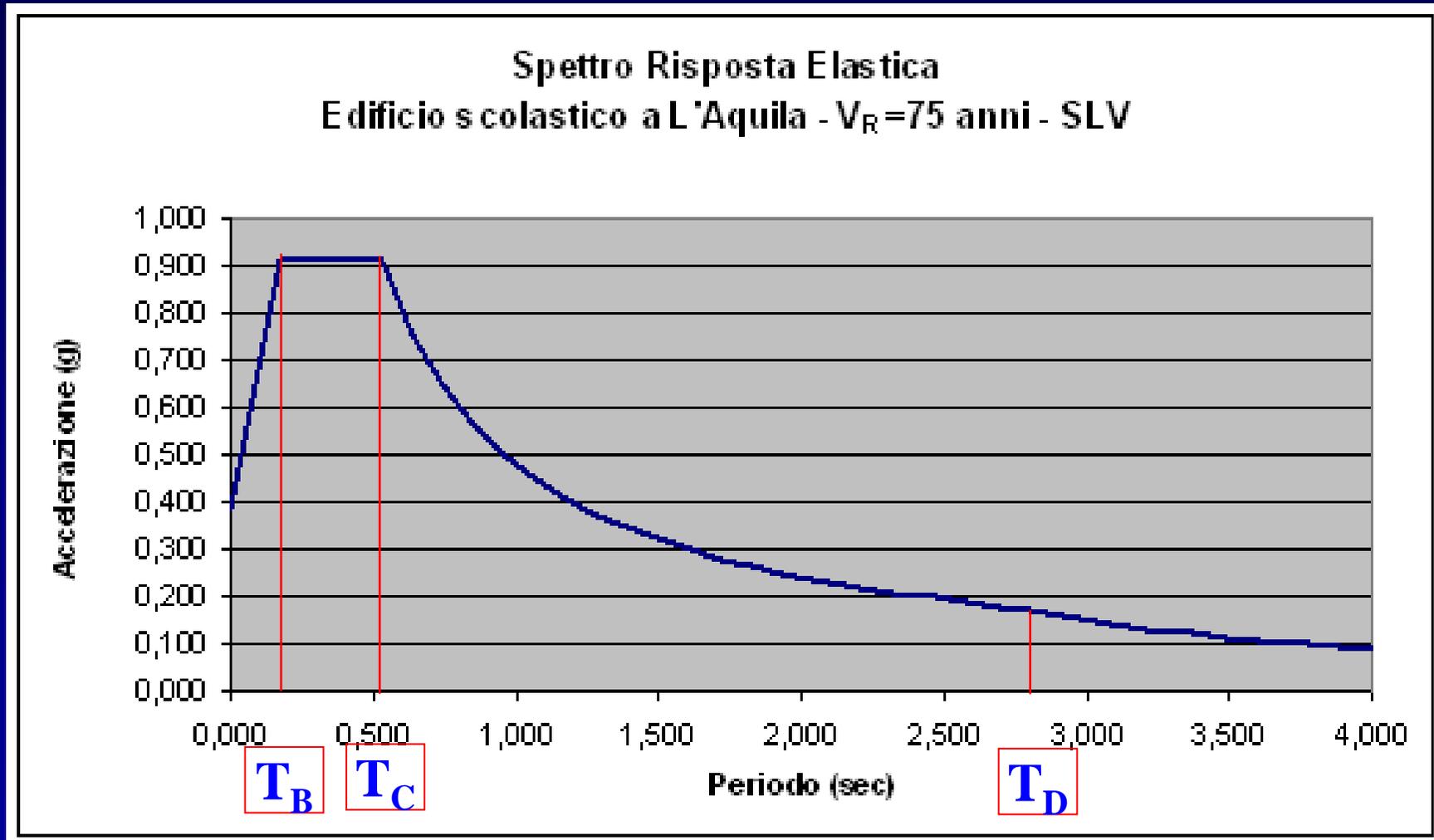
$$0 \leq T < T_B \Rightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right)$$

$$T_B \leq T < T_C \Rightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

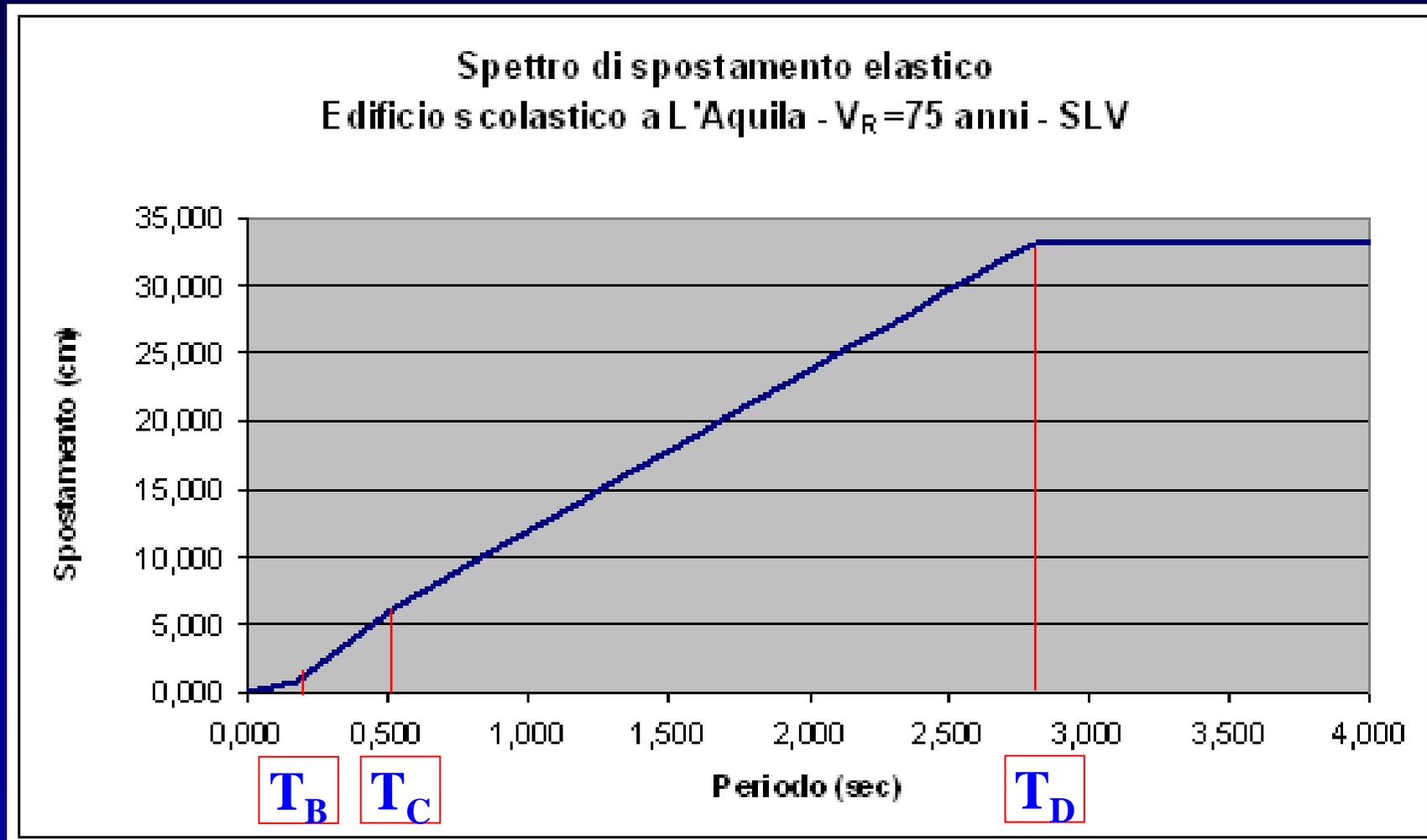
$$T_C \leq T < T_D \Rightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \Rightarrow S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Spettro di risposta elastica $S_e(T)$ secondo NTC08

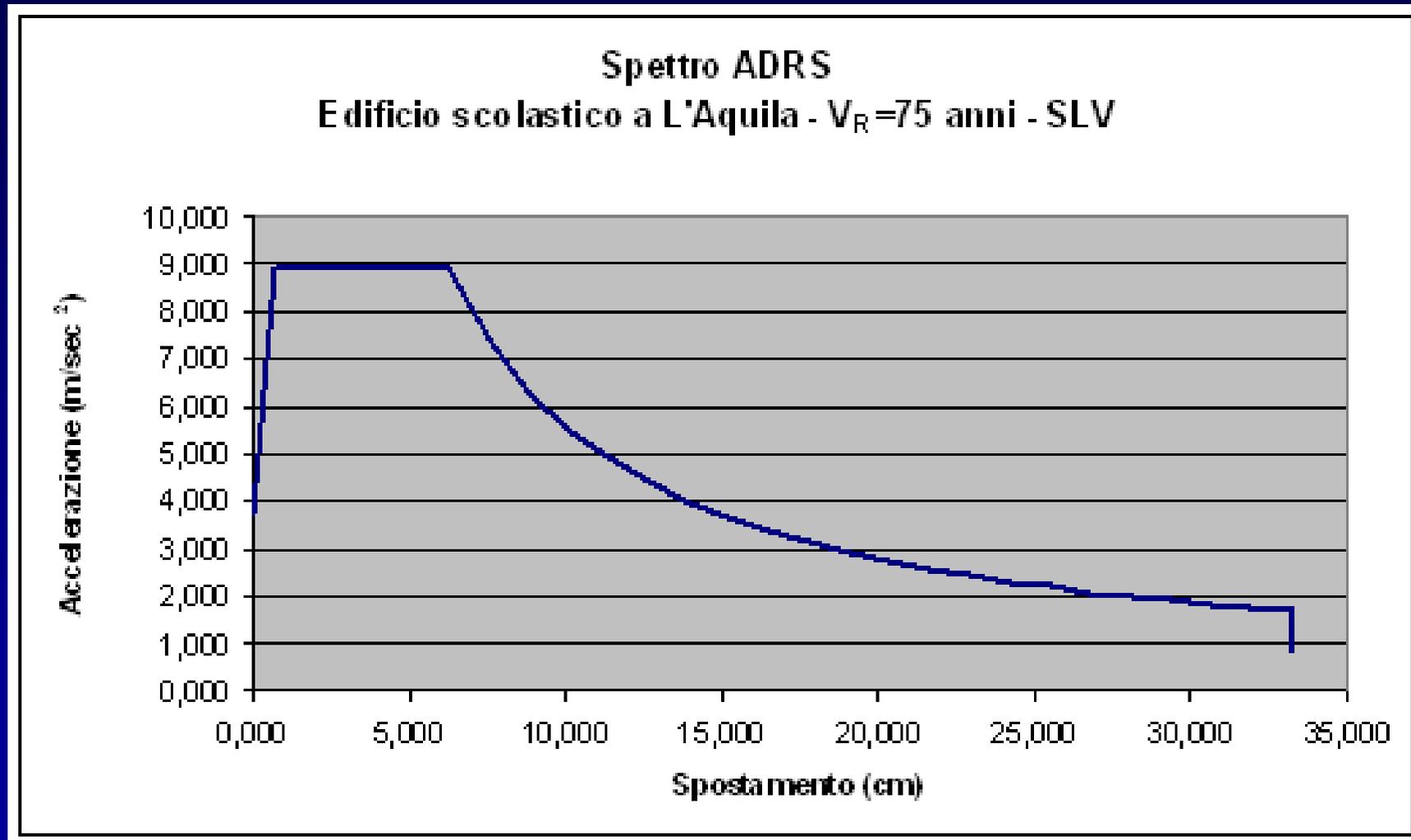


Spettro di risposta elastica $S_D(T)$ secondo NTC08

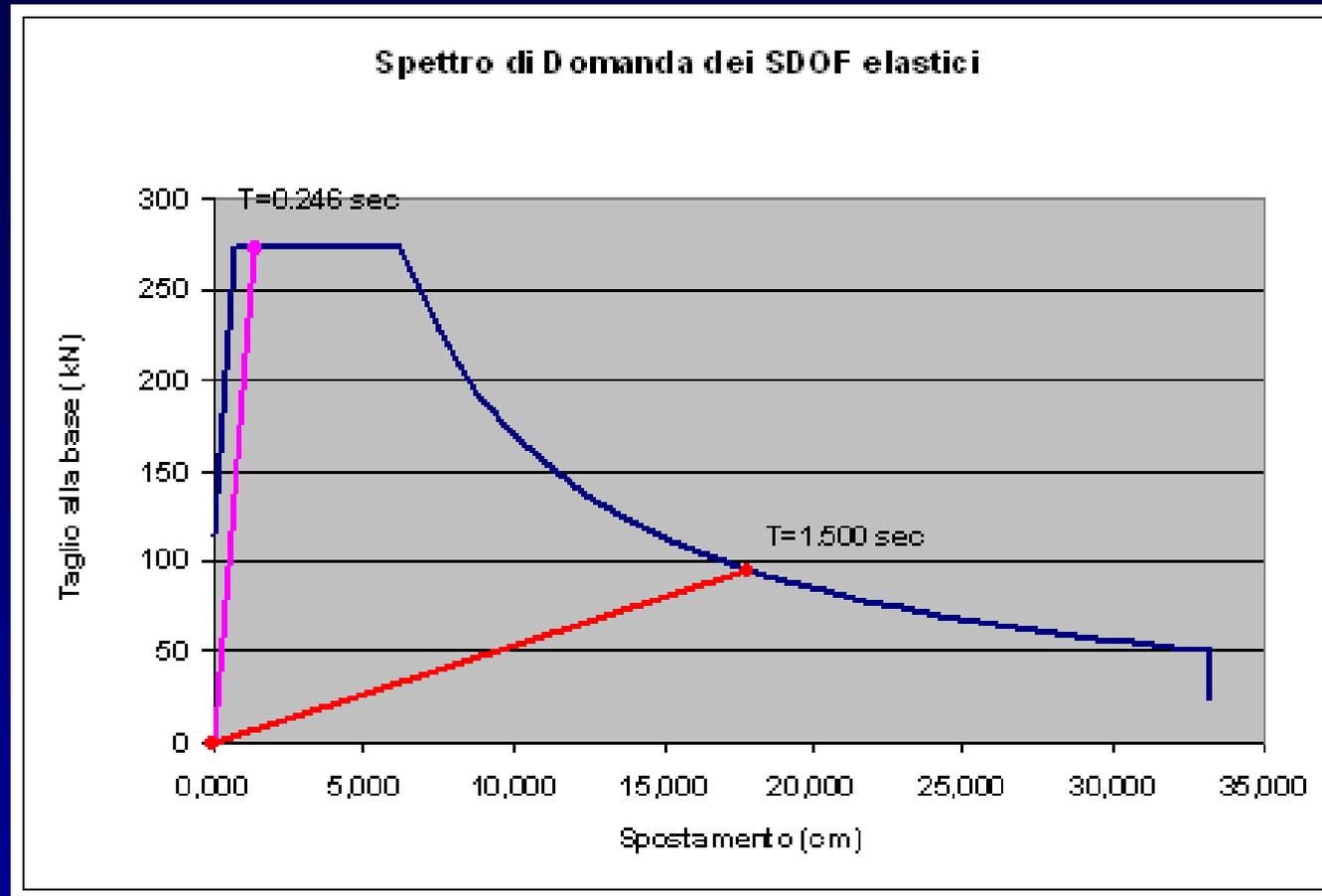


$$S_{De}(T) = S_e(T) \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

Spettro di risposta elastica in formato ADRS



Spettro di Domanda Elastica



$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{S_{De}(T)}{S_e(T)}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m \cdot S_{De}(T)}{m \cdot S_e(T)}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$k = \frac{m \cdot S_e(T)}{S_{De}(T)}$$

CARATTERISTICHE SDOF					
Peso	Massa	Rigidezza	Periodo	$S_d(T)$	$mS_e(T)$
(kN)	(kNsec ² /m)	(kN/m)	(T)	(cm)	(kN)
300	30,59	20000	0,246	1,4	272,5
300	30,59	536	1,500	17,8	95,5

Approccio energetico alla progettazione

$$x_t(t) = x_g(t) + x(t) := \text{spostamento assoluto}$$

LEGGE DEL MOTO: $m\ddot{x}_t(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = 0$

integrando rispetto ad x si perviene a:

$$\frac{m\dot{x}_t^2(t_2)}{2} - \frac{m\dot{x}_t^2(t_1)}{2} + \int_{t_1}^{t_2} c\dot{x}(t)dx + \int_{t_1}^{t_2} k(x)x(t)dx = \int_{t_1}^{t_2} m\ddot{x}_t(t)dx_g \rightarrow \text{En. Ingresso } E_I$$

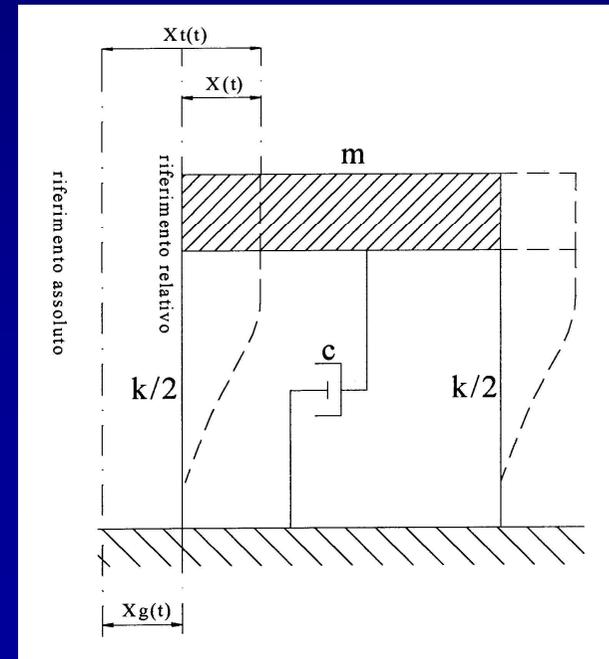
En. Cinetica relativa
del sistema E_K

En. di Deformazione $E_S + E_H$

En. Dissipata
dallo smorzatore E_x

$$E_K(t) + E_x(t) + E_S(t) + E_H(t) = E_I(t)$$

Equazione istantanea
di bilancio energetico



Progettazione convenzionale secondo NTC08

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi dissipativi, devono essere progettate in accordo con i seguenti comportamenti strutturali:

- a) comportamento strutturale non-dissipativo;
- b) comportamento strutturale dissipativo.

Nel comportamento strutturale non dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite di esercizio, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, indipendentemente dalla tipologia strutturale adottata, senza tener conto delle non linearità di comportamento (di materiale e geometriche) se non rilevanti.

Nel comportamento strutturale dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite ultimi, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, tenendo conto delle non linearità di comportamento (di materiale sempre, geometriche quando rilevanti e comunque sempre quando precisato).

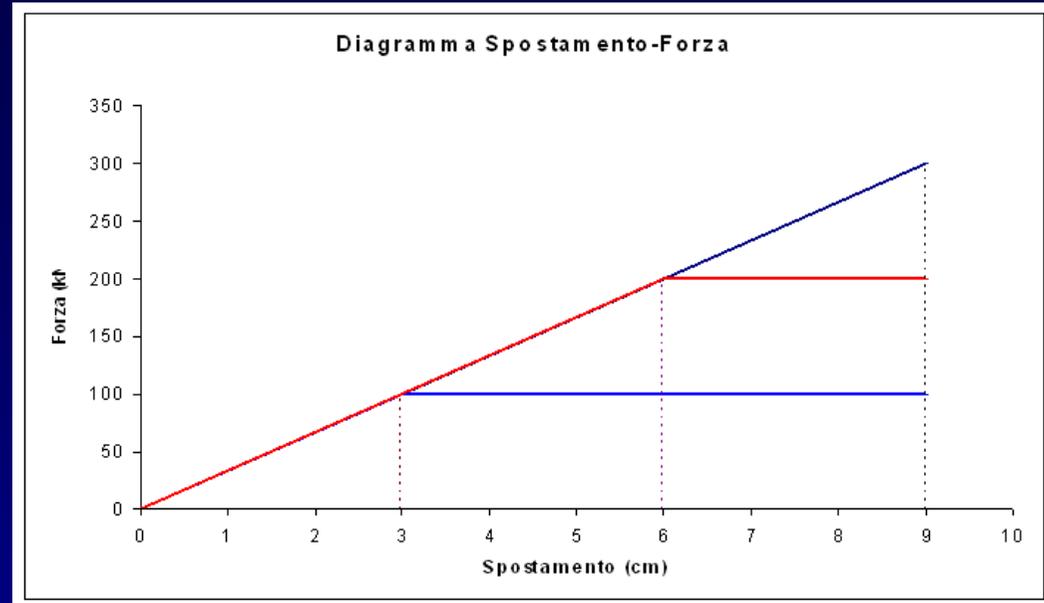
Gli elementi strutturali delle fondazioni, che devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante (v. § 7.2.5), devono avere comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di esse gravante.

Nel caso la struttura abbia comportamento strutturale dissipativo, si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD):

- Classe di duttilità alta (CD"A");
- Classe di duttilità bassa (CD"B").

La differenza tra le due classi risiede nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

Concetto di duttilità

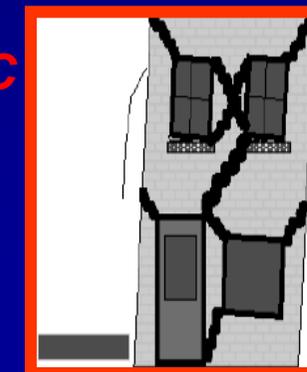
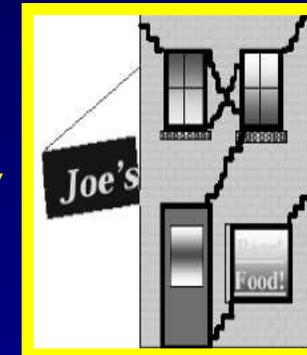
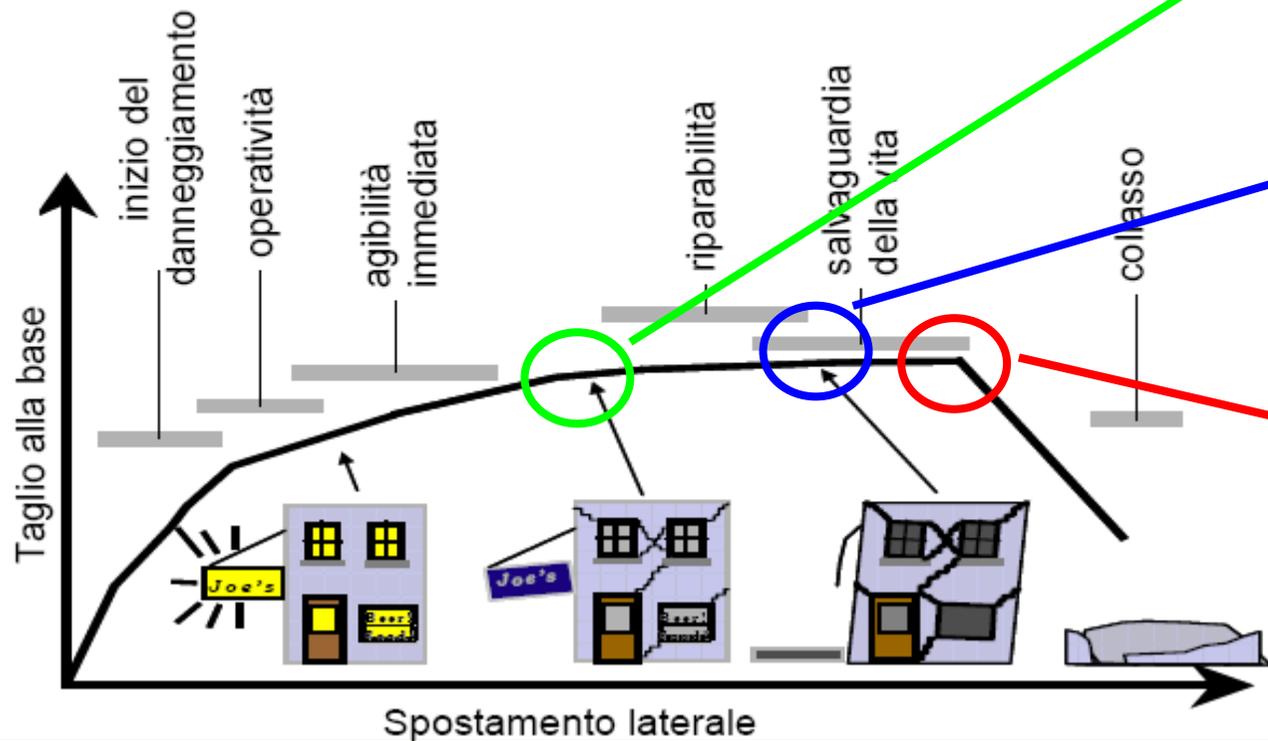


	Elastico
	Inelastico $\mu = 3,0$
	Inelastico $\mu = 1,5$

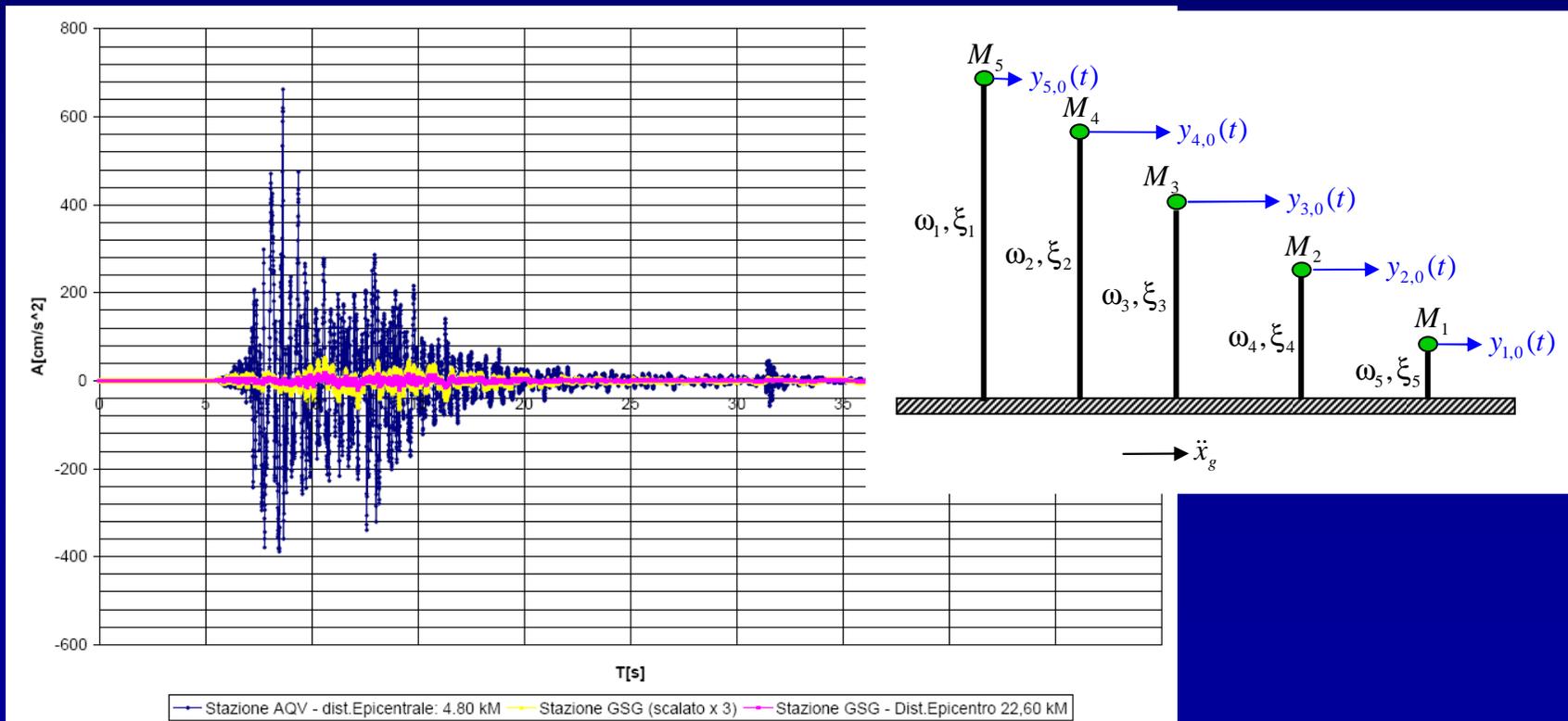
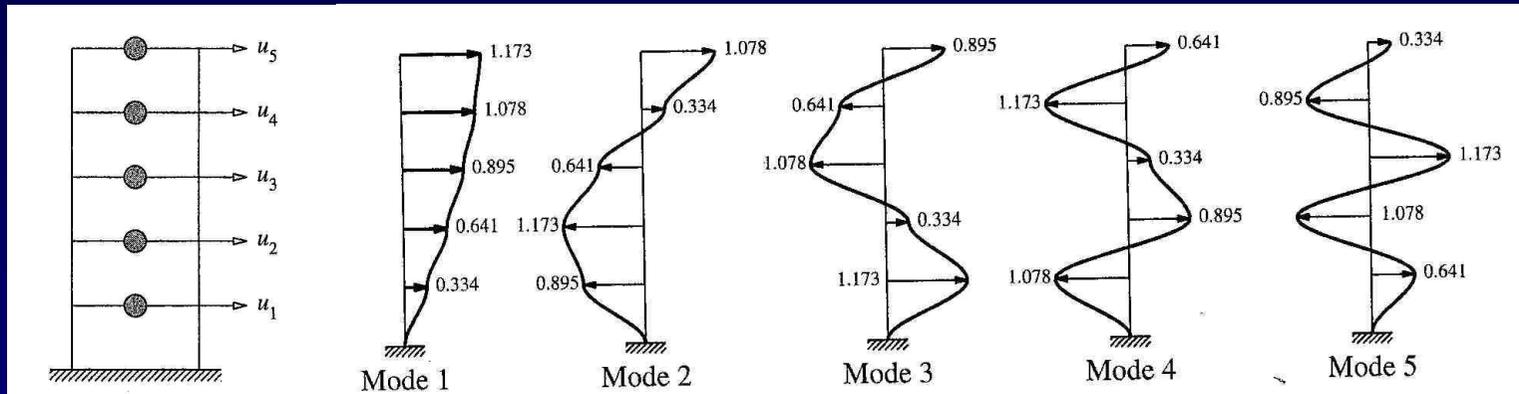
Se si aumenta la resistenza si può ridurre la domanda di duttilità e viceversa! Se si aumentano entrambe si ottiene un sensibile MIGLIORAMENTO!

CAPACITA' DEFORMATIVA

Prestazioni attese



Risposta di sistemi MDOF

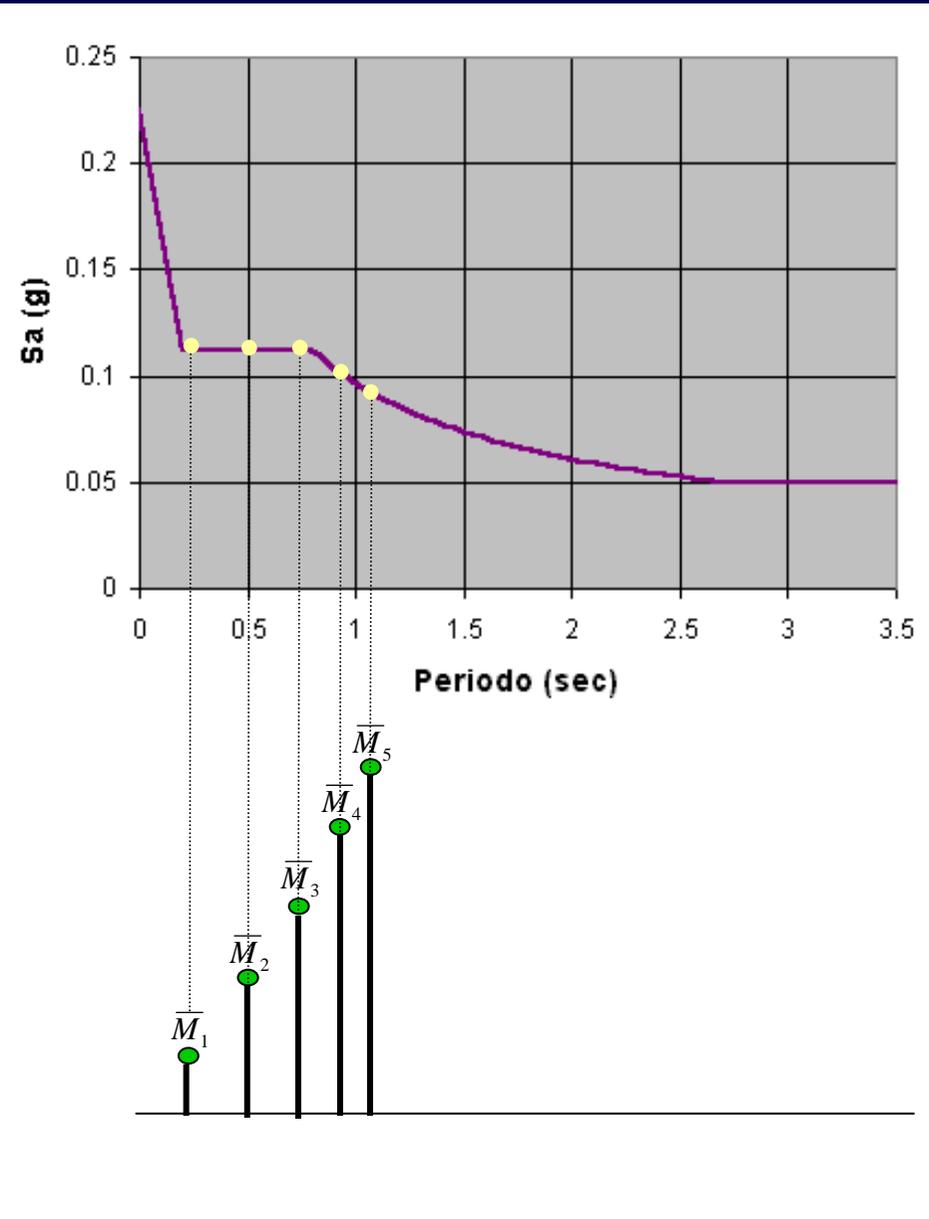


Design Spectrum Analysis of Linear MDOF Systems

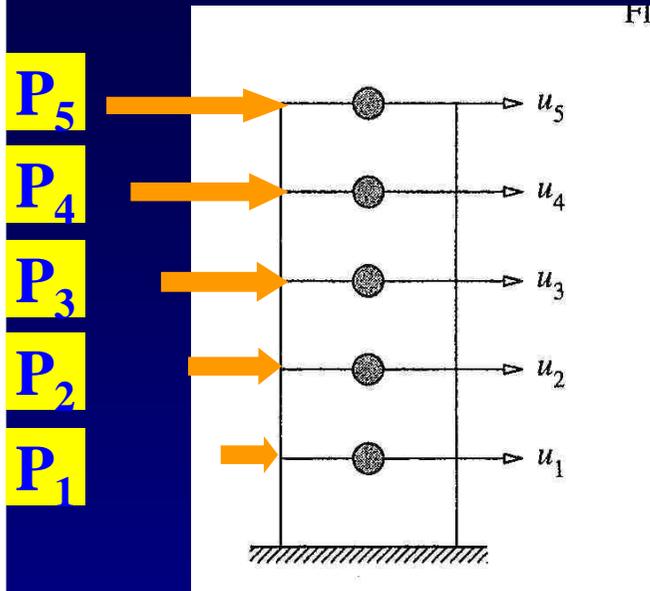
$$|V_n|_{\max} \cong \bar{M}_n S_A(\xi_n, T_n)$$

$$\frac{F_{in}}{|V_n|_{\max}} = \frac{m_i \phi_{in}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn}}$$

$$E = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho_{ij} E_i E_j \right)^{\frac{1}{2}}$$



Equivalent SDOF System for Nonlinear Static Analysis



$$[m]\{\ddot{u}(t)\} + [k]\{u(t)\} = -[m]\{1\}\ddot{x}_g(t)$$

assume that the solution be : $\{u(t)\} = \{\phi\}_{,1}d(t)$

$$\{\phi\}_{,1}^T [m]\{\phi\}_{,1}\ddot{d} + \{\phi\}_{,1}^T [k]\{\phi\}_{,1}d = -\{\phi\}_{,1}^T [m]\{1\}\ddot{x}_g$$

from statics

$$[k]\{\phi\}_{,1}d = \{P\} = p[m]\{\phi\}_{,1}$$

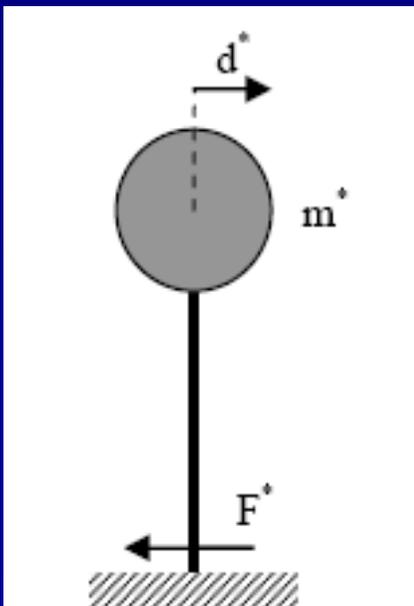
$$\{\phi\}_{,1}^T [m]\{\phi\}_{,1}\ddot{d} + p\{\phi\}_{,1}^T [m]\{\phi\}_{,1}d = -\{\phi\}_{,1}^T [m]\{1\}\ddot{x}_g$$

$$\{\phi\}_{,1}^T [m]\{\phi\}_{,1} = m^*$$

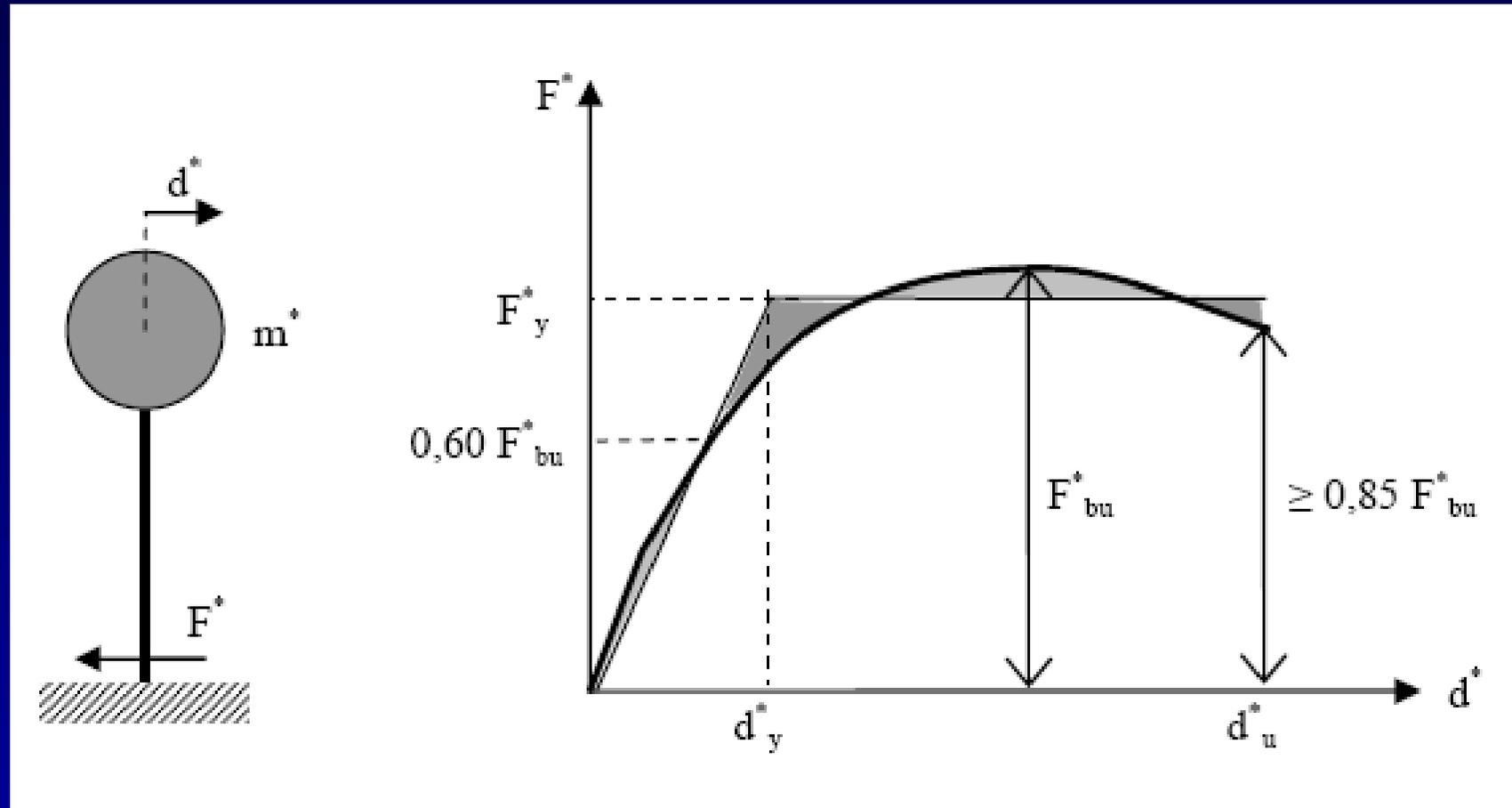
$$\Gamma_1 = \frac{\{\phi\}_{,1}^T [m]\{1\}}{\{\phi\}_{,1}^T [m]\{\phi\}_{,1}}$$

$$m^* \frac{\ddot{d}}{\Gamma_1} + \frac{p \cdot m^*}{\Gamma_1} d = m^* \ddot{x}_g \quad \text{where } p \cdot m^* = V_b$$

$$m^* \ddot{d}^* + F^* = m^* \ddot{x}_g \quad \text{where } \frac{d}{\Gamma_1} = d^* \quad \text{and} \quad \frac{V_b}{\Gamma_1} = F^*$$

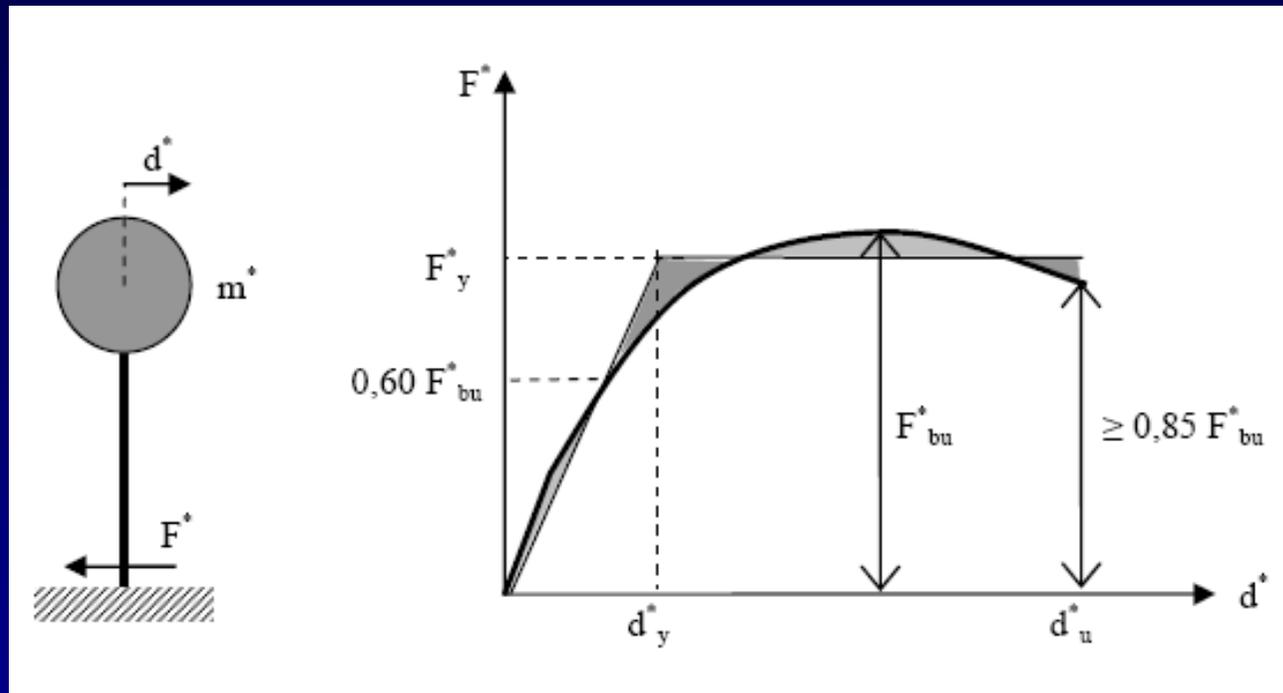


Equivalent SDOF System for Nonlinear Static Analysis



Nonlinear static analysis requires that an equivalent elastic-perfectly plastic SDOF system be associated to the real inelastic MDOF system subjected to a monotonic loading in such a manner as to give a displacement vector proportional to the eigen vector characterized by the largest participation mass (typically, the first natural mode of vibration).

Nonlinear Static Analysis (Pushover Analysis)

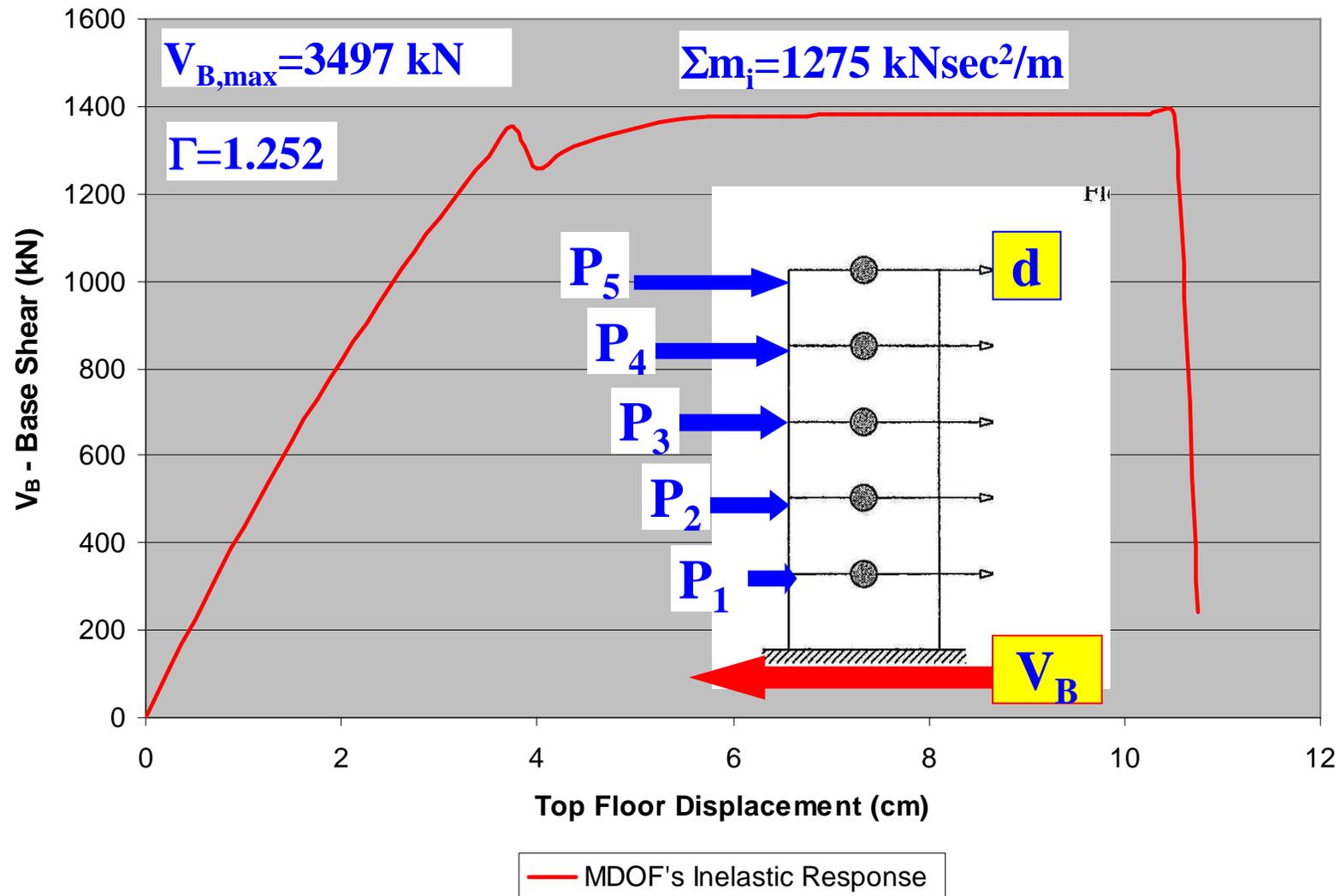


Under the assumption that the real MDOF system oscillate in its first mode during the whole duration of ground motion, its displacement response would be satisfactorily represented by the equivalent inelastic SDOF system with:

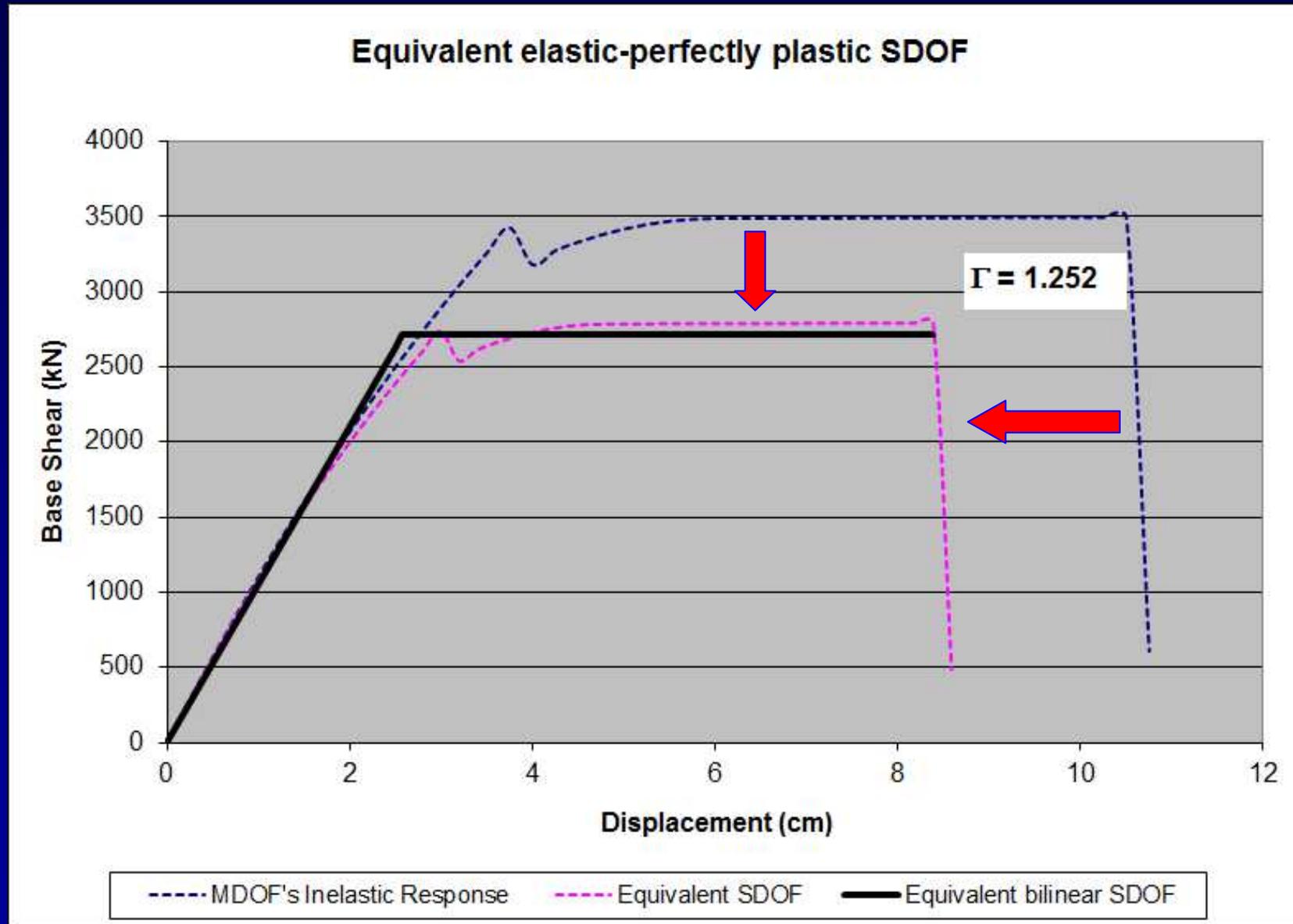
$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}}$$

Inelastic Displacement Response of MDOF System

Inelastic Displacement Response of MDOF System

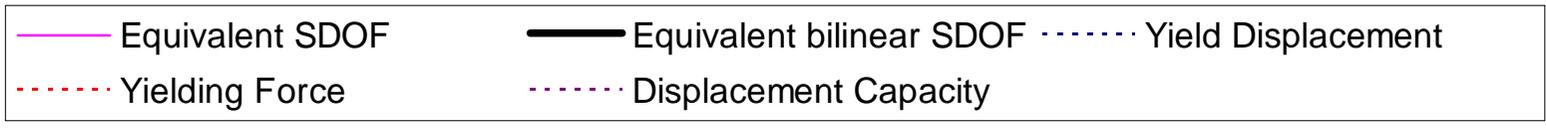
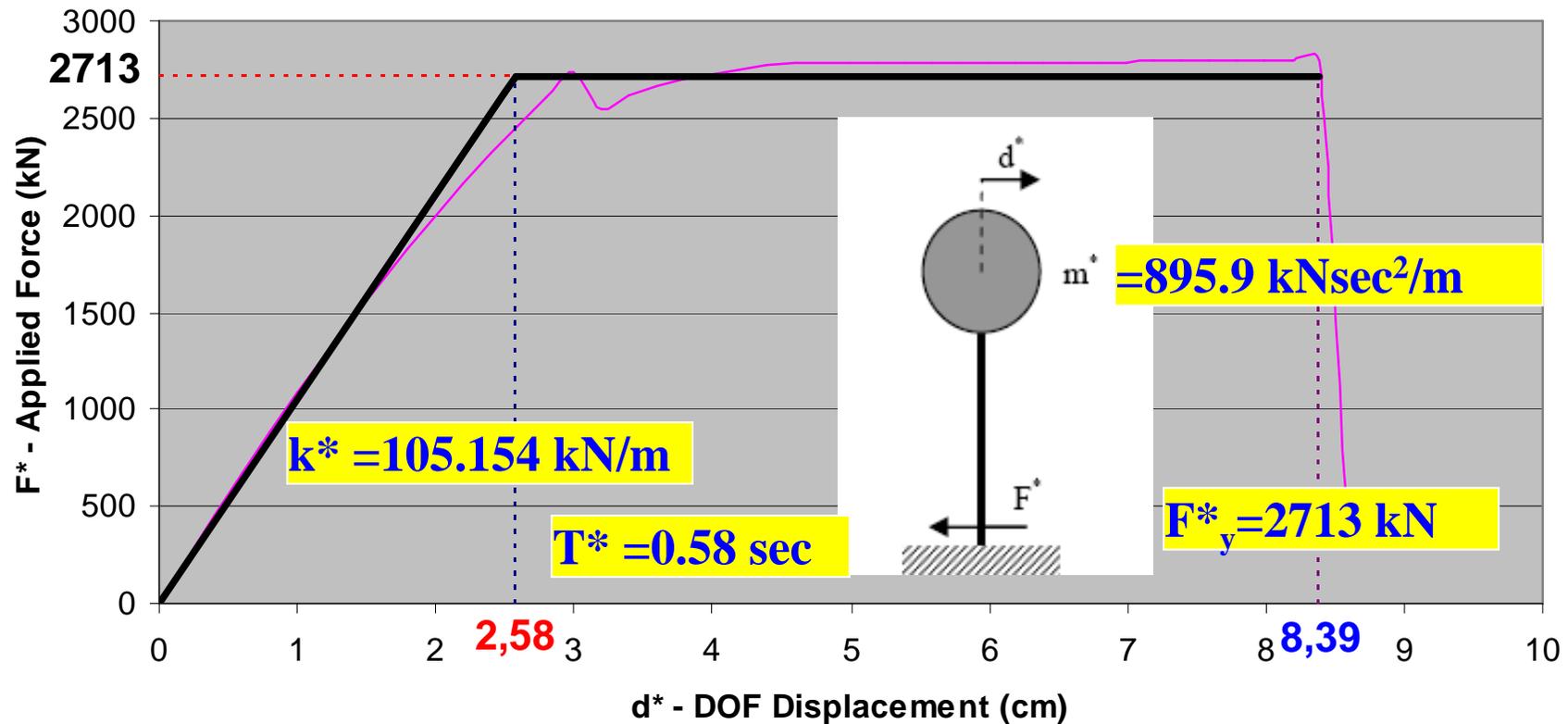


Inelastic Displacement Response of EQ SDOF System

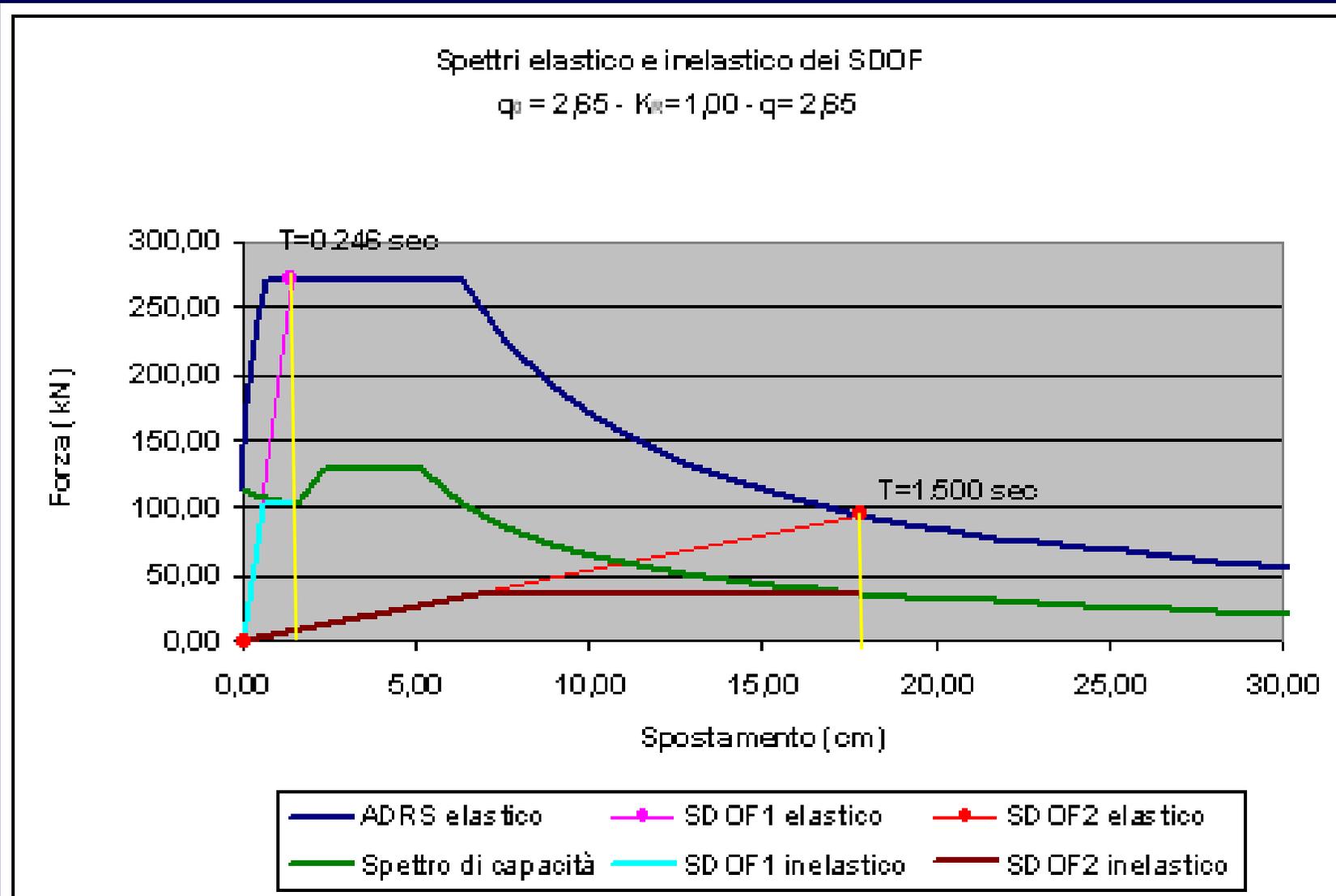


Inelastic Displacement Response of EQ SDOF System

Inelastic Response of Equivalent SDOF System

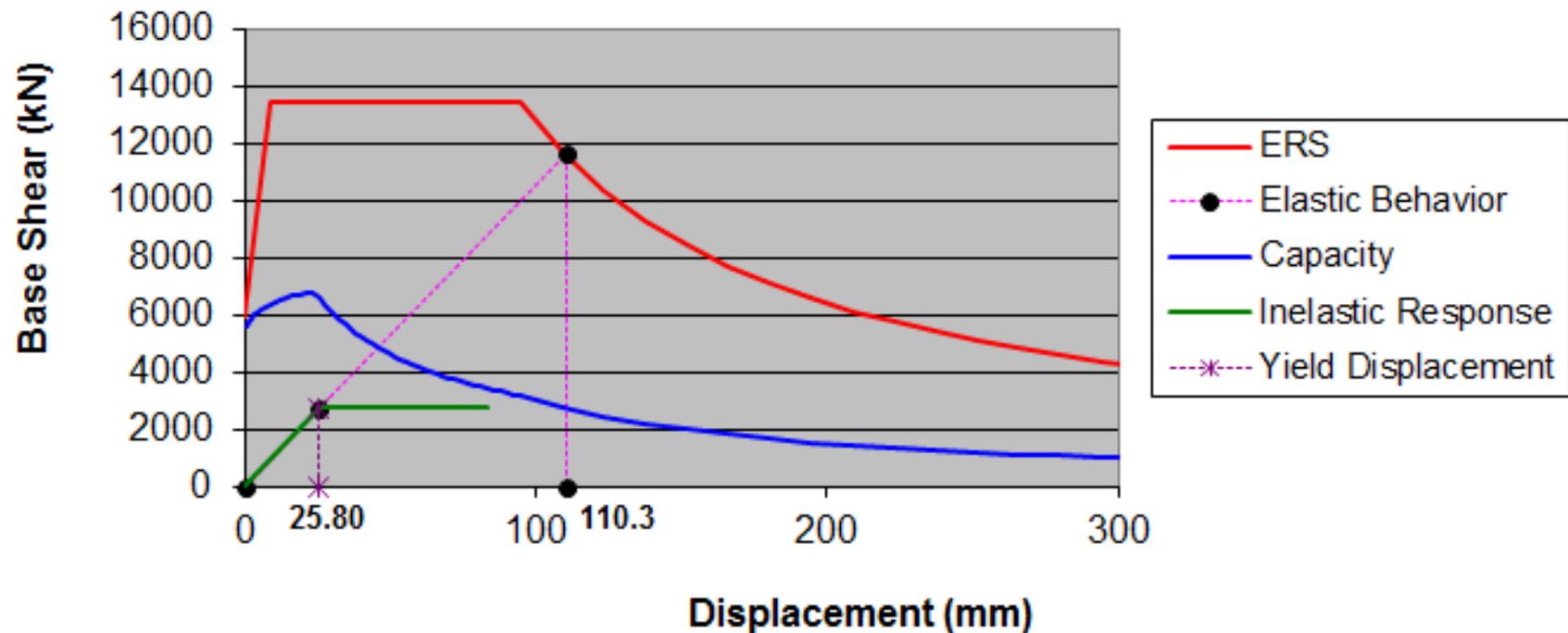


Spettri di Domanda SLV secondo NTC08



Vulnerability Assessment – Mechanical Approach

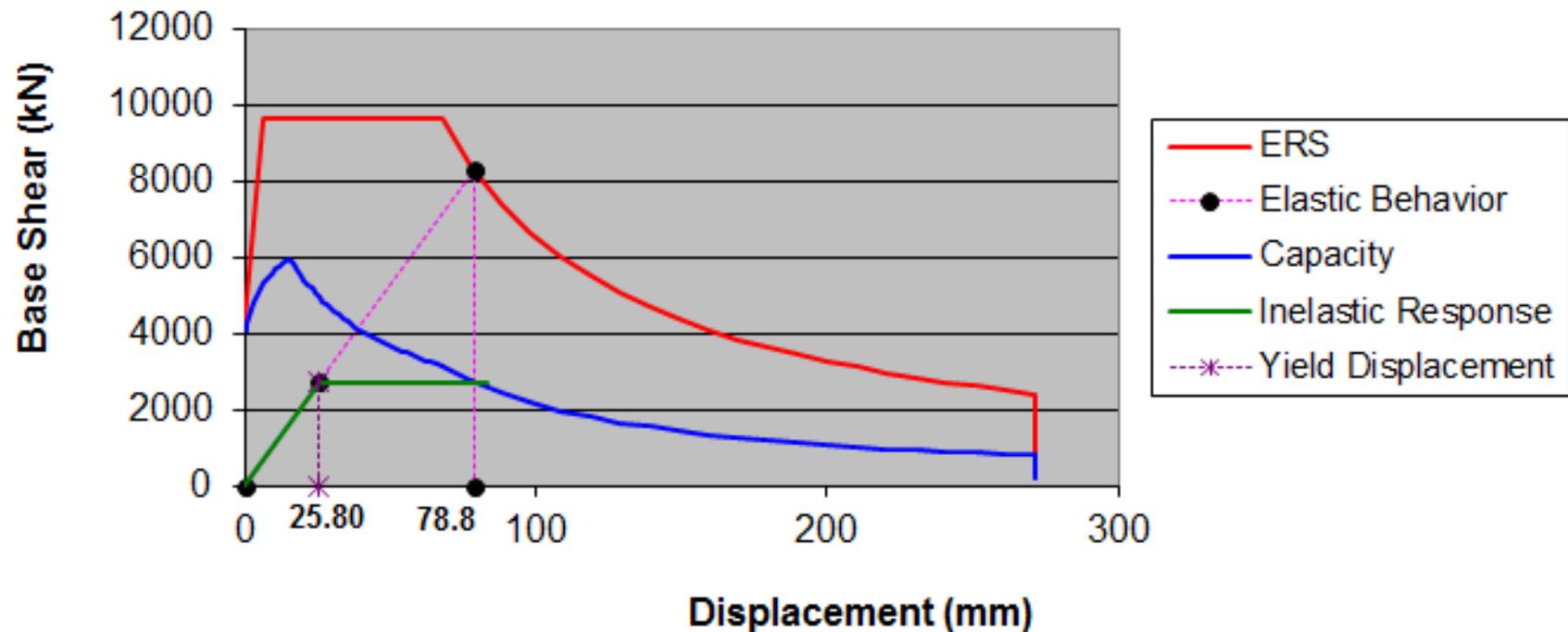
Capacity vs Demand ($a_g=0.35g$ - $I=1.4$ - Soil: Medium)
 $T^* = 0.58$ sec - $q^* = 4.28$ - $d_{e,max}^* = 25.8$ mm - $d_{max}^* = 110.3$ mm



Lack of displacement capacity with respect to required seismic demand

Vulnerability Assessment – Mechanical Approach

Capacity vs Demand ($a_g=0.25g$ - $I=1.4$ - Soil: Medium)
 $T^* = 0.58$ sec - $q^* = 3.05$ - $d_{e,max}^* = 25.8$ mm - $d_{max}^* = 78.8$ mm



$$\text{Vulnerability index} = 0.25/0.35 = 0,71$$

Eccessiva domanda di duttilità



Criticità: Piano soffice



Criticità: Piano soffice



Criticità: Piano soffice



30/05/2009 12:52

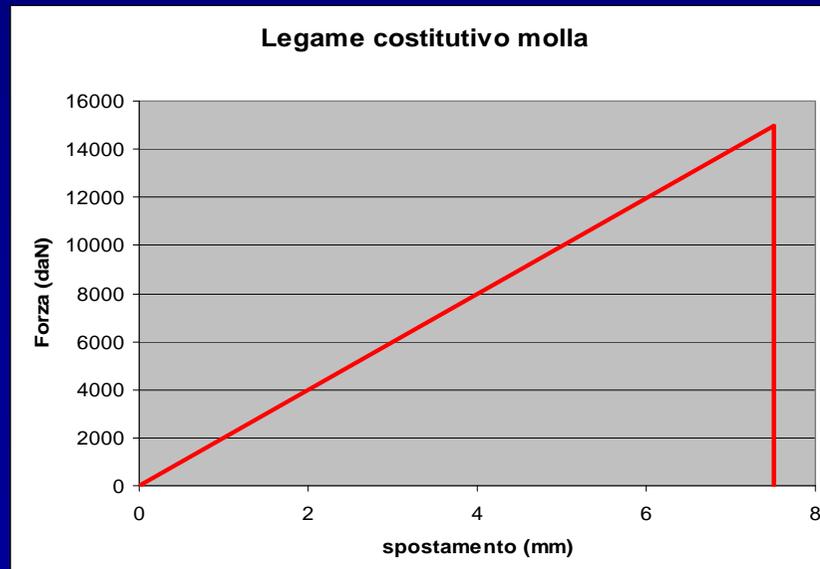
Criticità: Piano soffice



VALUTAZIONE E PROGETTAZIONE IN PRESENZA DI AZIONI SISMICHE



Meccanismo duttile

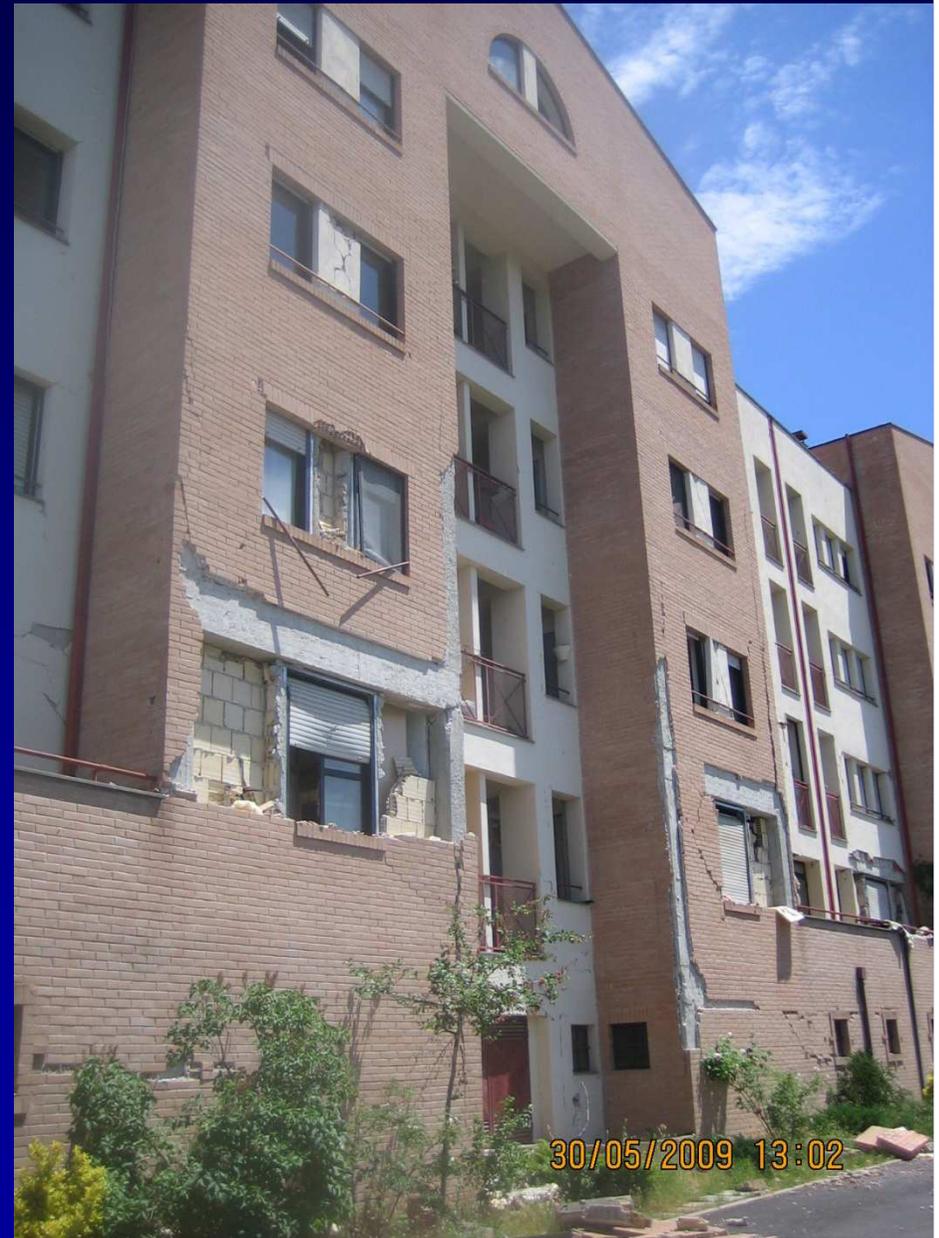


Meccanismo fragile

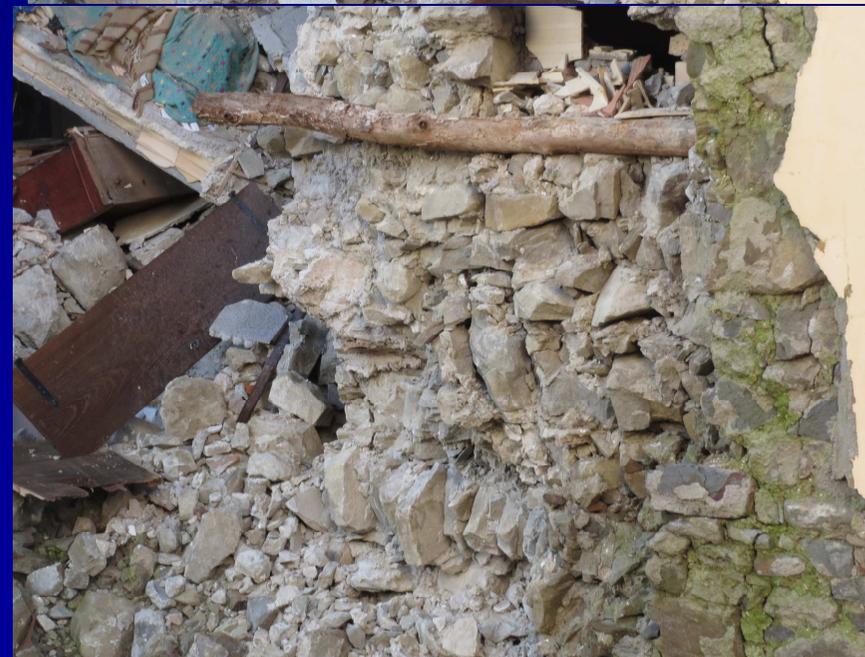
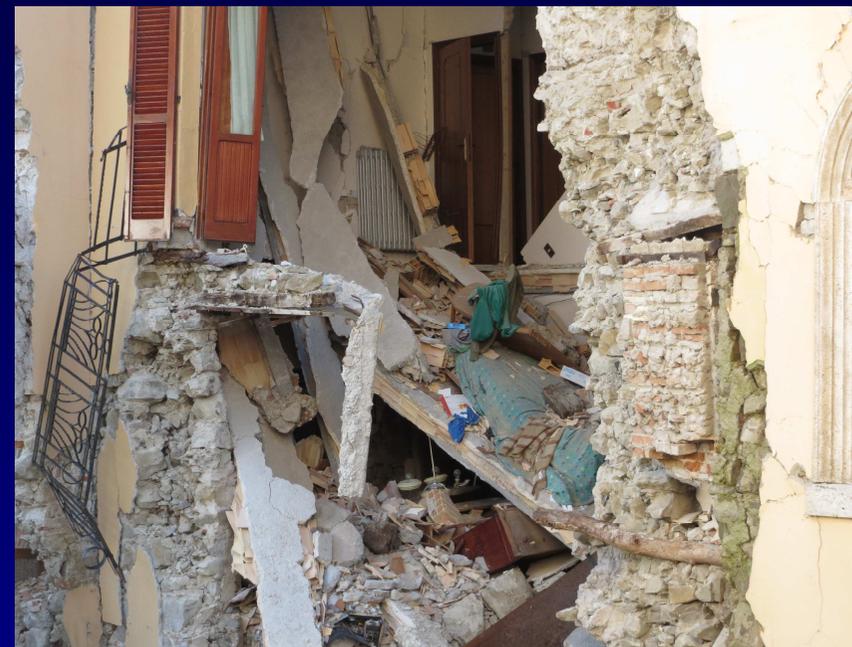
Criticità: Pilastrini “corti” e nodi “non confinati”



Criticità: Punzonamento delle tamponature sui nodi



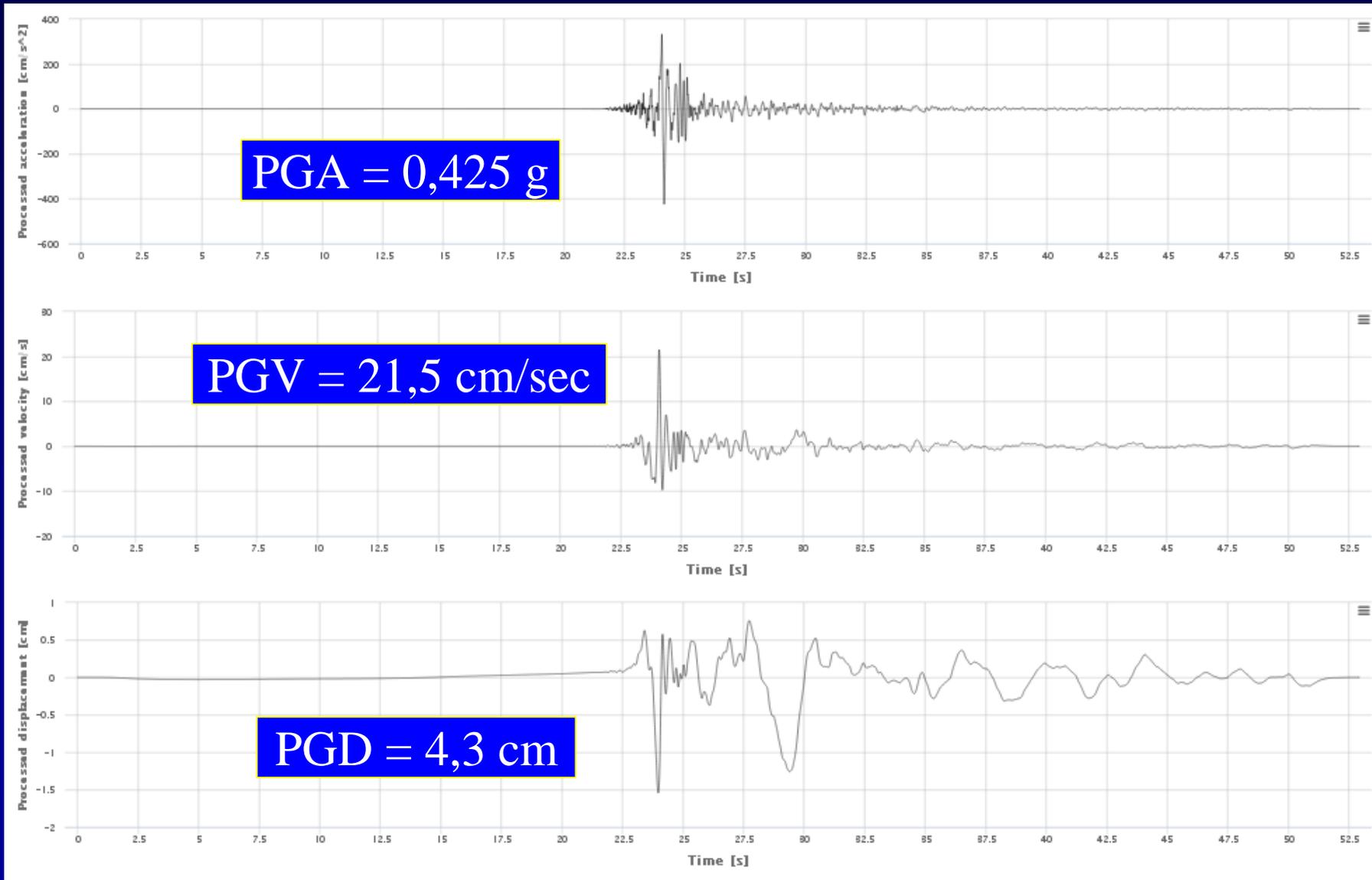
Elementi di fragilità degli edifici in muratura (sensibili alla velocità)



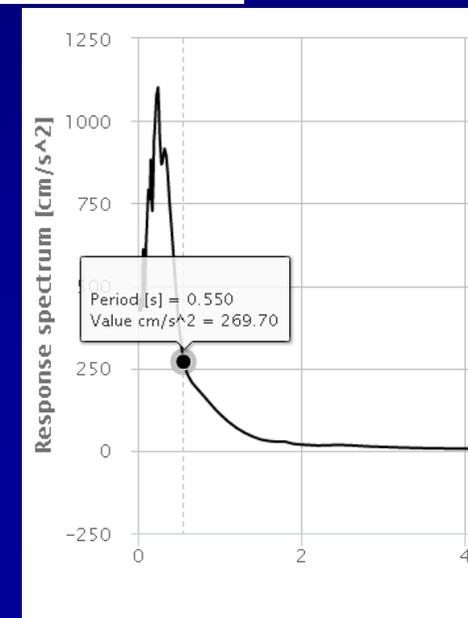
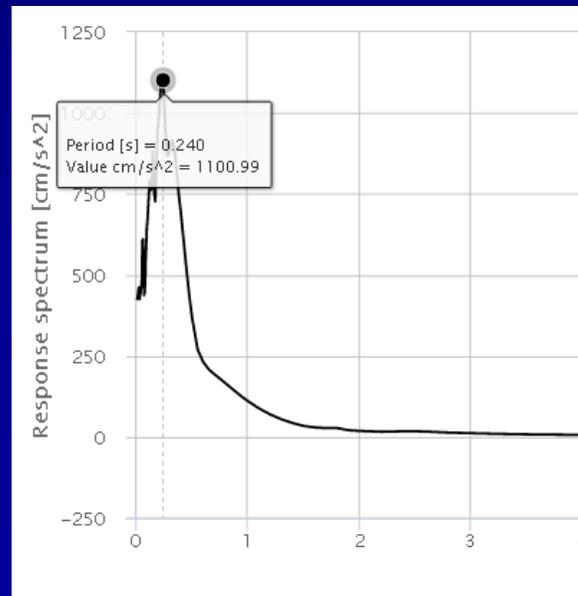
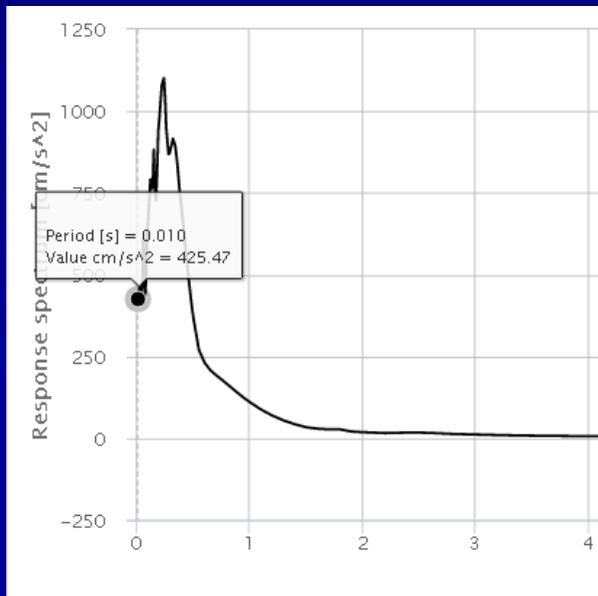
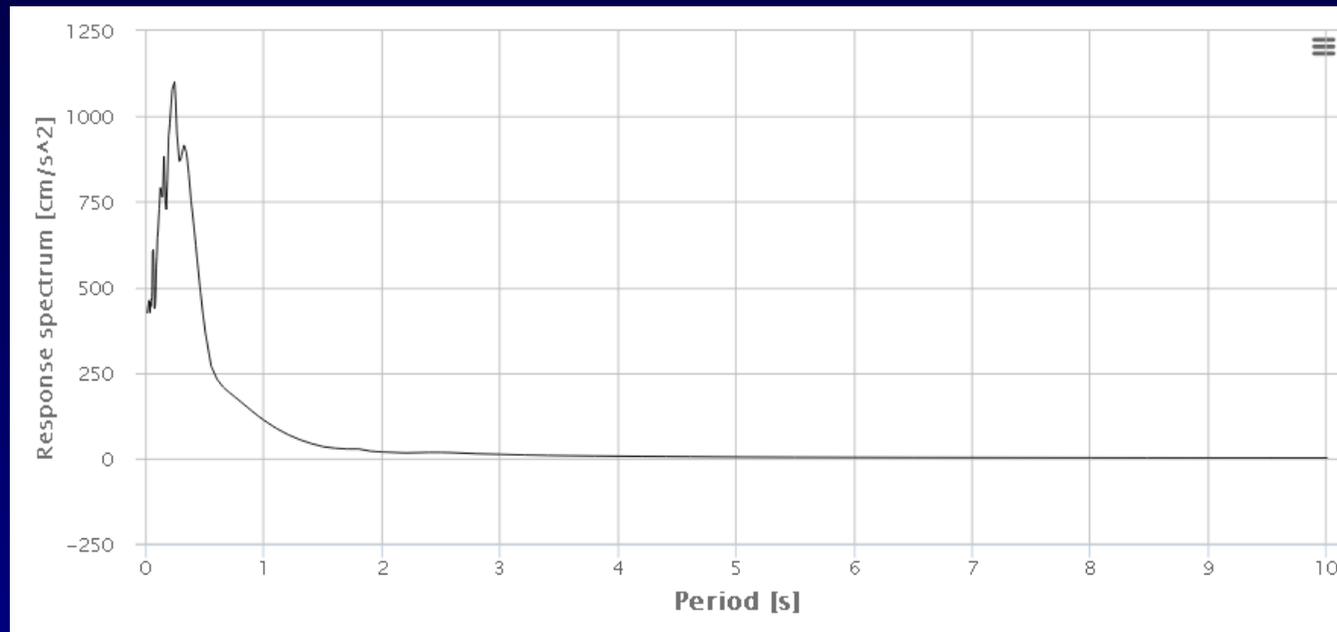
Elementi di fragilità degli edifici in muratura



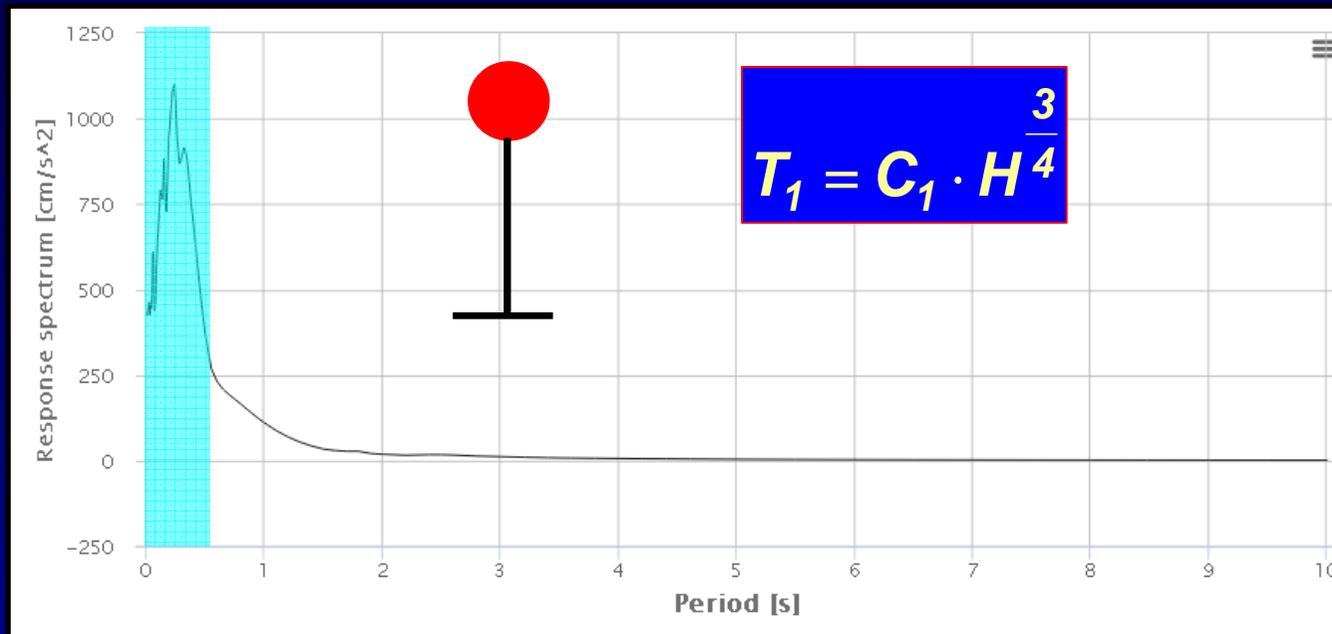
Scossa registrata ad Accumoli – ore 3:36 del 24/08/2016 – $M_L=6.0$



Scossa registrata ad Accumoli – ore 3:36 del 24/08/2016 – $M_L=6.0$



Scossa registrata ad Accumoli – ore 3:36 del 24/08/2016 – $M_L=6.0$



C_1 :

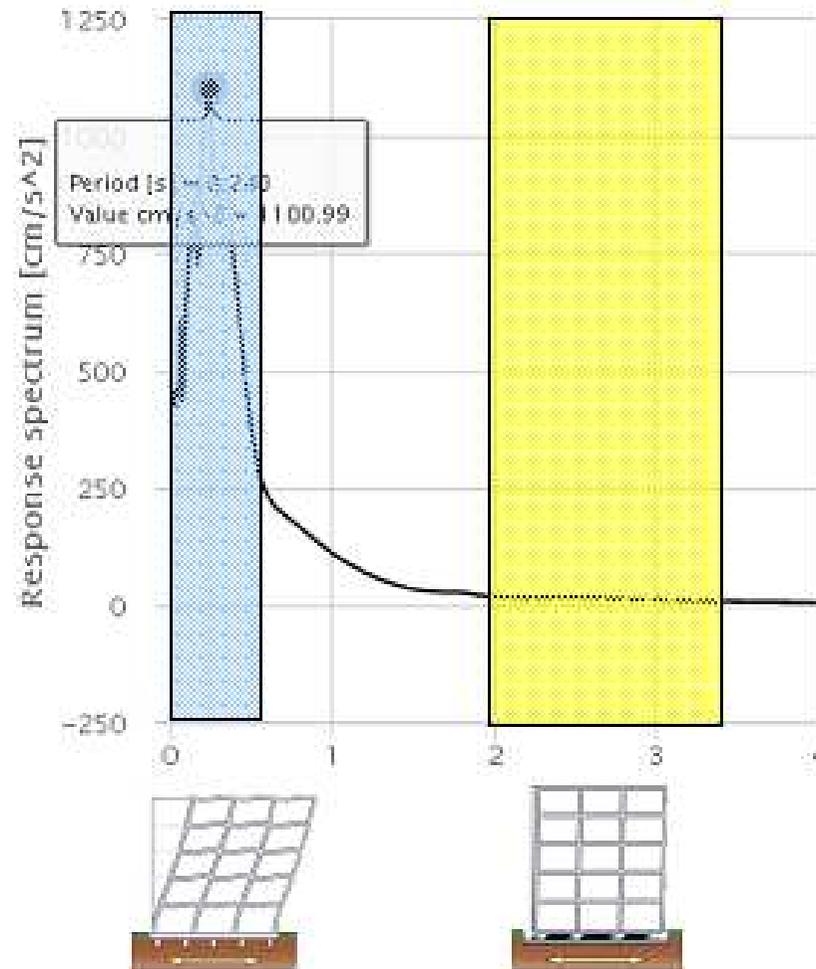
0.085 (strutture intelaiate in acciaio)

0.075 (strutture intelaiate in c.a)

0.050 (altri tipi di strutture compresse murature)

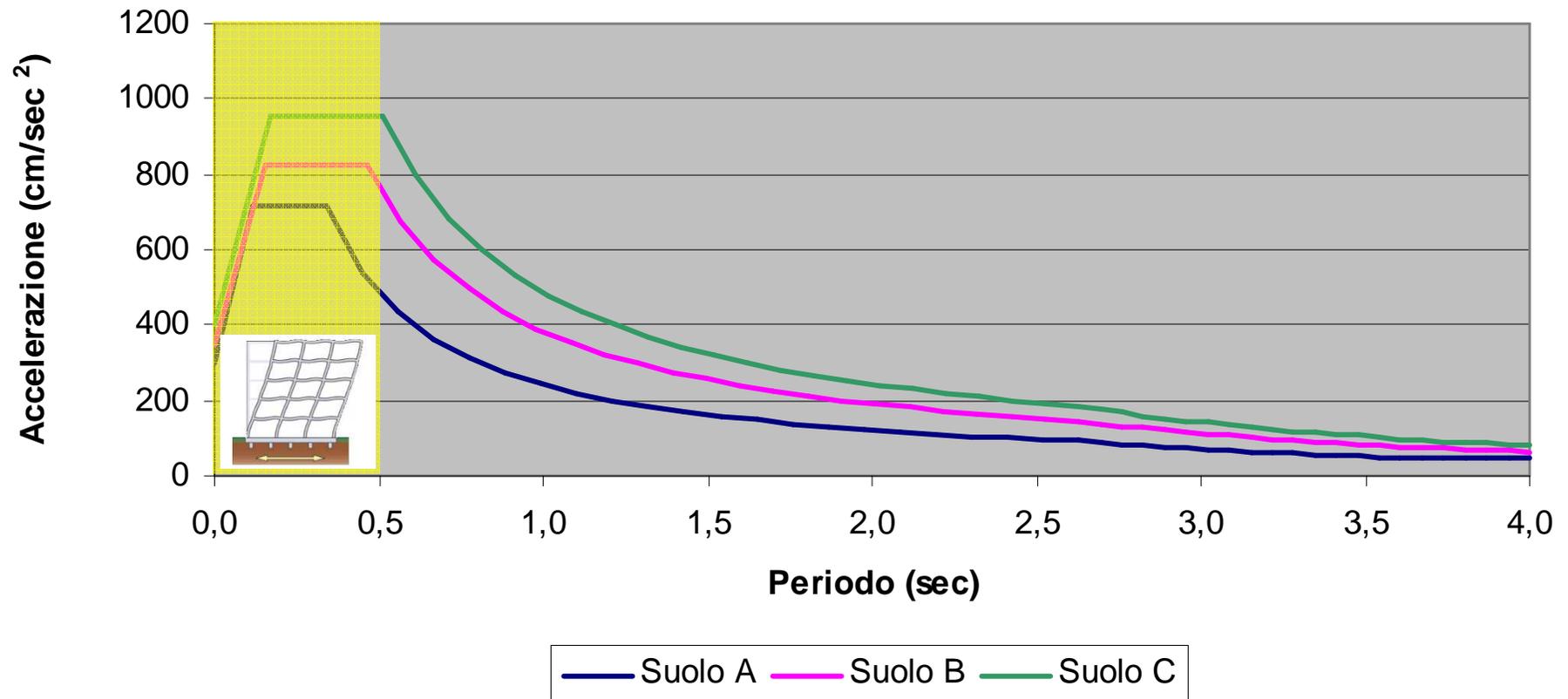
Tipo struttura	C_1	T_1 (sec)	H (m)	Piani
Acciaio	0,085	0,55	12,1	4
c.a.	0,075	0,55	14,2	5
Muratura	0,050	0,55	24,5	8
Muratura	0,050	0,24	8,1	3

Scossa registrata ad Accumoli – ore 3.36 del 24/08/2016 – $M_L=6.0$



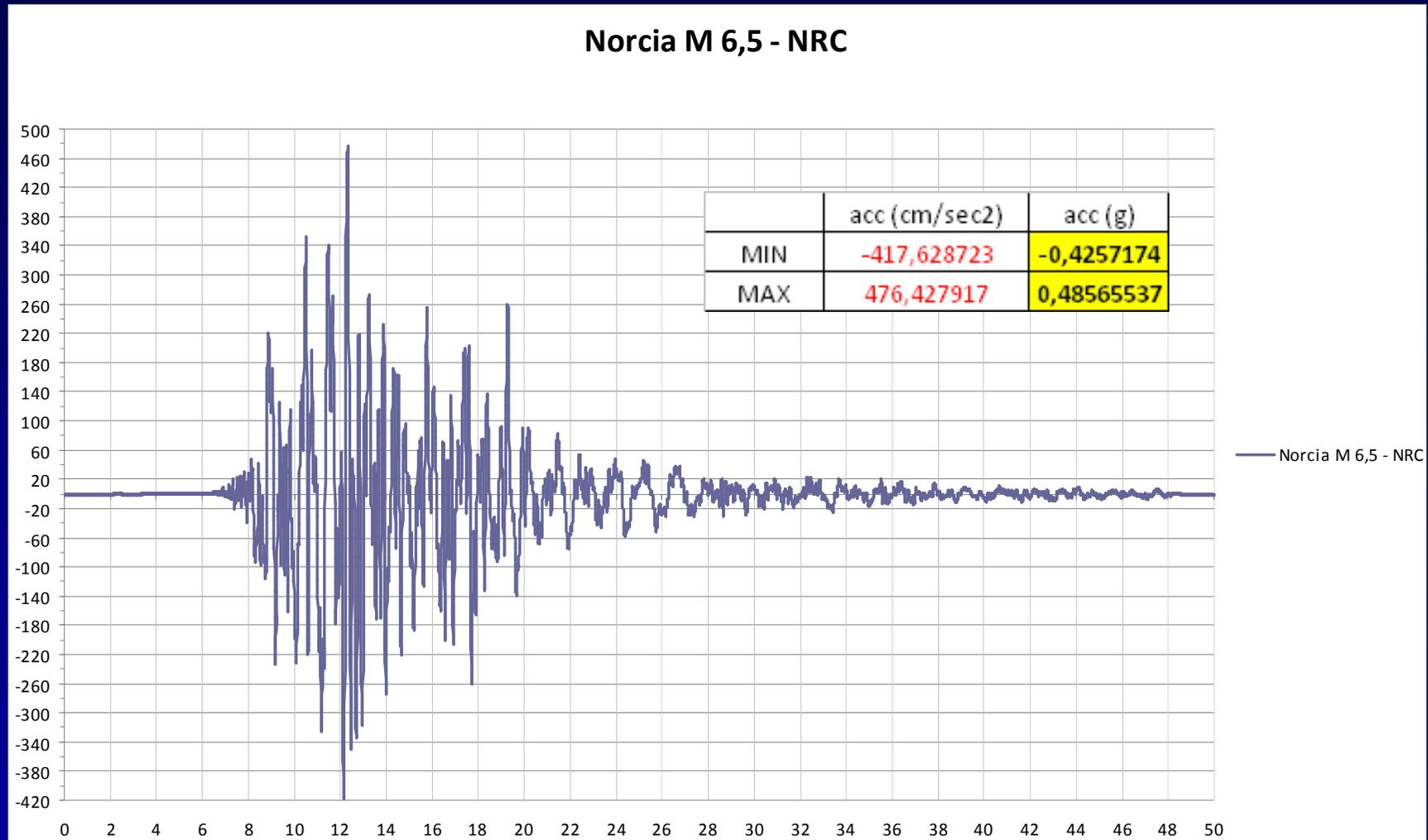
Verifica di vulnerabilità sismica - Terremoto di progetto allo SLV

Spettri di Risposta
Edificio residenziale Cat. T2 - $V_R = 50$ anni - SLV



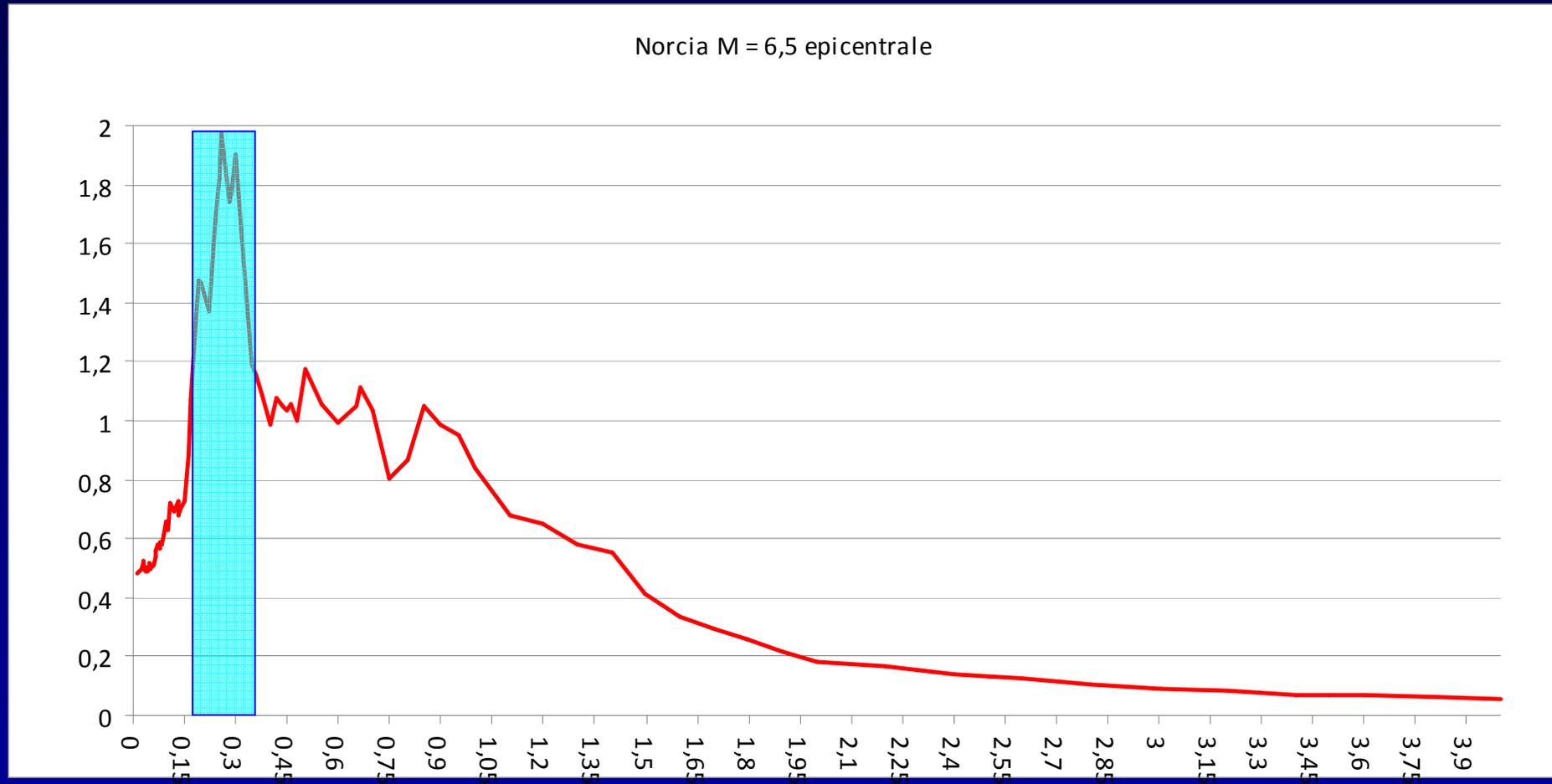
Gli edifici con struttura intelaiata fino a 4/5 piani a base fissa rientrano nell'intervallo di periodi da 0 a 0,5 sec. In questo intervallo ricadono pressoché tutti gli edifici in muratura. Possiamo limitarci al MIGLIORAMENTO SISMICO?

Scossa registrata a Norcia – ore 7:40 del 30/10/2016 – $M_L=6.5$



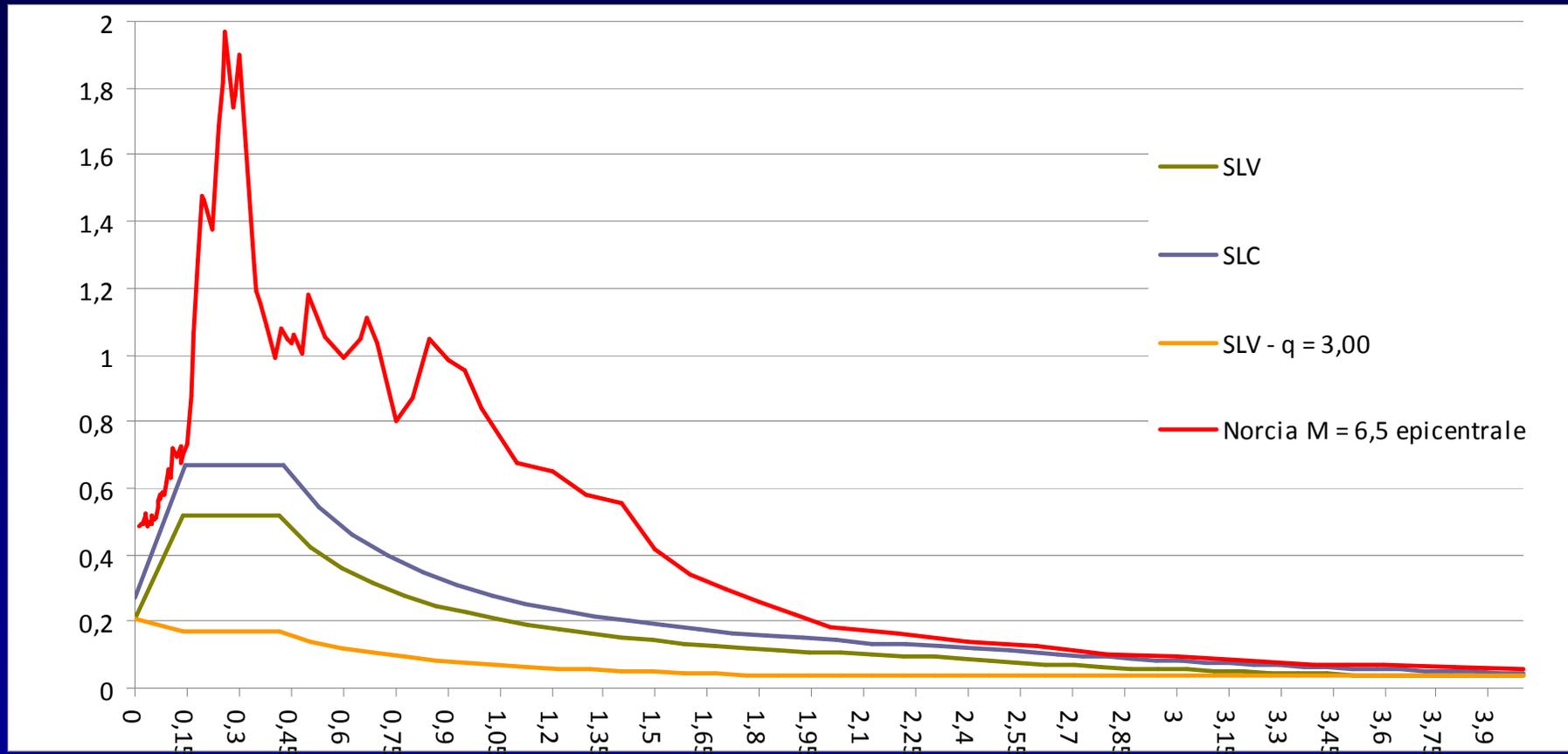
Accelerogramma registrato in zona epicentrale

Scossa registrata a Norcia – ore 7:40 del 30/10/2016 – $M_L=6.5$



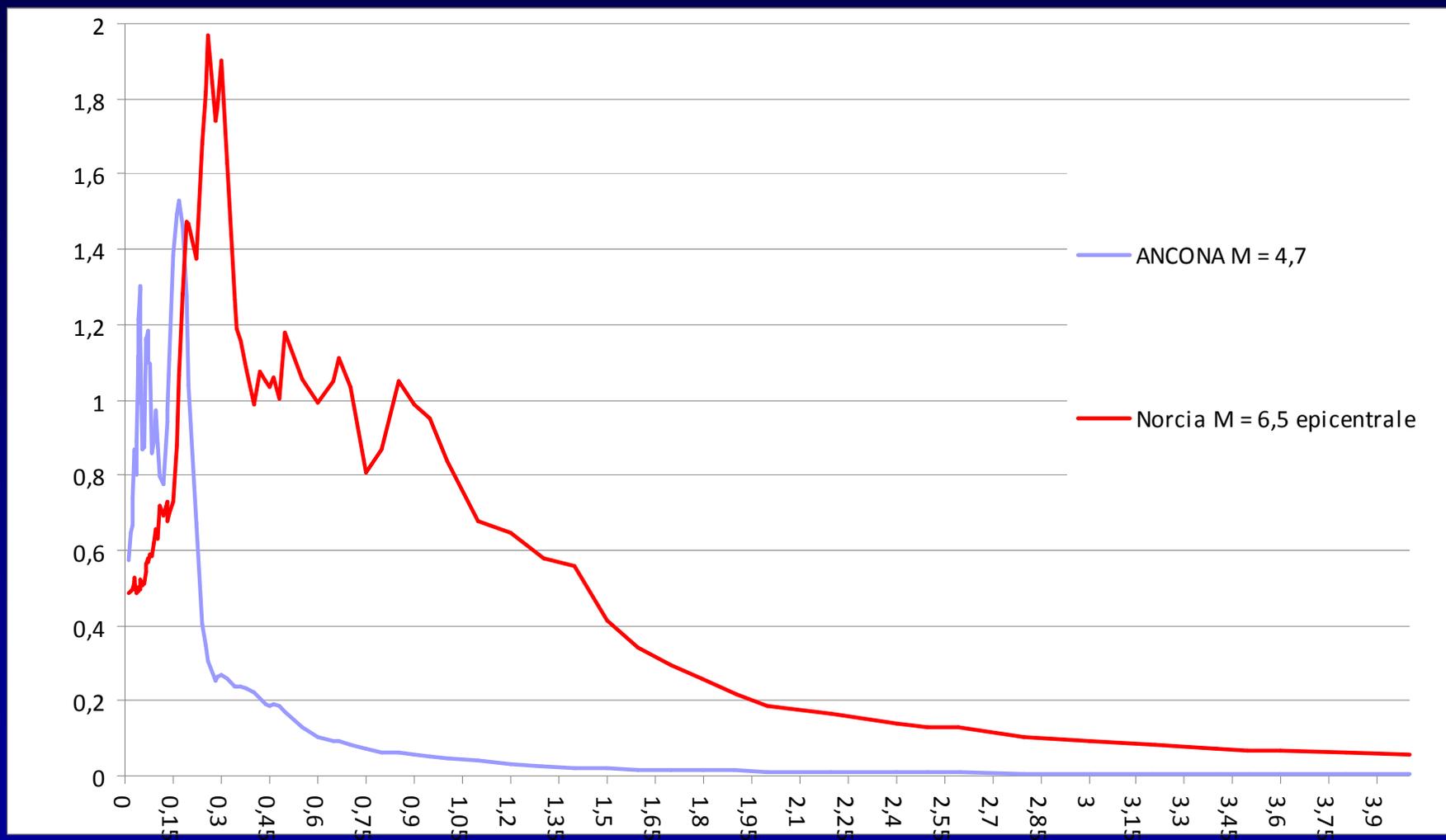
Spettro di risposta elastica

Scossa registrata a Norcia – ore 7:40 del 30/10/2016 – $M_L=6.5$

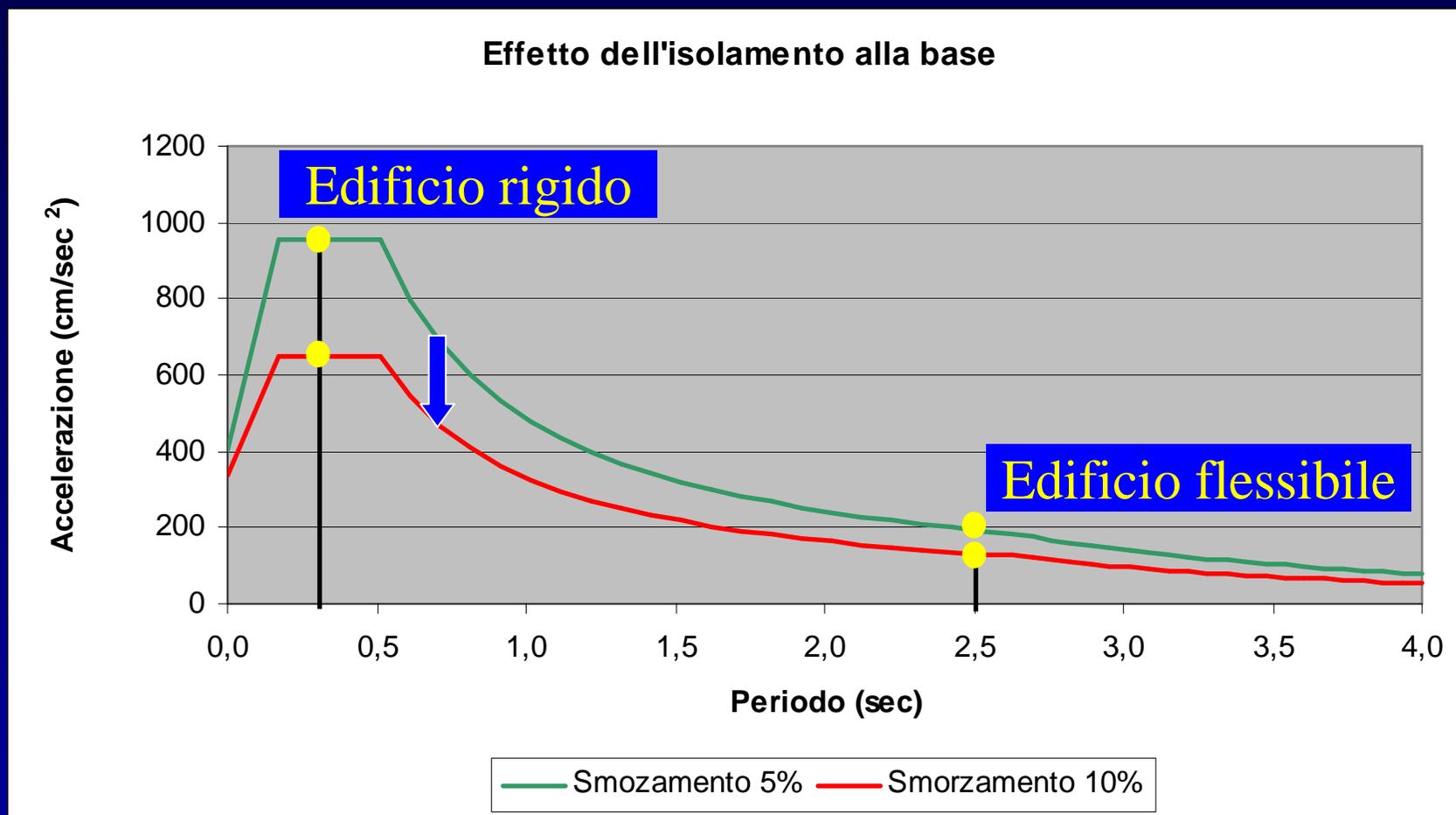


Confronto tra spettro reale e spettri di norma

Confronto tra spettri reali



Strategia per la progettazione ex novo o per l'adeguamento sismico



Come si fa a trasformare un edificio rigido in uno flessibile ed a dotarlo di uno smorzamento maggiore senza intervenire sulla struttura in elevazione?

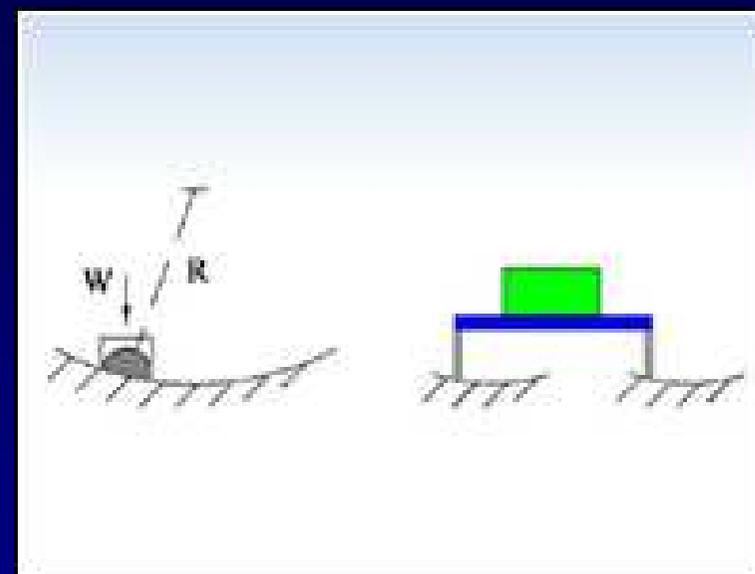
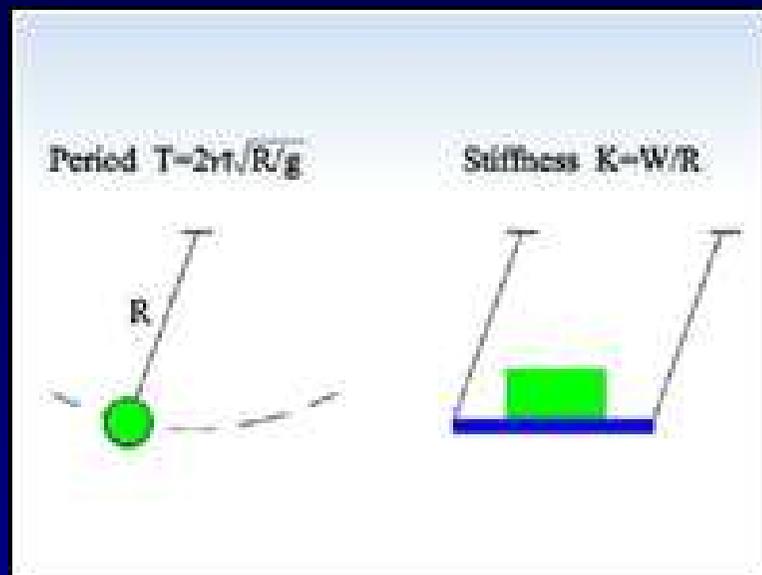
Strategia per l'adeguamento sismico

ISOLATORI ELASTOMERICI AD ALTO SMORZAMENTO



Strategia per l'adeguamento sismico

ISOLATORI A FRIZIONE (FRICTION PENDULA)



Strategia per l'adeguamento sismico

ISOLATORI A FRIZIONE (FRICTION PENDULA)

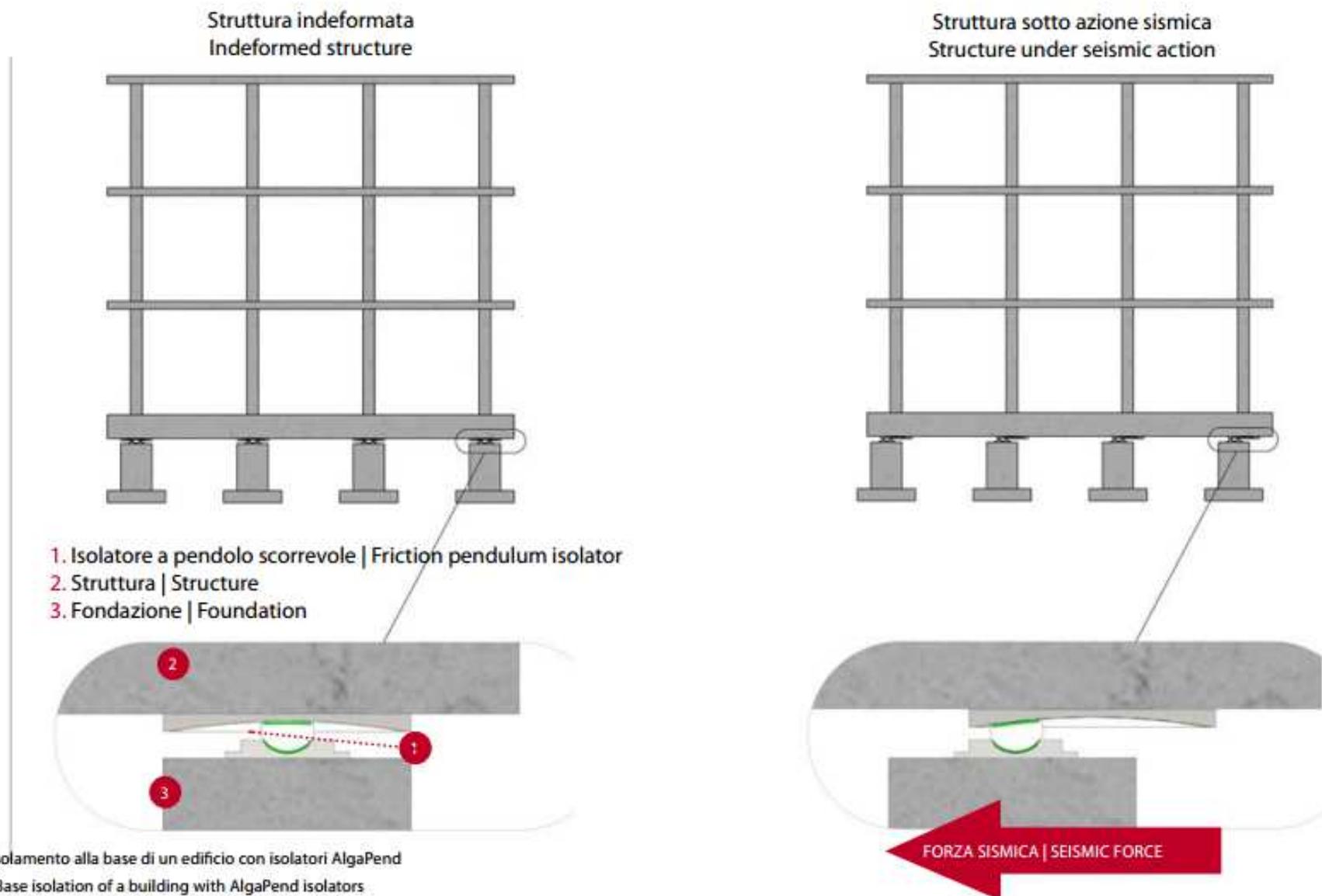


Fig. 1 Isolamento alla base di un edificio con isolatori AlgaPend
Pict. 1 Base isolation of a building with AlgaPend isolators

Strategia per l'adeguamento sismico

ISOLATORI A FRIZIONE (FRICTION PENDULA)

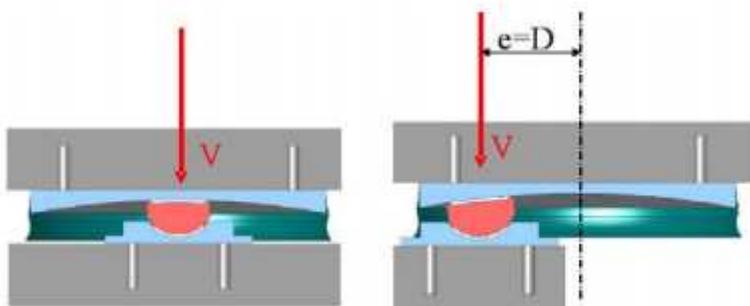


Fig. 6 Spostamento della risultante con un isolatore a pendolo scorrevole dotato di una superficie di scorrimento.
 Pict. 6 Displacement of the resultant with a sliding pendulum isolator with one sliding surface.

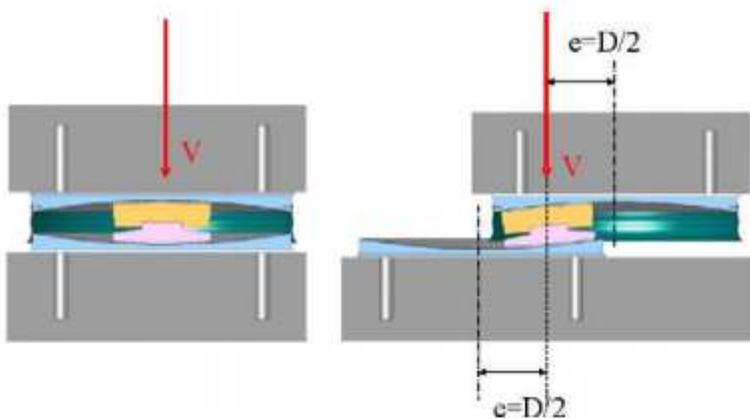
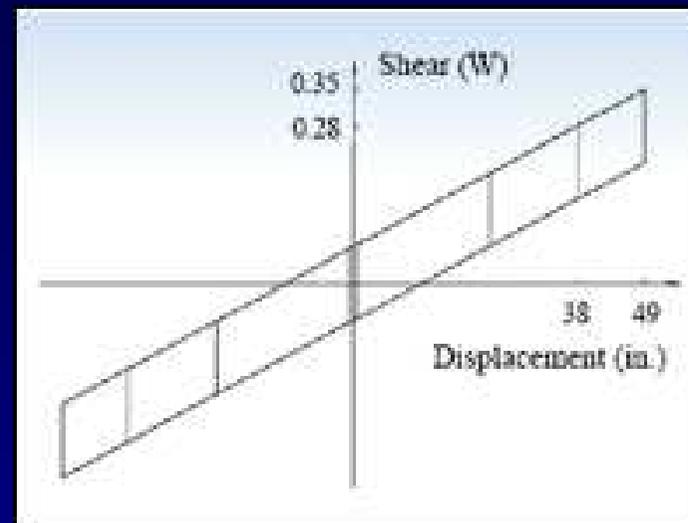
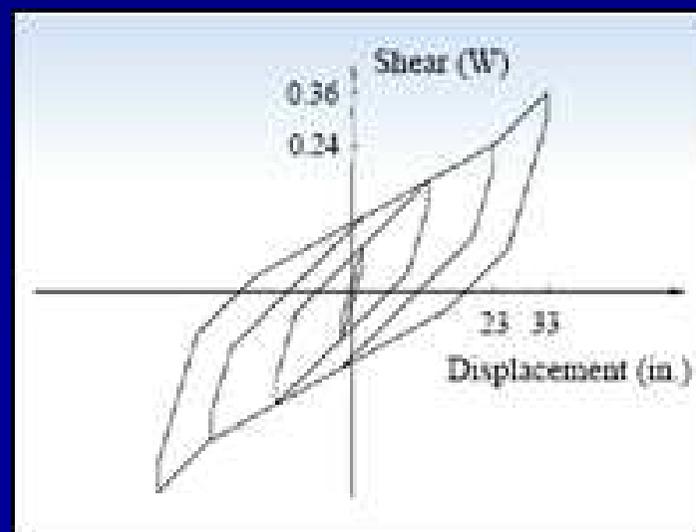
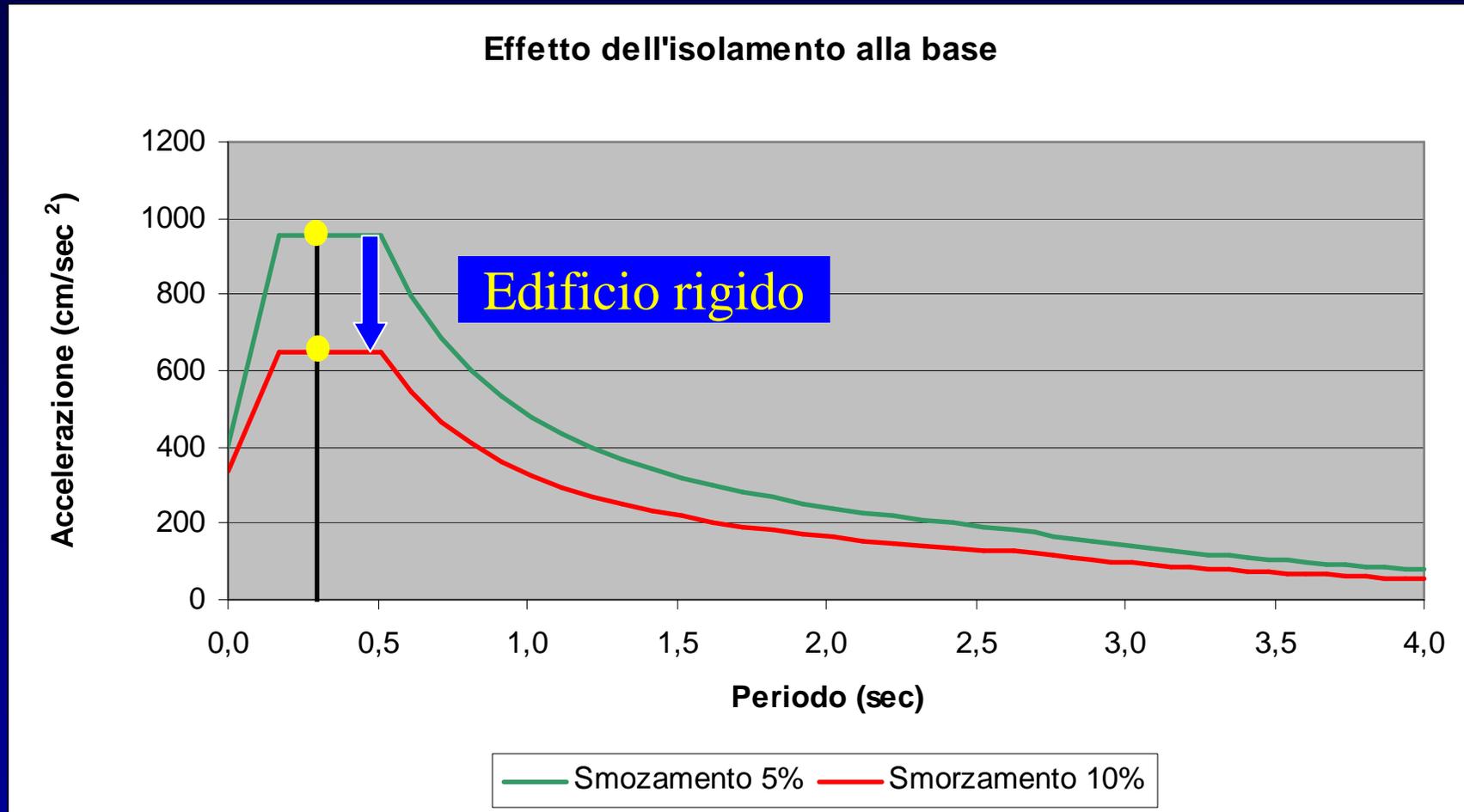


Fig. 7 Spostamento della risultante con un isolatore a pendolo scorrevole dotato di due superfici di scorrimento.
 Pict. 7 Displacement of the resultant with a sliding pendulum isolator with two sliding surfaces



Strategia per l'adeguamento sismico



Come si fa a dotare un edificio esistente rigido di uno smorzamento maggiore (fino ad un massimo del 30%)?

INTRODUCENDO UN SISTEMA DI DISPOSITIVI PER LA DISSIPAZIONE DI ENERGIA (SMORZATORI)

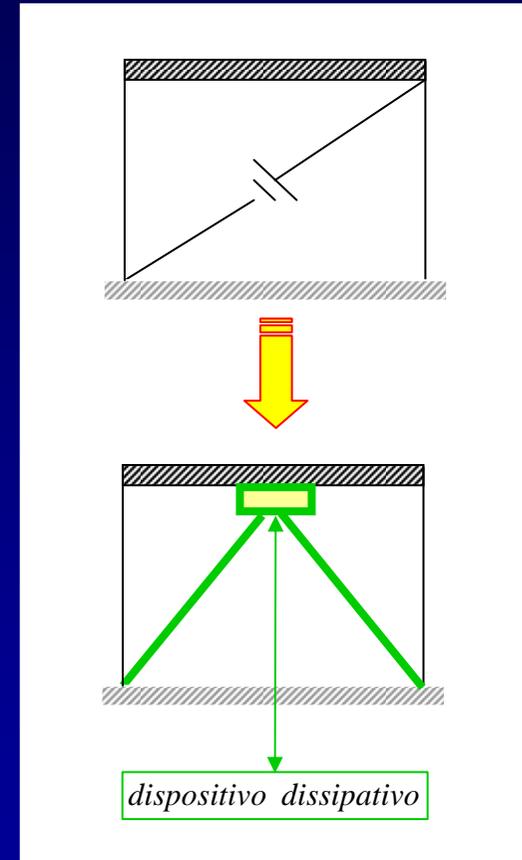
Approccio energetico alla progettazione: bilanciare l'energia di ingresso aumentando l'energia dissipata

OBIETTIVO:

Evitare la formazione di cerniere plastiche ($E_H = 0$) nelle zone critiche della struttura e concentrare la capacità dissipativa in dispositivi progettati ad hoc

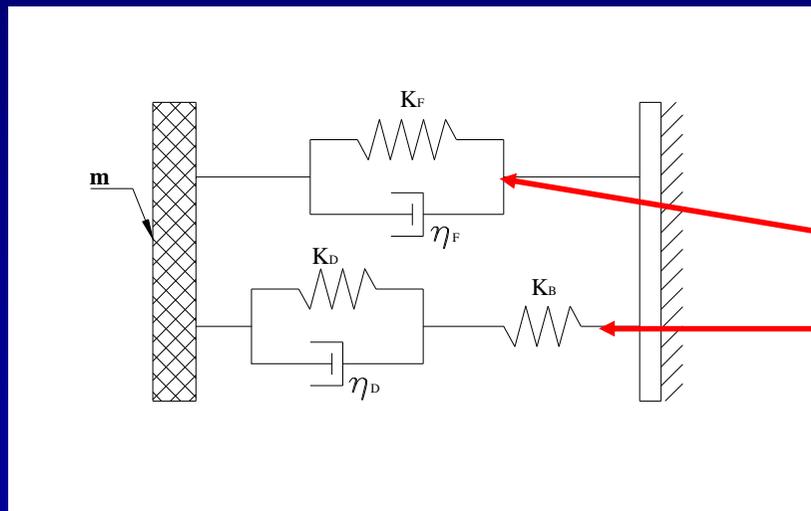
$$[E_K(t) + E_S(t)] + [E_{\xi}(t) + E_{H,fr}(t) + E_{H,d}(t)] = E_I(t)$$

STRATEGIA: REALIZZARE UN SISTEMA DUALE METTENDO IN PARALLELO LA STRUTTURA CON UN CONTROVENTO DISSIPATIVO



I controventi dissipativi

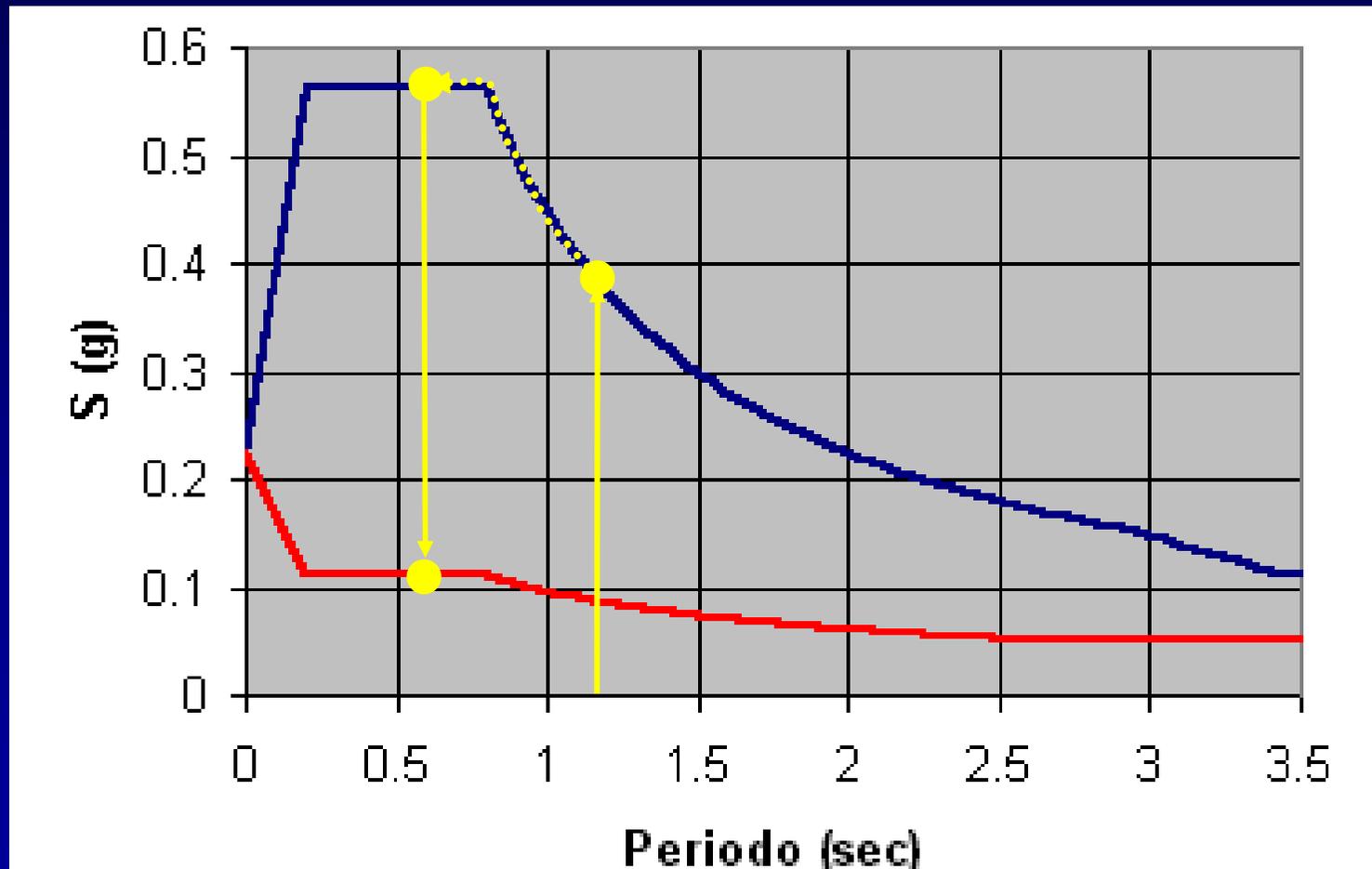
Dispositivi per la dissipazione di energia alloggiati nelle maglie dei telai su controventi metallici a braccio diagonale, a V o a K. Modifica del comportamento globale conferendo caratteristiche isteretiche a tutto l'insieme strutturale.



Modello Meccanico:

Telaio in parallelo al sistema
controvento-dissipatore

Attenuazione degli spettri di risposta dovuta alla capacità dissipativa



Strategia per l'adeguamento sismico

SMORZATORI ELASTO-PLASTICI AD INSTABILITA' IMPEDITA



Strategia per l'adeguamento sismico

SMORZATORI ELASTO-PLASTICI AD INSTABILITA' IMPEDITA

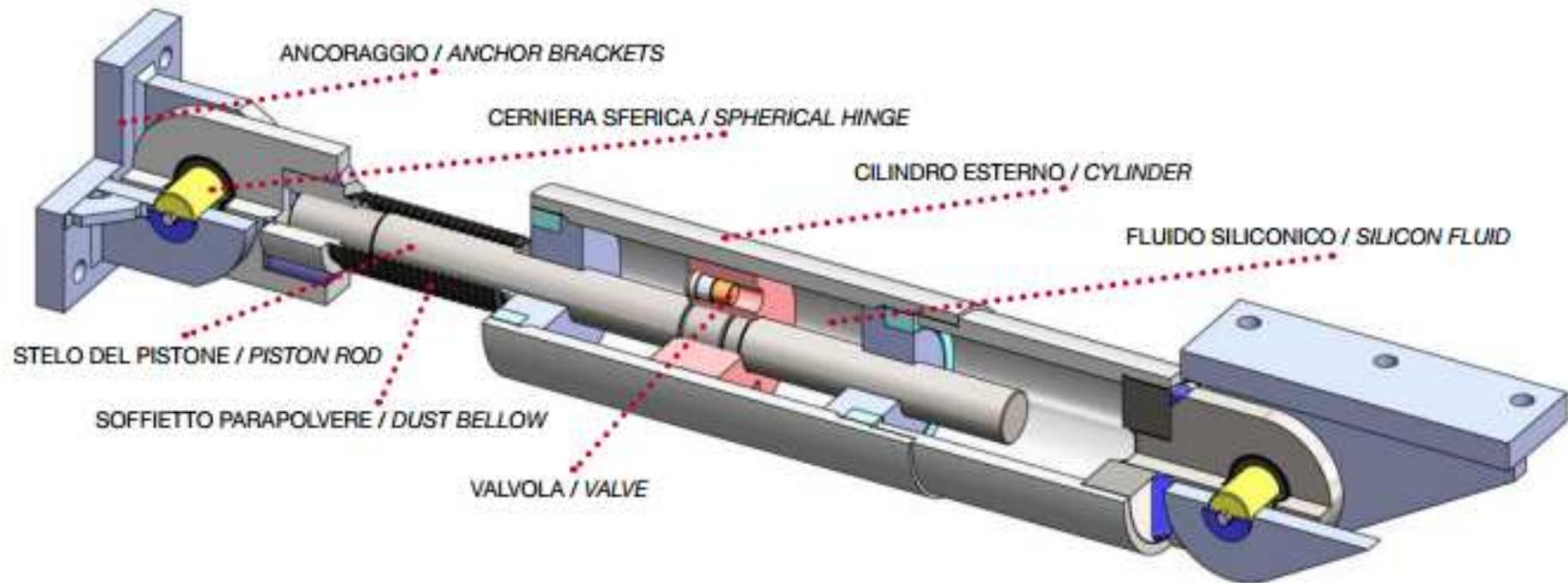


24/02/2006 10:25

Strategia per l'adeguamento sismico

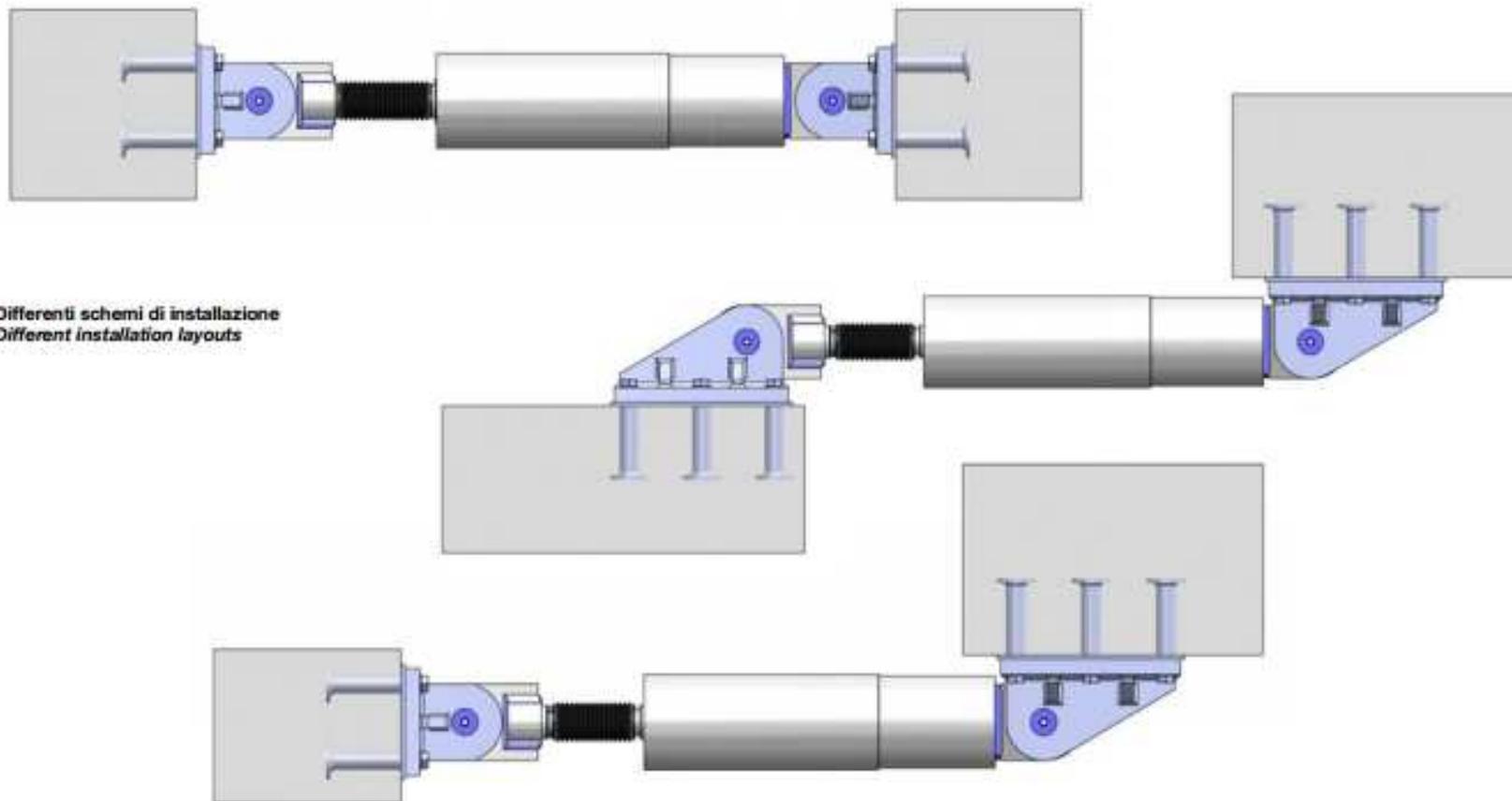
SMORZATORI VISCOSI E VISCO-ELASTICI

Schema di funzionamento di un ammortizzatore viscoso fluidodinamico FD



Strategia per l'adeguamento sismico

SMORZATORI VISCOSI E VISCO-ELASTICI



Differenti schemi di installazione
Different installation layouts