

Progetto S5
**DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO SULLA BASE
DEGLI SPOSTAMENTI ATTESI**

Task 2 - Tema 2:

Definizione di SRS di verifica per costruzioni monumentali

UR8 Università di Genova

Responsabile Scientifico: Sergio LAGOMARSINO*

*DISEG – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Genova

1. OBIETTIVO DEL PROGETTO

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Progetti sismologici di particolare interesse per il DPC

Progetto S5 – Definizione dell’input sismico sulla base degli spostamenti attesi

Coordinatori: E. Faccioli (Politecnico di Milano) e A. Rovelli (INGV, Roma I)

1. Obiettivo

1. Definizione di un modello dell’azione sismica come spettro di risposta elastico di spostamento (SRS), adatto per normativa sismica, con valore arbitrario del fattore di smorzamento, includendo l’influenza delle caratteristiche locali del suolo e – laddove necessario - gli effetti di campo vicino.
2. Creazione di mappe di pericolosità del territorio nazionale che rappresentino l’azione sismica (corrispondente a periodi di ritorno prefissati) mediante ordinate dello SRS o, in forma equivalente, mediante parametri di moto del suolo atti a determinare univocamente lo spettro stesso secondo il modello del punto 1.

2. METODI

STRUTTURE ESISTENTI - valutazione attuale e progetto di miglioramento sismico

□ EDIFICI IN MURATURA:

- strutture mediamente rigide, con limitata capacità di spostamento
periodi fessurati a collasso inferiori a $T=2$ s – 2.5 s

- Il metodo degli spettri anelastici è attendibile e molto “comodo”
- I risultati di questo progetto coinvolgono marginalmente queste strutture

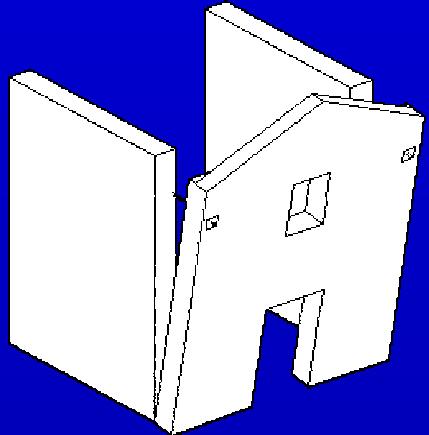
□ ALTRE COSTRUZIONI MONUMENTALI (o singoli macroelementi):

- hanno maggiore capacità di spostamento e possono rispondere a periodi fessurati a collasso $T>4$ s

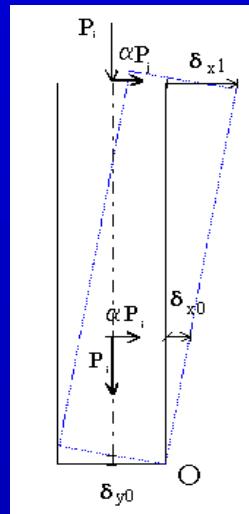
- gli spettri anelastici non sono affidabili
- I risultati di questo progetto sono molto utili

□ IL SISTEMA DINAMICO

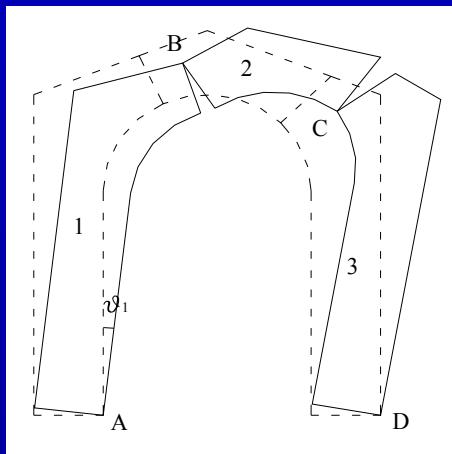
- 1) Sviluppo di una procedura di calcolo per l'analisi dinamica dell'oscillatore semplice non lineare (rappr. del cinematismo a blocchi rigidi)



Facciata



Cinematismo di un singolo blocco con più carichi



Arco trionfale

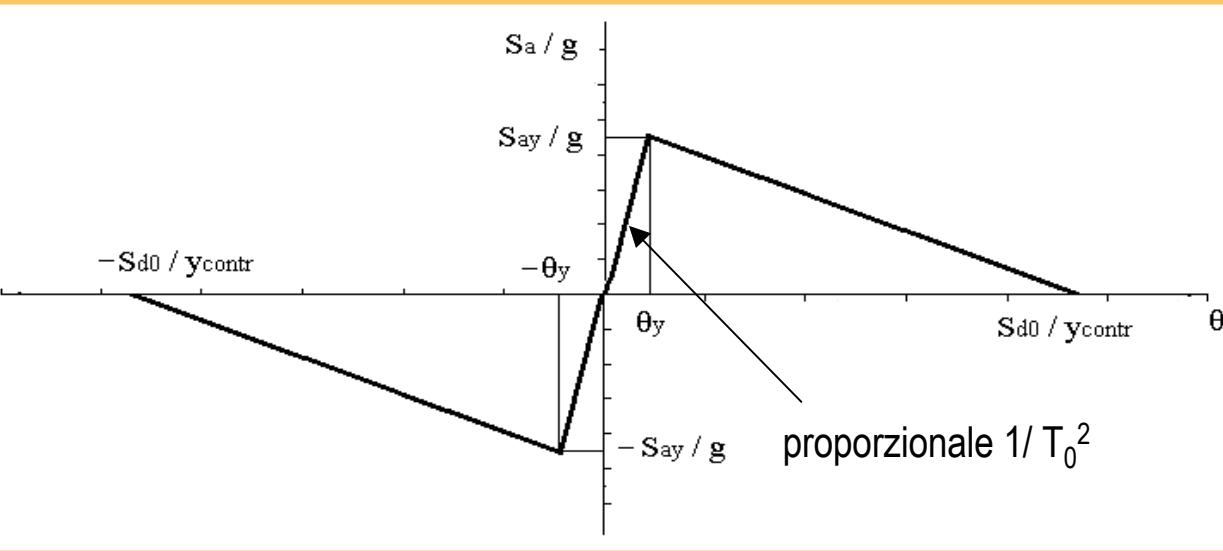


Cinematismo di più blocchi



□ IL SISTEMA DINAMICO

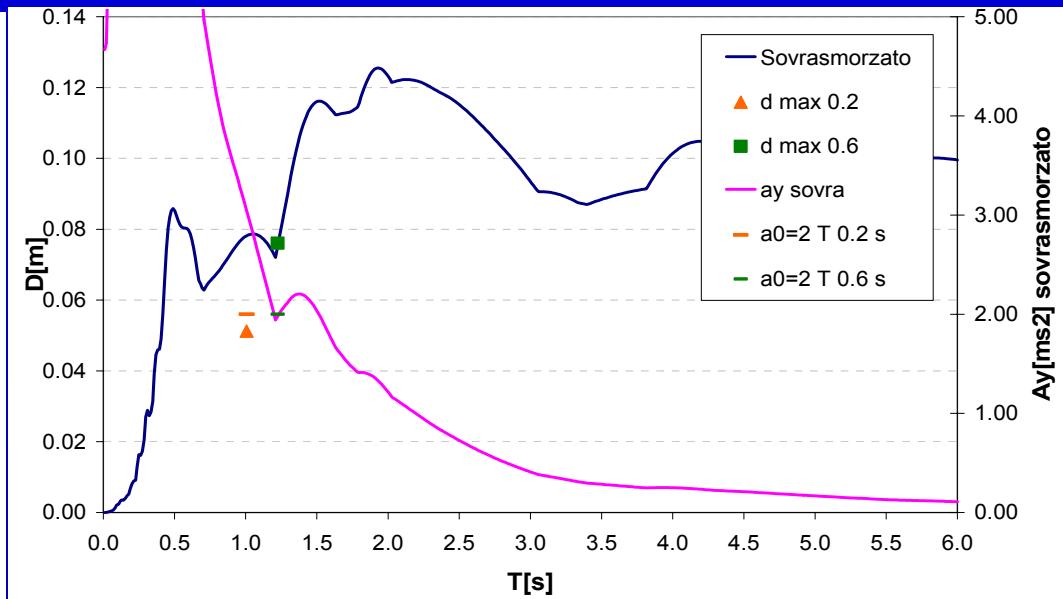
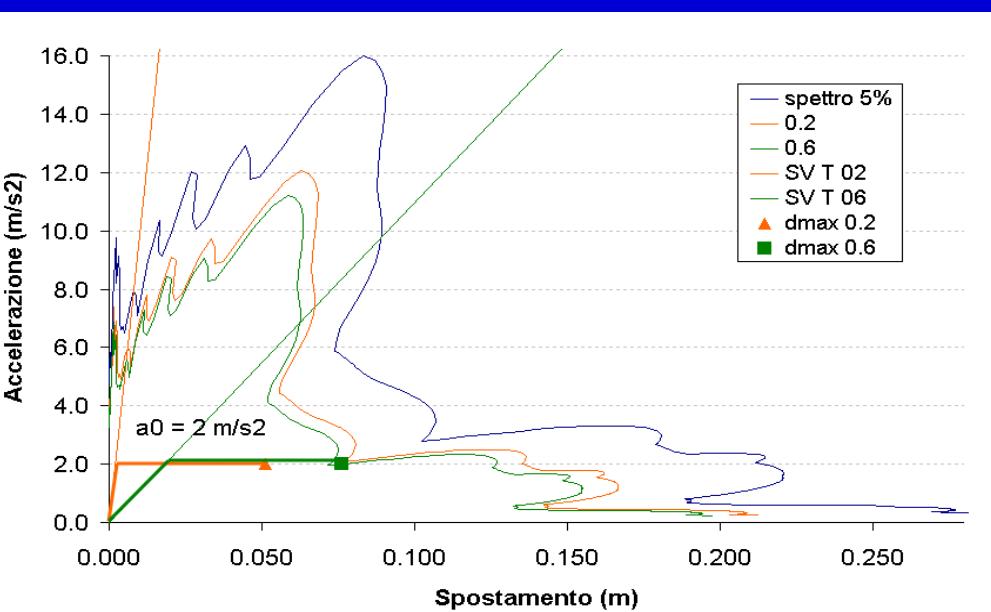
- 1) Il modello utilizzato è analogo a quello di Housner, con l'introduzione del ramo elastico iniziale (deformabilità globale).



Curva di capacità bilineare
con ramo elastico in termini
di accelerazione (in unità di
g) e rotazioni
[rappresentativa della forza
di richiamo $f(\theta)$].

□ VERIFICA DI COINCIDENZA TRA PROCEDURA SEMPLIFICATA E RISPOSTA DINAMICA

- spostamenti ultimi coincidenti con spostamenti max dalle analisi dinamiche
- spettri **sovrasmorzati** dell'oscillatore con varie curve di capacità (in termini di accelerazione a_0 , spostamento ultimo d_0 , periodo iniziale T_0)



□ VERIFICA DI COINCIDENZA TRA PROCEDURA SEMPLIFICATA E RISPOSTA DINAMICA

- spostamenti ultimi coincidenti con spostamenti max dalle analisi dinamiche
- spettri **sovrasmorzati** dell'oscillatore con varie curve di capacità (in termini di accelerazione a_0 , spostamento ultimo d_0 , periodo iniziale T_0)

PROBLEMATICHE (riunione 15-12-05)

- DIPENDENZA DELLA RISPOSTA DALLE CARATTERISTICHE DELL'ACCELEROGRAFMA
- DIPENDENZA DELLA RISPOSTA DALLA DEFINIZIONE DELLA LEGGE DI SMORZAMENTO
- SOTTOSTIMA DELLO SPOSTAMENTO SPETTRALE A LUNGI PERIODI SU SPETTRI SOVRASMORZATI

PROBLEMATICHE (riunione 15-12-05)

□ DIPENDENZA DELLA RISPOSTA DALLE CARATTERISTICHE DELL'ACCELEROGRAFMA:

la calibrazione di un metodo semplificato con accelerogrammi reali è affetto da dipendenza della risposta dalla distribuzione del contenuto in frequenza, dalla durata dell'accelerogramma in input e dal numero di cicli in fase non lineare.

LAVORO ESEGUITO:

Calibrazione rispetto a spettri tipo normativa:

- accelerogrammi sintetici spettro-compatibili

Necessità:

- E' necessaria formulazione della procedura semplificata che tenga conto di forme spettrali non standard?

PROBLEMATICHE (riunione 15-12-05)

□ DIPENDENZA DELLA RISPOSTA DALLA DEFINIZIONE DELLA LEGGE DI SMORZAMENTO :

dipendenza della risposta dalla definizione dello smorzamento viscoso equivalente nell'oscillatore;

dipendenza dai valori iniziali assegnati per T_0 .

LAVORO ESEGUITO:

Calibrazione rispetto a 3 TIPI DI LEGGE DI SMORZAMENTO:

- accelerogrammi sintetici spettro-compatibili
- accelerogrammi reali POLIMI

Inserimento ramo softening nella curva dell'oscillatore

DEFINIZIONE PRELIMINARE DELLA PROCEDURA SEMPLIFICATA PER LA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA DINAMICA

Con la base accelerometrica ampliata, fornita dalla UR6-Polimi, e con accelerogrammi spettro compatibili EC8 (3 acc. per suolo, durate 15s e 20s) sono state implementate analisi dinamiche.

Per ogni accelerogramma sono stati indagati **864 SDOF**, in cui:

$$T_0 = n * 0.1 \quad n=1..6 \quad (\text{in s})$$

$$a_0 = j * a_{01} \quad j=1..16 \quad (\text{in m/s}^2)$$

$$d_0 = d_{01} + (k-1)*0.2 \quad k=1..9 \quad (\text{in m})$$

Lo smorzamento iniziale relativo al critico ξ_0 definito a seconda del periodo iniziale T_E , in modo che risulti pari a $\xi_I = 5\%$ per un periodo $T_I = 0.4$ s.

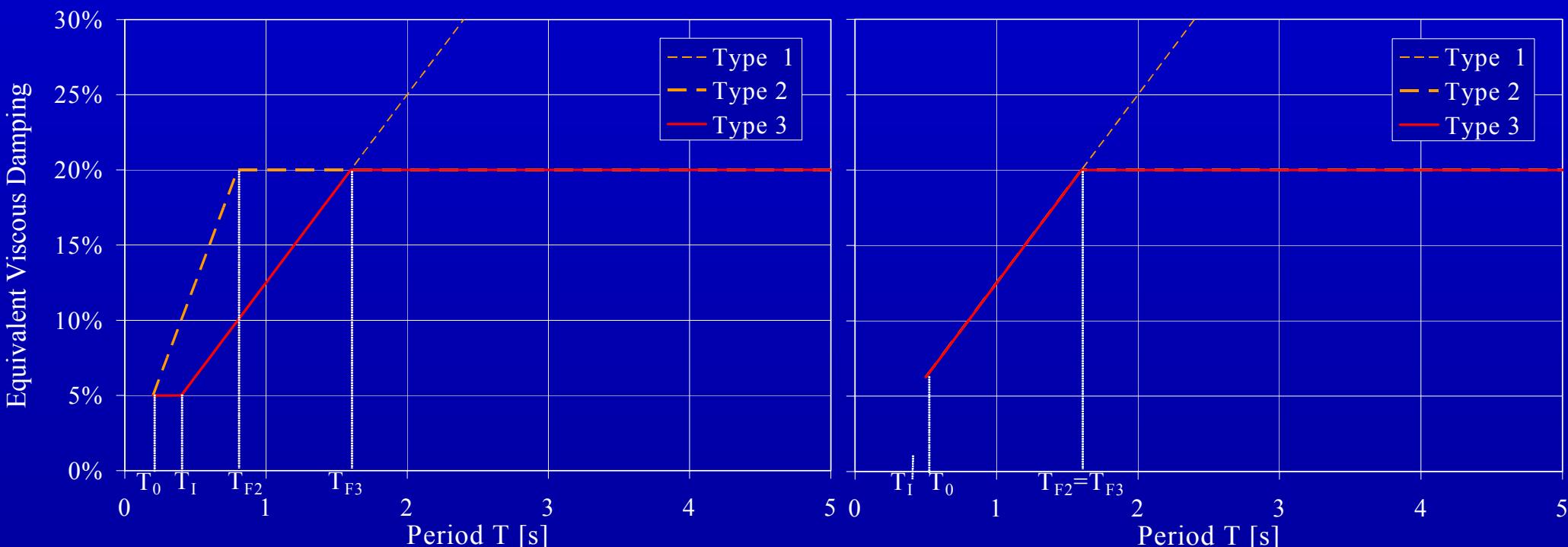
$$\begin{cases} \xi_0 = \xi_I & \text{if } \omega_0 \geq \omega_I \quad (T_0 \leq T_I) \\ \xi_0 = \xi_I \frac{\omega_I}{\omega_0} & \text{if } \omega_0 < \omega_I \quad (T_0 > T_I) \end{cases}$$

→ Svincolare il risultato in termini di rotazioni massime dal periodo iniziale T_0 assegnato all'oscillatore

DEFINIZIONE PRELIMINARE DELLA PROCEDURA SEMPLIFICATA PER LA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA DINAMICA

Le analisi sono state effettuate considerando tre situazioni.

- smorzamento TIPO 1
- smorzamento TIPO 2
- smorzamento TIPO 3

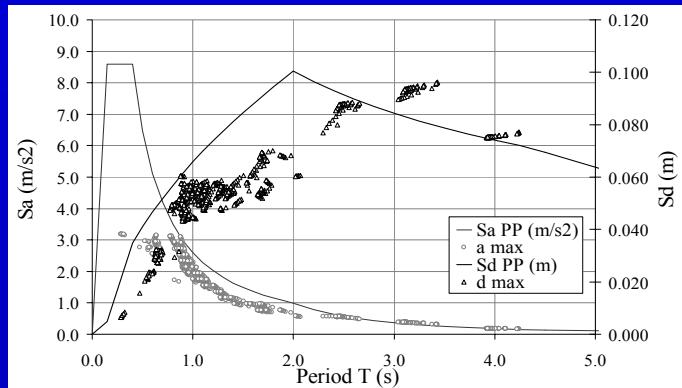


Proposals for the different definition of the equivalent viscous damping depending on the elastic period: a)
 $T_0 < T_I = 0.4 \text{ s}$, b) $T_0 > T_I = 0.4 \text{ s}$

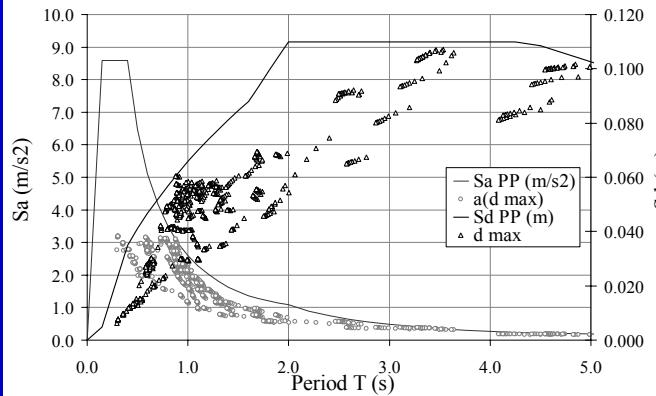
Accelerogrammi EC8 (PGA =0.35 g suoli A,B,D durata 20 s)

Accelerogramma A_20_1

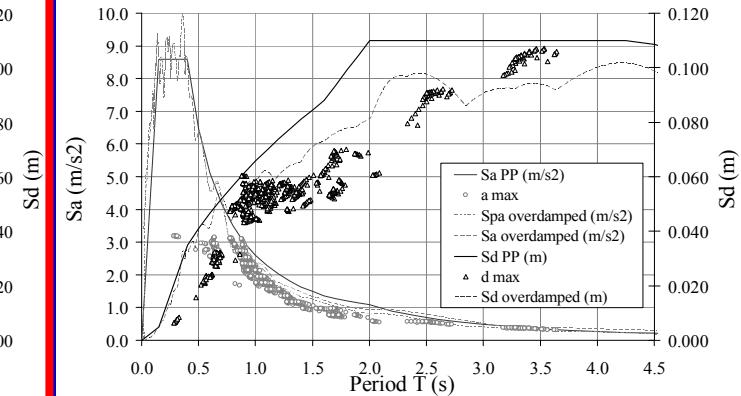
Tip 1



Tip 2



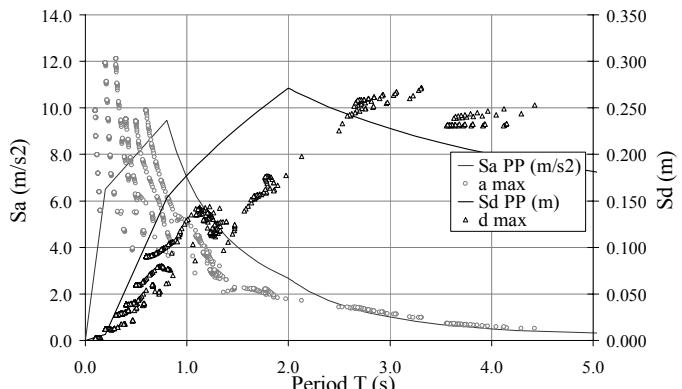
Tip 3



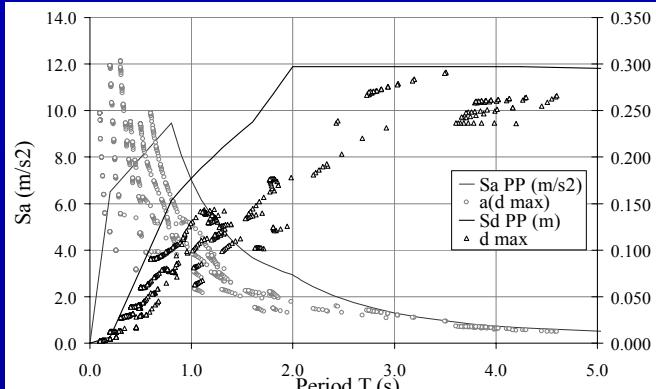
Accelerogrammi EC8 (PGA =0.35 g suoli A,B,D durata 20 s)

Accelerogramma D_20_1

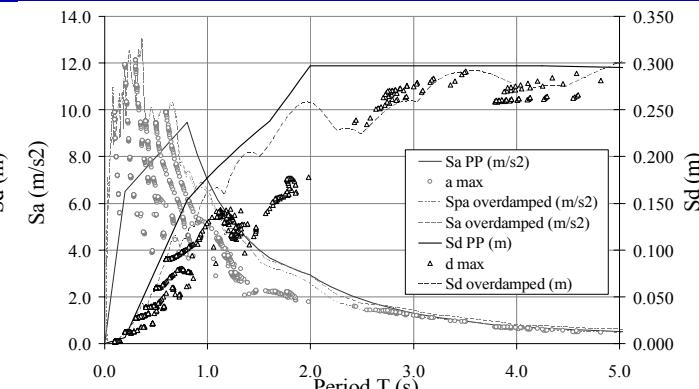
Tip 1



Tip 2



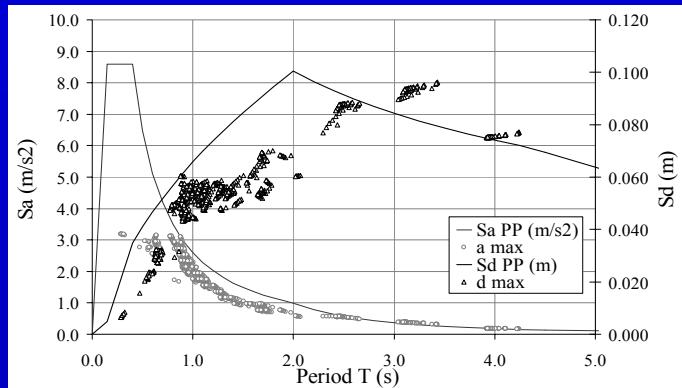
Tip 3



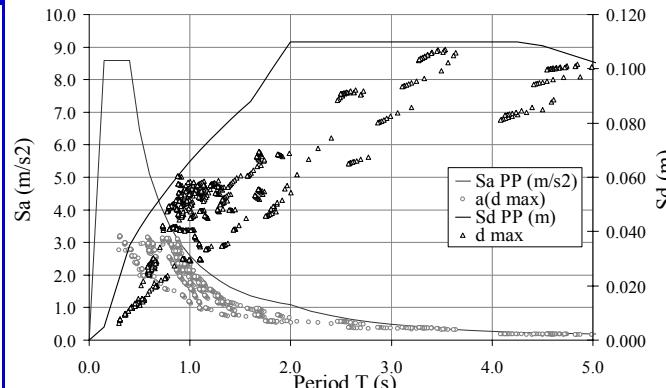
Accelerogrammi EC8 (PGA =0.35 g suoli A,B,D durata 20 s)

Accelerogramma A_20_1

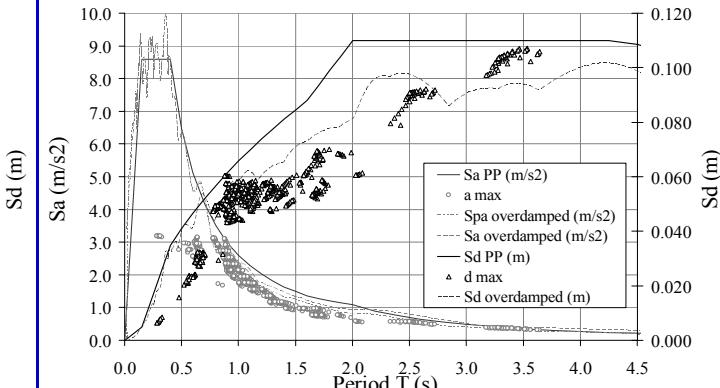
Tip 1



Tip 2



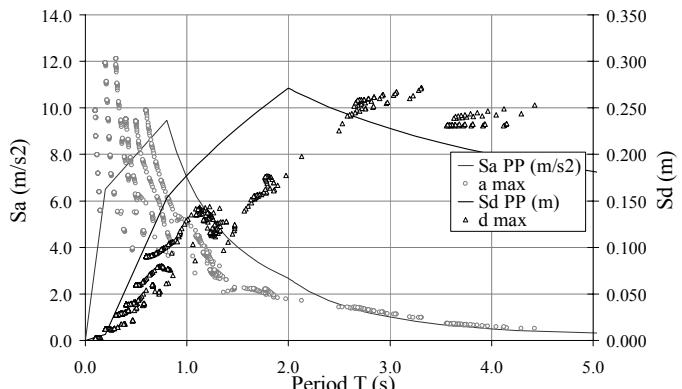
Tip 3



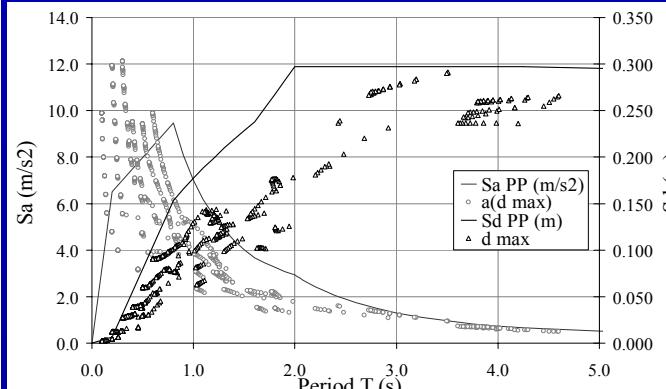
Accelerogrammi EC8 (PGA =0.35 g suoli A,B,D durata 20 s)

Accelerogramma D_20_1

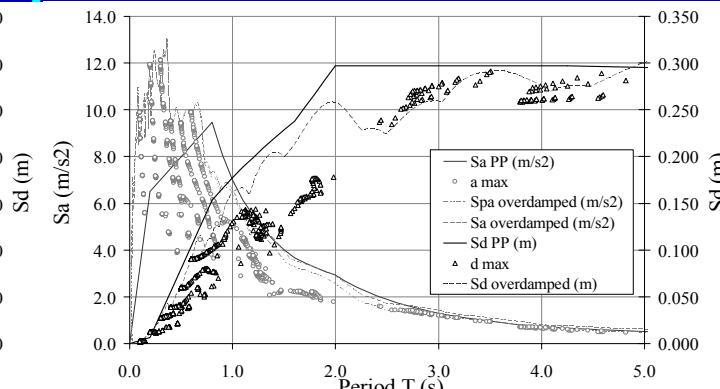
Tip 1



Tip 2



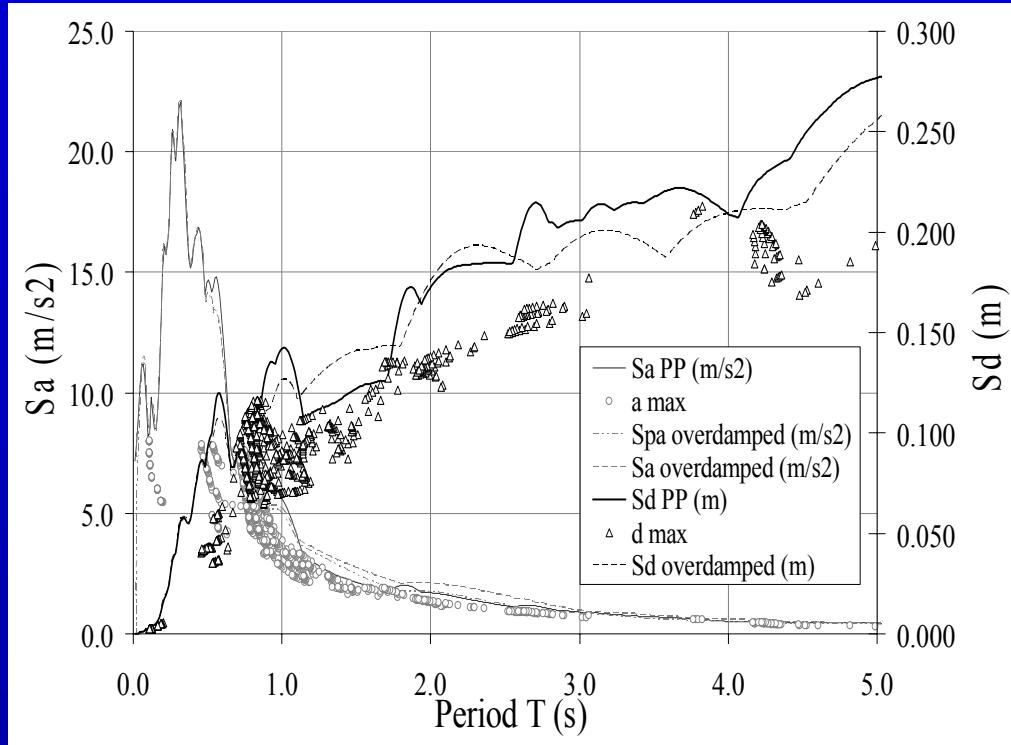
Tip 3



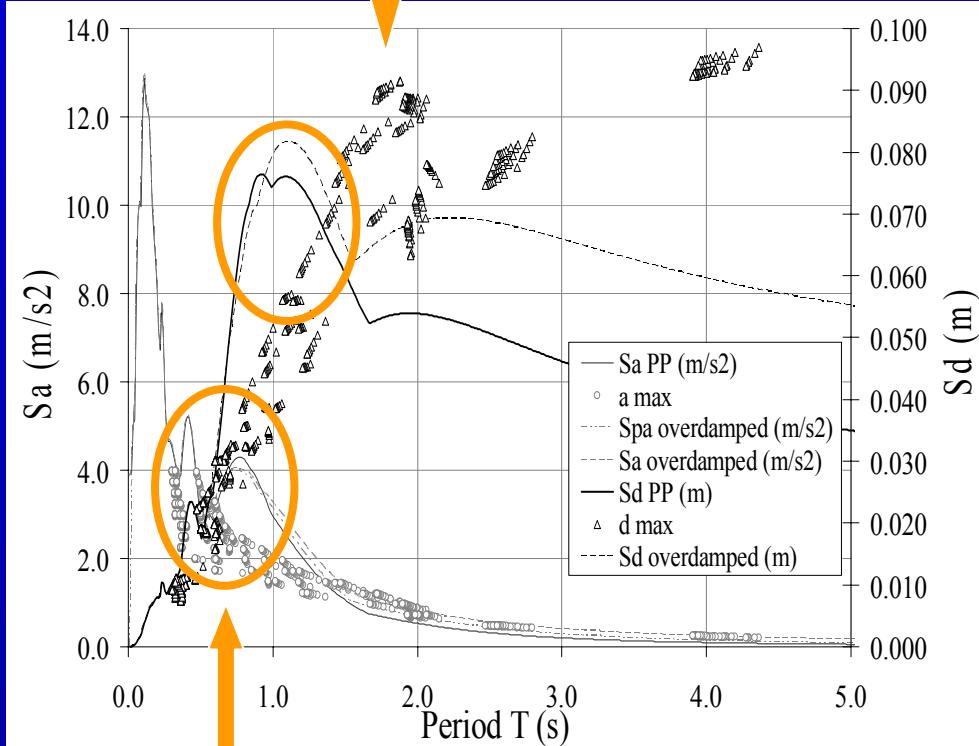
Accelerogrammi reali POLIMI

Tipo 3

Accelerogramma Turchia



Accelerogramma Parkfield



Necessità:

- E' necessaria formulazione della procedura semplificata che tenga conto di forme spettrali non standard?

PROBLEMATICHE (riunione 15-12-05)

□ SOTTOSTIMA DELLO SPOSTAMENTO SPETTRALE A LUNGI PERIODI SU SPETTRI SOVRASMORZATI :

Dopo aver analizzato diversi fattori di riduzione dello spettro, risulta che:

- il fattore di riduzione dello spettro proposto dall'EC8 risulta accettabile; si auspica che eventuali correzioni, introdotte per tenere conto delle caratteristiche dell'input (near-field, magnitudo, durata ...), non apportino modifiche sostanziali

Il rapporto spettrale ottenuto applicando il fattore di riduzione dello spettro sottostima la domanda a periodi elevati a partire da periodi inferiori a T_E (e vicini a T_D)

LAVORO ESEGUITO:

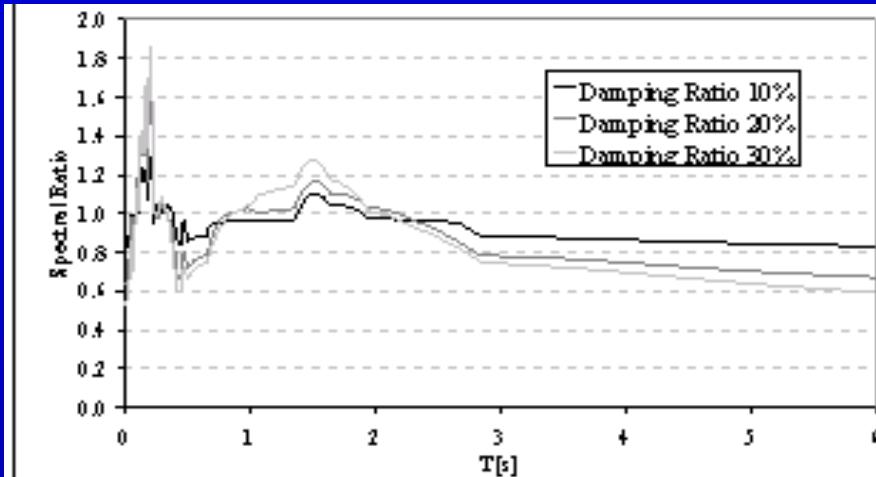
Confronto fattori di riduzione nel range di periodi di interesse

Necessità:

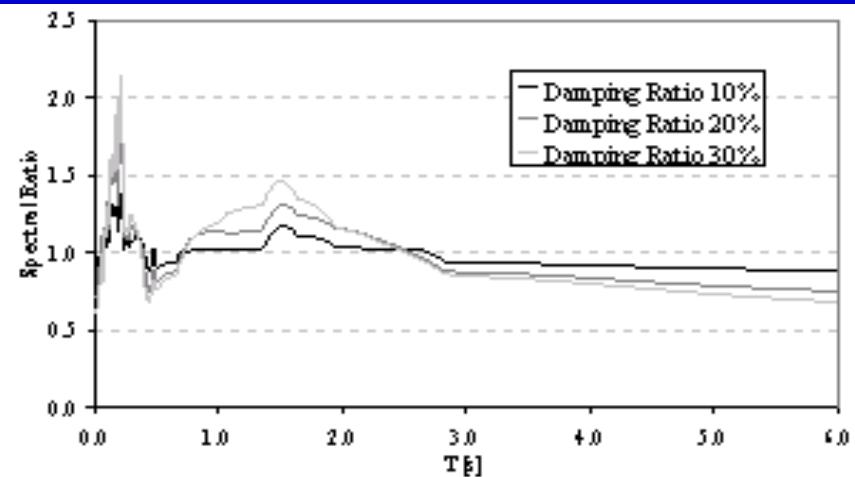
- E' necessaria una rifinitura alla definizione del fattore di riduzione ?

□ SOTTOSTIMA DELLO SPOSTAMENTO SPETTRALE A LUNGI PERIODI SU SPETTRI SOVRASMORZATI

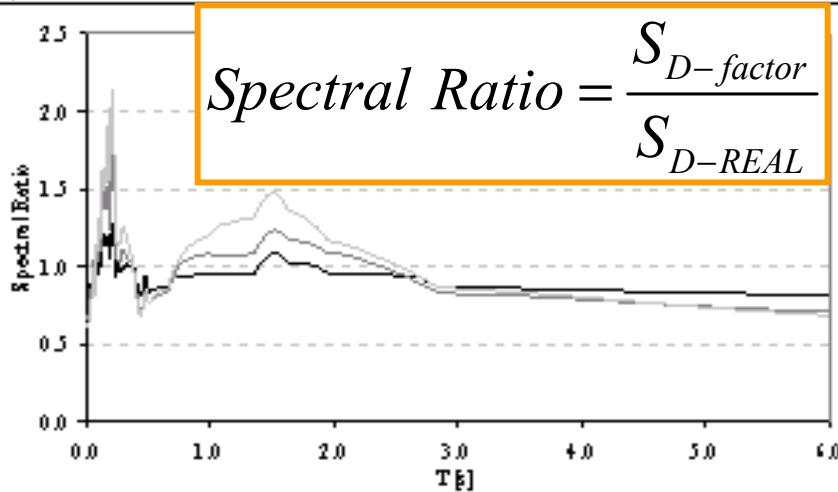
- Il rapporto spettrale ottenuto applicando il fattore di riduzione dello spettro sottostima la domanda a periodi elevati a partire da periodi inferiori a T_E (e vicini a T_D)



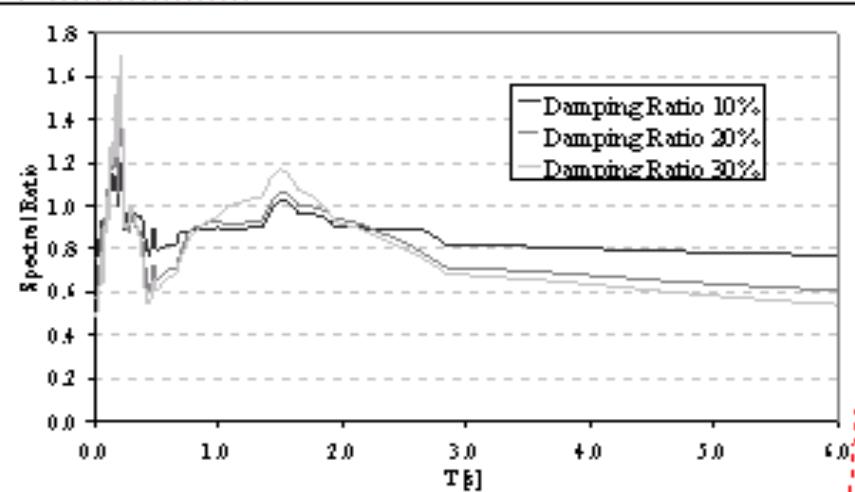
1) EC8



2) Tolis-Faccioli



3) Caltras

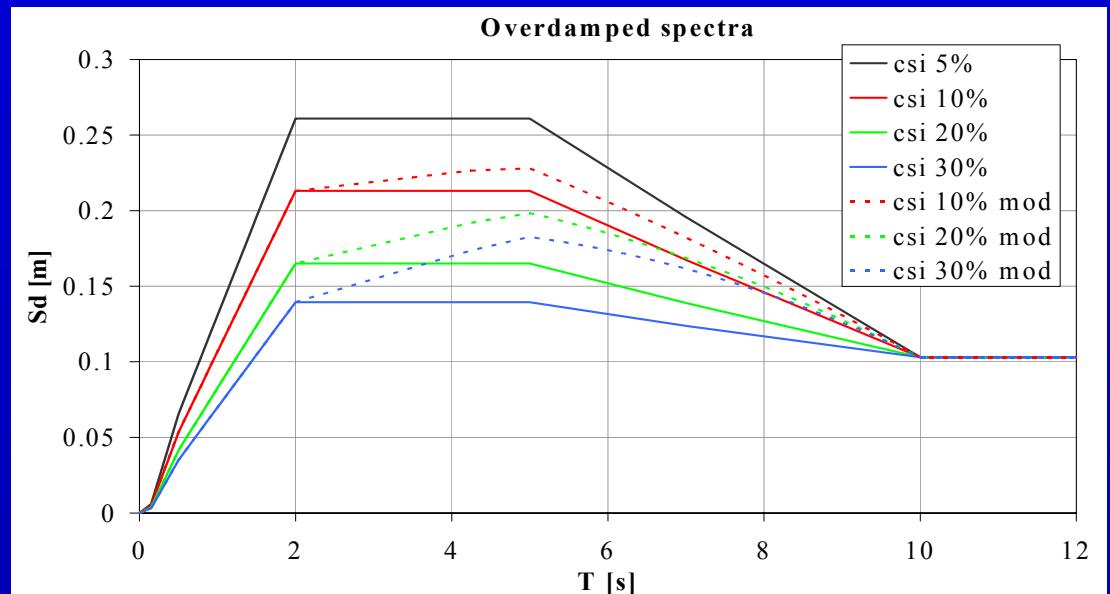
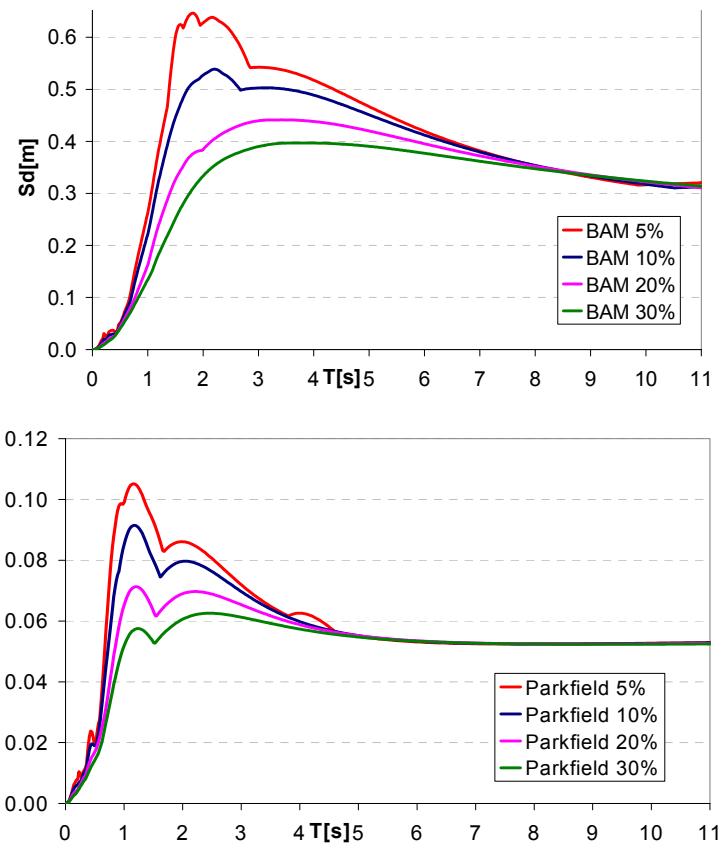


4) French-Spanish

$$\text{Spectral Ratio} = \frac{S_{D-\text{factor}}}{S_{D-\text{REAL}}}$$

POSSIBILI PROPOSTE A UR REFERENTE

SPETTRI SOVRASMORZATI



$$\left\{ \begin{array}{l} S_d(T) = 2.5 \cdot a_g S \frac{T_C T_D}{T^2} \left[1 + (\eta - 1) \frac{T_F - T}{T_F - T_D} \right] \quad \text{if } T_D < T \leq T_E \\ S_d(T) = 0.025 \cdot 2.5 \cdot a_g S T_C T_D \left(\frac{T_F - 0.4T_E - 0.6T}{T_F - T_E} \right) \left[1 + (\eta - 1) \frac{T_F - T}{T_F - T_D} \right] \quad \text{if } T_E < T \leq T_F \\ S_d(T) = S_d(T_F) \quad \text{if } T_F < T \end{array} \right.$$

SVILUPPI FUTURI

□ RAPPRESENTAZIONE IN TERMINI DI SDOF EQUIVALENTE:

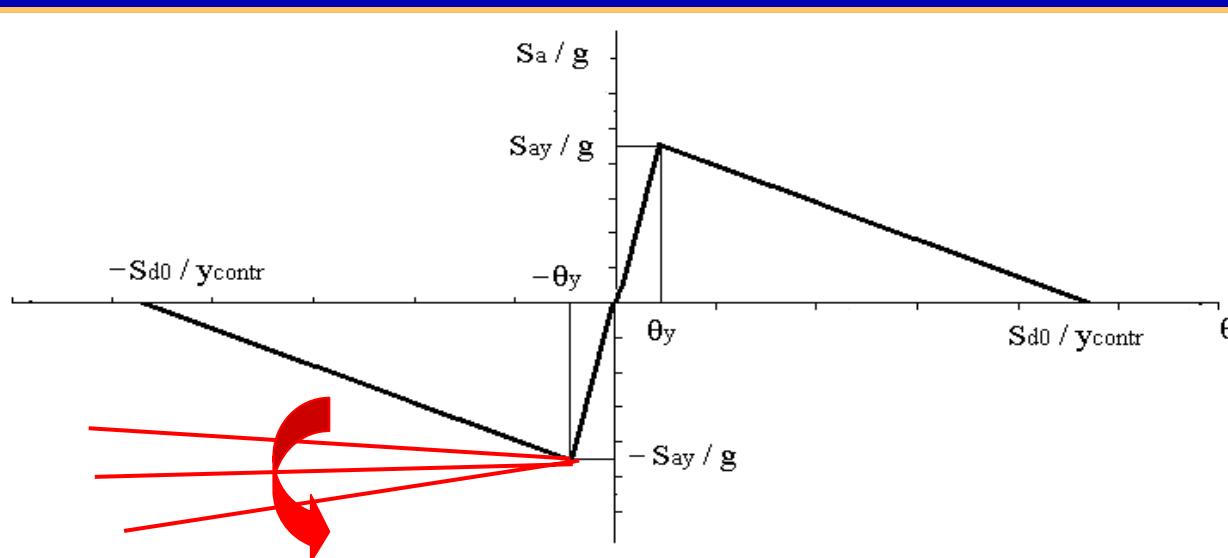
Approfondimento della **definizione del sistema equivalente** per i sistemi a più blocchi.

□ SISTEMA DINAMICO:

Analisi e confronti **sul sistema dinamico con ramo softening**.

Approfondimento della **definizione del sistema dinamico** per i sistemi vincolati mono-lateralmente (facciata), con comportamento non simmetrico.

Analisi dell'influenza di diverse forme di smorzamento (per es. limitato superiormente).



Curva di capacità bilineare
con ramo elastico in termini
di accelerazione (in unità di
g) e rotazioni
[rappresentativa della forza
di richiamo $f(\theta)$].

SVILUPPI FUTURI

□ RAPPRESENTAZIONE IN TERMINI DI SDOF EQUIVALENTE:

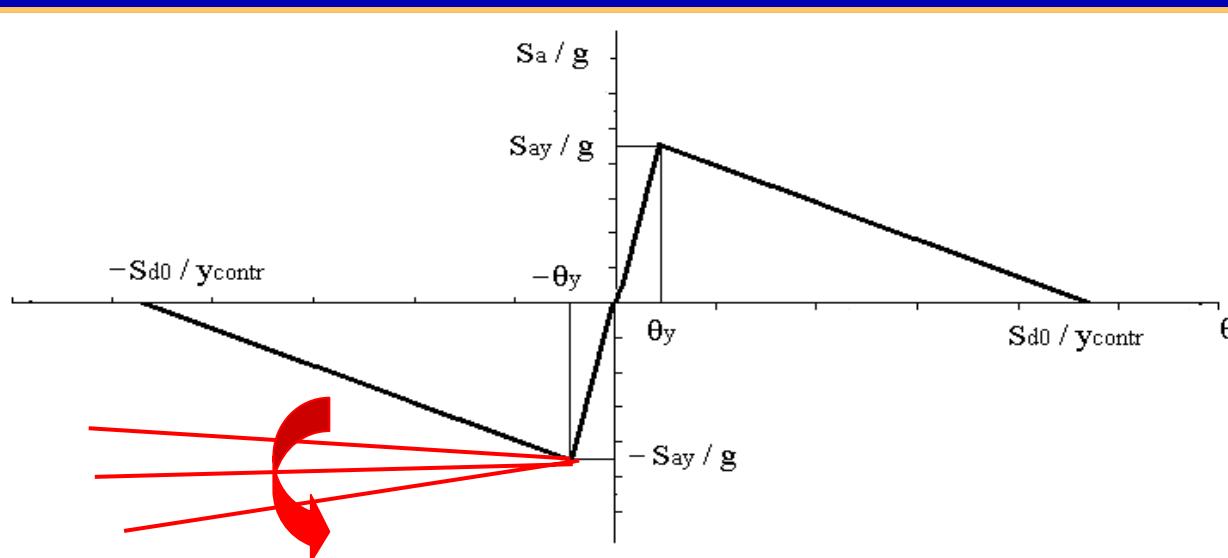
Approfondimento della **definizione del sistema equivalente** per i sistemi a più blocchi.

□ SISTEMA DINAMICO:

Analisi e confronti sul sistema dinamico con ramo softening.

Approfondimento della **definizione del sistema dinamico** per i sistemi vincolati mono-lateralmente (facciata), con comportamento non simmetrico.

Analisi dell'influenza di diverse forme di smorzamento (per es. limitato superiormente).



Curva di capacità bilineare con ramo elastico in termini di accelerazione (in unità di g) e rotazioni [rappresentativa della forza di richiamo $f(\theta)$].

PROGETTI DPC-INGV

RELAZIONE SCIENTIFICA DEL 1° ANNO UR 8

1 Summary of activity in Year 1

....

2 Achievement of project Deliverables (Task 2)

Tema 2:

- *6 mesi:* D8 - Completamento analisi preliminari per scelta di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali ai fini analisi SRS.
- *12 mesi:* D9 - Esecuzione e completamento analisi dinamiche non lineari di modelli di configurazioni caratteristiche in strutture monumentali.
- *18 mesi:* D10- Formulazione completa metodo SRS per verifica strutture monumentali. Relazione scientifica su metodo con esempi applicativi.

D8 Poorly fulfilled 30-50 %

D9 Fulfilled > 80 %

D10 Poorly fulfilled 30-50 %

4 Relevant publications that are the direct output of this project

Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., Resemini, S. 2006. Damping factors and equivalent SDOF definition in the performance-based assessment of monumental masonry structures, *Proc. of 1st European Conf. on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006 (accepted).

Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., Resemini, S. 2006. Displacement capacity of ancient structures through non-linear kinematic and dynamic analyses. *Proc. of Structural Analysis of Historical Constructions*, New Delhi 2006 (accepted).