

Convenzione quadro ProCiv – INGV 2004-2006

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

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.

❑ NUOVE STRUTTURE:

DDBD definisce la struttura a partire dalla richiesta di spostamento

❑ STRUTTURE ESISTENTI - valutazione della sicurezza sismica attuale e progetto di interventi di miglioramento sismico:

la curva di capacità è fissata e la procedura di valutazione è iterativa

2. METODI

❑ EDIFICI IN MURATURA:

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

➡ 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, in prossimità del collasso, con periodi fessurati $T > 4 \text{ s}$

➡ gli spettri anelastici non sono affidabili

➡ I risultati di questo progetto sono molto utili

3. IL SISTEMA DINAMICO

❑ FORMAZIONE DEL CINEMATISMO:

- muratura ha un comportamento a blocchi rigidi con perdita di equilibrio

❑ RAPPRESENTAZIONE IN TERMINI DI SDOF EQUIVALENTE:

- 1) definizione del sistema equivalente per i modelli di configurazioni caratteristiche per edifici monumentali (per es.: facciate, torri o campanili, archi trionfali) con approfondimento teorico e numerico
- 2) definizione di un metodo affidabile per i lunghi periodi (corretta assunzione del periodo secante e dello smorzamento equivalente) e validazione *tramite analisi dinamiche non lineari con accelerogrammi selezionati*

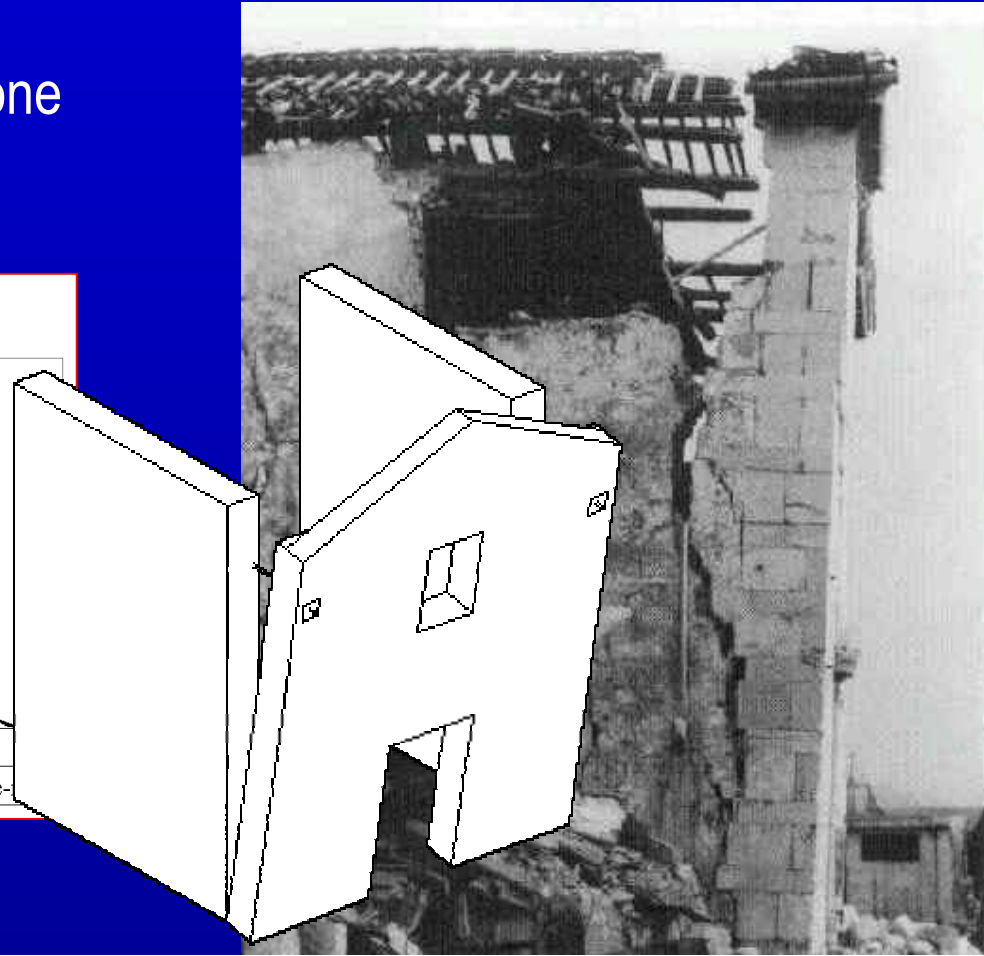
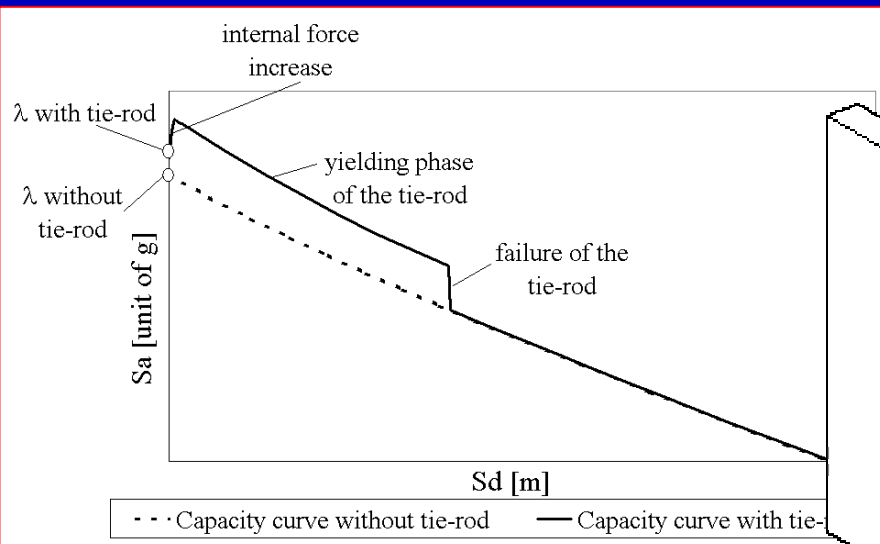
❑ DEFINIZIONE DEI FATTORI DI RIDUZIONE:

verifica dell'attendibilità dei **fattori di riduzione dello SRS dell'eccitazione** proposti in letteratura e nei codici, in particolare sui lunghi periodi

FORMAZIONE DEL CINEMATISMO e RAPPRESENTAZIONE IN TERMINI DI SDOF EQUIVALENTE

Meccanismo di RIBALTAMENTO della FACCIATA: Influenza di aspetti tecnologici e costruttivi sui meccanismi locali

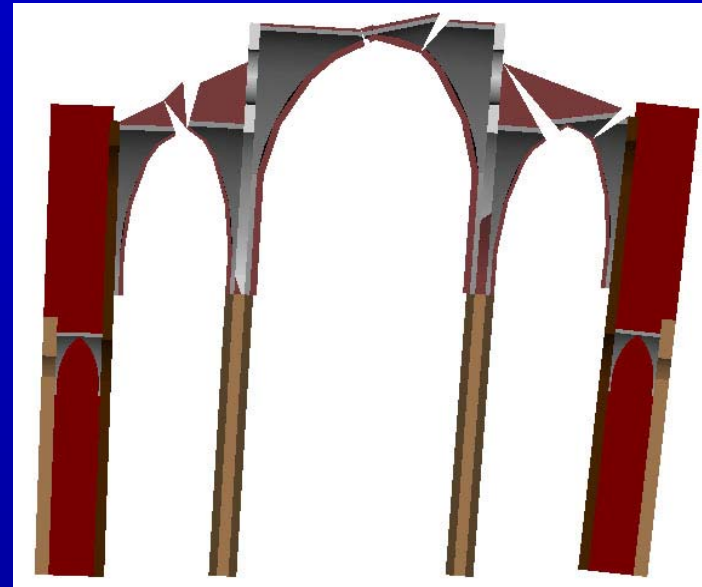
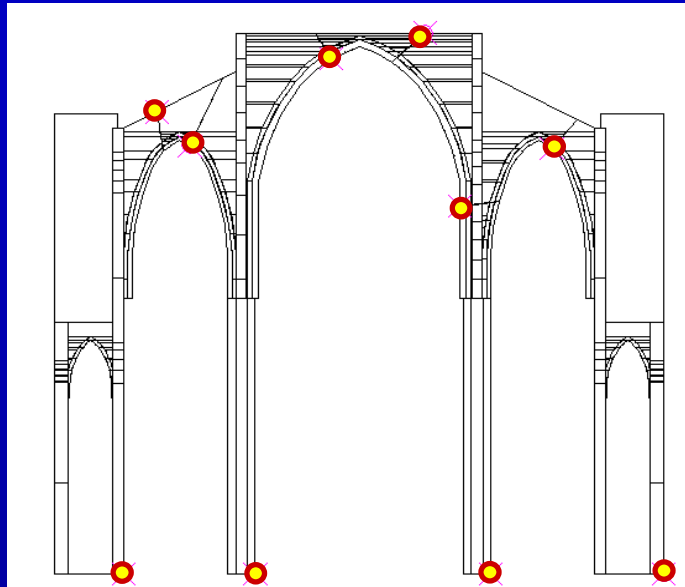
- Limitata resistenza a compressione
- Presenza di catene



❑ FORMAZIONE DEL CINEMATISMO e RAPPRESENTAZIONE IN TERMINI DI SDOF EQUIVALENTE

Meccanismi formati da più blocchi

- Individuazione della posizione delle cerniere
- Valutazione della massa equivalente SDOF



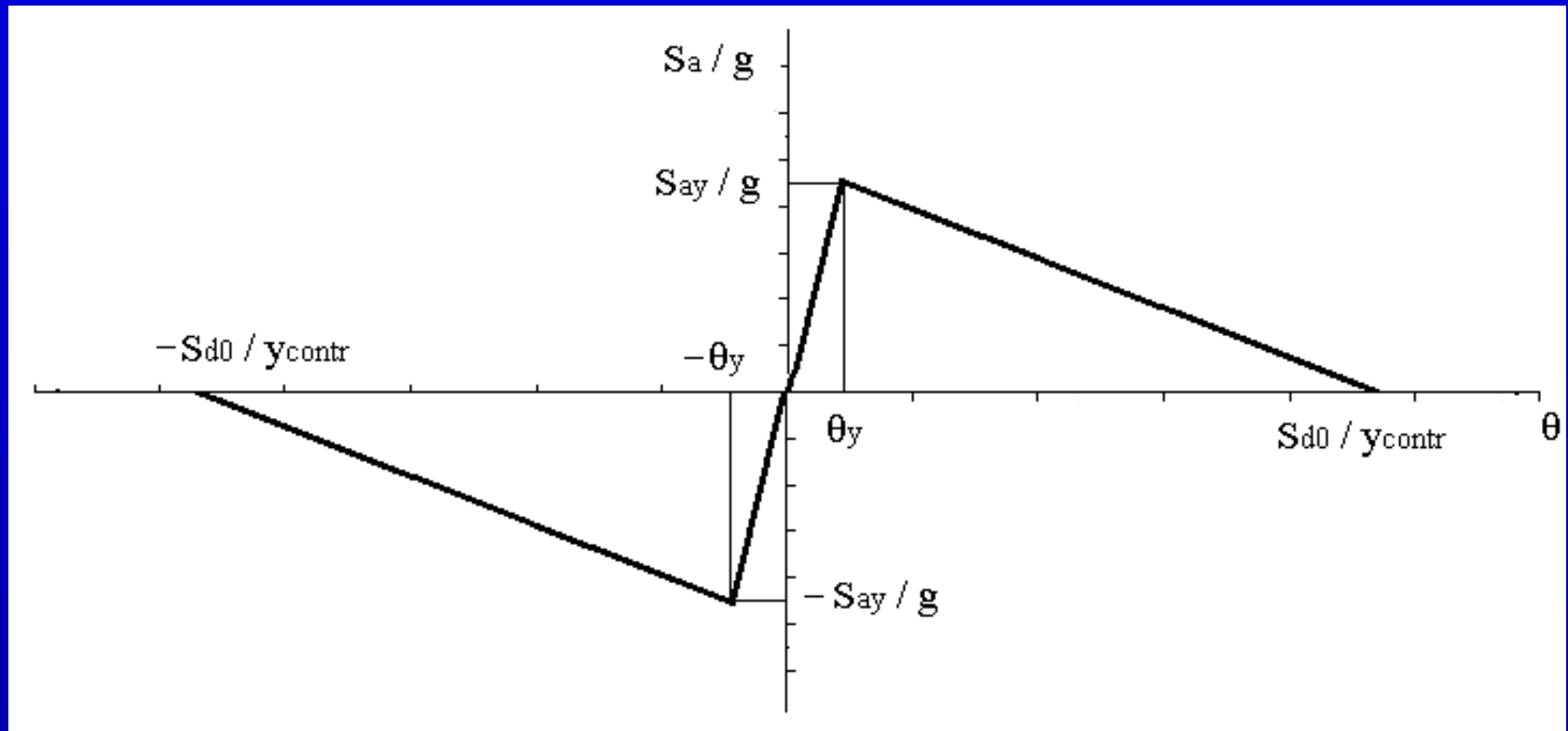
SISTEMA ARCO PIEDRITTI

CHIESA DI S. MARIA DEL MAR (BARCELLONA)

□ IL SISTEMA DINAMICO

- 1) Sviluppo di una procedura di calcolo per l'analisi dinamica dell'oscillatore semplice non lineare.
- 2) Implementazione di un programma di calcolo per la soluzione dinamica del moto di un oscillatore semplice non lineare. Il comportamento dinamico della struttura è ricondotto ad un sistema SDOF non lineare (ad es.: moto fuori dal piano di una facciata di un edificio storico).
- 3) Nelle equazioni del moto, la forza di richiamo $f(\theta)$, funzione della rotazione θ , riproducono l'andamento della curva di capacità ottenuta dal metodo cinematico non lineare.
- 4) Nel caso di un singolo blocco, il modello utilizzato è analogo a quello di Housner, con l'introduzione del ramo elastico iniziale (deformabilità globale della struttura).
- 5) Il comportamento ciclico non prevede dissipazione isteretica, essendo elastico non lineare, ma è possibile calibrare lo smorzamento viscoso equivalente, oltre il ramo iniziale

□ IL SISTEMA DINAMICO



Curva di capacità bilineare, con ramo elastico iniziale, in termini di accelerazione spettrale, rappresentativa della forza di richiamo $f(\theta)$, e rotazione, correlata allo spostamento di un punto di controllo.

❑ IL SISTEMA DINAMICO : Valutazione dell'effetto della definizione dello smorzamento iniziale

Con la base accelerometrica, fornita dalla UR6-Polimi, sono state eseguite numerose analisi dinamiche.

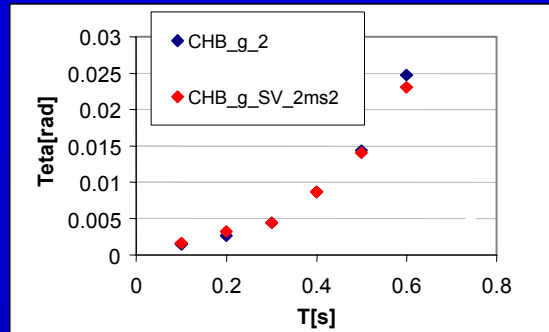
Il sistema SDOF è stato caratterizzato da una resistenza costante, per ogni gruppo di analisi, e da un periodo iniziale T variabile da 0.1 a 0.6 s.

Le analisi sono state effettuate considerando due situazioni:

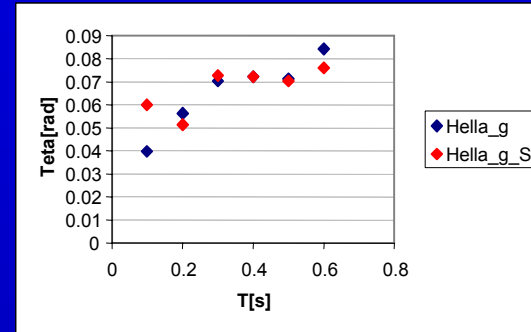
- smorzamento relativo al critico ξ_0 pari a 0.05, in fase elastica;
- smorzamento iniziale ξ_0 definito a seconda del periodo elastico, in modo che risulti pari al 5% per un periodo pari a 0.4 s.

Obiettivo: Indagare la possibilità di svincolare il risultato, in termini di rotazioni massime (domanda di spostamento), dal periodo iniziale T assegnato all'oscillatore, difficilmente valutabile per i meccanismi locali.

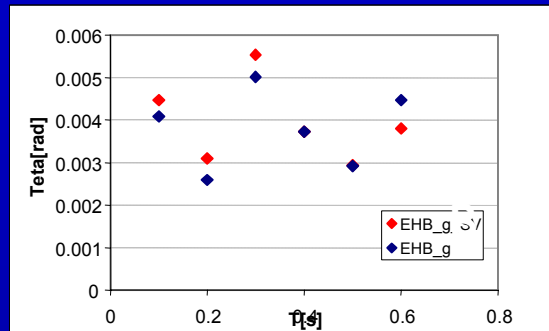
IL SISTEMA DINAMICO: Valutazione dell'effetto della definizione dello smorzamento iniziale



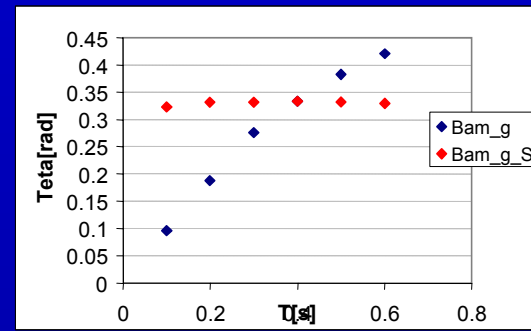
A



C



B



D

Nel caso di spostamento massimo prossimo alla fase lineare (A-B), la dipendenza dal periodo iniziale è forte con entrambe le definizioni di smorzamento.

Nel caso di spostamento massimo molto oltre la fase lineare (C-D), è meglio assumere uno smorzamento funzione del periodo, anche se la dipendenza non è così chiara e lo studio dovrebbe essere approfondito con altri accelerogrammi.

❑ DEFINIZIONE PRELIMINARE DELLA PROCEDURA SEMPLIFICATA PER LA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA DINAMICA

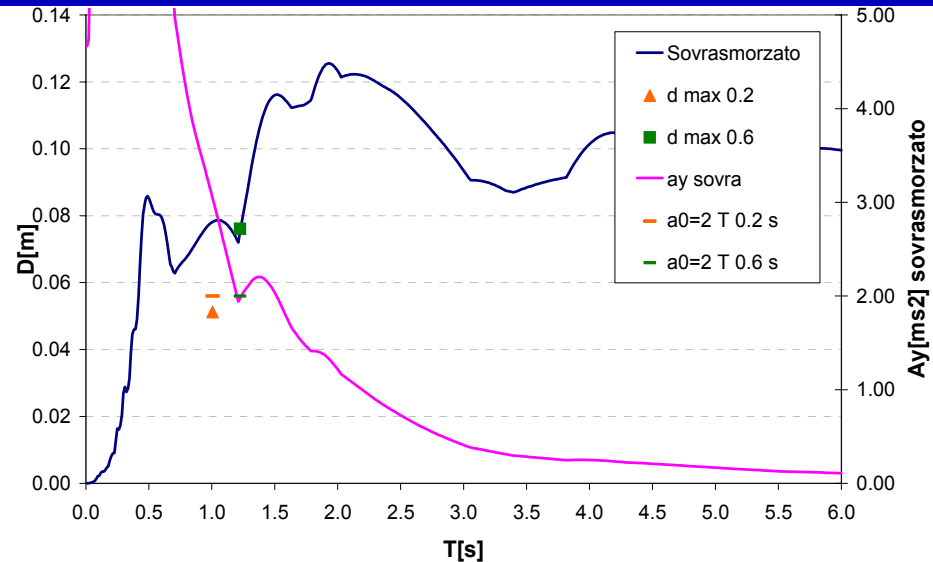
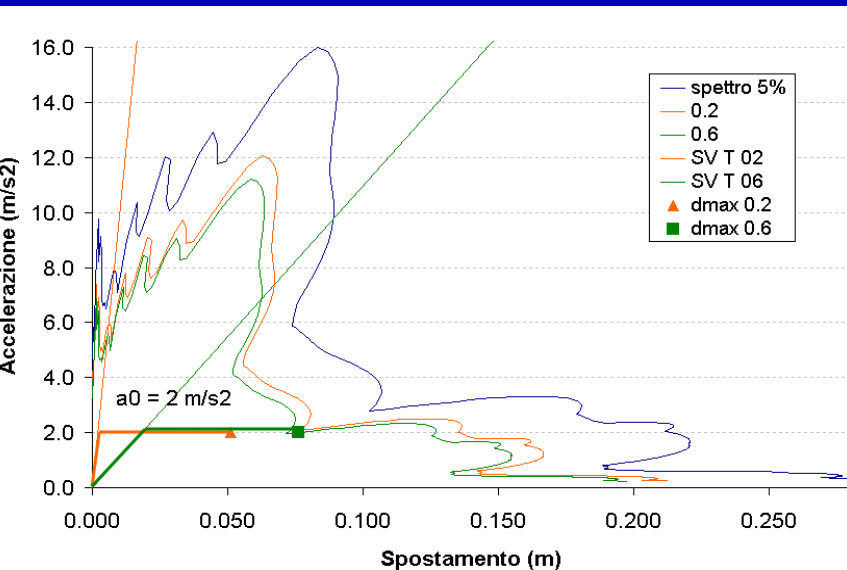
- Introduzione nella valutazione della risposta massima in termini di spostamento (o rotazione θ) col metodo semplificato (cinematico non lineare) l'utilizzo di spettri di risposta elastici sovrasmorzati.
- Definizione dell'andamento dello smorzamento viscoso equivalente ξ_{eq} in funzione della rotazione θ :

$$\xi_{eq} = \begin{cases} \xi_0 & \theta \leq \theta_y \\ \xi_0 \left(\frac{\theta}{\theta_y} \right)^{0.5} & \theta > \theta_y \end{cases}$$

Esso è stato valutato in corrispondenza della rotazione massima θ delle analisi dinamiche, si è utilizzato un coefficiente di riduzione dello spettro elastico funzione dello stesso e si è verificata la coincidenza dello spostamento in corrispondenza del performance point (della procedura semplificata) con quello risultante delle analisi dinamiche. In questa fase è stato utilizzato il fattore di riduzione dello spettro di risposta elastico proposto dall'EC8.

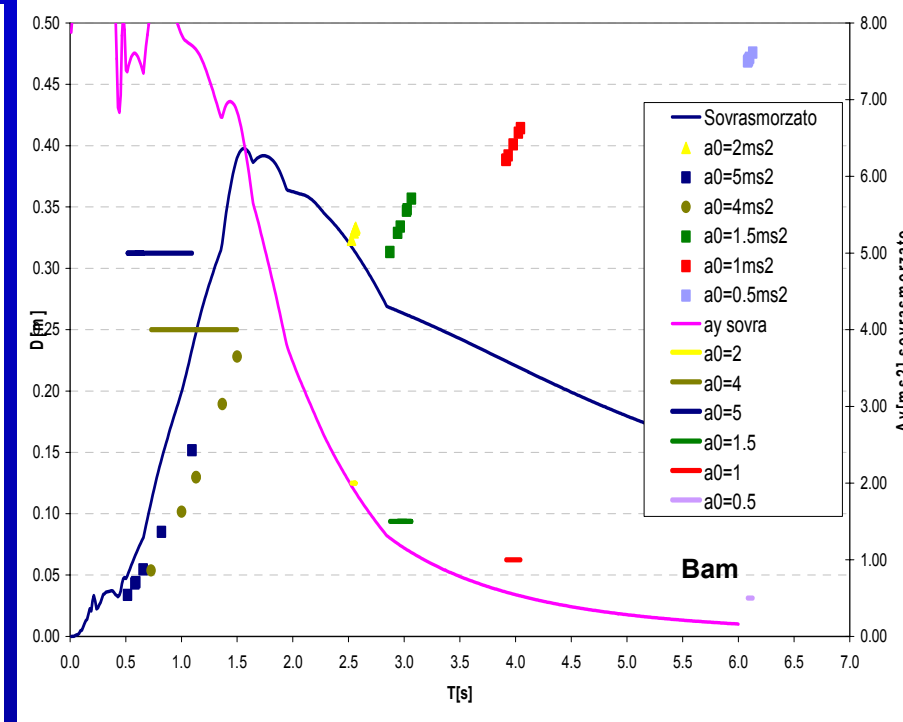
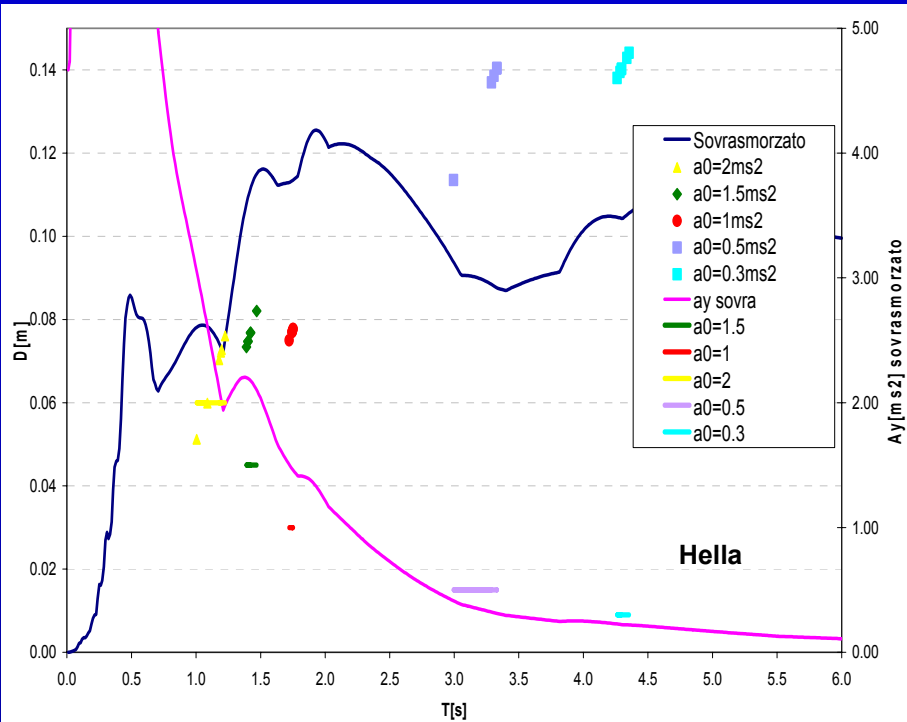
❑ VERIFICA DI COINCIDENZA TRA PROCEDURA SEMPLIFICATA E RISPOSTA DINAMICA

- spettri sovrasmorzati di due oscillatori con resistenza, in termini di accelerazione spettrale, pari a 2 m/s^2 e periodo iniziale $T = 0.2 \text{ s}$ e 0.6 s
- curve di capacità dei due oscillatori (spostamenti ultimi coincidenti con spostamenti massimi dalle analisi dinamiche)



❑ VERIFICA DI COINCIDENZA TRA PROCEDURA SEMPLIFICATA E RISPOSTA DINAMICA

Diversi gruppi di oscillatori, con periodi iniziali $T = 0.1 \div 0.6$ s e resistenza, in termini di accelerazione, variabile da 0.3 m/s^2 a 2 m/s^2 , fissato l'input.



Per lunghi periodi, il fattore di riduzione dello spettro sovrasmorzato non risulta adeguato. Anche per periodi meno elevati si osservano risultati a volte incongruenti, (molto dipende dalla particolarità delle forme spettrali degli accelerogrammi)

PROBLEMATICHE

Dai risultati ottenuti si osserva che la calibrazione di un metodo semplificato con accelerogrammi reali è affetto da:

❑ DIPENDENZA DELLA RISPOSTA DALLE CARATTERISTICHE DELL'ACCELEROGRAMMA:

dipendenza della risposta dalla distribuzione del contenuto in frequenza, dalla durata dell'accelerogramma in input e dal numero di cicli in fase non lineare.

POSSIBILI OPZIONI:

Calibrazione rispetto a spettri tipo normativa:

- accelerogrammi sintetici spettro-compatibili
- accelerogrammi reali in media spettro-compatibili (la calibrazione si otterrebbe, in questo caso, come media delle risposta)

Esigenze:

- E' necessario formulare una procedura semplificata che tenga conto di forme spettrali non standard?
- Nel caso fosse necessario fare riferimento solo a forme spettrali standard, verranno forniti accelerogrammi compatibili con queste?

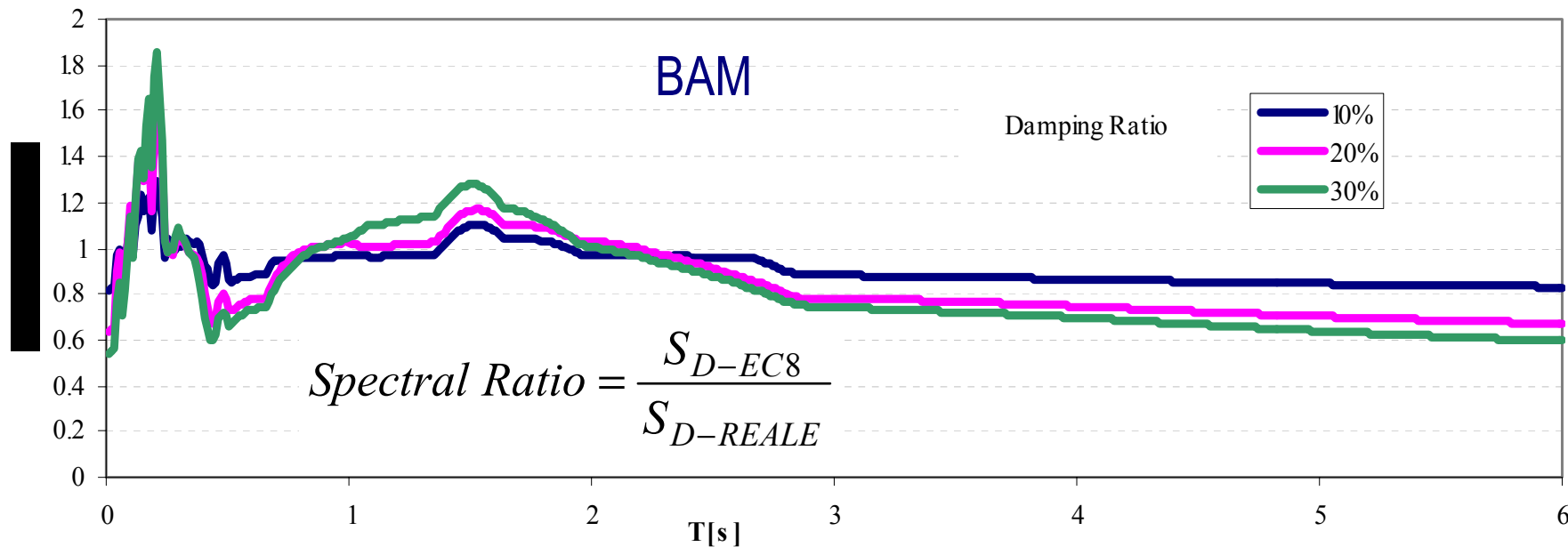
PROBLEMATICHE

Dai risultati ottenuti, sulla base accelerometrica fornita da UR3, si osserva:

❑ 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, già a partire da periodi vicini a 2 s (T_D)



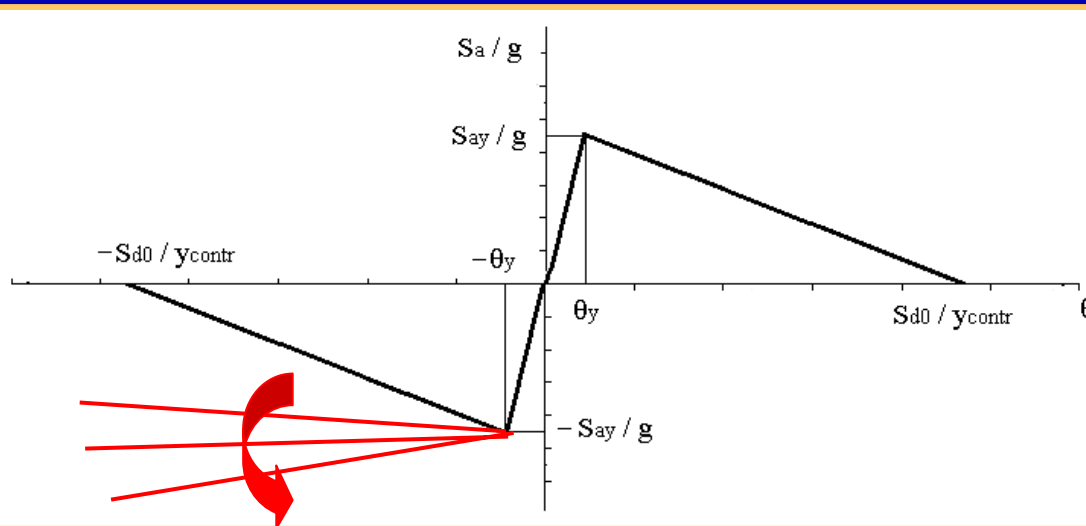
SVILUPPI FUTURI

❑ 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 $f(\theta)$].