



12-13 Febbraio 2007
Aula delle Lauree – Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Salerno – Fisciano

Materiali ed **A**pprocci **I**nnovativi per il **P**rogetto in **Z**ona
Sismica e la **M**itigazione della **V**ulnerabilità delle **S**trutture

UNA STRATEGIA RAZIONALE DI ADEGUAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Ciro Faella, Enzo Martinelli

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno



Emidio Nigro

*Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale
Università di Napoli "Federico II"*





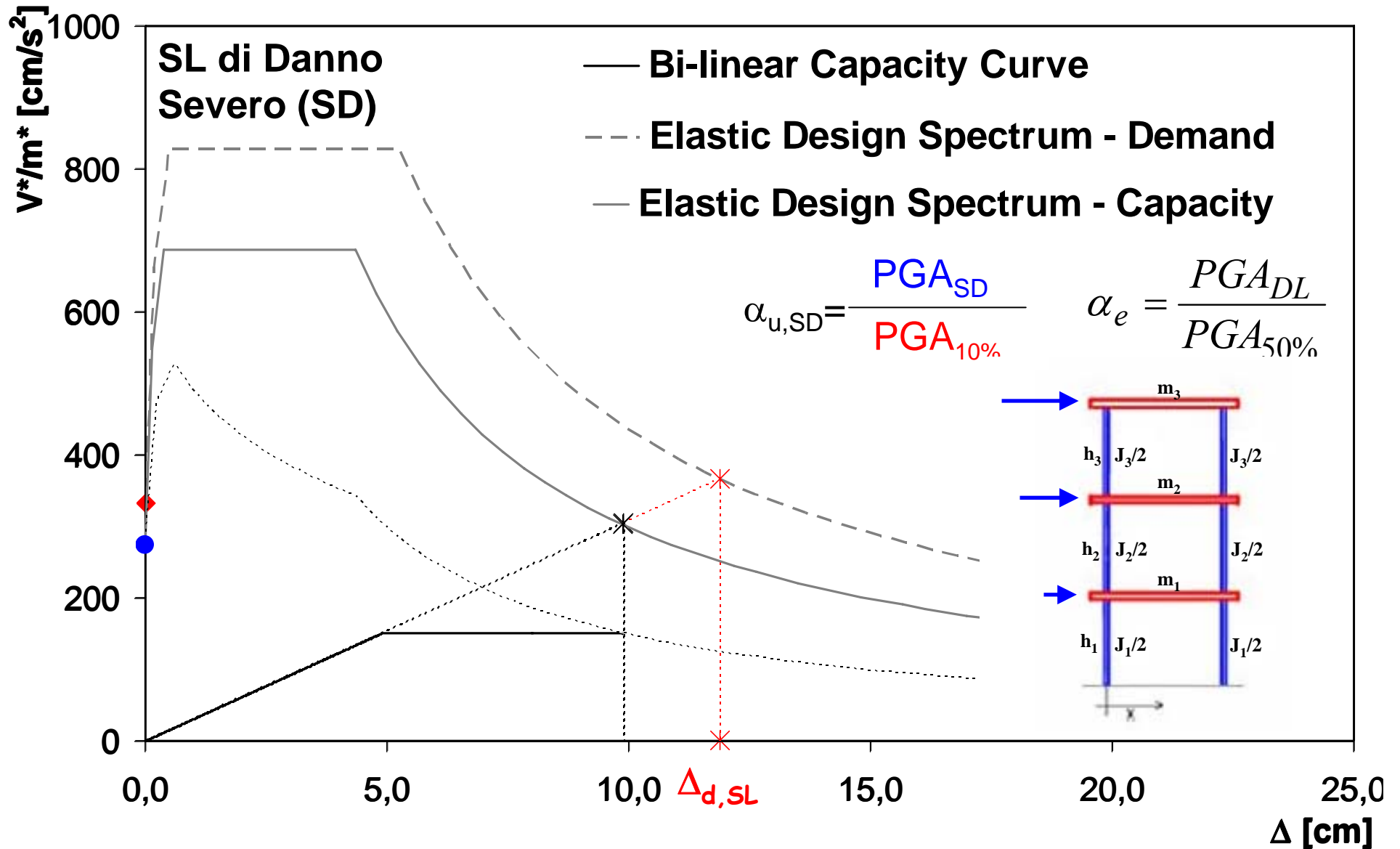
12-13 Febbraio 2007
Aula delle Lauree – Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Salerno – Fisciano

SOMMARIO

- Definizione di **due parametri** per la quantificazione della Vulnerabilità sismica delle strutture esistenti;
- Formulazione di una **strategia** di scelta tra due **tecniche** di adeguamento sismico;
- Applicazioni di esempio;
- Considerazioni conclusive.



VULNERABILITA SISMICA: DEFINIZIONI



VULNERABILITA SISMICA: DEFINIZIONI

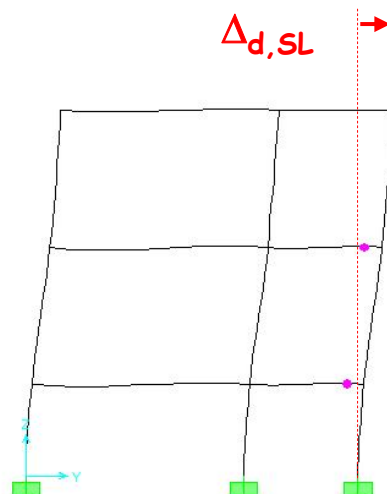
Indice di Estensione del Danneggiamento (DEI).

Il parametro η restituisce una misura del livello di danneggiamento che la struttura esibirebbe nel raggiungere uno spostamento pari a quello richiesto $\Delta_{d,SL}$:

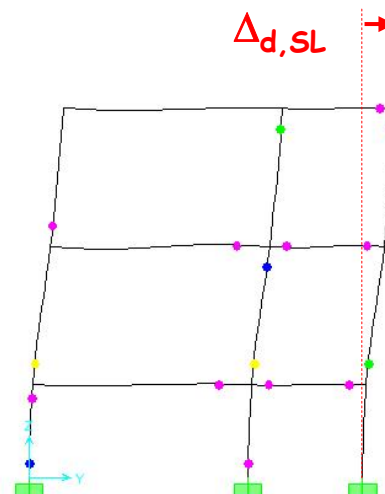
$$\eta_{SL} = \frac{n_{SL}}{n_{tot}}$$

- n_{SL} il numero di cerniere plastiche che raggiungono la rotazione limite, per uno spostamento globale pari a $\Delta_{d,SL}$, hanno superato il valore della rotazione θ_{SL} ;
- n_{tot} è il numero di cerniere plastiche considerate sul modello.

$\eta_{SL} \approx 0$:
crisi locale



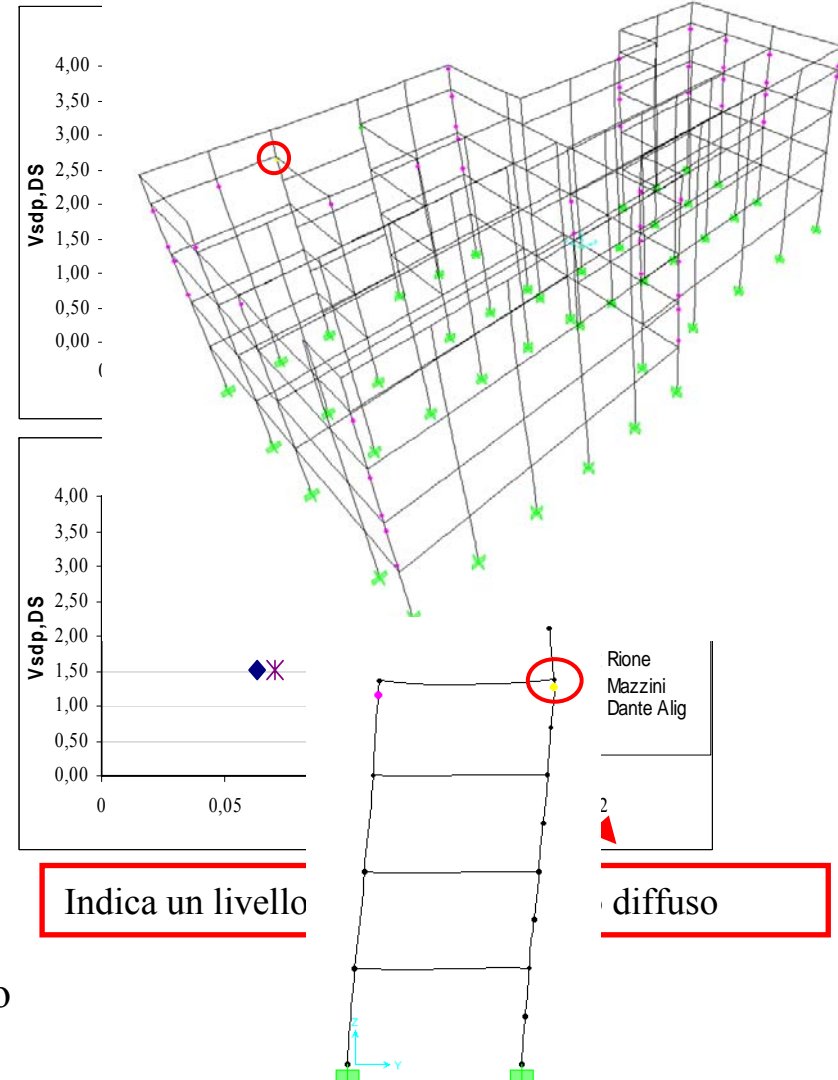
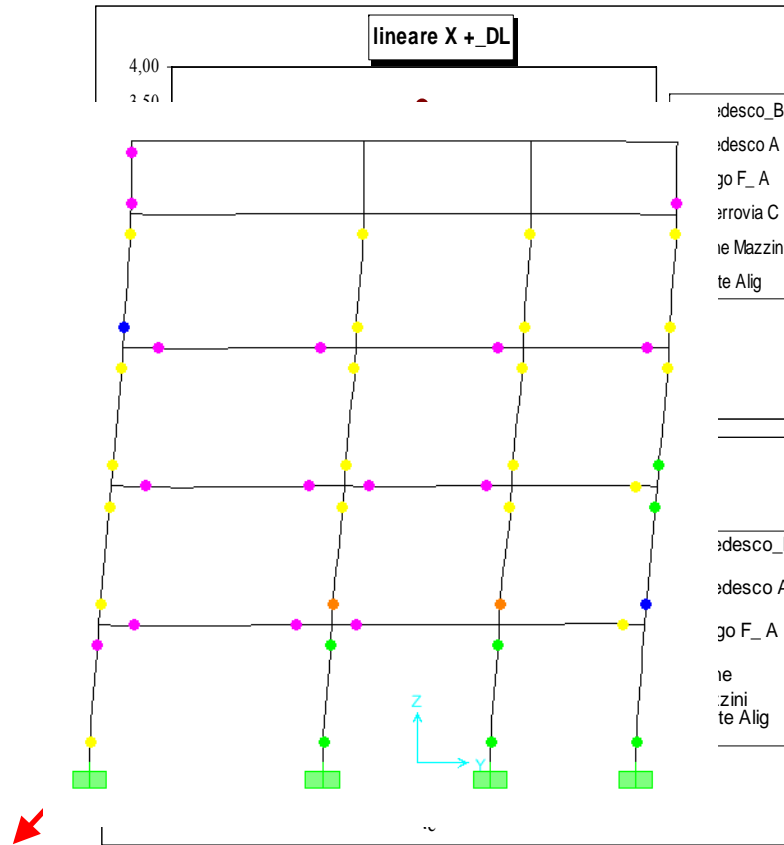
$\eta_{SL} \approx 1$:
Danneggiamento esteso.





COMMENTI SUI PARAMETRI DI α ED η

$$V_{DSP} = 1/\alpha_u$$



A valori di vulnerabilità elevata non si associano
 un parametro di vulnerabilità, preso singolarmente,
 non è sufficiente per esprimere un giudizio sul tipo
 di intervento da realizzarsi.

Indica un livello

diffuso



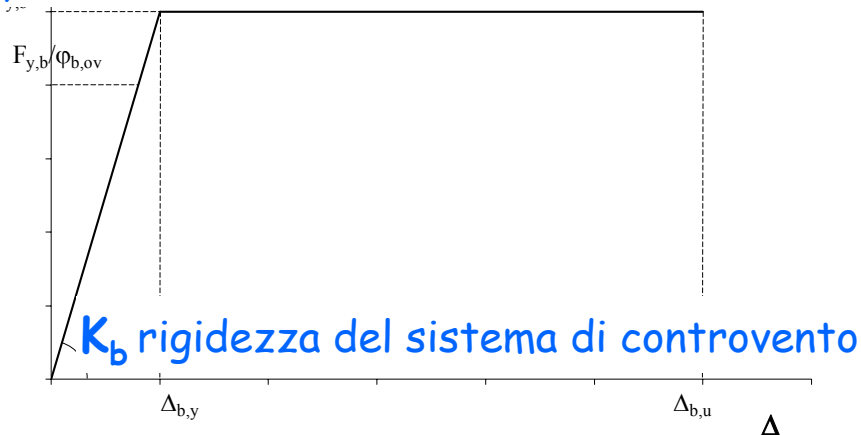
TECNICHE DI ADEGUAMENTO: Definizioni

Tecniche di intervento di tipo globale (structure-level techniques)

Consistono nella realizzazione di sottostrutture di controvento (controventi metallici di vario tipo, pareti in c.a.) da affiancare alla struttura esistente al fine di **ridurre la domanda** su di essa.

Dette sottostrutture possono essere descritte dalla loro curva di capacità posta in forma bilineare.

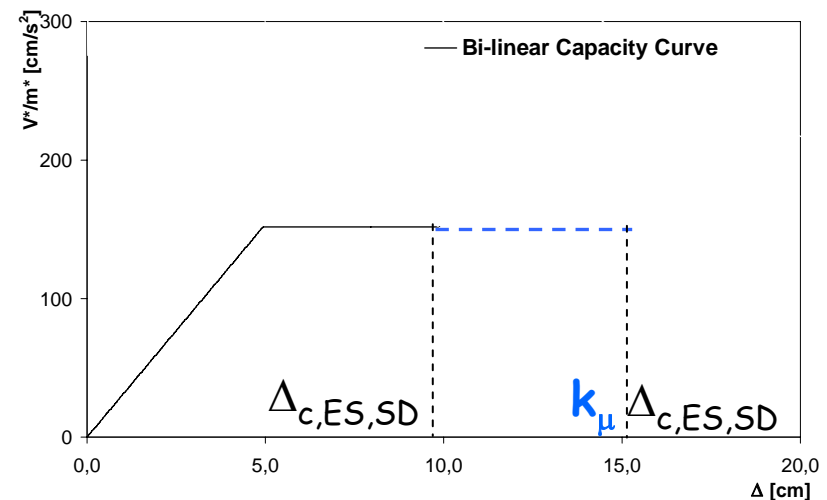
$F_{y,b}$ resistenza del sistema di controvento



Tecniche di intervento di tipo locale (member-level techniques)

Riguardano le membrature sulle quali è necessario **aumentare la capacità** (specialmente in termini di spostamento).

Il ricorso a questi interventi praticabili secondo varie soluzioni tecnologiche può essere praticato per aumentare la capacità di spostamento $\Delta_{c,ES,SD}$ a collasso della struttura di un fattore k_μ .





OBIETTIVI DI ADEGUAMENTO

Stato Limite di Limitazione del Danno (DL)

La condizione di adeguamento allo Stato Limite di Limitazione del Danno, consistente nella limitazione della domanda di spostamento all'interno dei valori dettati dalla struttura esistente e del conferimento di una opportuna soglia elastica al sistema di controvento, fornisce:

- una **limitazione inferiore per la rigidezza** del sistema di controvento

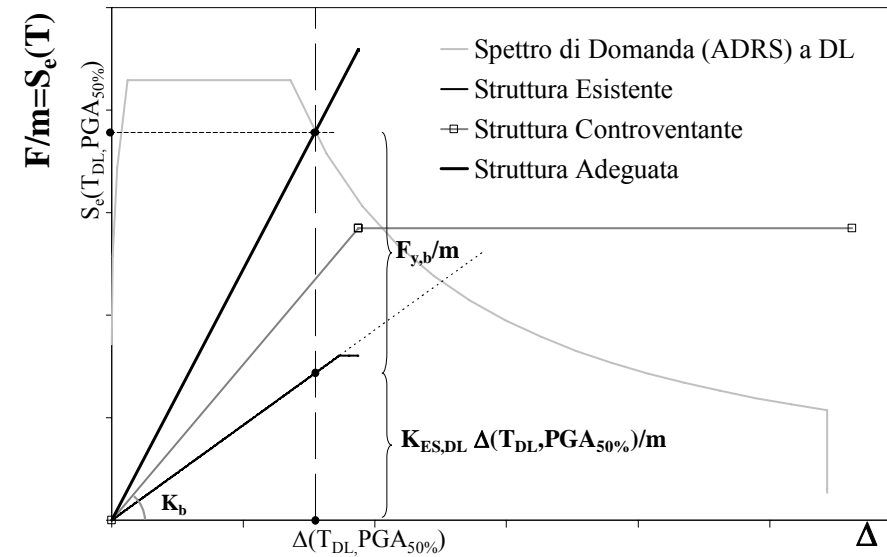
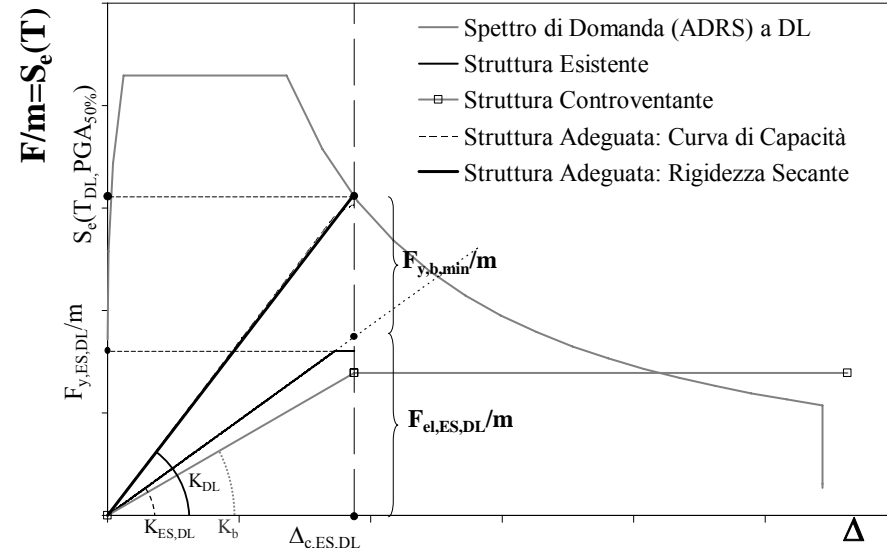
$$\kappa \geq \kappa_{min} = \kappa_{ov,ES} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_e^2} - 1 \right)$$

- un valore **minimo per la sua soglia elastica**:

$$\phi_{min} = \frac{\mu_{ES,DL} \cdot \kappa_{min}}{\phi_{ov,ES} \cdot \kappa_{ov,ES}} = \frac{\mu_{ES,DL}}{\phi_{ov,ES}} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_e^2} - 1 \right)$$

- un'espressione che lega rigidezza κ e resistenza ϕ al limite elastico del sistema di controvento:

$$\phi \geq \frac{\phi_{min}}{\alpha_e} \cdot \frac{\kappa / \kappa_{min}}{\sqrt{1 + \kappa / \kappa_{ov,ES}}} \quad (\text{eq. 1})$$





OBIETTIVI DI ADEGUAMENTO

Stato Limite di Danno Severo (SD)

La condizione di adeguamento allo Stato Limite di Danno Severo

$$\Delta_{d,SD} \leq \Delta_{c,SD}$$

può essere perseguita riducendo la domanda di spostamento $\Delta_{d,SD}$ tramite un aumento di rigidezza, ovvero aumentando la capacità di spostamento:

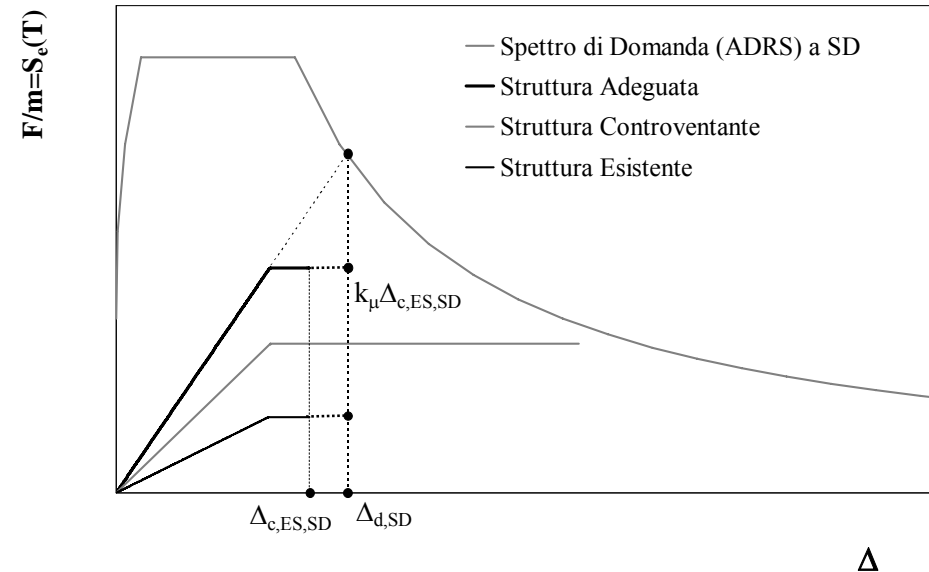
$$\Delta_{c,SD} = k_{\mu} \cdot \Delta_{c,ES,SD}$$

$$\Delta_{d,SD} = \left(\frac{T_{SD}}{2\pi} \right)^2 \cdot S_e(T_{SD}, PGA_{10\%})$$

Da queste due condizioni derivano:

- una limitazione superiore per la rigidezza del sistema di controvento

$$k_{\mu} \geq \frac{\sqrt{\frac{\phi^2}{\kappa} + 1}}{(1 + \phi) \cdot \alpha_u} \quad (\text{eq. 2})$$



- una relazione che lega rigidezza κ e resistenza ϕ del sistema di controvento ed aumento richiesto di capacità globale di spostamento k_{μ} :

$$\kappa \leq \kappa_{max} = \frac{\phi^2}{(1 + \phi)^2 \cdot \alpha_u^2 - 1}$$



DEFINIZIONE DELLA STRATEGIA

Condizione di Ottimo Economico

Poiché il generico intervento di adeguamento conseguito secondo l'impiego sinergico delle due tecniche menzionate risulta completamente definito dai tre parametri ϕ , κ e k_μ e, poiché solo due relazioni sono state ottenute da condizioni meccaniche, nel caso in cui $\kappa_{\min} < \kappa_{\max}$ esiste una infinità di soluzioni tecnicamente possibili.

Tra queste è possibile scegliere la soluzione che corrisponde all'ottimo economico una volta aver calibrato una funzione di costo genericamente esprimibile come segue:

(eq. 3)

$$C(\phi, \kappa, k_\mu) = C_\phi \cdot \phi + C_\kappa \cdot \kappa + C_\mu \cdot (k_\mu - 1) + C_0$$

essendo C_ϕ , C_κ e C_μ legati ai costi unitari dei materiali da utilizzare per realizzare gli interventi elementari e C_0 un termine costante eventualmente legato ai costi indiretti dell'intervento

Algoritmo di progetto dell'intervento di adeguamento

1) determinazione del valore κ_{\min} tramite la limitazione inferiore derivante dall'obiettivo di adeguamento allo Stato Limite di DL;

2) determinazione del valore κ che minimizza la funzione di costo tenendo conto anche della eq. 1 e della eq. 2:

$$\bar{\kappa} = \arg \min_{\kappa} [C(\phi(\kappa), \kappa, k_\mu(\kappa, \phi(\kappa)))]$$

$$\phi = \phi(\kappa) \quad \text{secondo la eq. 1}$$

$$k_\mu = k_\mu(\kappa, \phi(\kappa)) \quad \text{secondo la eq. 2}$$

3) verifica della condizione:

$$\bar{\kappa} \in [\kappa_{\min}, \kappa_{\max}]$$

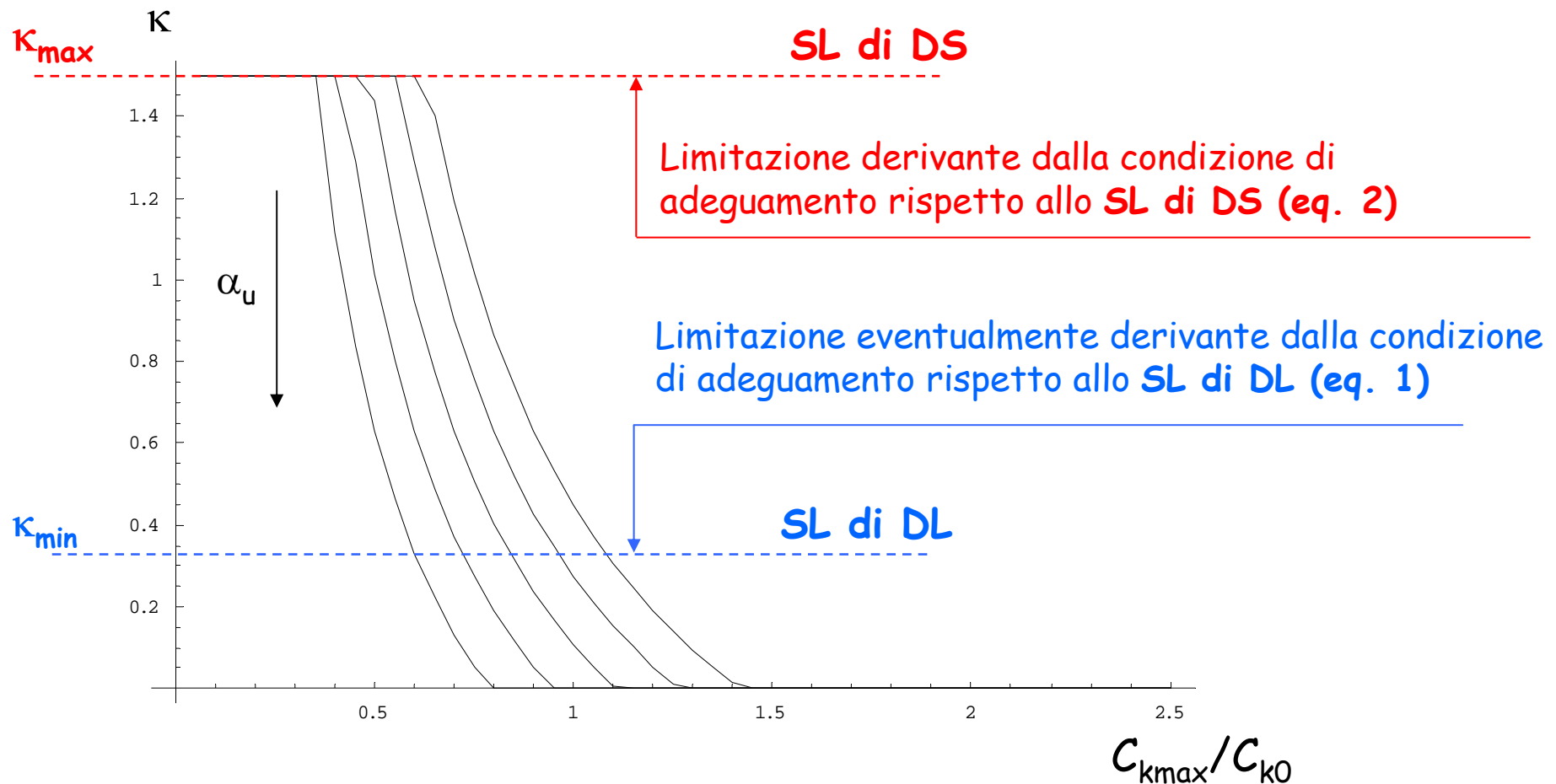
In definitiva il progetto dell'intervento di adeguamento viene descritto come problema di minimo vincolato.



DEFINIZIONE DELLA STRATEGIA

C_{k0} - costo dell'adeguamento eseguito con soli interventi locali ($\eta_{SD} n_{tot} C_{c,u}$);

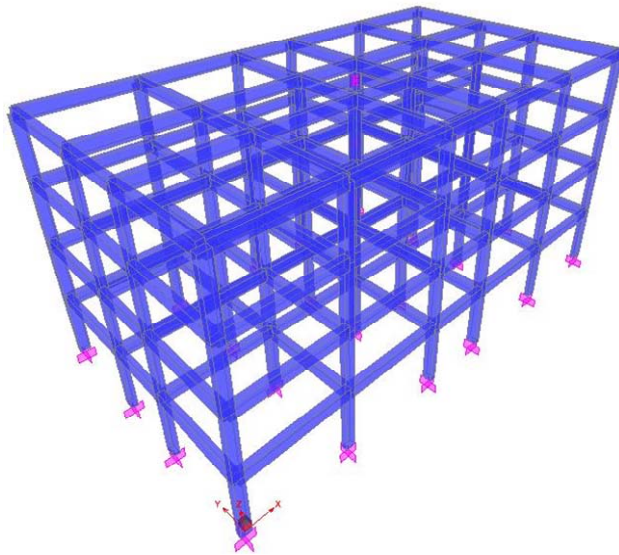
C_{kmax} - costo dell'adeguamento eseguito con soli interventi globali.





ESEMPIO APPLICATIVO/1

Valutazione della vulnerabilità



Parametro di vulnerabilità

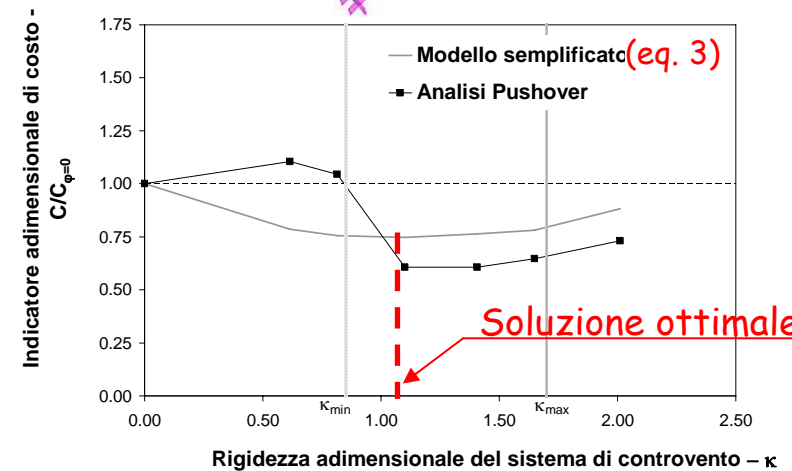
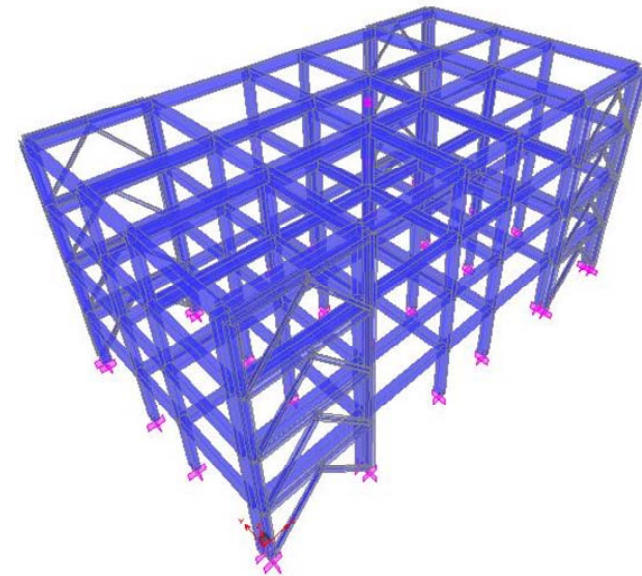
$$\alpha_e = 0.787$$

$$\alpha_u = 0.627$$

Indice di estensione del danno

$$\eta_{SD} = 0.157$$

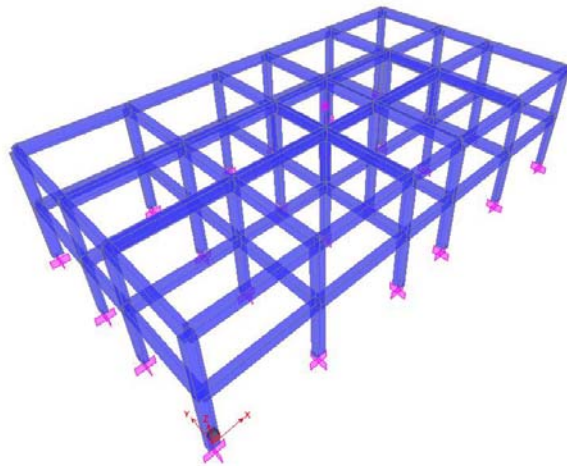
Progetto dell'intervento di adeguamento





ESEMPIO APPLICATIVO/2

Valutazione della vulnerabilità



Parametro di vulnerabilità

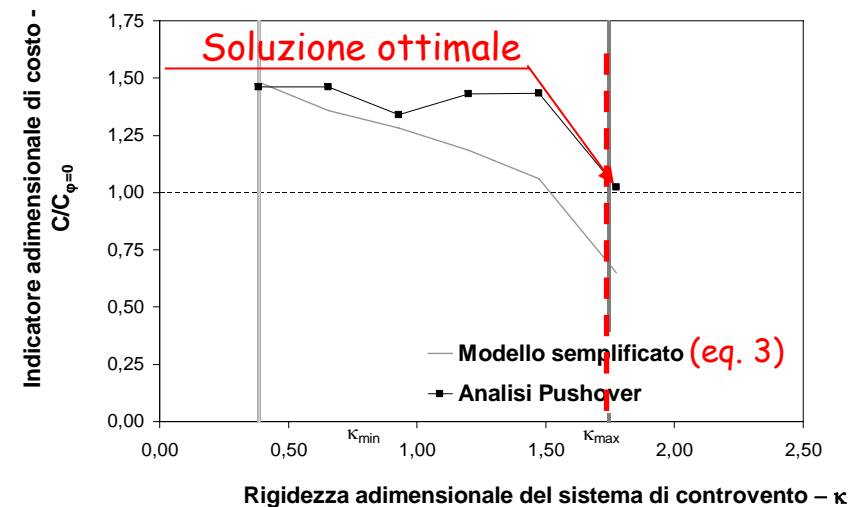
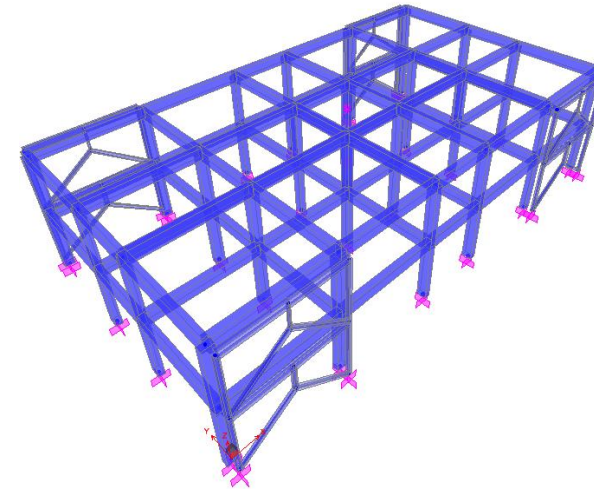
$$\alpha_e = 0.895$$

$$\alpha_u = 0.628$$

Indice di estensione del danno

$$\eta_{SD} = 0.169$$

Progetto dell'intervento di adeguamento





12-13 Febbraio 2007
Aula delle Lauree – Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Salerno – Fisciano

OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

- La caratteristica fondamentale del metodo proposto consiste nella definizione di **tre parametri adimensionali** che descrivono completamente un intervento di **adeguamento sismico** concepito combinando **due tecniche diverse agenti in maniera sinergica** nel ridurre la domanda sulla struttura esistente ed aumentarne la capacità.
- L'adeguamento della struttura viene concepito facendo riferimento a due diversi stati limite; in questo contesto, l'obiettivo di adeguamento allo Stato Limite di Danno Limitato (DL) può essere conseguito **soltanto tramite una riduzione della domanda sulla struttura** ottenuta grazie all'inserimento di un elemento di controvento (*structure-level technique*), mentre allo Stato Limite di Danno Severo (SD) è anche possibile **ipotizzare un incremento della capacità di spostamento** della struttura ottenibile tramite interventi locali (*member-level technique*) di confinamento sulle membrature meno duttili della struttura esistente.
- La scelta razionale dell'intervento di adeguamento avviene sulla base di **due relazioni di tipo meccanico ed una di tipo economico** per la quale è possibile ricercare una soluzione di minimo costo all'interno di un intervallo di ammissibilità per i parametri che lo definiscono.
- **Ulteriori generalizzazioni** possono essere ipotizzate e sono attualmente in fase di studio al fine di mettere a punto strategie basate su **un numero più ampio di tecniche** agenti in maniera sinergica o alternativa per conseguire la soluzione ottimale del problema di adeguamento sismico che, naturalmente, dipende massimamente dallo stato della struttura esistente e dagli obiettivi di performance da perseguire con l'adeguamento stesso.



12-13 Febbraio 2007
Aula delle Lauree – Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Salerno – Fisciano



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE
UFFICIO SERVIZIO SISMICO NAZIONALE

SCHEDA DI SINTESI DELLA VERIFICA SISMICA DI "LIVELLO 1" O DI "LIVELLO 2" PER GLI EDIFICI STRATEGICI AI FINI DELLA PROTEZIONE CIVILE O RILEVANTI IN CASO DI COLLASSO A SEGUITO DI EVENTO SISMICO
(Ordinanza n. 3274/2003 – Articolo 2, commi 3 e 4)

| 28) Indicatori di rischio | | | |
|--|---|--|--|
| Indicatore di rischio | | Valore dell'indicatore | |
| A | di collasso 1 (α_{u1}) | [] . [] [] [] = (PGA _{CO} /PGA _{2%}) | |
| B | di collasso 2 (α_{u2}) | [] . [] [] [] = (PGA _{DS} /PGA _{10%}) | |
| C | di inagibilità (α_e) | [] . [] [] [] = (PGA _{DL} /PGA _{50%}) | |
| 29) Previsione di massima di possibili interventi di miglioramento | | | |
| A | Criticità che condizionano maggiormente la capacità | 1 <input type="checkbox"/> fondazioni | 4 <input type="checkbox"/> sett. |
| | | 2 <input type="checkbox"/> travi | 5 <input type="checkbox"/> murature |
| B | <u>Interventi migliorativi prevedibili</u> | 3 <input type="checkbox"/> pilastri | 6 <input type="checkbox"/> solai |
| | | 7 <input type="checkbox"/> coperture | 8 <input type="checkbox"/> scale |
| C | Stima <u>dell'estensione</u> degli interventi in relazione alla volumetria totale della struttura | 9 <input type="checkbox"/> altro _____ | 7 <input type="checkbox"/> eliminazione spinte |
| | | 1 <input type="checkbox"/> interventi in fondazione | 8 <input type="checkbox"/> altro _____ |
| D | Stima dell' incremento di capacità conseguibile con gli interventi | 2 <input type="checkbox"/> aumento resist./dutt. sezioni | 9 <input type="checkbox"/> altro _____ |
| | | 3 <input type="checkbox"/> nodi/collegamenti telai | 6 <input type="checkbox"/> solai o coperture |
| C | Stima dell'estensione degli interventi in relazione alla volumetria totale della struttura | Codice intervento 1 [] [] | [] [] % percentuale volumetrica dell'edificio interessata |
| | | Codice intervento 2 [] [] | [] [] % percentuale volumetrica dell'edificio interessata |
| | | Codice intervento 3 [] [] | [] [] % percentuale volumetrica dell'edificio interessata |
| D | Stima dell' incremento di capacità conseguibile con gli interventi | 1 <input type="checkbox"/> SLCO | Codice intervento 1 [] PGA1 [] . [] [] approssimazione \pm [] . [] [] g |
| | | 2 <input type="checkbox"/> SLDS | Codice intervento 2 [] PGA2 [] . [] [] approssimazione \pm [] . [] [] g |
| | | 3 <input type="checkbox"/> SLDL | Codice intervento 3 [] PGA3 [] . [] [] approssimazione \pm [] . [] [] g |

Tecniche diverse di intervento inquadrabili in nell'ambito della strategia presentata



12-13 Febbraio 2007
Aula delle Lauree – Facoltà di Ingegneria
Università degli Studi di Salerno – Fisciano

FINE
Grazie per l'attenzione