



WORKSHOP

Materiali ed Approcci Innovativi per il Progetto in Zona Sismica e
la Mitigazione della Vulnerabilità delle Strutture

**Criteria semplificati di progetto per strutture miste
dotate di controventi dissipativi in gomma ad alto
smorzamento**



A. Dall'Asta, L. Dezi, G. Leoni e L. Ragni.



Salerno- 12-13 Febbraio 2007

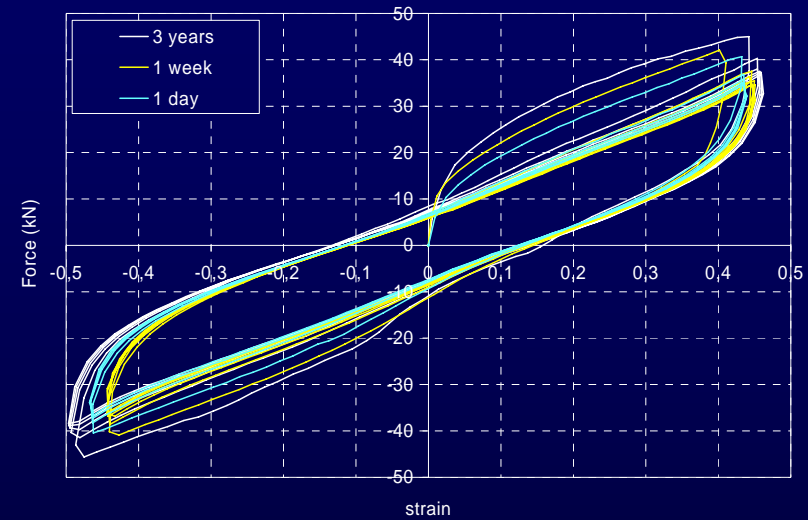
Sistemi di controllo passivo

PRIN 2002-2004 - Reluis L5 (Univpm) - L7 (Unicam)

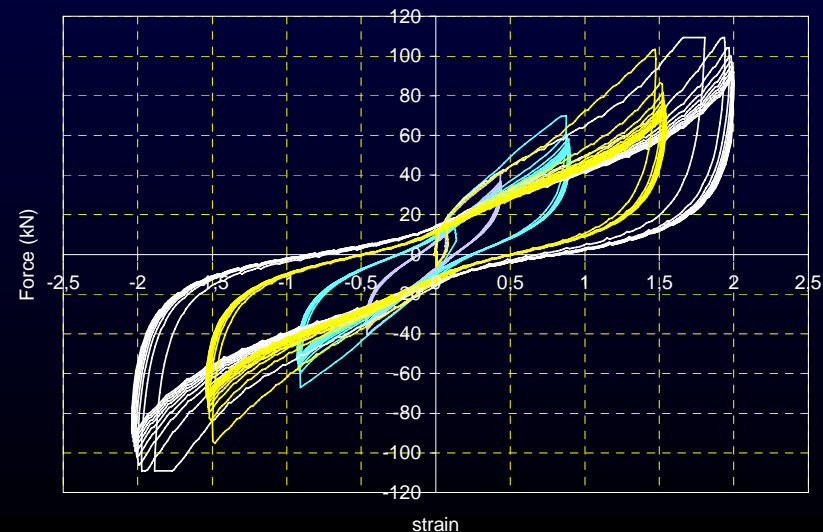
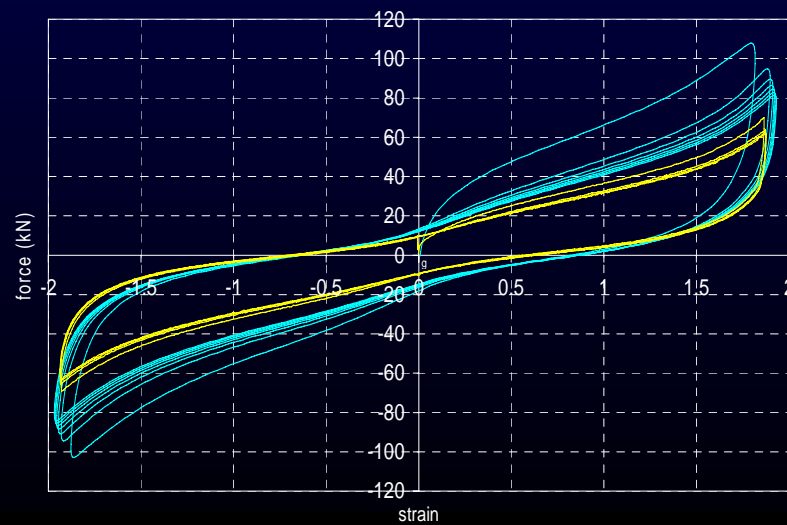
- Controventi dissipativi:
 - dispositivi in gomma ad alto smorzamento (HDR)
 - controventi metallici ad instabilità impedita (BRB)
- Prove sperimentali:
 - dispositivi (HDR, BRB)
 - strutture equipaggiate (prototipi di telaio)
- Definizione di modelli analitici (HDR, BRB)
- Definizione di **metodi semplificati** ed indicazioni progettuali



Effetto Mullin e proprietà di recupero



Dipendenza dalla velocità di carico e dall'ampiezza dei cicli



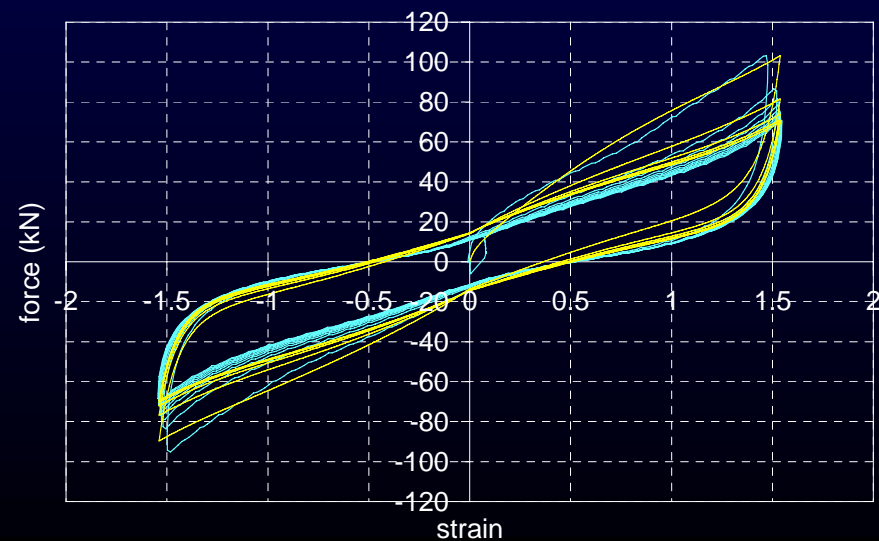
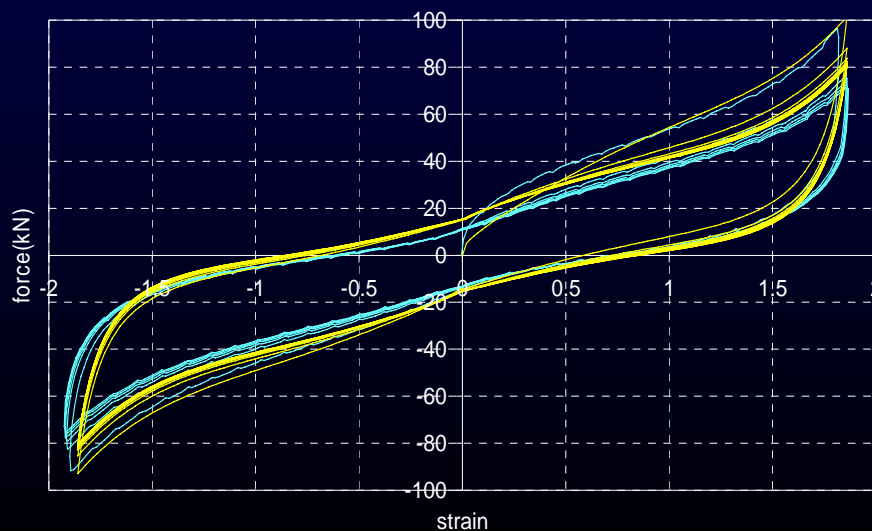
Legame viscoelastico non lineare degradante:

$$\tau = \tau_0 + \tau_m = \tau(\gamma, \dot{\gamma}, \alpha_i) \quad \text{con} \quad \dot{\alpha}_i = g_i(\gamma, \dot{\gamma}, \alpha_i)$$

Stabile $\tau_0 = \tau_0(\gamma, \dot{\gamma}, \gamma_{v1}, \gamma_{v2})$ Deformazioni anelastiche

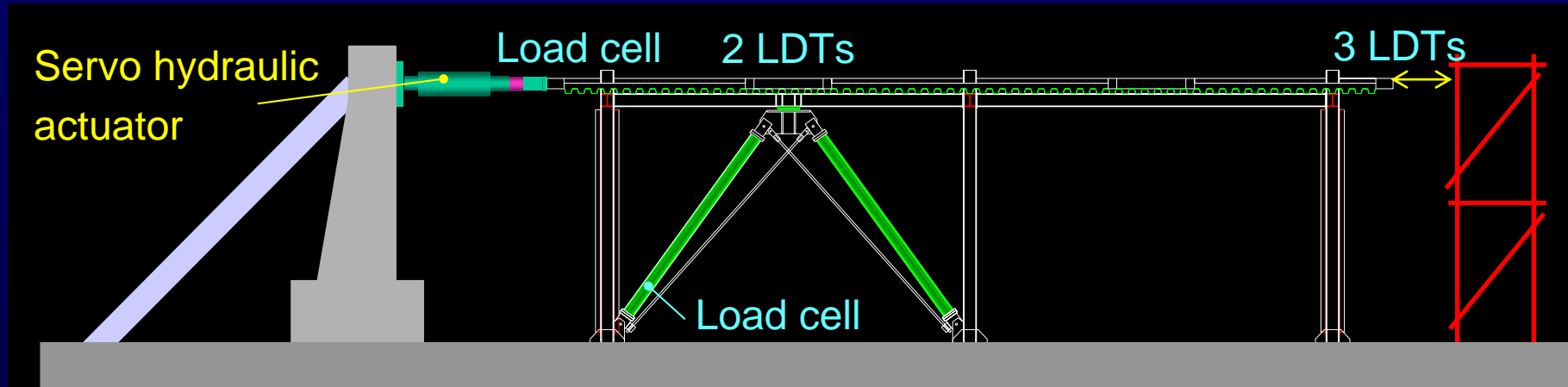
Transitorio $\tau_m = \tau_m(\gamma, \dot{\gamma}, \gamma_{v3}, q_e, q_v)$ Variabili di danneggiamento

Calibrazione del modello:

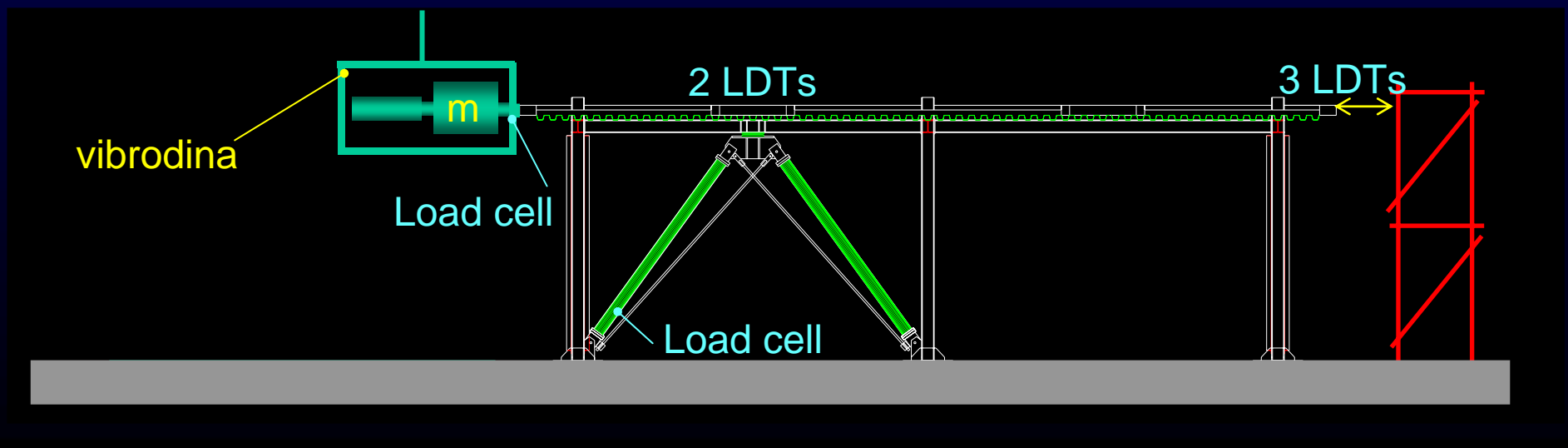


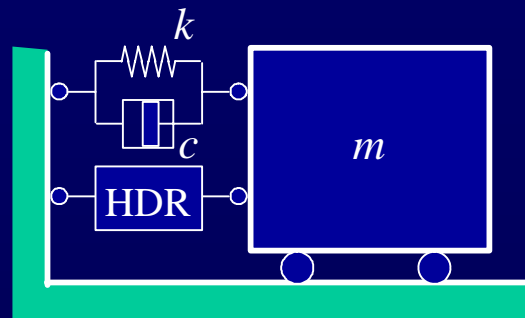
Prove a di snap-back

Prove cicliche a controllo di spostamento (0.5Hz – 1.5Hz)



Prove cicliche a controllo di forza (2.5Hz – 5.0Hz)





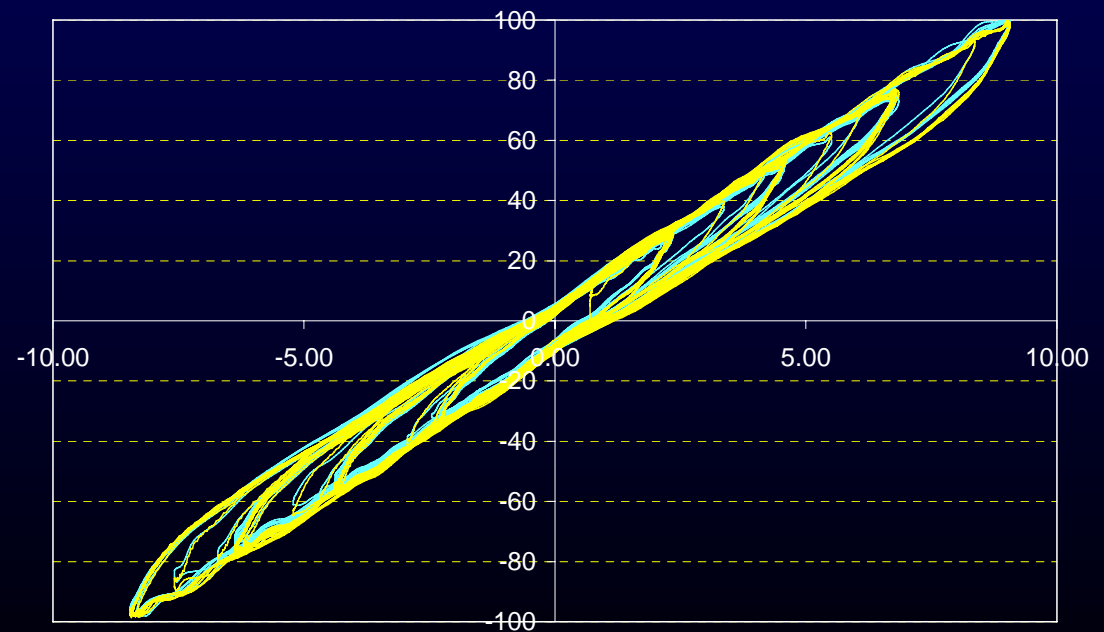
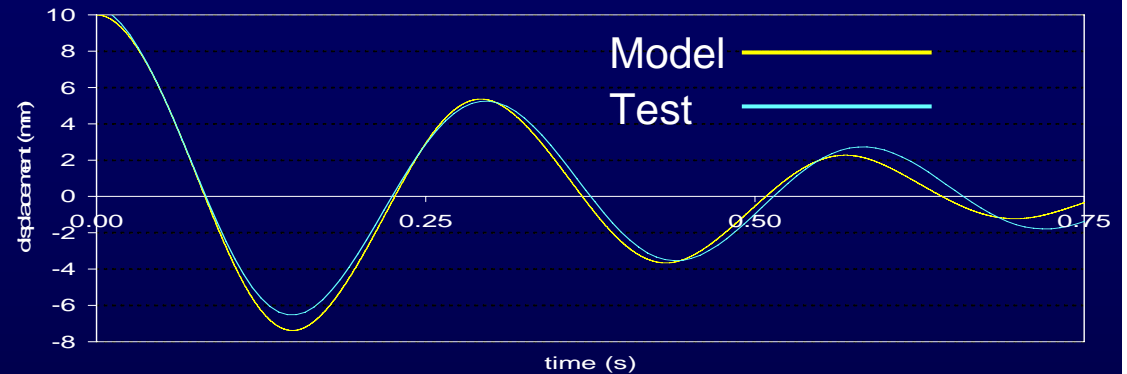
Variabili di stato:

$$\chi = \begin{bmatrix} u \\ v \\ \alpha_i \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{Spostamento} \\ \text{Velocità} \\ \text{Var. interne dissipatore} \end{array}$$

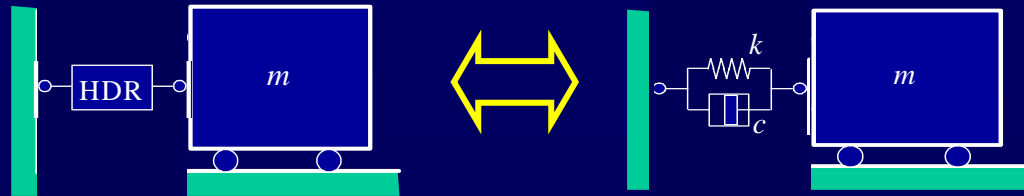
Evoluzione dello stato:

$$\dot{\chi} = \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{\alpha}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \\ -k_t u - c_t v - f_d(\chi) + f_d \\ g_i\left(\frac{u}{h}, \frac{v}{h}, \alpha_i\right) \end{bmatrix}$$

Confronto numerico sperimentale:



- Modello adeguato ma complesso per la progettazione
- Approcci semplificati suggeriti dalle Normative:
 - modelli elastoplastici equivalenti (FEMA356)
 - **modelli lineari viscoelastici equivalenti** (EC8, OPCM3431)
- Aspetti che necessitano approfondimenti:
 - riflessione sui **criteri di equivalenza** da adottare
 - valutazione dell'**affidabilità** di tali modelli nella progettazione sismica



Stato:

$$\chi = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

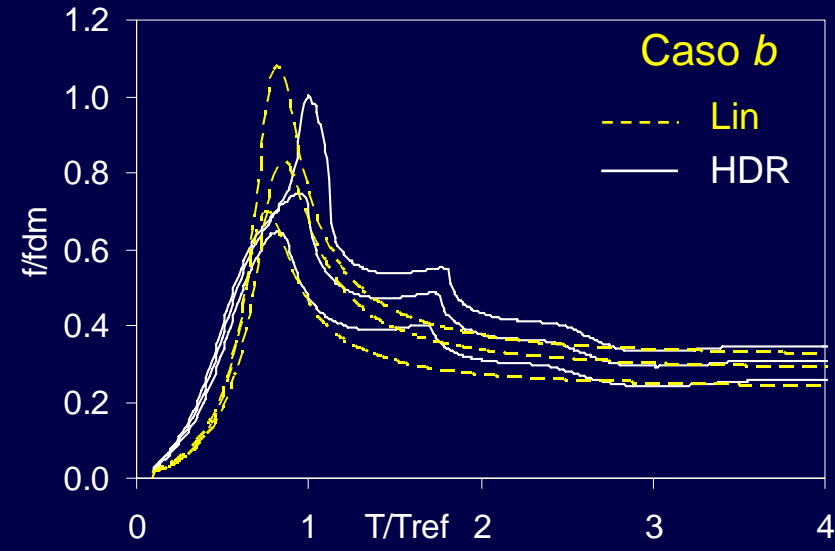
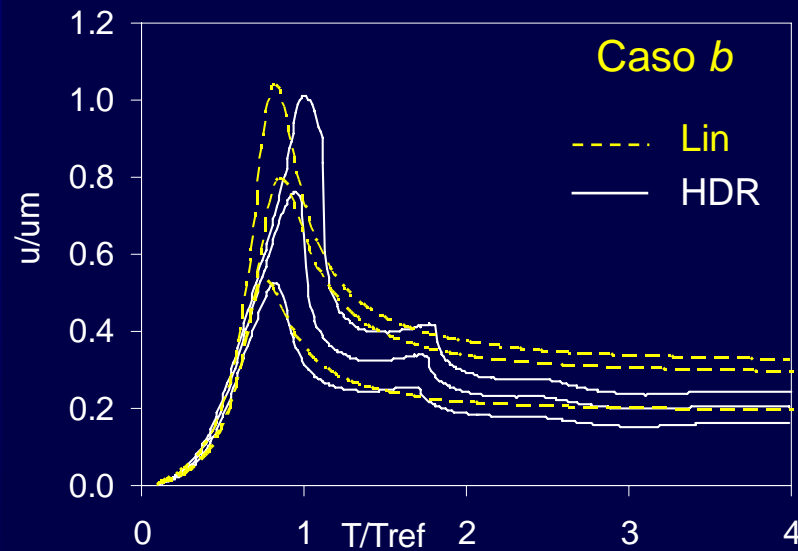
Evoluzione:

$$\dot{\chi} = \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \\ -ku - cy + f_e \end{bmatrix}$$

- Due **modelli limite** lineari (il materiale cambia durante il moto):
 - comportamento stabile
 - risposta iniziale (effetto Mullins)
- Definizione delle **condizioni di equivalenza** opportune ed applicabili ad entrambe le situazioni (due ma arbitrarie)
 - *Individuazione della situazione dinamica (moto) su cui chiedere l'equivalenza*
 - *stessa rigidezza in condizione estreme (spostamento massimo)*
 - *stessa energia dissipata in condizioni estreme (spostamento massimo)*
- Sistemi dinamici con risposta massima $T=0.5s$ (a), $T=1.0s$ (b), $T=2.0s$ (c) e deformazioni a taglio della gomma $\gamma = 1.0, 1.5, 2.0$



Risposta stabile - Analisi armonica



Condizioni di equivalenza:

$$k_s = \frac{f_d(T_m)}{u(T_m)}$$

e

$$W_d(T_m) = W_d^L(T_m^L)$$

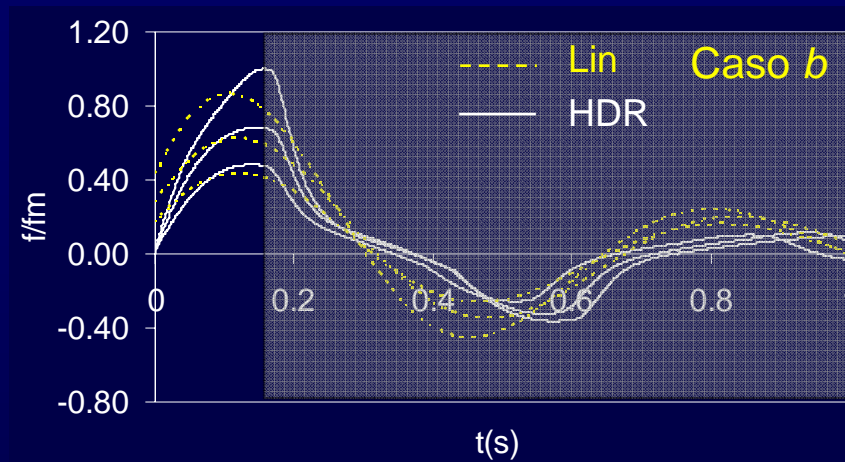
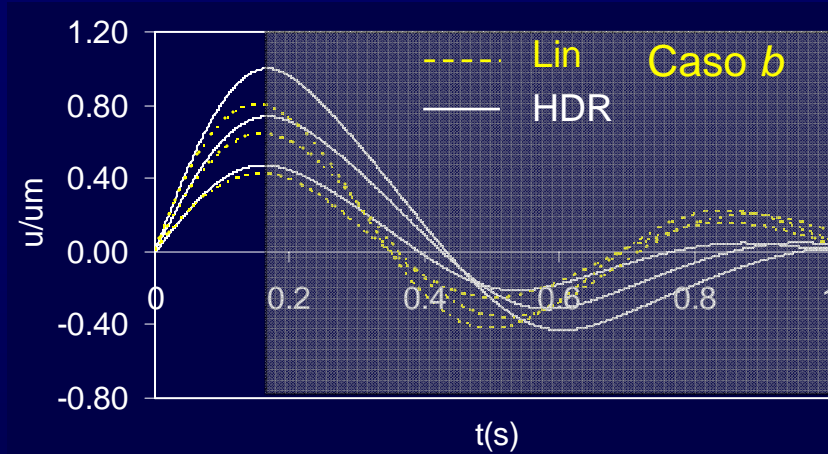
$$\left(\xi_s = \frac{W_d(T_m)}{2\pi k u_m^2} \right)$$

Parametri della gomma:

| | $\gamma=2$ | | $\gamma=1.5$ | | $\gamma=1$ | |
|--------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | G (N/mm ²) | ξ | G (N/mm ²) | ξ | G (N/mm ²) | ξ |
| Caso a | 0.866 | 0.147 | 0.857 | 0.175 | 1.010 | 0.172 |
| Caso b | 0.753 | 0.152 | 0.746 | 0.183 | 0.939 | 0.178 |
| Caso c | 0.672 | 0.147 | 0.660 | 0.183 | 0.883 | 0.178 |



risposta transitoria - Impulso

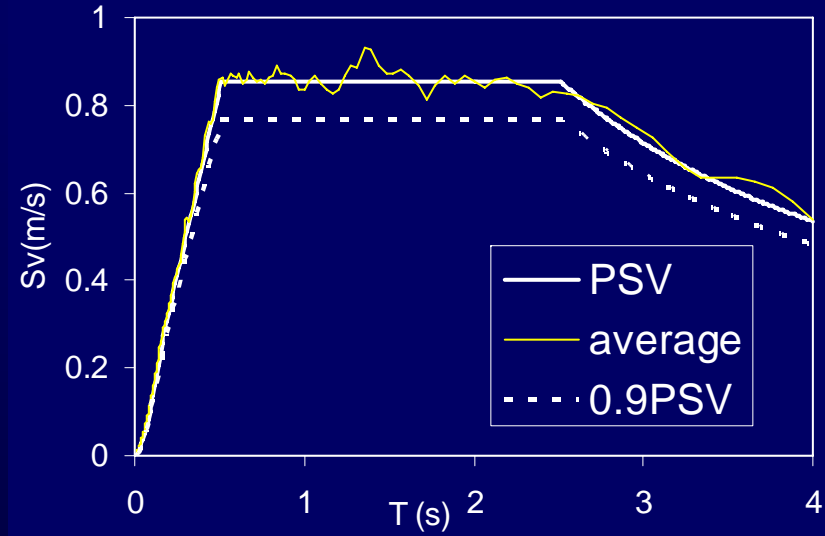


Condizioni di equivalenza: $k_s = \frac{f_d(t_1)}{u(t_1)}$ e $W_d(t_1) = W_d^L(t_1^L)$

Parametri della gomma:

| | $\gamma=2$ | | $\gamma=1.5$ | | $\gamma=1$ | |
|--------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | G (N/mm ²) | ξ | G (N/mm ²) | ξ | G (N/mm ²) | ξ |
| Caso a | 1.202 | 0.167 | 1.119 | 0.144 | 1.170 | 0.128 |
| Caso b | 1.087 | 0.199 | 1.005 | 0.174 | 1.074 | 0.156 |
| Caso c | 0.972 | 0.197 | 0.895 | 0.171 | 0.972 | 0.155 |

Analisi dinamiche (7 accelerogrammi spettrocompatibili)



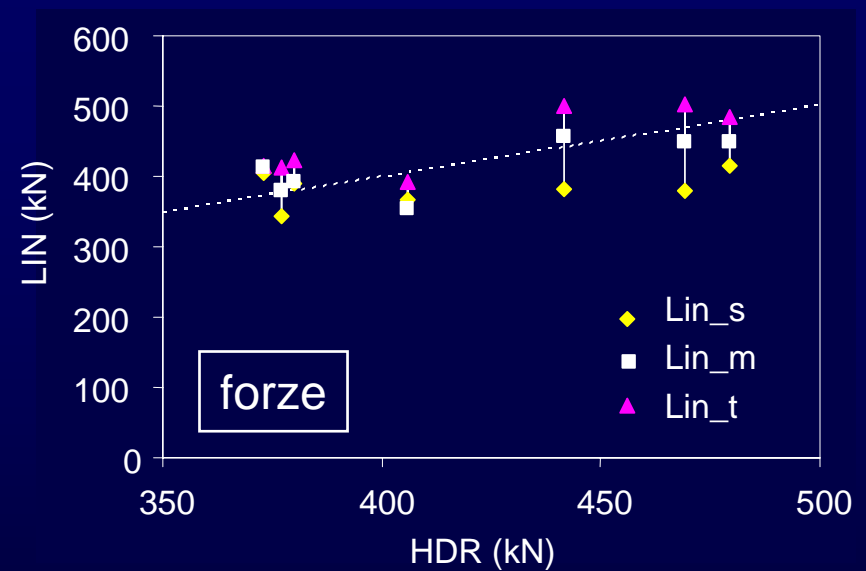
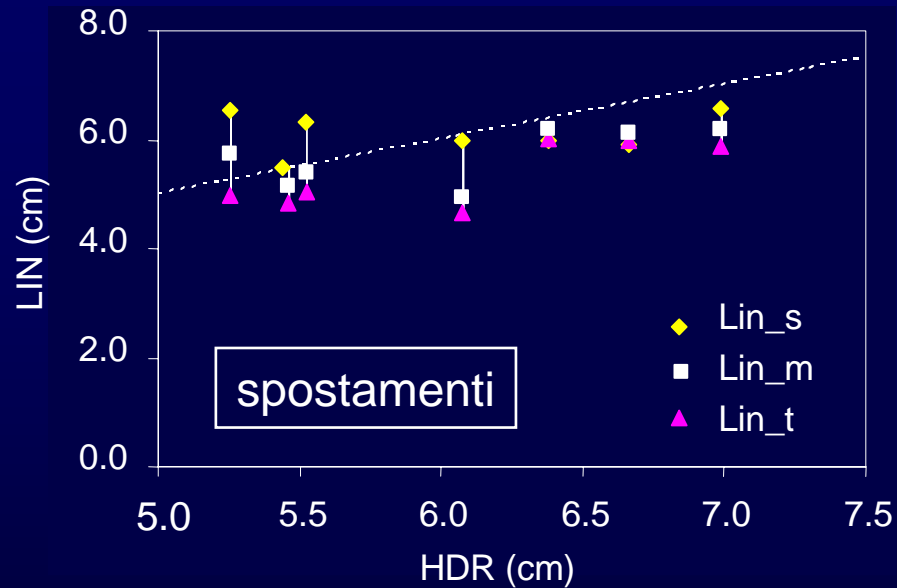
Spettro OPCM3431
Zona 1- terreno BCE
 $T_D=2.5$ s

Progetto dei dissipatori (h^*A^*) e determinazione dei modelli lineari equivalenti

$\gamma = 1.5$

| | HDR | | Lin_s | | Lin_t | | Lin_m | |
|--------|-------|--------------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | h^* | A^* | k_s | ξ_s | k_t | ξ_t | k_m | ξ_m |
| | (mm) | (mm ²) | (N/mm) | | (N/mm) | | (N/mm) | |
| Caso a | 14 | 437920 | 26800 | 0.175 | 35000 | 0.144 | 30900 | 0.1595 |
| Caso b | 40 | 312800 | 5830 | 0.183 | 7860 | 0.174 | 6850 | 0.1785 |
| Caso c | 85 | 166180 | 1290 | 0.183 | 1750 | 0.171 | 1520 | 0.177 |

Risultati dei singoli accelerogrammi (caso b) :



Risultati medi ottenuti:

| | Non Lineare | | Lin s | | Lin t | | Lin m | |
|--------|-------------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | sp. medio | f. media | sp.medio | f.media | sp.medio | f.media | sp.medio | f.media |
| | (cm) | (kN) | (cm) | (kN) | (cm) | (kN) | (cm) | (kN) |
| Caso a | 2.14 | 652 | 2.27 | 641 | 1.96 | 695 | 2.08 | 668 |
| Caso b | 6.05 | 418 | 6.12 | 383 | 5.34 | 446 | 5.67 | 413 |
| Caso c | 12.75 | 207 | 12.49 | 182 | 11.31 | 215 | 11.95 | 199 |

Risultati:

- Criteri di equivalenza proposti applicabili sia alla risposta stabile che al transitorio (2 sistemi dinamici lineari)
- Descrizione approssimata del comportamento dinamico entro limiti accettabili (risposta armonica, risposta transitoria)
- Nell' analisi sismica (S-DoF) i sistemi lineari forniscono in media i limiti superiori e inferiori della risposta
- Range di analisi ampio: $\gamma = 1.0$ a $\gamma = 2.0$ e $T=0.5s$ a $T=2.0s$

Sviluppi futuri:

- Affidabilità su sistemi M-DoF .
- Affidabilità dei modelli lineari allontanandosi dalle ipotesi di definizione (T, u)