

Sala Convegni Area Fiera
Via Fazzatoia,50 - Gravina in Puglia (BA)



OIBA
ORDINE DEGLI INGEGNERI
della Provincia di Bari



ORDINE DEGLI ARCHITETTI, PIANIFICATORI, PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DELLA PROVINCIA DI BARI



CITTÀ DI
GRAVINA IN PUGLIA

VERSO LA CIRCOLARE ESPLICATIVA ALLE NTC 2018



Politecnico di Bari

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale,
del Territorio, Edile e di Chimica



Prof. Ing. Domenico RAFFAELE
domenico.raffaele@poliba.it

ASPETTI GENERALI PER LA PROGETTAZIONE dei PONTI



Domenico RAFFAELE
Politecnico di Bari



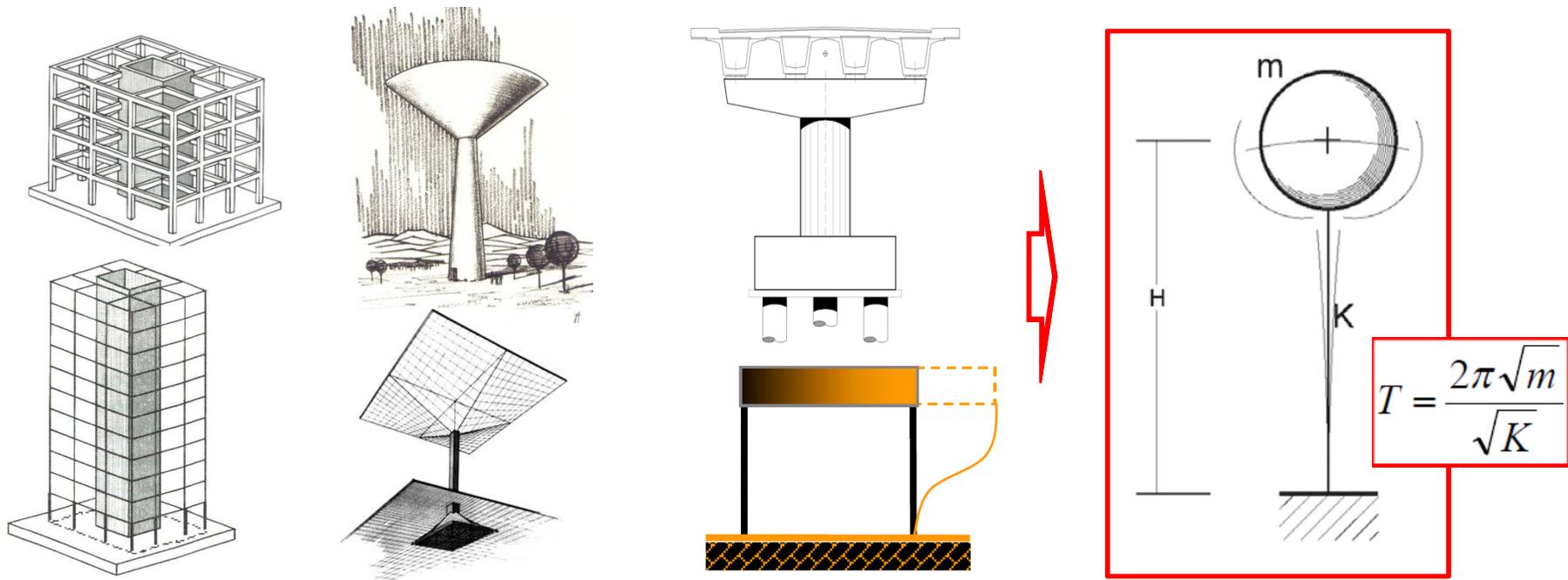
Gravina di P. 1° novembre 2018

Obiettivo della progettazione antisismica

l'obiettivo della progettazione antisismica coincide con la finalità da raggiungere sempre nella progettazione strutturale, e cioè il rispetto della disequazione:

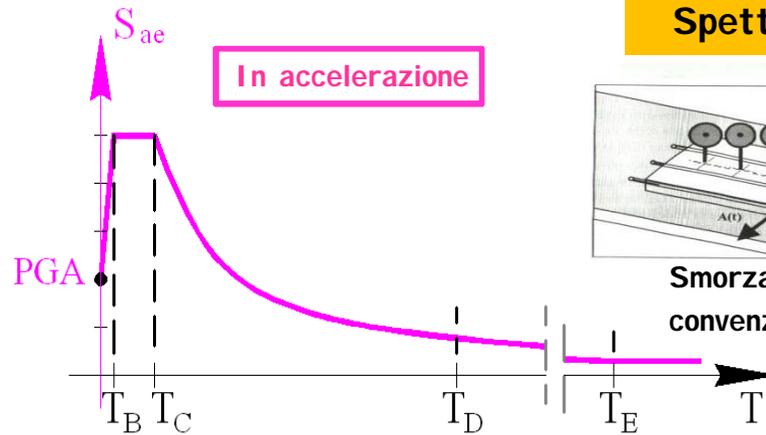
$$CAPACITA' \geq DOMANDA$$

Analizzeremo i temi concettuali coinvolti nella progettazione antisismica riferendoci a **strutture semplici a comportamento ELASTO-PLASTICO** riconducibili a **SISTEMI 1GDL**

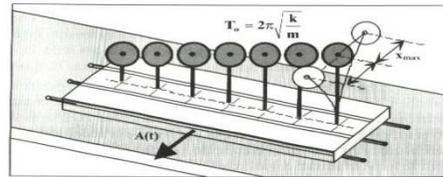


DOMANDA

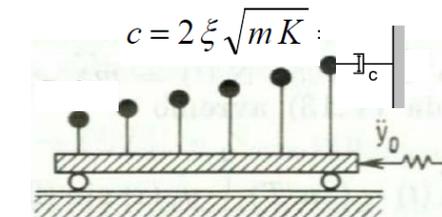
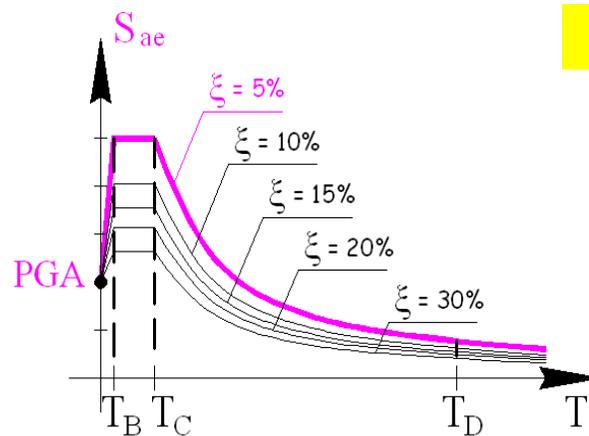
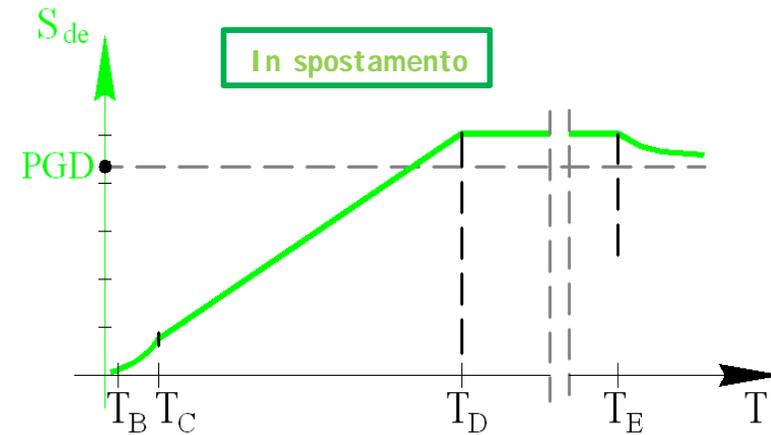
In termini di domanda l'azione sismica viene sintetizzata in forma spettrale: gli SPETTRI di RISPOSTA in Accelerazione e Spostamento ne sono gli strumenti operativi.



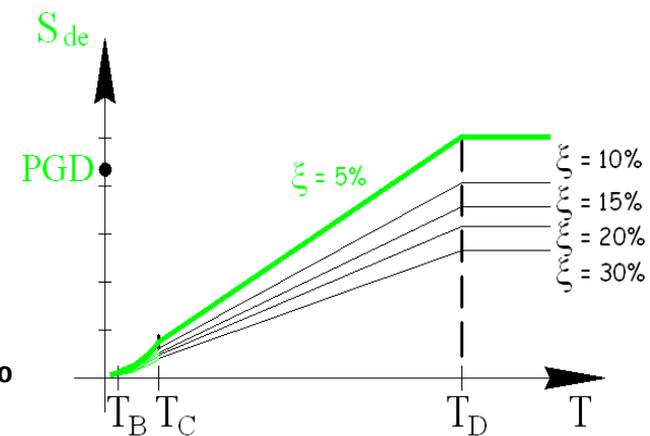
Spettri Elastici



Smorzamento viscoso
convenzionale $\xi = 5\%$



Risposta di sistemi elastici
caratterizzati da smorzamento
viscoso equivalente $\xi > 5\%$



DOMANDA

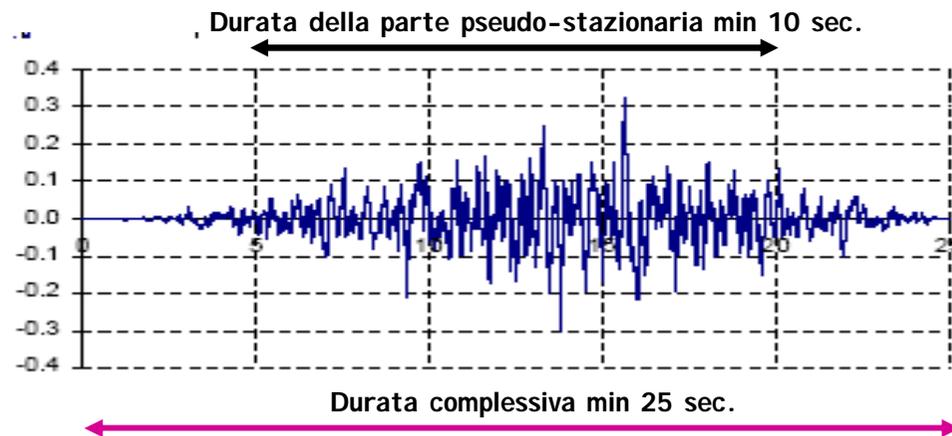
In alternativa gli SLU ed SLE, possono essere verificati mediante l'uso di **ACCELEROGRAMMI**

- **Artificiali**
- **Simulati**
- **Naturali**

Gli **accelerogrammi artificiali** devono avere uno spettro di risposta elastico coerente con lo spettro di domanda (SPETTRO-COMPATIBILI)

L'uso di **accelerogrammi simulati** è ammesso se giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione

Gli **accelerogrammi registrati** devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.



APPROCCI PROGETTUALI IN ZONA SISMICA

$$CAPACITA' \geq DOMANDA$$

La **PROGETTAZIONE CONVENZIONALE** punta ad intervenire sul fronte della **CAPACITÀ STRUTTURALE**

in questo ambito, si persegue la finalità di modulare nella maniera più conveniente possibile le tre caratteristiche fondamentali della struttura che sono **RIGIDEZZA, RESISTENZA e DUTTILITÀ**

La progettazione convenzionale adotta la filosofia dell' **ACCETTAZIONE DEL DANNO** (in virtù del ruolo fondamentale giocato dalla duttilità)

La **PROGETTAZIONE NON-CONVENZIONALE**, piuttosto che affidarsi ad un incondizionato incremento di capacità, punta alla drastica **riduzione della DOMANDA**, cioè alla riduzione delle forze sismiche agenti sulla struttura.

Gli strumenti più efficaci oggi disponibili nella progettazione antisismica sono rappresentati dall' **ISOLAMENTO SISMICO** e dalla **DISSIPAZIONE DI ENERGIA**,



PROGETTAZIONE CONVENZIONALE

Strategia dell'ACCETTAZIONE e CONTROLLO del DANNO

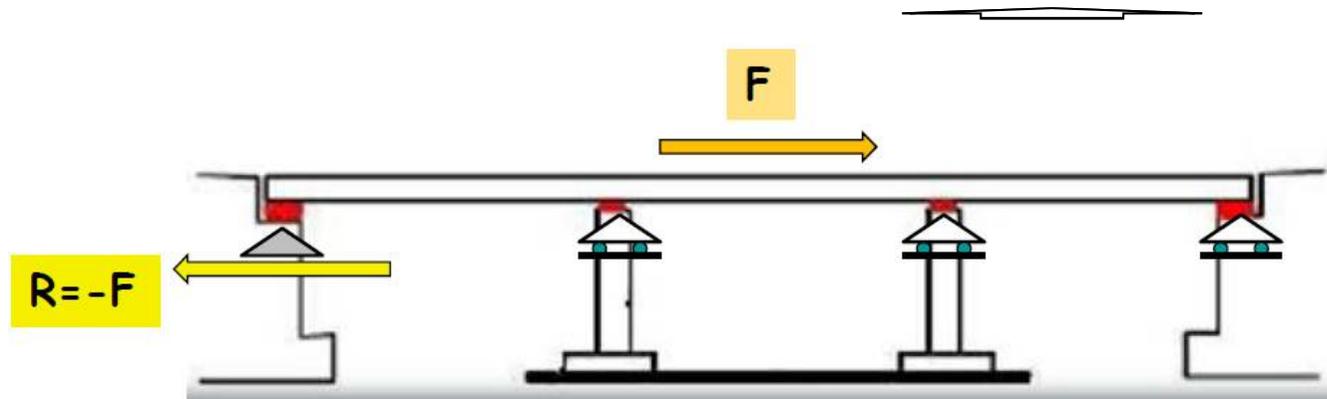
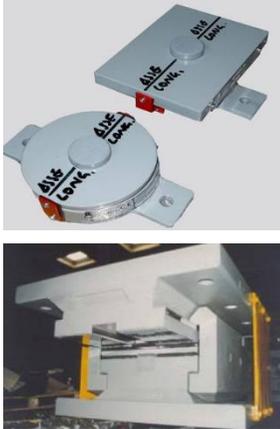


7	PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE
7.1	REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE.....
7.2	CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE .
7.3	METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA .
7.4	COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO
7.5	COSTRUZIONI D'ACCIAIO..
7.6	COSTRUZIONI COMPOSTE DI ACCIAIO-CALCESTRUZZO
7.7	COSTRUZIONI DI LEGNO
7.8	COSTRUZIONI DI MURATURA
7.9	PONTE

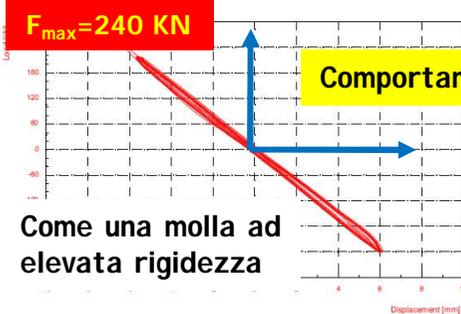


Strategie nella Progettazione CONVENZIONALE dei PONTI

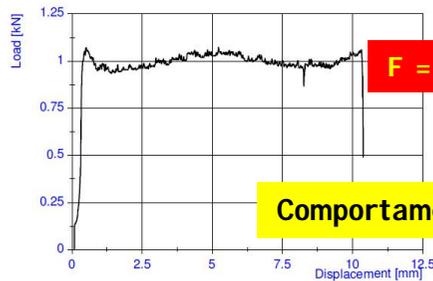
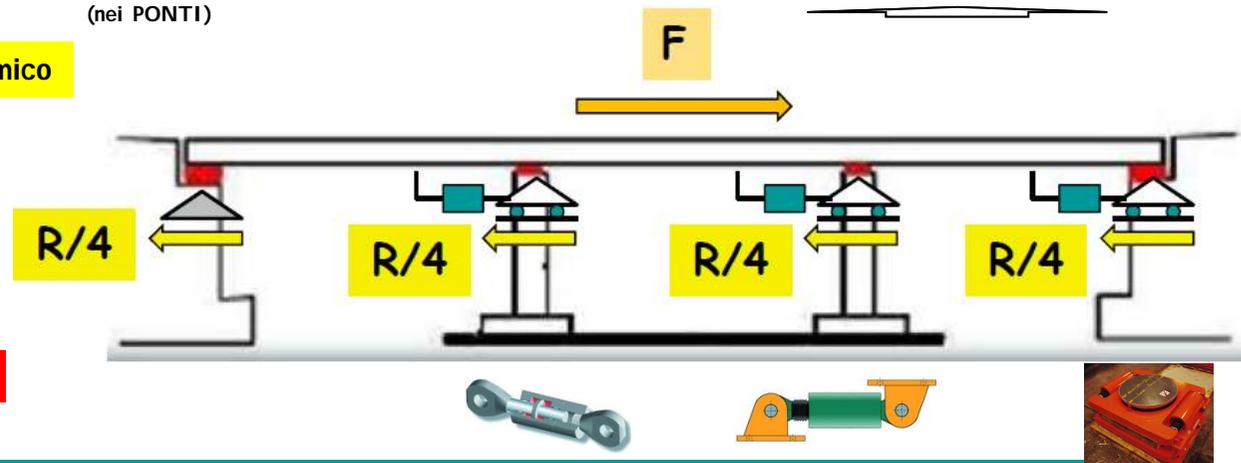
Strategia dei VINCOLI RIGIDI



Strategia dei VINCOLI AUSILIARI TEMPORANEI



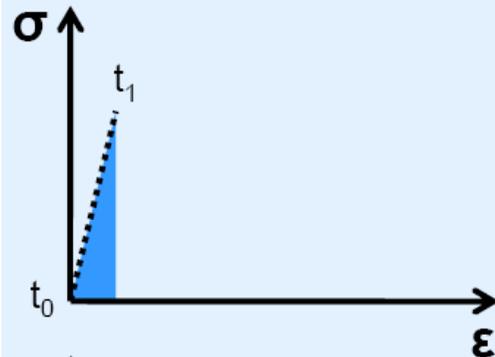
(nei PONTI)



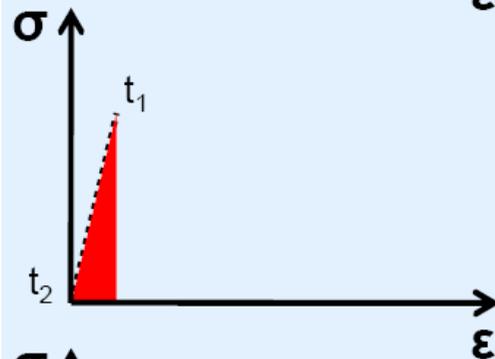
Modalità di Risposta di una struttura sotto attacco sismico

1

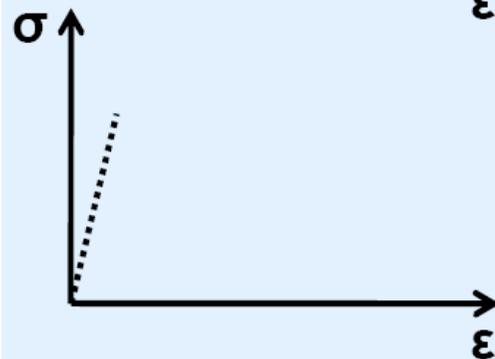
comportamento strutturale **NON DISSIPATIVO**



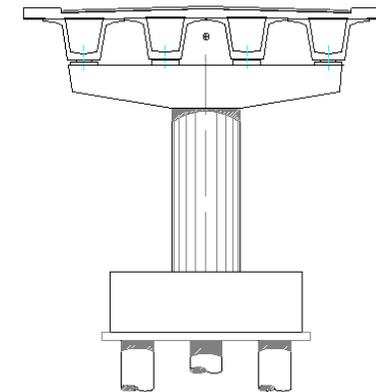
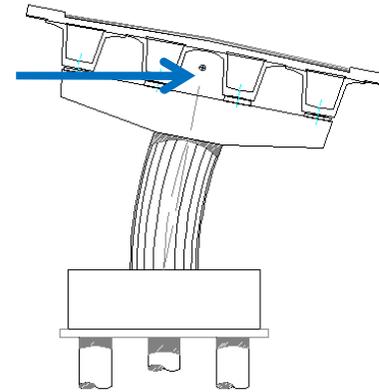
Fase di carico: l'energia assorbita in fase di carico è pari all'area triangolare sottesa dal diagramma σ - ϵ



Fase di scarico: la struttura ripercorre in senso inverso il diagramma σ - ϵ restituendo l'energia assorbita nella fase di carico

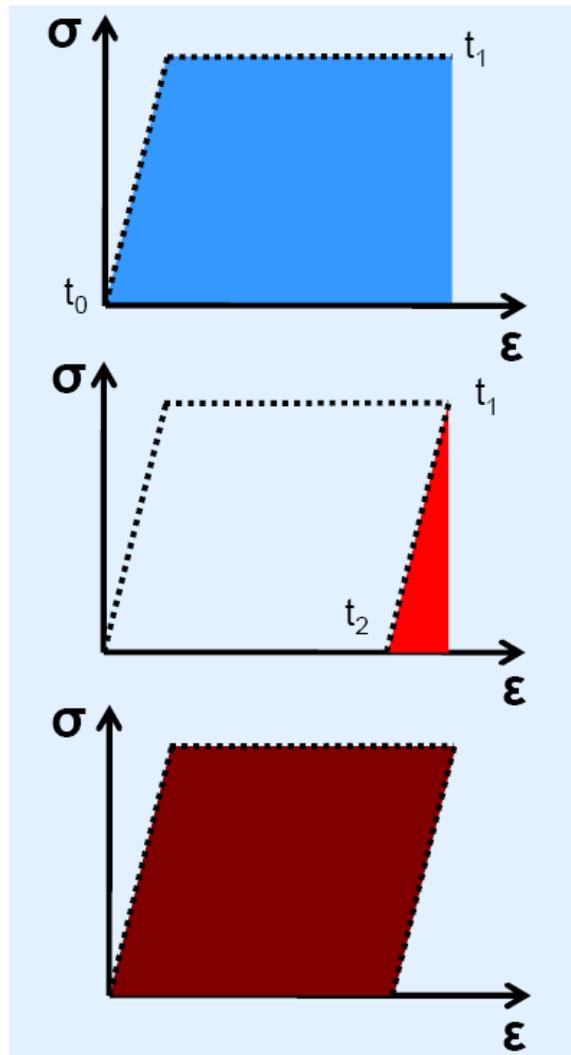


L'energia totale dissipata nel ciclo di carico scarico è nulla. Essa è data dalla differenza fra l'energia assorbita in fase di carico e l'energia restituita in fase di scarico



2

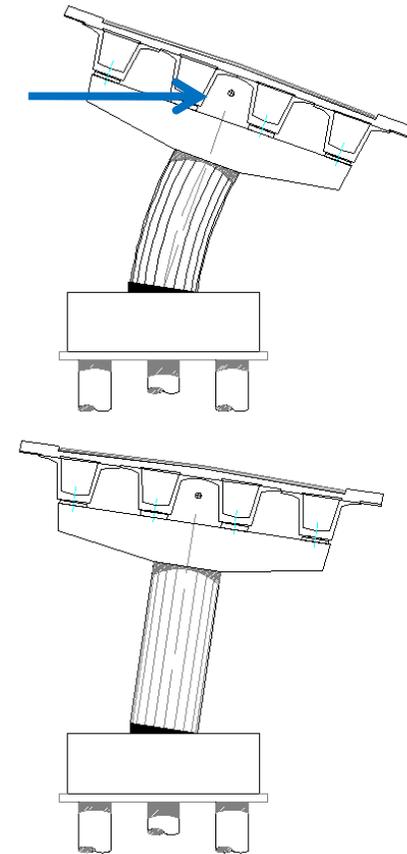
comportamento strutturale **DISSIPATIVO**



Fase di carico: l'energia assorbita in fase di carico è pari all'area sottesa dal diagramma σ - ϵ

Fase di scarico: il diagramma di scarico è parallelo al tratto elastico iniziale. Rimane una deformazione plastica permanente. L'energia restituita è pari al triangolo sotteso dal diagramma σ - ϵ

L'energia totale dissipata nel ciclo di carico scarico è notevole. Essa è data dalla differenza fra l'energia assorbita in fase di carico e l'energia restituita in fase di scarico ed è associata all'entità delle **deformazioni plastiche permanenti**.



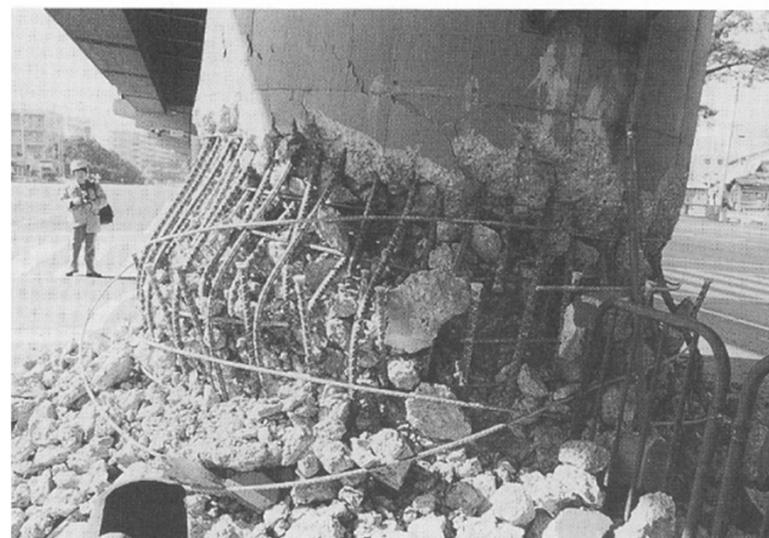
CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE CONVENZIONALE

L'osservazione degli eventi sismici nel mondo ci ha insegnato che, nell'ambito degli Attacchi Sismici a LUNGO PERIODO di RI TORNO (SLV, SLC), una progettazione in campo ELASTICO è assolutamente ANTI ECONOMICA,

10%

5%

Probabilità di superamento nel periodo di riferimento



contrariamente al caso dei sismi a breve periodo di ritorno (SLO, SLD) per i quali si progetta in campo non-dissipativo

81%

63%

La principale domanda in tema di Progettazione Antisismica è:

Di quanto l'accettazione del **DANNO** (fuoriuscita dal campo lineare) ci consente di **RIDURRE LA CAPACITA'** della struttura ?



In una filosofia progettuale basata sull'**ACETTAZIONE DEL DANNO**, lo **spostamento richiesto** e le modalità con le quali è attinto con l'ingresso della struttura in campo non-lineare rappresentano i più logici **parametri progettuali di partenza**

DDBD

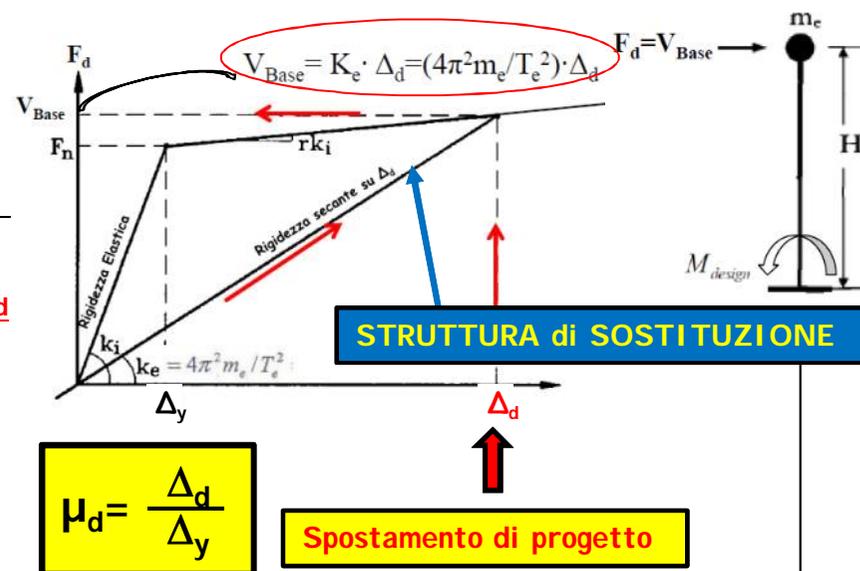
L'essenza dell'approccio agli spostamenti (DDBD) è quello di caratterizzare il comportamento globale della struttura mediante la definizione di una **struttura elastica equivalente 1GDL** :

- ⇒ • di **rigidezza** coincidente con la **rigidezza secante K_e** corrispondente allo spostamento di progetto imposto alla struttura
- ⇒ • e con **capacità dissipativa** sintetizzata in uno **smorzamento viscoso equivalente ξ^*** (rappresentativo dello smorzamento elastico e di quello isteretico) direttamente correlato con la **ductilità del sistema al raggiungimento dello spostamento di progetto**

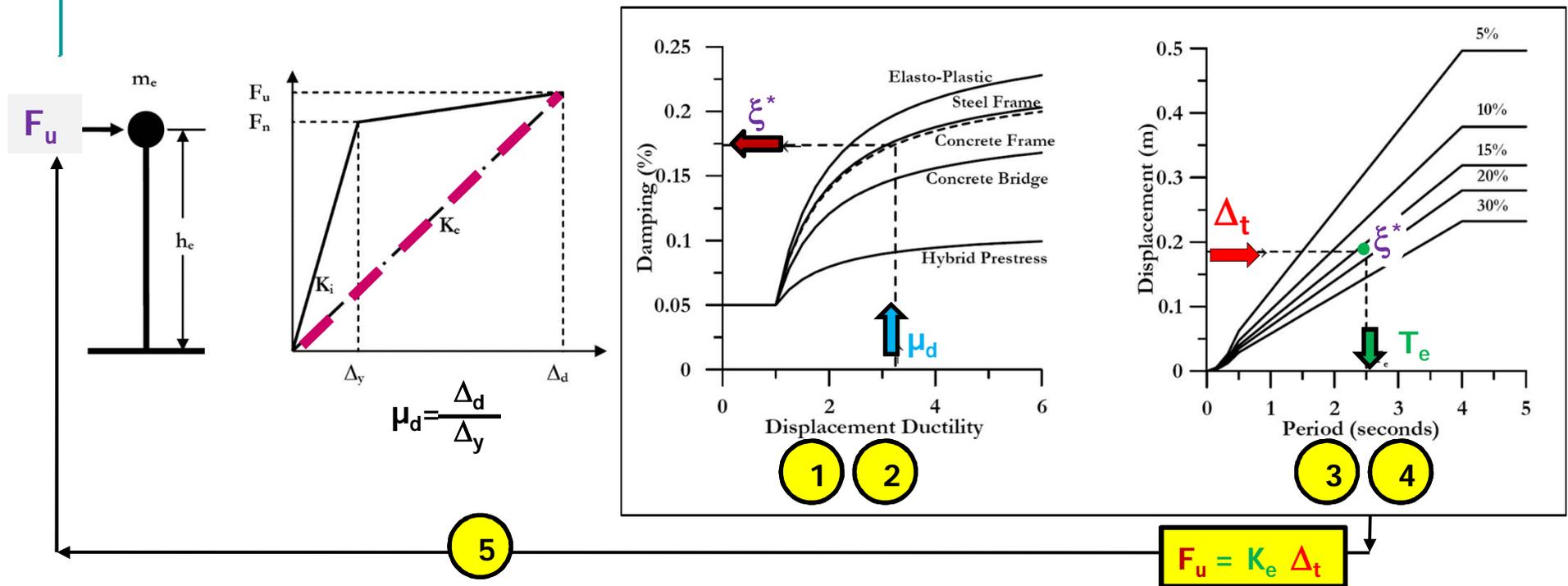
Principi generali fondanti il DDBD

Il progetto si basa su uno spostamento target, Δ_d

- Lo **spostamento target** è definito da **sostenibilità dello spostamento**; o **criterio di capacità ultima**.
- La "**struttura di sostituzione**" utilizza:
 - **rigidezza efficace al massimo spostamento**
 - **smorzamento efficace sulla base dell'energia d'isteresi dissipata**.



Processo iterativo di progettazione secondo il DDBD



- 1 Si fissa un **duettilità** μ_d di tentativo;
- 2 Si valuta in funzione della tipologia lo **smorzamento viscoso equivalente** ξ^* ;
- 3 Noto lo **spostamento obiettivo** Δ_t , dallo spettro in spostamento sovrasmorzato (ξ^*) si valuta il **periodo** T_e , quindi la **rigidezza secante** $K_e = M (2\pi/T_e)^2$;
- 4 Si valuta la **resistenza** $F_u = K_e \Delta_t$ e **si progetta il sistema reale**;
- 5 Si confronta **la duettilità di progetto** μ_d con **quella di tentativo**.

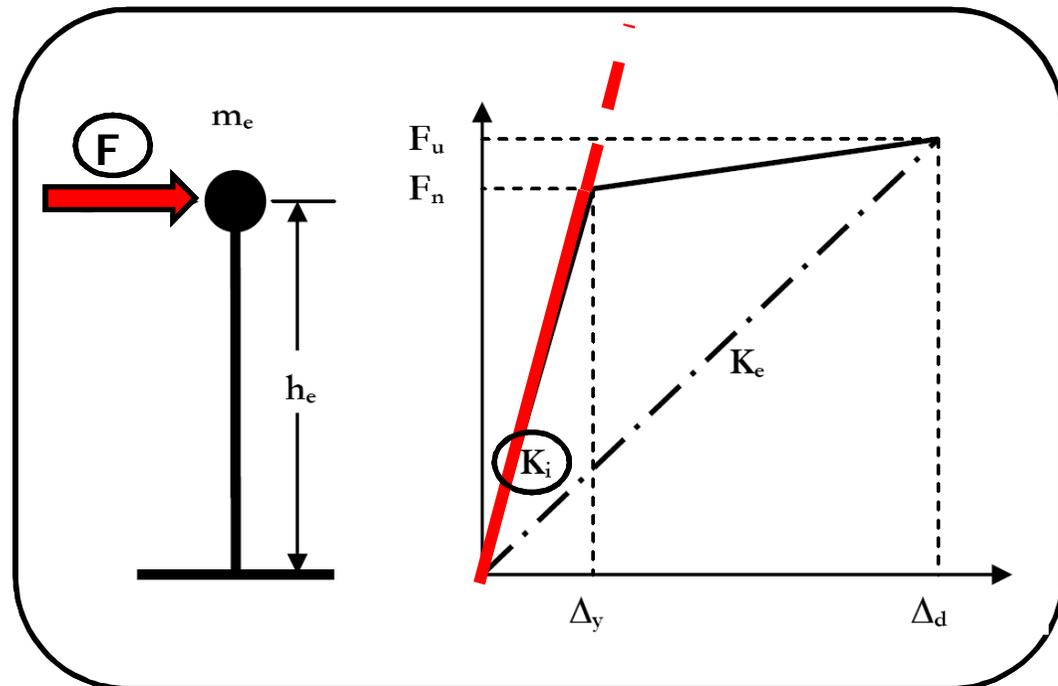
Si controlla la **convergenza del processo iterativo**



L'approccio progettuale alle FORZE

Pur riconoscendo negli spostamenti l'indice fondamentale del danneggiamento strutturale, tutti i codici normativi internazionali (NTC comprese) per integrarsi con le consuete modalità progettuali familiare alla classe professionale, utilizzano procedure nelle quali sono ancora le **FORZE** protagoniste, mentre le verifiche degli spostamenti sono relegate in seconda battuta.

Un'altra particolarità di questo approccio è che l'altro elemento progettuale non è la rigidità secante K_e al collasso ma la rigidità elastica K_i del sistema prima che inizi la fase di danneggiamento della struttura. (E' questa generalmente a noi nota !!!)

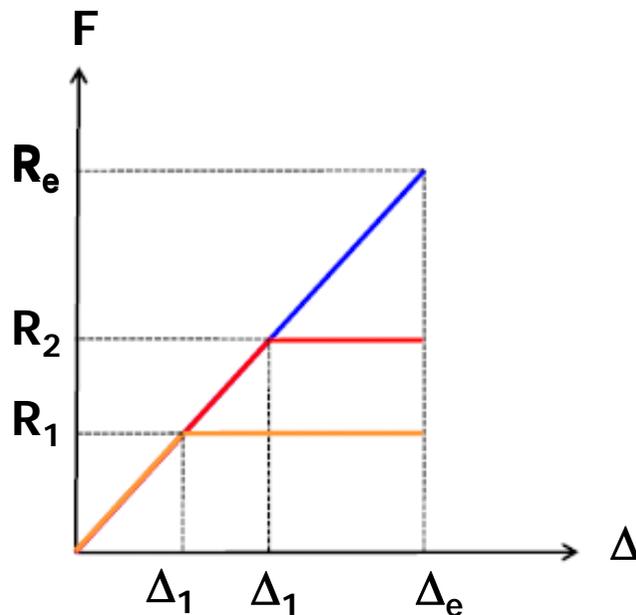


Nel seguito analizzeremo in dettaglio tale approccio con particolare riferimento alle NTC e avremo modo di commentarne alcuni limiti.

I principi sui quali si basano tutti i moderni codici normativi ed i moderni criteri progettuali antisismici derivano dai risultati sperimentali di [Blume J.](#), [Newmark N.](#), [Corning L.](#): “*Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings of Earthquake motions*”, 1961

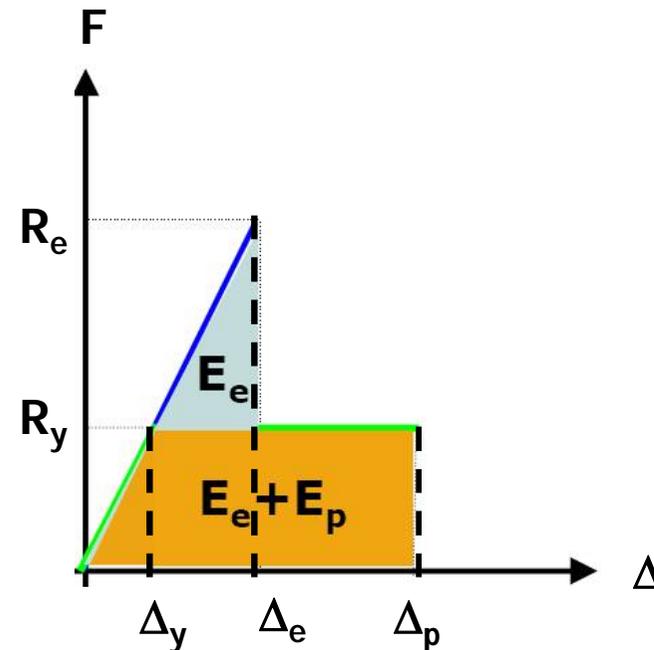
Principio dell' UGUALE SPOSTAMENTO

Per sistemi di rigidezza corrente, la domanda in spostamento non varia al variare della resistenza del sistema



Principio dell' UGUALE ENERGIA

Valido per sistemi più rigidi

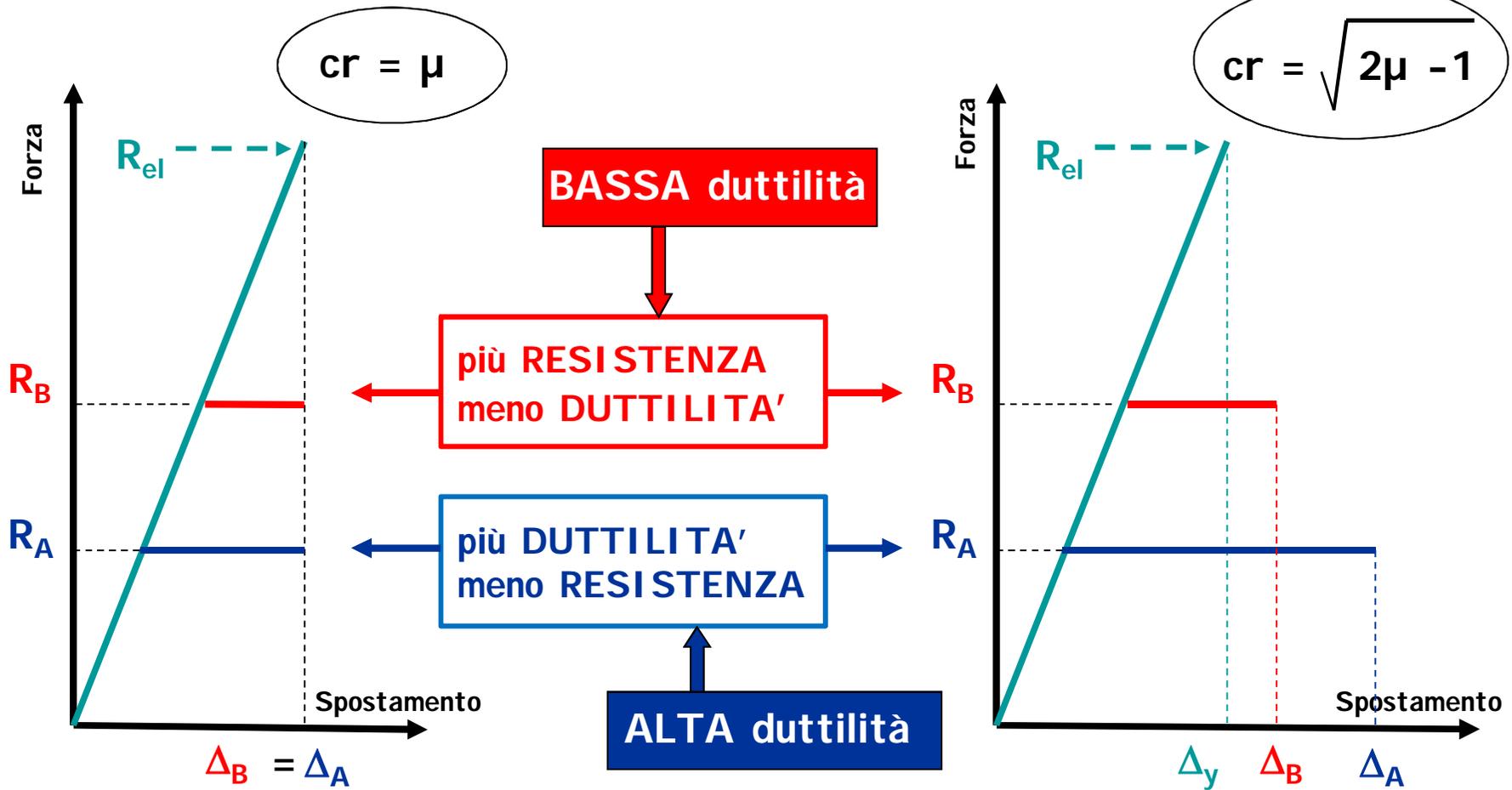


I suddetti principi indicano che il progettista può perseguire le stesse finalità scegliendo di puntare più sulla RESISTENZA ovvero più sulla DUTTILITA'

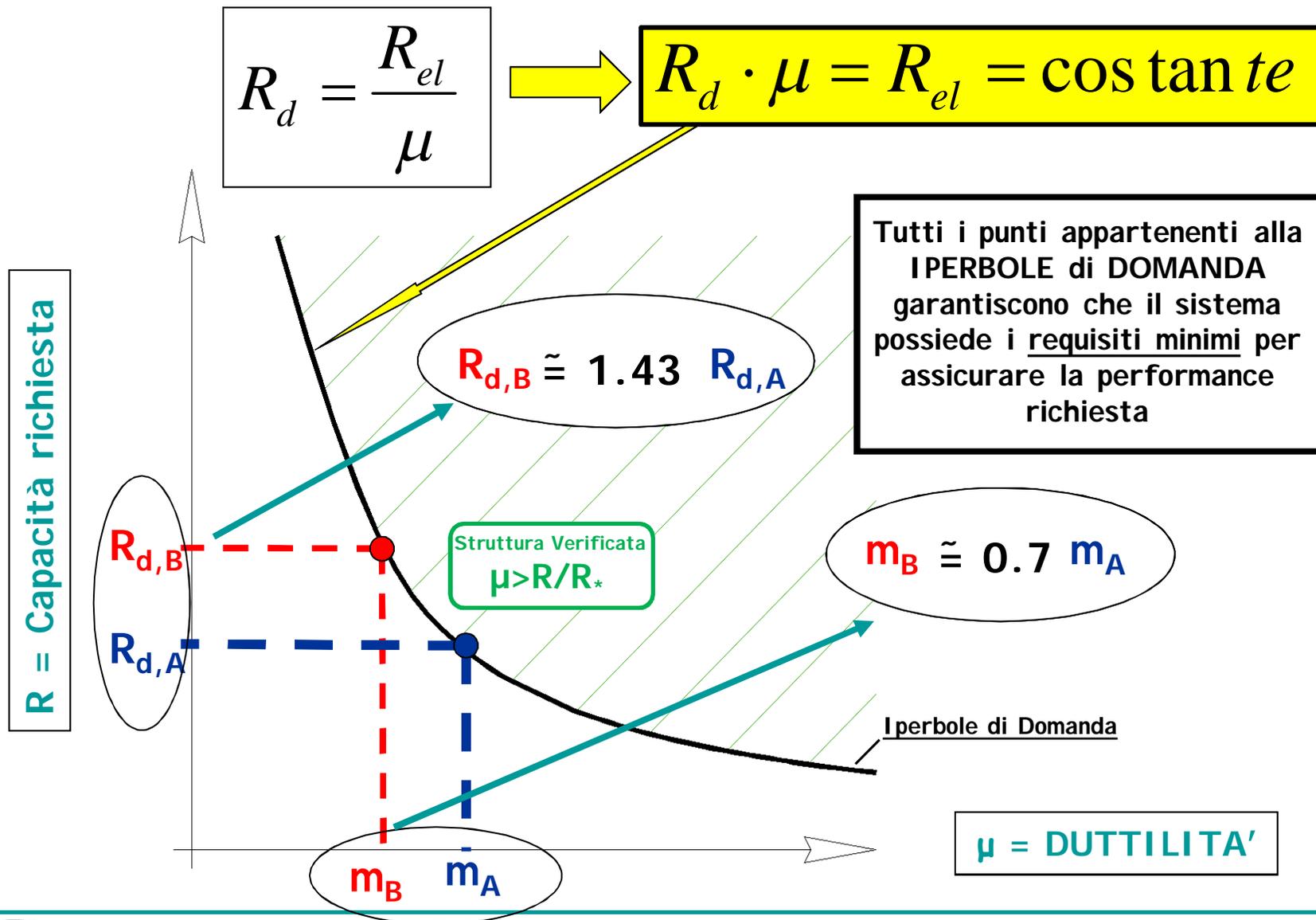
$$R_d = \frac{R_{el}}{cr}$$

Principio dello SPOSTAMENTO UGUALE

Principio della UGUALE ENERGIA



Principio dello SPOSTAMENTO UGUALE: Strutture di nuova progettazione

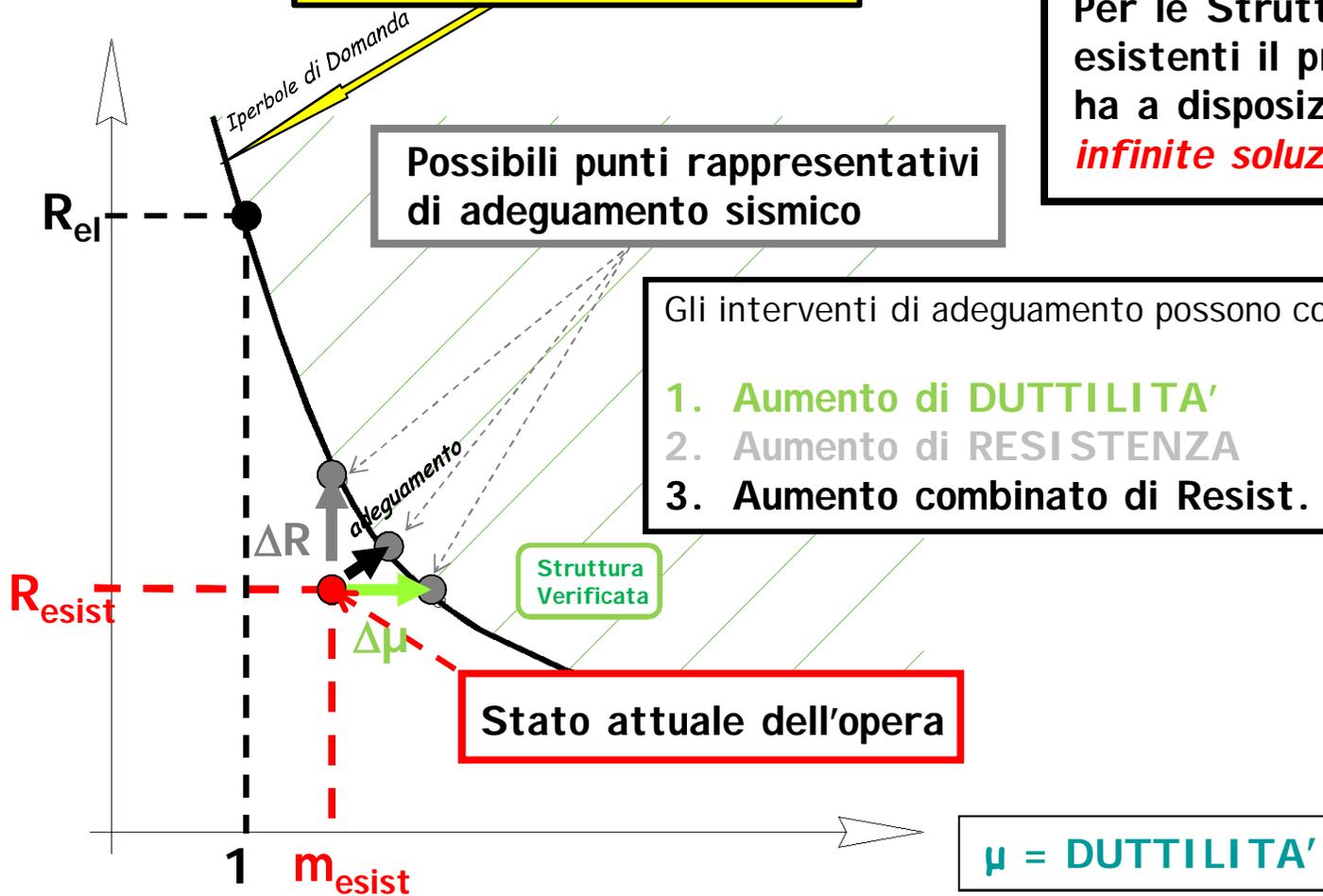


Principio dello SPOSTAMENTO UGUALE: COSTRUZIONI ESISTENTI

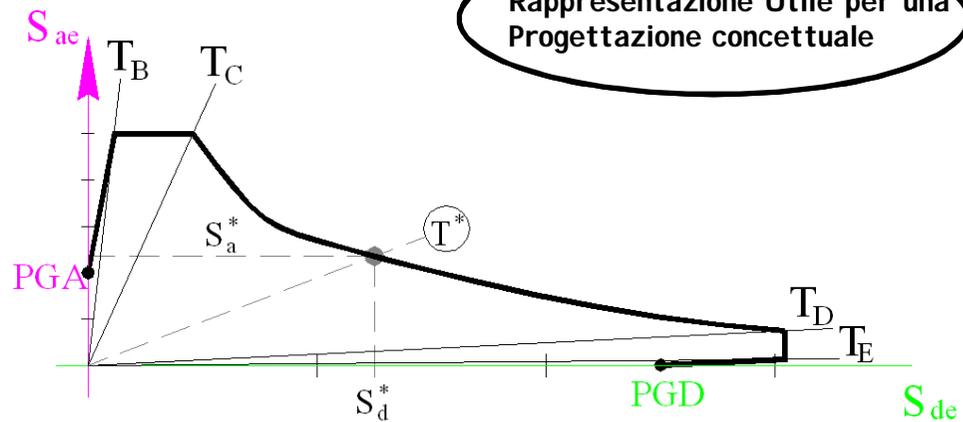
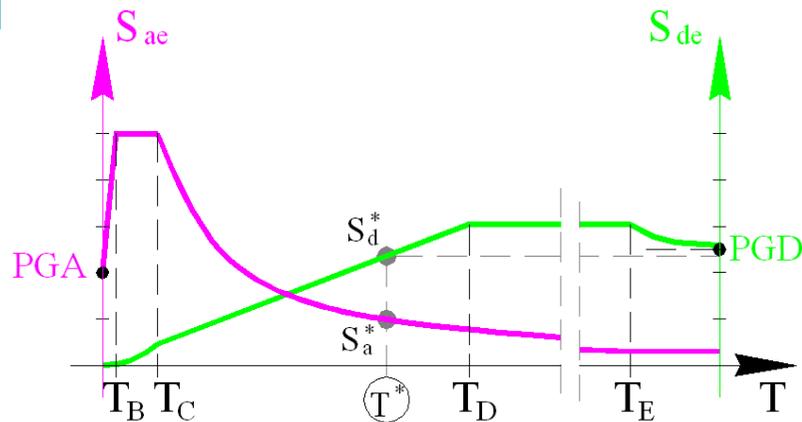
$$R_d \cdot \mu = R_{el} = \text{cost.}$$

Per le Strutture esistenti il progettista ha a disposizione *infinite soluzioni*

R = Capacità richiesta



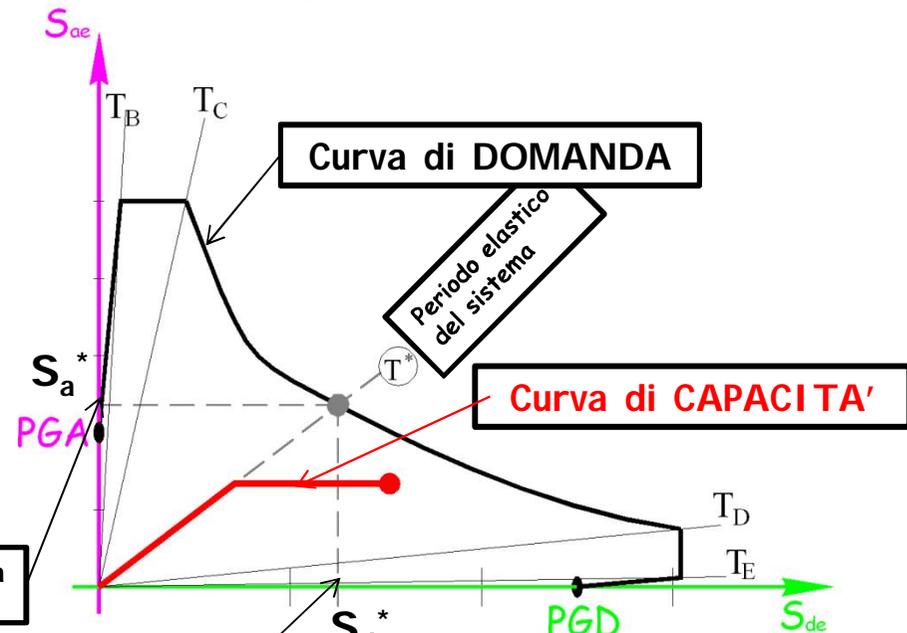
Sintesi di DOMANDA e CAPACITA' nel piano A-D



Rappresentazione Utile per una Progettazione concettuale

Questa rappresentazione consente di razionalizzare la progettazione di uno dei 3 termini che caratterizzano la **PROGETTAZIONE CONVENZIONALE** e cioè:

- RIGIDEZZA
- RESISTENZA
- DUTTILITÀ



$$S_a^* = a_{\max}$$

Domanda in Accelerazione Assoluta

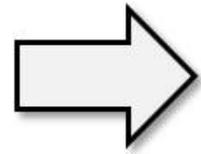
$$S_d^* = (x_r)_{\max}$$

Domanda in Spostamento Relativo



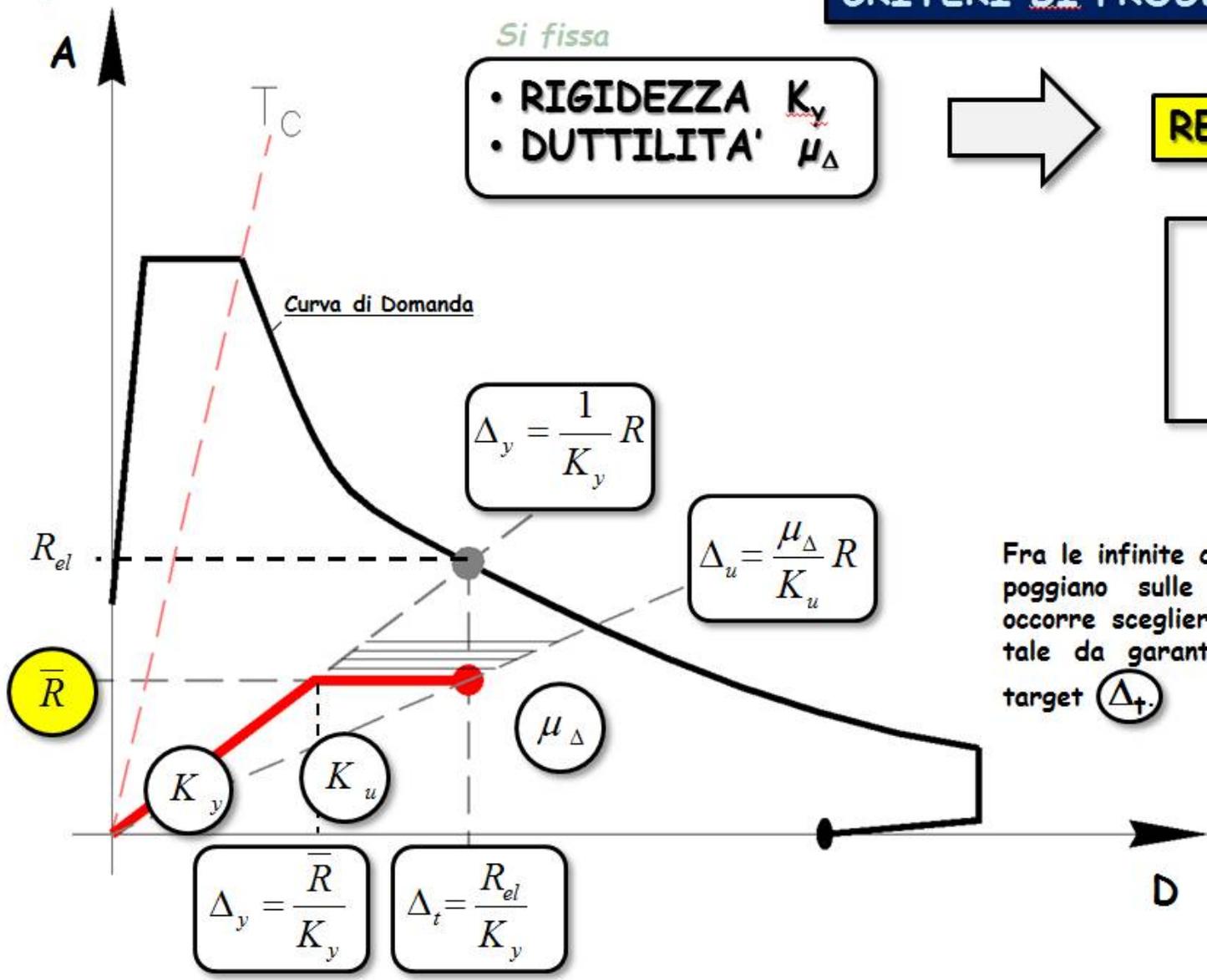
CRITERI DI PROGETTAZIONE

- Si fissa*
- RIGIDEZZA K_y
 - DUTTILITA' μ_Δ



RESISTENZA

$$\bar{R} = \frac{R_{el}}{\mu_\Delta}$$



Fra le infinite curve di capacità che si poggiano sulle rette K_y e $K_u = \mu_\Delta K_y$ occorre scegliere quella con resistenza tale da garantire lo spostamento di target Δ_t .

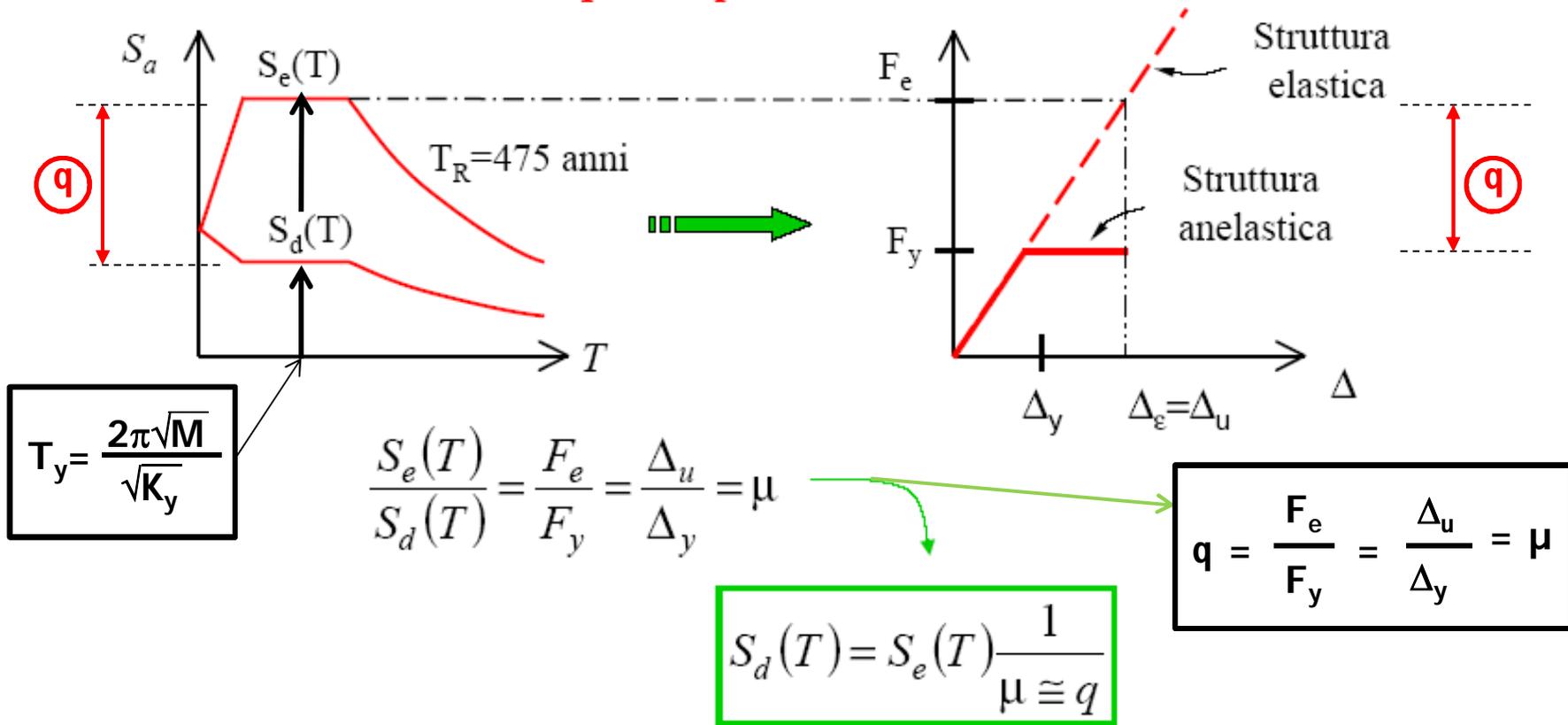


APPROCCIO PROGETTUALE NORMATIVO

- Rigidezza Elastica (K_y)
- Fattore di Struttura (q)

Base teorica del fattore q

“Equal displacement rule”

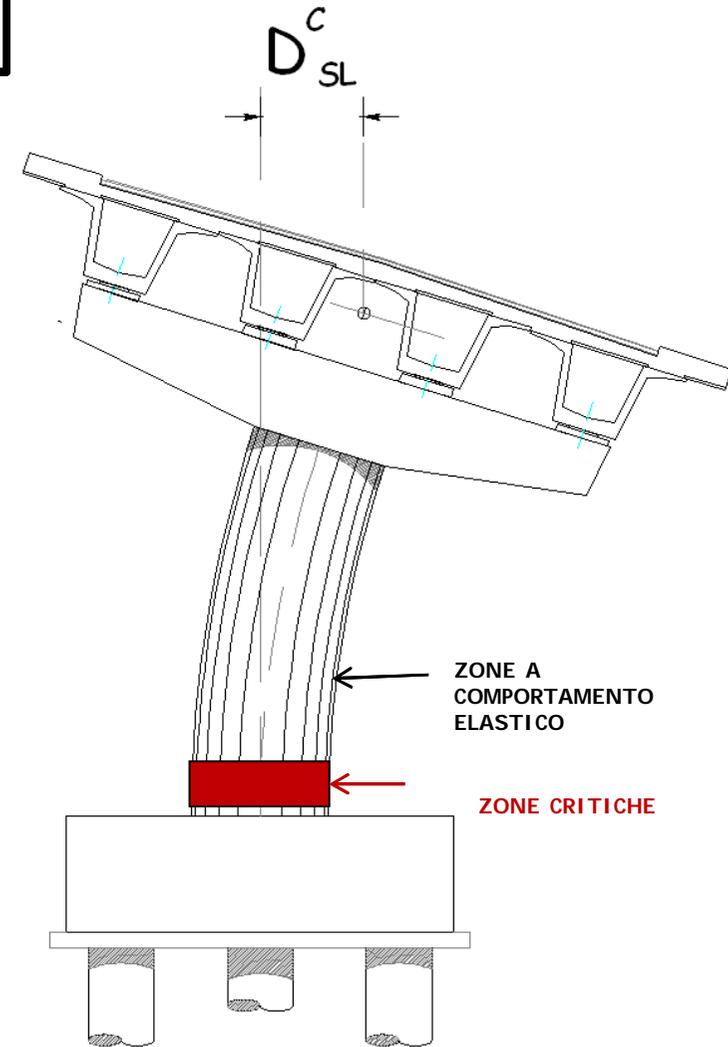


APPROCCIO PROGETTUALE NORMATIVO

Ai fini progettuali conviene limitare ad alcune zone di elementi selezionati le deformazioni anelastiche e le dissipazioni isteretiche, conservando per le rimanenti parti della struttura un comportamento sostanzialmente elastico.

Preservare le altre zone a comportamento elastico in modo che la struttura sia caratterizzata da un Comportamento Dissipativo Stabile.

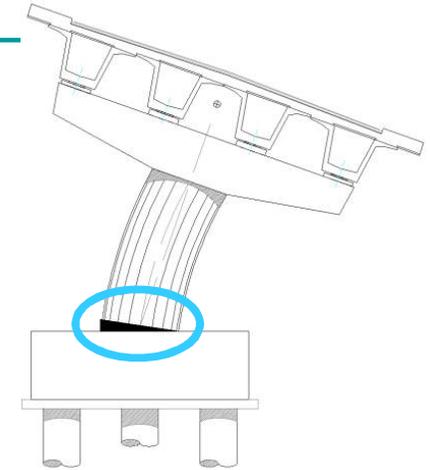
Lo strumento utilizzato a questo fine dai codici normativi è il cosiddetto **CAPACITY DESIGN**.



Strutture a comportamento dissipativo STABILE

3 concetti
ricorrenti

- ZONE CRITICHE,
- GERARCHIA delle RESISTENZE e
- SOVRARESISTENZA



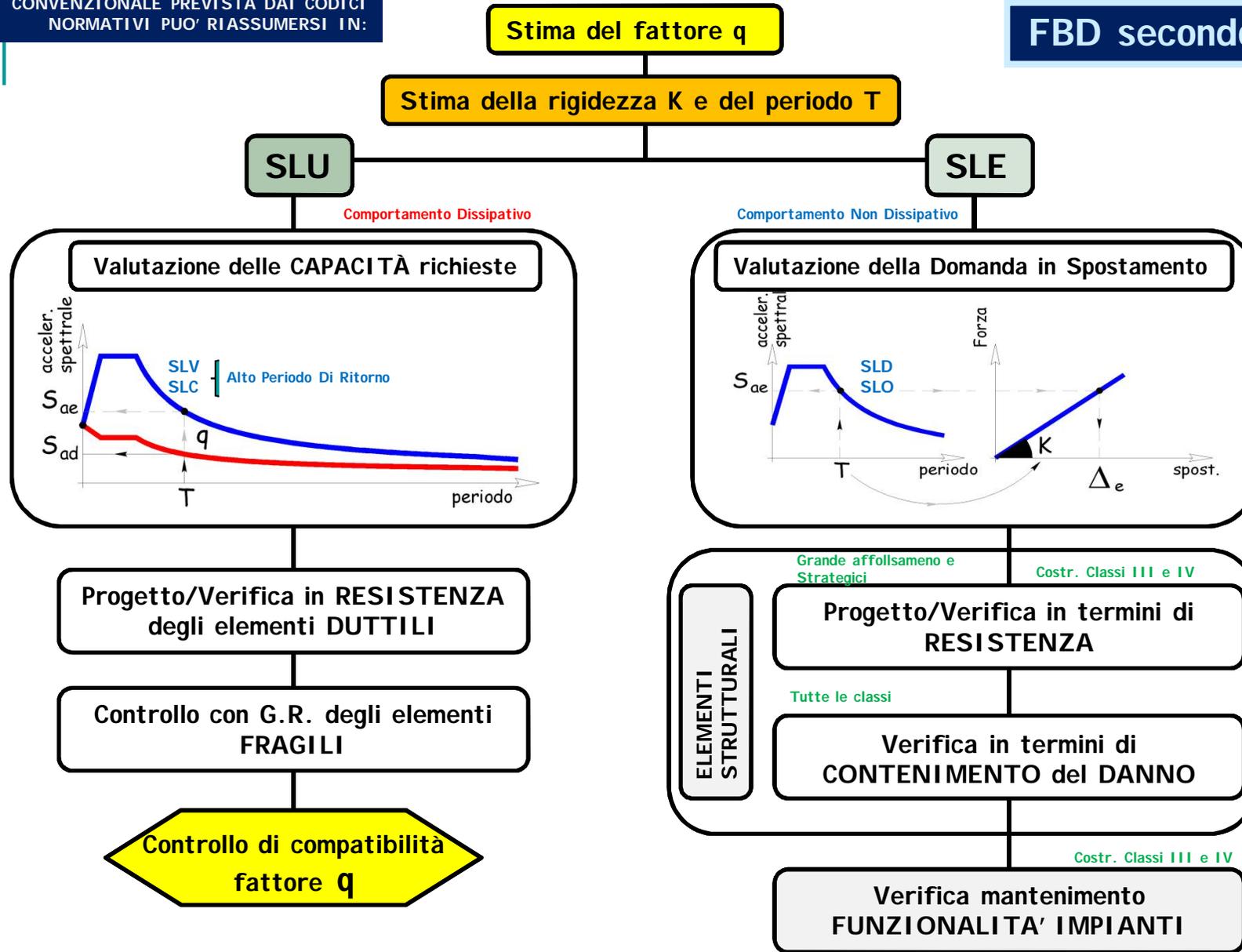
• La struttura deve essere dimensionata in modo da dar luogo alla formazione di **MECCANISMI DISSIPATIVI STABILI** (MECCANISMI FLESSIONALI)

- ⇒ • Le dissipazioni di energia vanno individuate in precise zone dette "DISSIPATIVE" o "CRITICHE", che vanno adeguatamente progettate
- ⇒ • Vanno altresì progettati gli elementi non dissipativi nel rispetto del criterio di **GERARCHIA DELLE RESISTENZE**
- ⇒ • Tali fini possono ritenersi conseguiti se le parti non dissipative siano dotate di una SOVRARESISTENZA sufficiente a consentire lo sviluppo della plasticizzazione ciclica nelle zone critiche.



.....IN CONCLUSIONE LA PROGETTAZIONE CONVENZIONALE PREVISTA DAI CODICI NORMATIVI PUO' RIASSUMERSI IN:

FBD secondo NTC



I LIMITI DELL'APPROCCIO NORMATIVO

a

Il **FATTORE DI STRUTTURA** è assunto indipendentemente da una valutazione diretta di μ .

Esso viene fatto dipendere esclusivamente da:

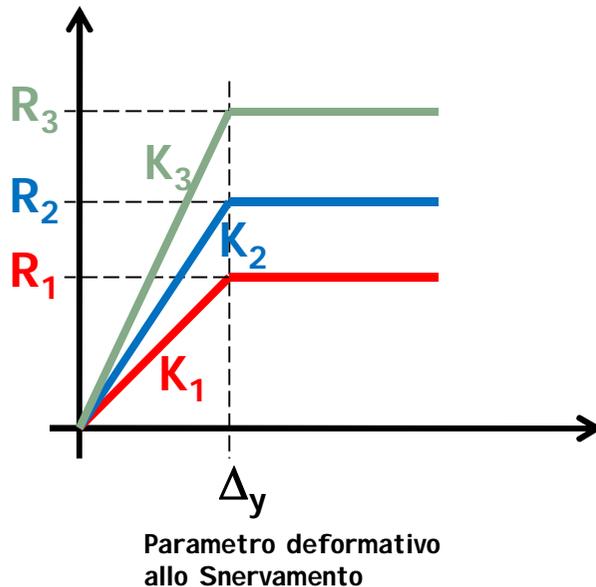
- Tipologia strutturale (q_0)
- Classi di duttilità (CD "A" o CD "B")
- Regolarità in altezza (K_r)

$$q = q_0 \times K_r$$

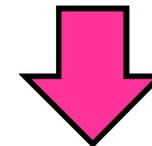
b

La **RIGIDEZZA** (K ovvero T) è assunta indipendente dalla **RESISTENZA** (R)

$$T = C_1 \times H^{3/4}$$



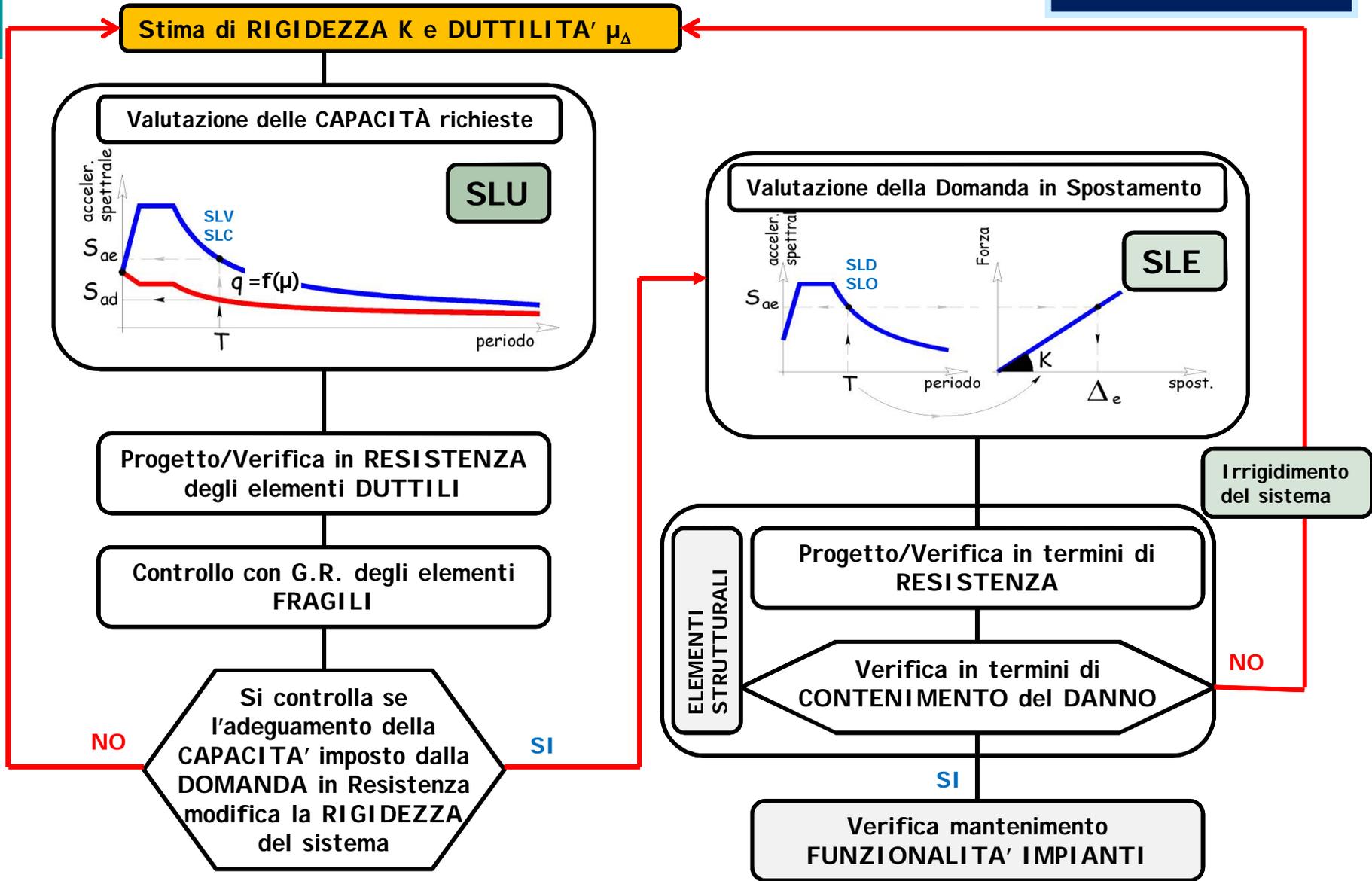
Rigidezza e Resistenza non sono indipendenti.
Nelle strutture in c.a. la deformazione allo snervamento è pressoché indipendente dalla Resistenza.



$$R = K_e \times \Delta_y$$



- 1) Sovrastima della domanda in duttilità
- 2) Sottostima della domanda in spostamento



Utilizzo del DBD nella PROGETTAZIONE CONVENZIONALE dei PONTI



SISTEMA CONVENZIONALE

SISTEMA 1 GDL:

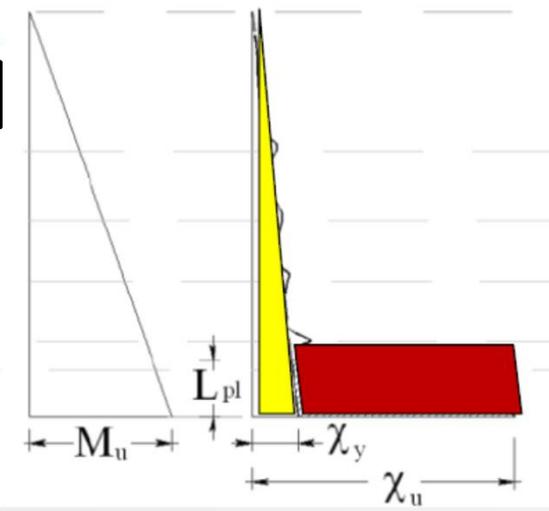
- Pila singola
- Analisi Longitudinale viadotto (1 p.to fisso o schock trasmitters)



CALCOLO DELLA STRUTTURA di SOSTITUZIONE

Strutture ad 1 GdL

Calcolo dello spostamento di progetto



$$\Delta_d = \Delta_y + \Delta_p$$

$$\Delta_y = \frac{\chi_y \cdot (H + L_{sp})^2}{3}$$

$$\Delta_p = \mu_d \cdot \Delta_y$$

$$\chi_y = 2,25 \frac{\epsilon_y}{D}$$

per colonne circolari in c.a.

$$\chi_y = 2,10 \frac{\epsilon_y}{H_c}$$

per colonne rettangolari in c.a.

$$L_{sp} = 0,022 \cdot f_{ye} \cdot d_{bl}$$

L_{sp} (strain penetration length) è la lunghezza all'interno della fondazione oltre la quale la curvatura può essere considerata costante ed uguale alla curvatura di base della colonna.

$$\Delta_p = (\chi_u - \chi_y) \cdot L_p \cdot H$$

Lunghezza di cerniera plastica $L_p = k \cdot L_c + L_{sp} \geq 2L_{sp}$

$$k = 0,2 \cdot \left(\frac{f_u}{f_y} - 1 \right) \leq 0,08$$

Luce di TAGLIO



χ_y e Δ_y sono sostanzialmente indipendenti dal carico applicato e dalla percentuale di armatura della sezione

Δ_d dipende solo dalla duttilità μ_d ipotizzata

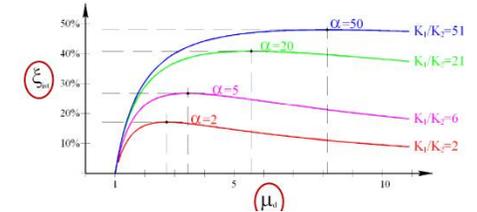


Calcolo dello smorzamento viscoso

$$\xi_{eq} = \xi_{el} + \xi_{isteretico}$$

0,05

$$\xi_{isteretico} = \frac{A_h}{2\pi \cdot F_m \cdot \Delta_m}$$



$$\xi_{eq} = 0,05 + 0,444 \cdot \left(\frac{\mu - 1}{\mu \pi} \right)$$

$$\xi_{ist} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\alpha(\mu - 1)}{(\alpha + \mu) \cdot \mu}$$

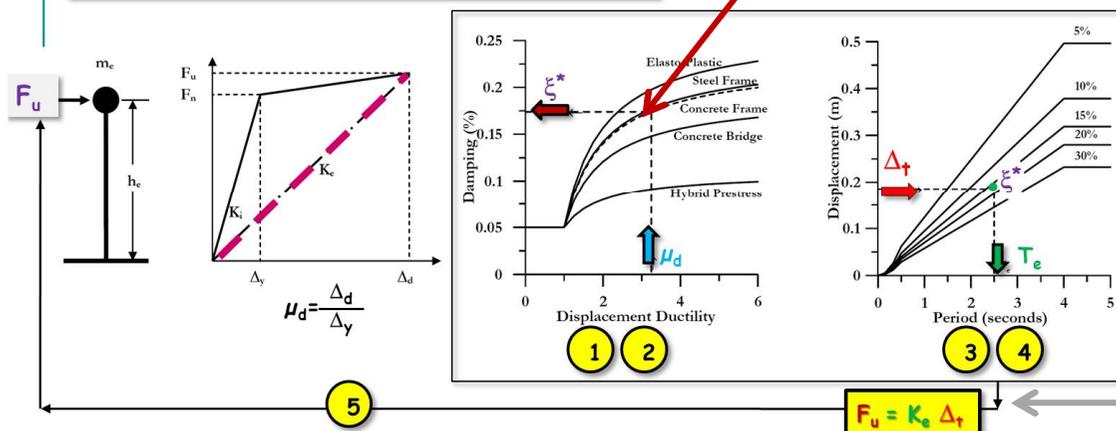
Calcolo del fattore di riduzione dello spettro elastico

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi_{eq}}}$$

Calcolo Taglio alla base

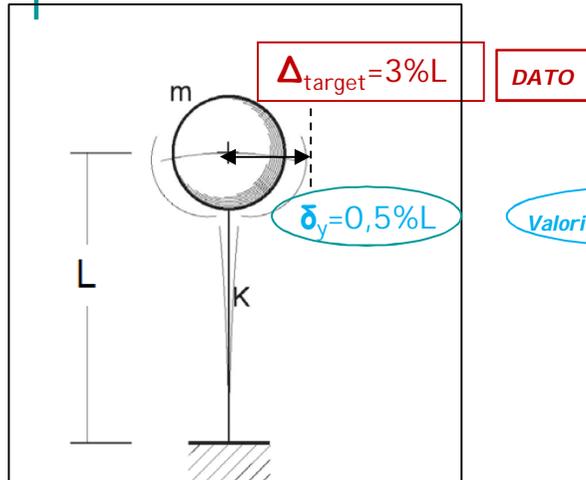
$$V_{base} = K_e \cdot \Delta_d$$

Processo iterativo di progettazione secondo il DBBD



DDBD: Sistema 1 GDL

OBIETTIVO: PROGETTARE LA PILA

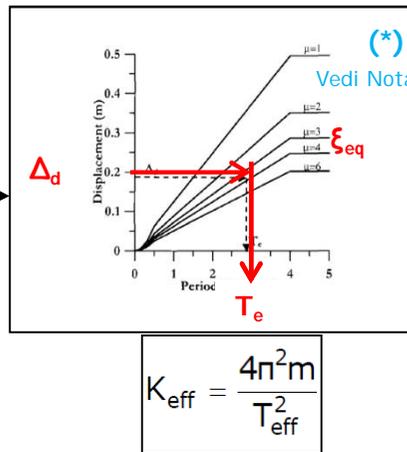


$$\mu = \Delta_t / \delta_y$$

$$\zeta_{eff} = 0.05 + \frac{1 - \frac{0.95}{\sqrt{\mu}} - 0.05\sqrt{\mu}}{\pi}$$

Oppure

$$\xi_{eq} = 0.05 + 0.444 \left(\frac{\mu - 1}{\mu\pi} \right)$$



$$K_{eff} = \frac{4\pi^2 m}{T_{eff}^2}$$

Progetto di ogni pila con $K_{i,eff}$ e Δ_i

Vedi slide successive

$$\delta_y = \delta'_y$$

NO

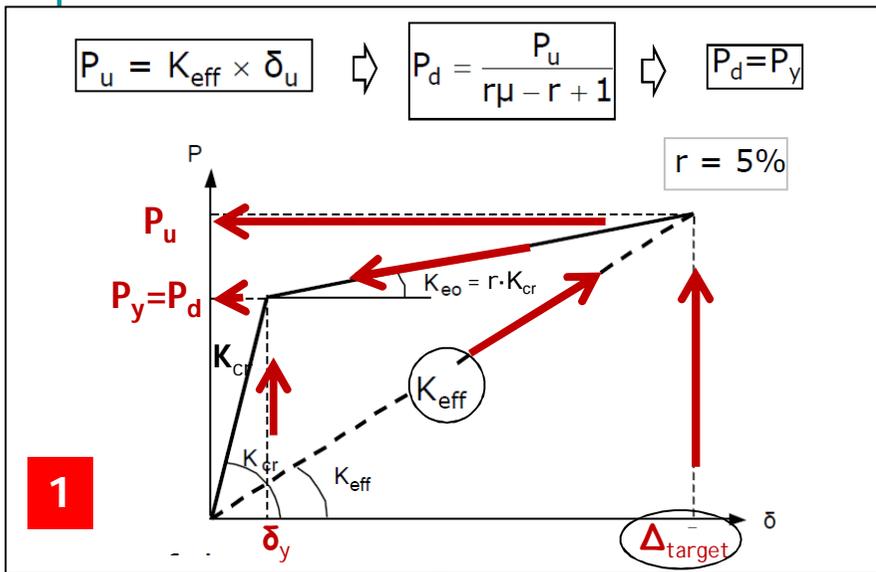
FLAG=0 ?

SI

OK



Progetto di ogni pila con $K_{i,eff}$ e Δ_i



3

Dimensionare le armature richieste alla base per il momento M_d ed il carico assiale N .

Calcolare la rigidezza elastica K_{cr} dal momento di inerzia della sezione fessurata, I_{CR} , utilizzando l'armatura adottata.

For circular cross section:

$$\frac{I_{cr}}{I_g} = 0.21 + 12 \cdot \rho + [0.1 + 205 \cdot (0.05 - \rho)^2] \frac{N}{f_c \cdot A_g}$$

ρ = percentage of reinforcement
 I_g = geometric moment of inertia
 A_g = geometric area of section
 N = axial force.

Then: $K_{cr} = \frac{3EI_{cr}}{L^3}$

Fig.4.12 Effective Stiffness Ratio for Circular Bridge Columns^[13]

2

DIMENSIONAMENTO PILA

	Allo snervamento	Allo spostamento di progetto
⇒ Momento del 1° ordine base pila:	$M_{y,A} = P_{yi} \cdot H_i$	$M_{u,A} = P_{ui} \cdot H_i$
⇒ Considerando gli effetti $P-\Delta$	$M_{u,B} = P_{yi} \cdot \Delta_{yi}$	$M_{u,B} = P_{ui} \cdot \Delta_{pi}$
	$M_{i,y} = M_{y,A} + M_{y,B}$	$M_{i,u} = M_{u,A} + M_{u,B}$
	Momento 1° ordine Effetto $P-\Delta$	Momento 1° ordine Effetto $P-\Delta$

4

$$\delta'_y = \frac{P_d}{K_{cr}}$$

$$|\delta'_y - \delta_y| > \epsilon \cdot \delta'_y \Rightarrow \text{FLAG}=1$$

$\epsilon = 0,01$



N.B.

Dopo aver dimensionato ogni singola pila in geometria, armatura, e duttilità in spostamento μ_{Δ} occorre dimensionare l'armatura trasversale (**staffe**) necessarie a garantire la corrispondente **duttilità in curvatura richiesta**

$$\mu_C = 1 + \frac{\mu_{\Delta} - 1}{3 \cdot (L_h / L) \cdot (1 - 0.5L_h / L)}$$

L_h = length of plastic hinge

$$(EC8) \quad L_{pl} = \frac{L_V}{30} + 0.2h + 0.11 \frac{\phi_{bl} f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Sez. RETTANGOLARE: $L_{pl} = 0.2h + L_V / 15$

Sez. CIRCOLARE: $L_{pl} = 0.6D + 0.09L_V$

Elementi con dettagli sismici: $L_{pl} = 0.1L_V + 0.17h + 0.24 \frac{\phi_{bl} f_y}{\sqrt{f_c}}$

confinamento

Priestley: $L_P = kL_C + L_{SP} \geq 2L_{SP}$ Con $K=0,7$ ed L_{sp} =yeld penetration $L_{SP} = 0.022 f_{ye} d_{bl}$



SISTEMA CONVENZIONALE

SISTEMA N GDL:

- Viadotto continuo
- Analisi Trasversale



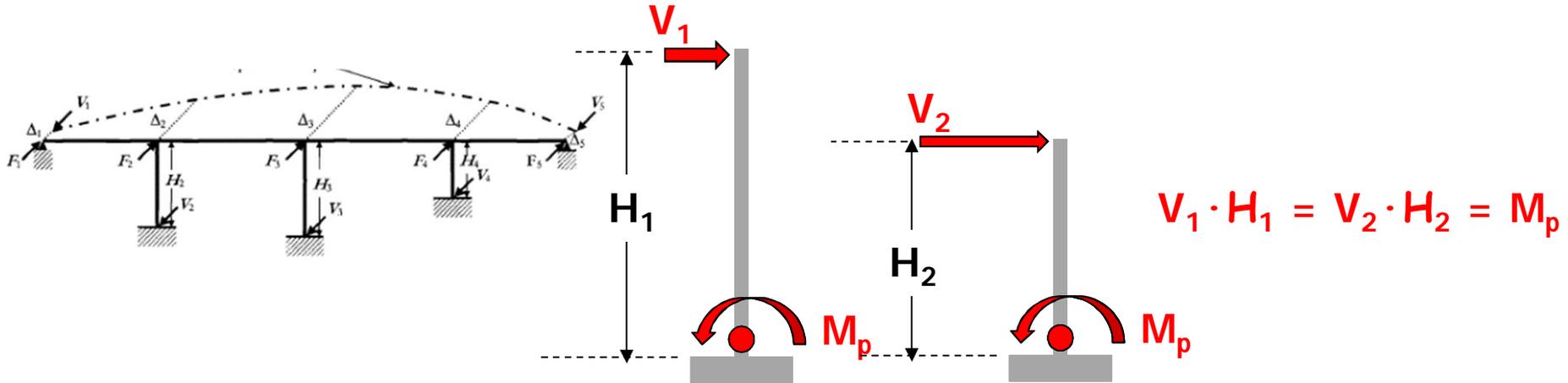
OSSERVAZIONI

Spalle: $V_i = (x) \cdot V_{base} / 2$

Pile: $V_i = (1-x) \cdot V_{base} \cdot \frac{1/H_i}{\sum 1/H_i}$



Se le Pile sono **tutte uguali** e **tutte snervate** il M_p alla base è uguale per tutte le pile e, pertanto, il Taglio risulta inversamente proporzionale all'altezza della pila



Se alcune pile rimangono elastiche, la quota di forza di taglio, per tali pile, deve essere ridotta e sarà proporzionale al rapporto μ_i / H_i

$$\xi_{eq} = \frac{\sum \xi_i \cdot V_i \cdot \Delta_i}{\sum V_i \cdot \Delta_i}$$



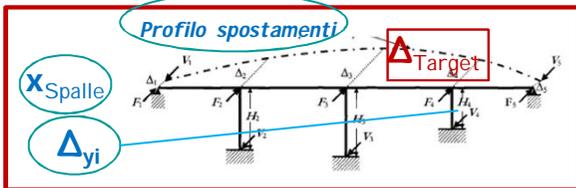
Per lo stesso motivo $V_{i,pile}$ è percentuale fissa di V_{base} e, pertanto, V_{base} non compare nella relazione di ξ_{eq} :

N.B.: (V_{base} non serve conoscerlo in questa fase poiché $V_i = \alpha \cdot V_{base}$)

$$\xi_{eq} = \frac{\sum_{sp} \xi_i \cdot x/2 + \sum_{pile} \xi_i \cdot (1/H_i / \sum 1/H_i)}{\sum_{sp} x/2 + \sum_{pile} (1/H_i / \sum 1/H_i)}$$



OBIETTIVO: PROGETTARE LE PILE



DATO

Valori di 1° tentativo
N.B. Δ_{yi} dipende dal predimensionamento D (diametro pile)

1GDL equivalente

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}$$

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d}$$

$$\mu_i = \Delta_i / \Delta_{vi}$$

$$\xi_i = 0.05 + 0.444 \left(\frac{\mu_i - 1}{\mu_i \pi} \right)$$

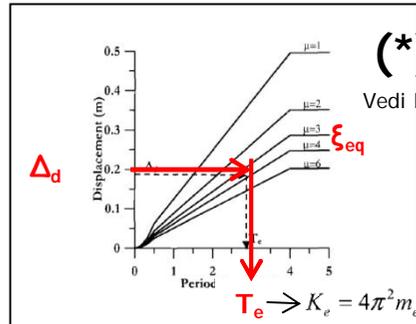
Spalle: $V_i = (x) \cdot V_{base} / 2$

Pile: $V_i = (1-x) \cdot V_{base} \cdot \frac{1/H_i}{\sum 1/H_i}$

$$\xi_e = \frac{x(\Delta_d - \Delta_a) \sum_{i=2}^n \frac{1}{H_i} \cdot \Delta_i \xi_i + x \Delta_a \sum_{i=2}^n \frac{1}{H_i} + (1-x) \left(\sum_{i=2}^n \frac{1}{H_i} \cdot \Delta_i \xi_i \right) / \sum_{i=2}^n \frac{1}{H_i}}{x(\Delta_d - \Delta_a) + x \Delta_a + (1-x) \left(\sum_{i=2}^n \frac{1}{H_i} \cdot \Delta_i \right) / \sum_{i=2}^n \frac{1}{H_i}}$$

$$\xi_{eq} = \frac{\sum \xi_i \cdot V_i \cdot \Delta_i}{\sum V_i \cdot \Delta_i}$$

N.B.: (V_{base} non serve conoscerlo in questa fase poiché $V_i = \alpha \cdot V_{base}$)

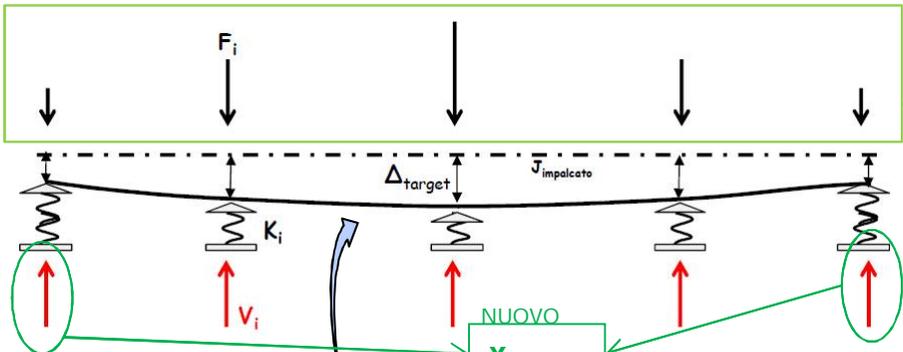


$$F = V_{Base} = K_e \Delta_d$$

$$F_i = V_{Base} (m_i \Delta_i) / \sum (m_i \Delta_i)$$

Spalle: $V_i = (x) \cdot V_{base} / 2$

Pile: $V_i = (1-x) \cdot V_{base} \cdot \frac{1/H_i}{\sum 1/H_i}$



$$K_{i,eff} = V_i / \Delta_i$$

Confronto profili spostamento

Con i nuovi Spostamenti si aggiorna la forma del profilo di spostamento normalizzandolo su Δ_{Target}

NUOVO

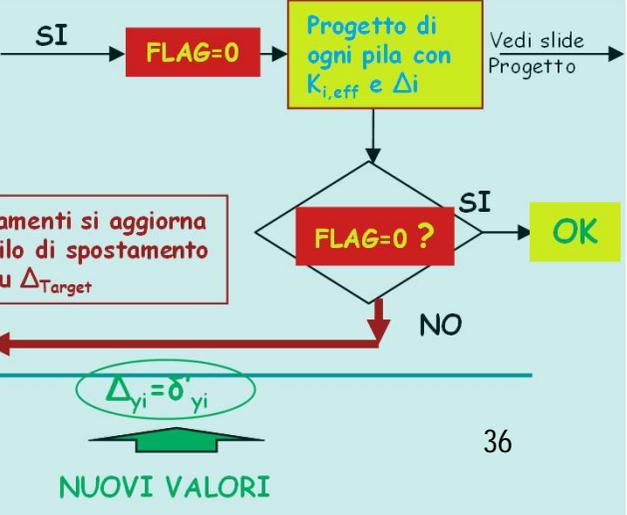
Spalle: $V_i = (x) \cdot V_{base} / 2$

Pile: $V_i = (1-x) \cdot V_{base} \cdot \frac{1/H_i}{\sum 1/H_i}$

NUOVO

$K_i = V_i / \Delta_i$

Con le nuove rigidezze si ripete l'analisi



NUOVI VALORI

NUOVI VALORI

Progettazione NON CONVENZIONALE

Strategia che Modifica la risposta sismica del sistema

Isolamento e Dissipazione



Testo Unico
NORME TECNICHE
PER LE COSTRUZIONI
D.M. 17 gennaio 2018

Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti

- 7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE
- 7.10 COSTRUZIONI E PONTI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE.



Strategia che Modifica la risposta sismica del sistema: **Approccio ENERGETICO**

$$E_i = E_E + E_K + E_D$$

energia in **INGRESSO** dovuta al sisma

energia di deformazione **ELASTICA**

energia **CINETICA**

energia **DISSIPATA**

Strategie di intervento

Riduzione dell'energia in ingresso mediante il disaccoppiamento del moto della struttura da quello del terreno (**ISOLATORI**)

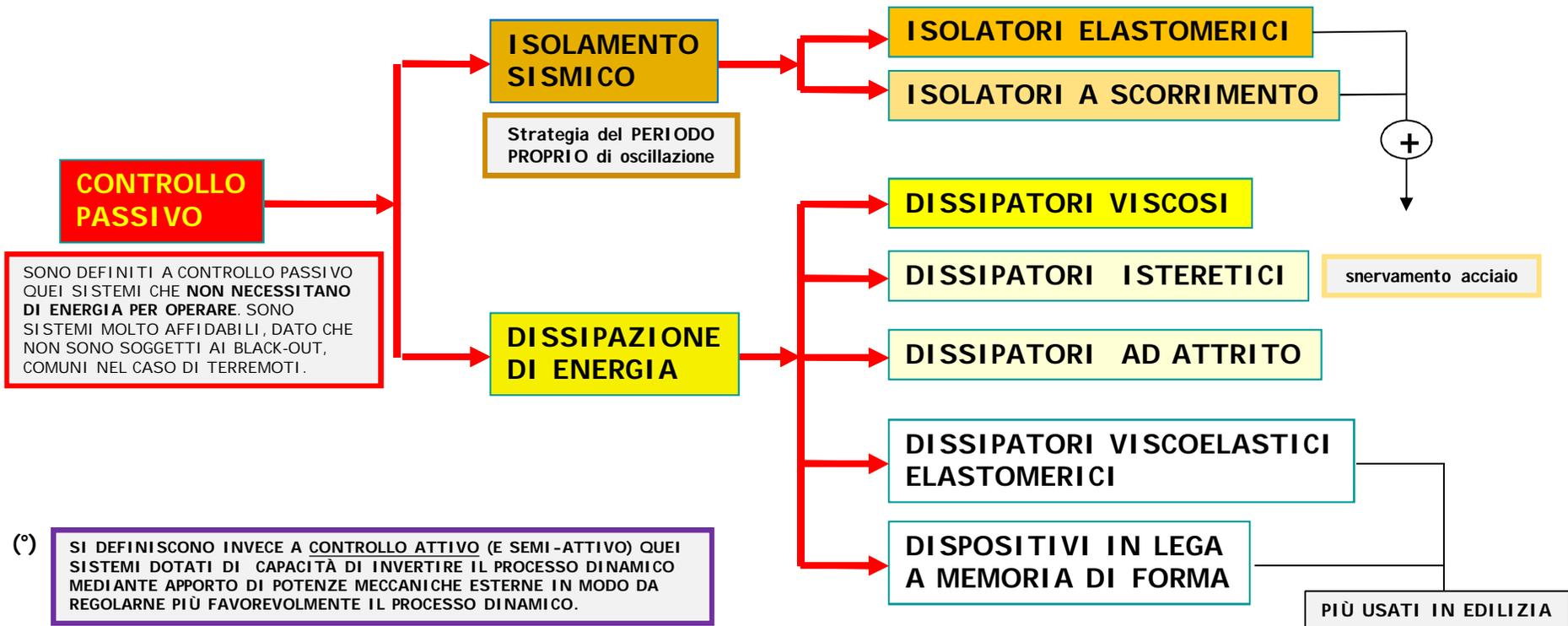
Aumento delle capacità dissipative della struttura mediante dispositivi opportunamente progettati (**DISSIPATORI**)



DISPOSITIVI ANTISISMICI PER PROGETTAZIONE **CONVENZIONALE**



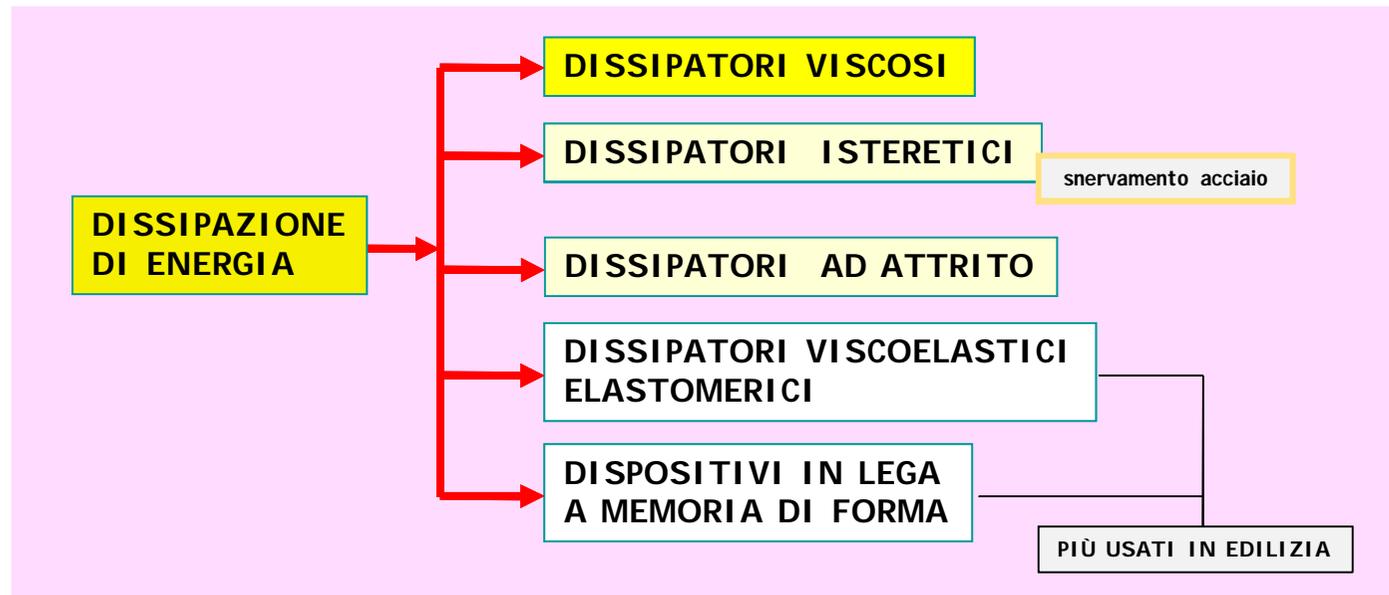
DISPOSITIVI ANTISISMICI PER PROGETTAZIONE **NON CONVENZIONALE**



(*) SI DEFINISCONO INVECE A CONTROLLO ATTIVO (E SEMI-ATTIVO) QUEI SISTEMI DOTATI DI CAPACITÀ DI INVERTIRE IL PROCESSO DINAMICO MEDIANTE APPORTO DI POTENZE MECCANICHE ESTERNE IN MODO DA REGOLARNE PIÙ FAVOREVOLMENTE IL PROCESSO DINAMICO.



LA DISSIPAZIONE

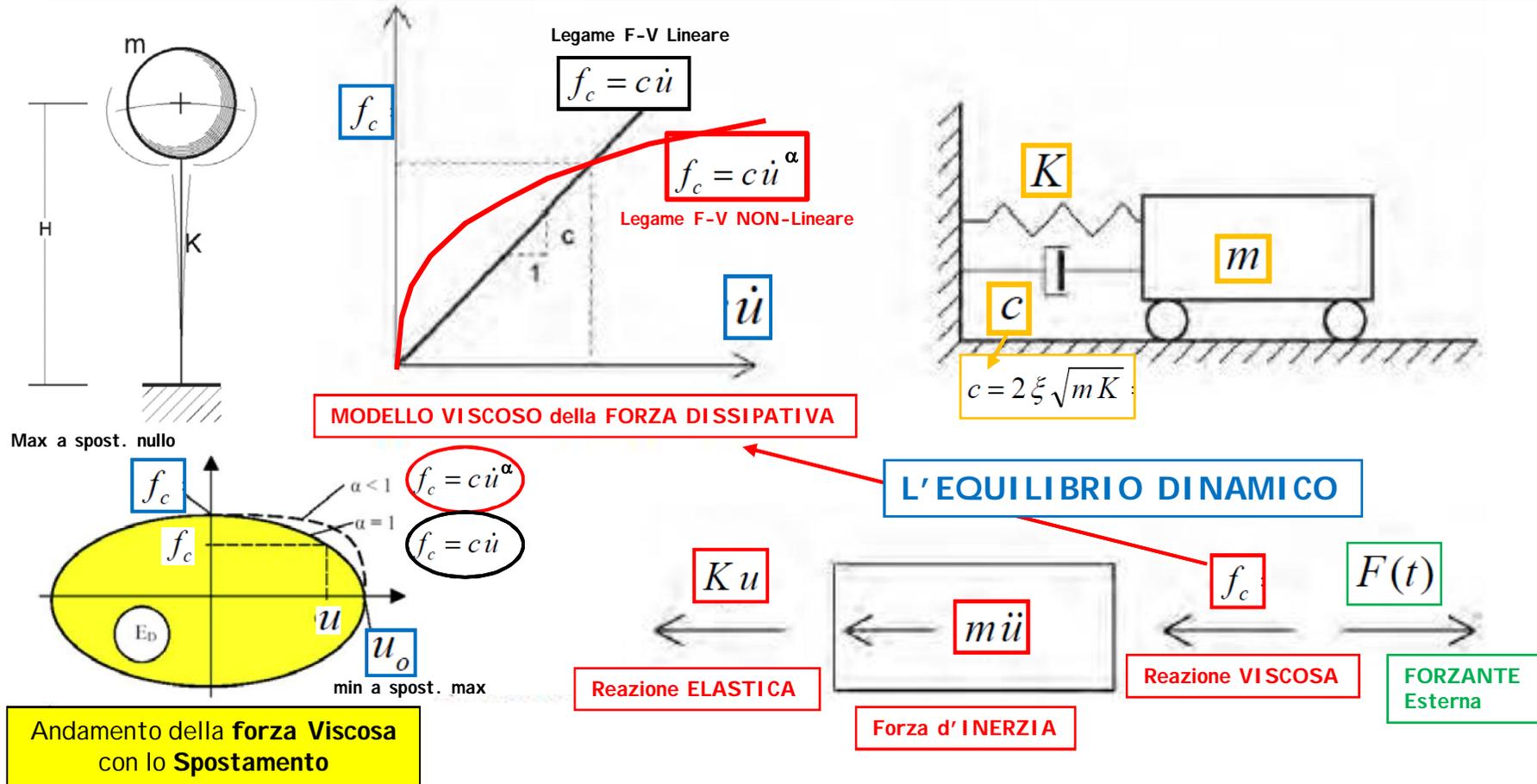


Smorzamento viscoso

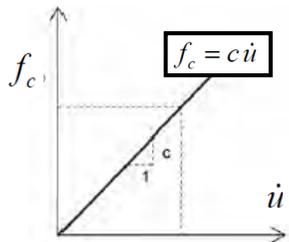
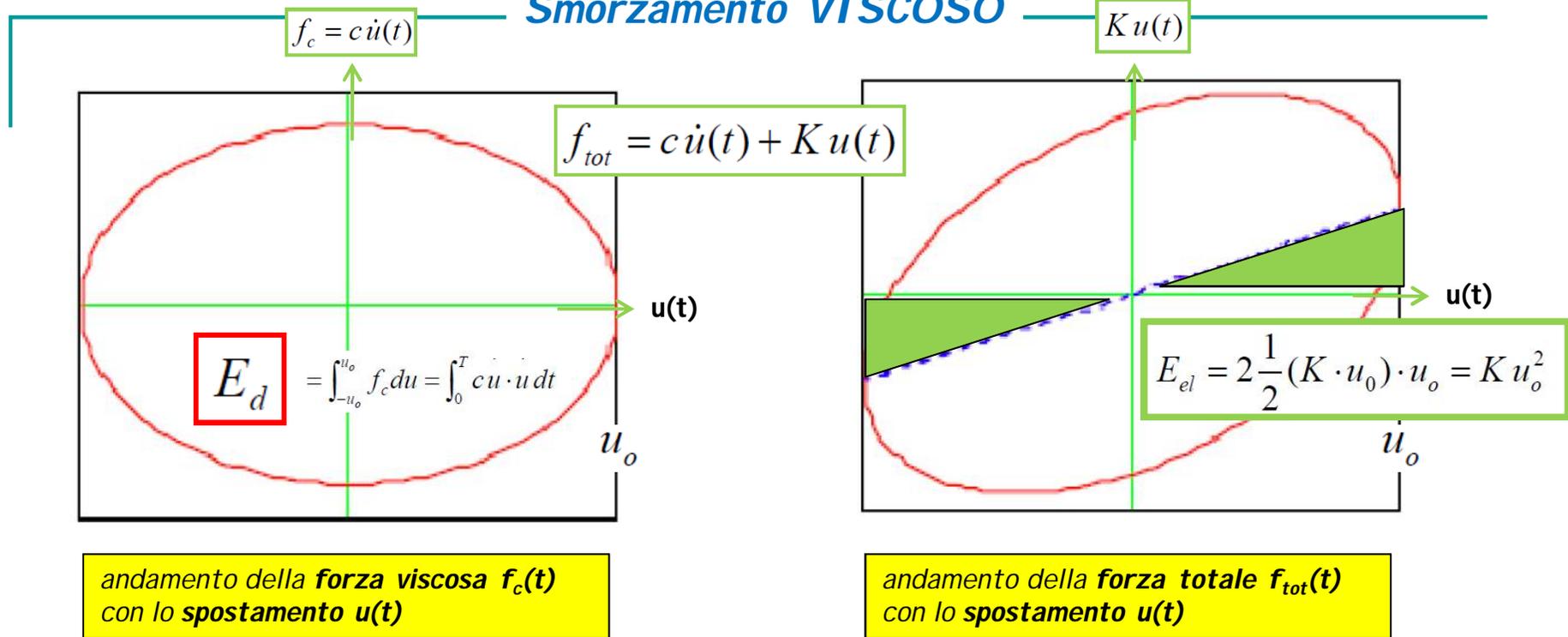
Quando un sistema meccanico si muove in un fluido, la resistenza che il fluido offre al movimento dei corpi causa dissipazione di energia.

L'ammontare di questa energia dipende da molti fattori quali ad esempio le dimensioni e la forma dei corpi, la viscosità del fluido, la velocità dei corpi.

Nello **smorzamento di tipo viscoso**, la forza è **proporzionale alla velocità relativa dei corpi** e la costante di proporzionalità dipende dalla viscosità del fluido e dalla geometria dei corpi.



Smorzamento VISCOZO



L'energia dissipata vale:

$$E_d = \int_0^T (c \cdot \dot{u}) \cdot \dot{u} dt = \int_0^{2\pi/\omega} c \cdot \dot{u}^2 dt = \int_0^{2\pi/\omega} c \cdot [\omega u_o \cos(\omega t - \varphi)]^2 dt = c \cdot \pi \omega u_o^2$$

Ricordando che: $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{K}} \Rightarrow \omega^2 = \frac{K}{m}$ e che: $c = 2\xi \sqrt{mK} = 2\xi m \omega$

L'energia dissipata può essere riscritta in funzione dell'energia Elastica:

$$E_d = 2\xi m \omega \cdot \pi \omega u_o^2 = 2\pi \xi m \omega^2 u_o^2 = 2\pi \xi K u_o^2 = 2\pi \xi E_{el} \quad \Rightarrow \quad \xi = \frac{E_d}{2\pi E_{el}}$$

Coeff. Viscoso elastico

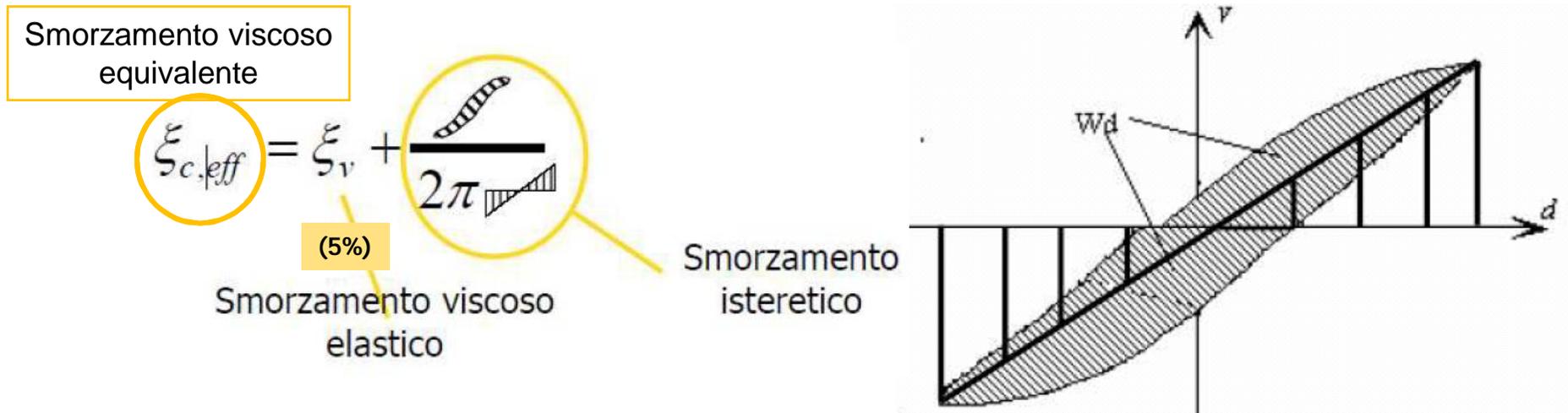


CRITERIO DI EQUIVALENZA TRA STRUTTURA NON LINEARE E STRUTTURA ELASTO VISCOSA.

Smorzamento isteretico (smorzamento strutturale)

Quando un corpo si deforma, l'energia di deformazione è assorbita e dissipata dal materiale. Tale effetto è dovuto all'attrito nello scorrimento tra le fibre interne del materiale all'atto della deformazione.

Quando un corpo soggetto a questo tipo di fenomeno è sottoposto alternativamente a trazione e compressione o vibra, la relazione tra tensione e deformazione è del tipo rappresentato in figura



NTC

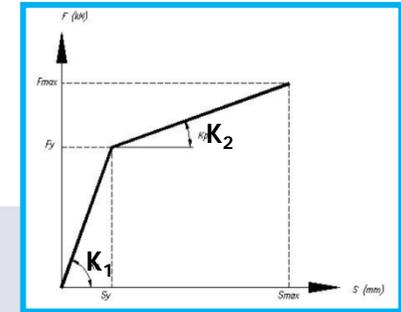
$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi_{c,eff}}}$$

la dissipazione di energia (che si innesca quando il **comportamento della struttura entra in campo non lineare**) è associata ad uno **smorzamento equivalente**

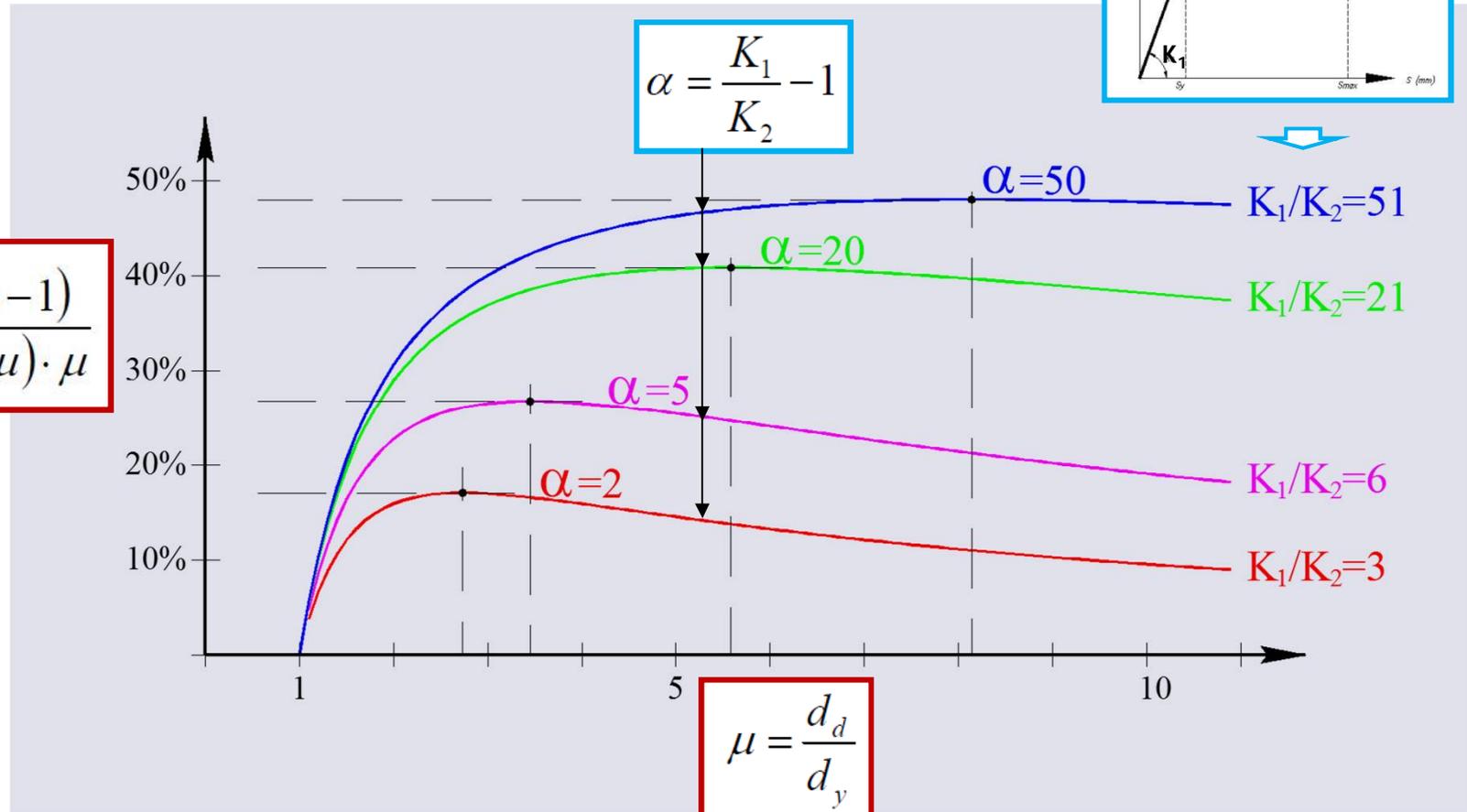
La struttura può essere convenzionalmente trattata in campo elastico con uno **smorzamento viscoso elastico modificato con lo smorzamento isteretico**



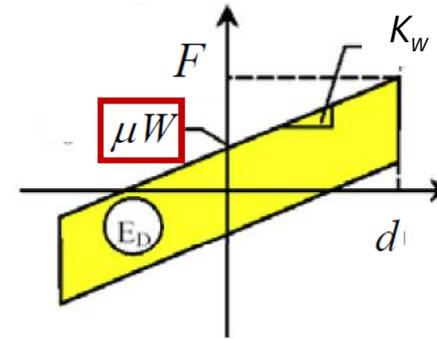
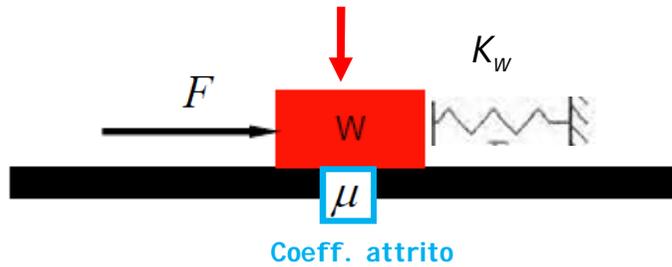
Modellazione Bilineare



$$\xi_{\text{ist}} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\alpha(\mu - 1)}{(\alpha + \mu) \cdot \mu}$$



Smorzamento ATTRITIVO



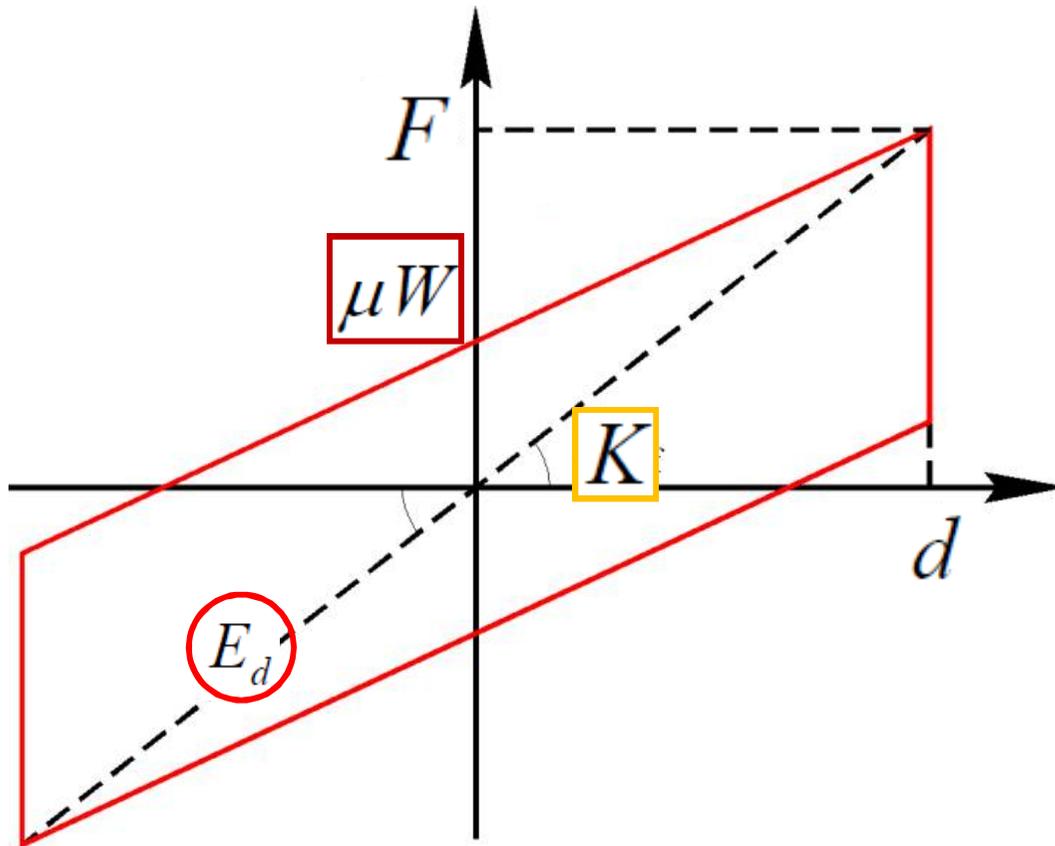
$$E_d = 4 \cdot F_o (d_d - d_y)$$

$$E_d = 4 (\mu W) \cdot d$$

$$E_{el} = 2 \frac{1}{2} (K \cdot d) \cdot d = K d^2$$

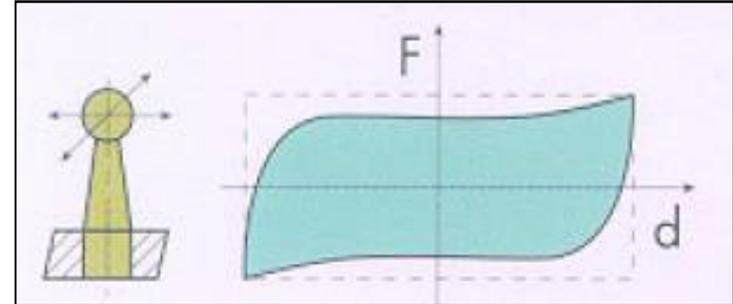
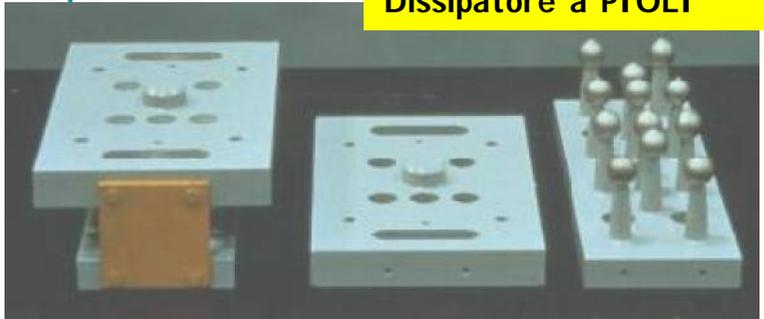
$$\xi_{eq} = \frac{E_d}{2\pi E_{el}} = \frac{4 \cdot \mu W d}{2\pi K d^2}$$

$$\xi_{eq} = \frac{2 \mu W}{\pi K d}$$

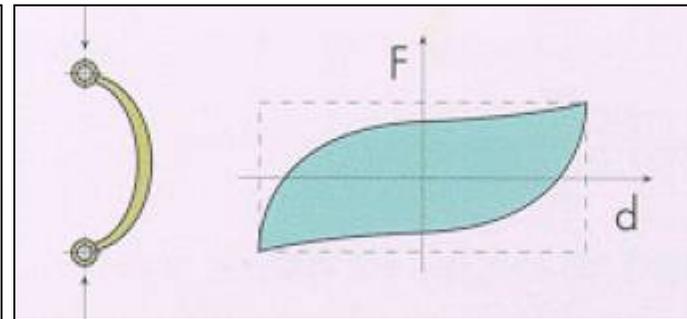
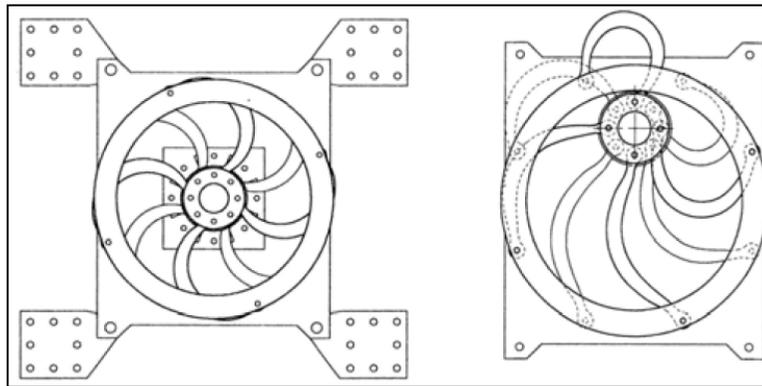
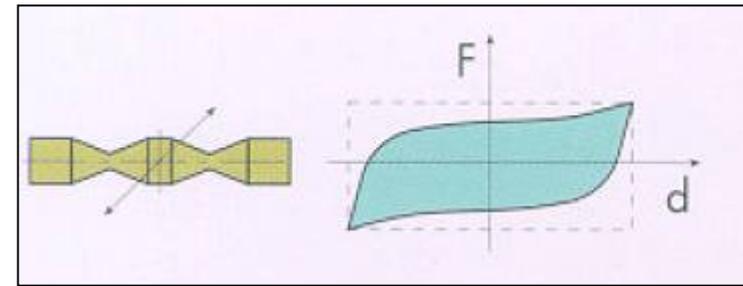
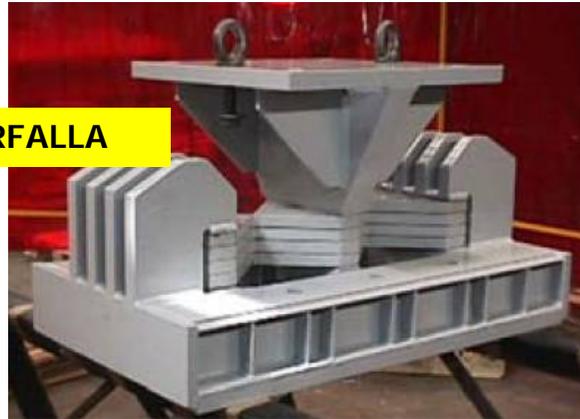
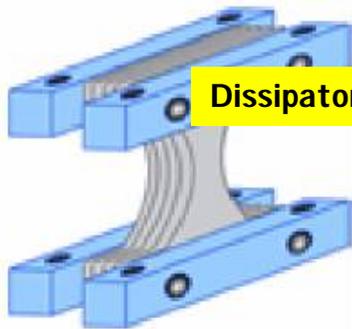


Alcuni tipi di DISSIPATORI ISTERETICI IN ACCIAIO

Dissipatore a PIOLI

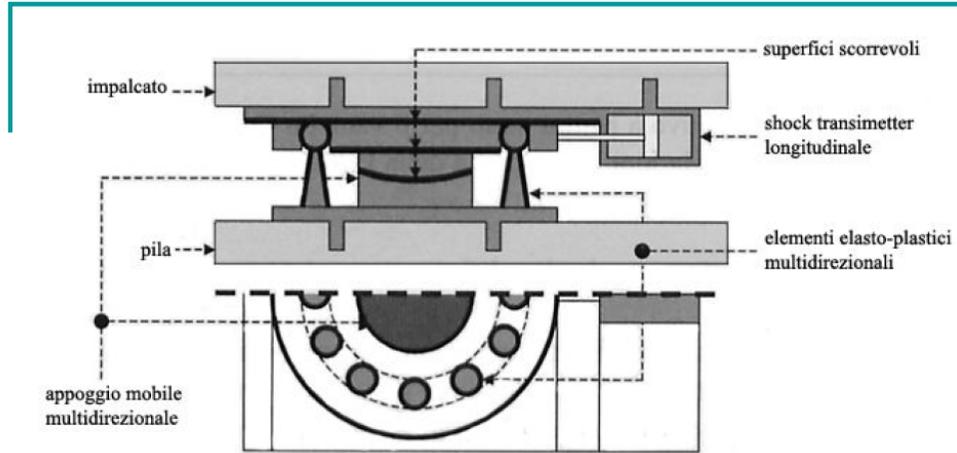


Dissipatore a FARFALLA



Dissipatore a FALCE di LUNA





schema di un dispositivo isteretico a pioli con appoggio



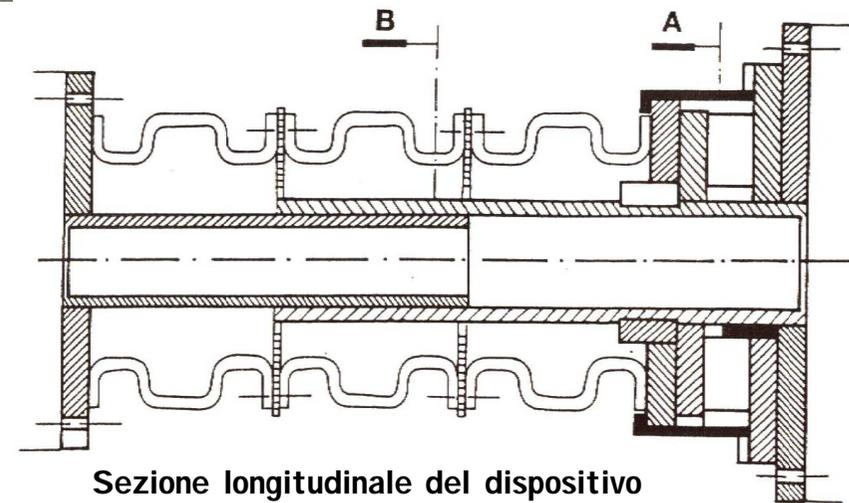
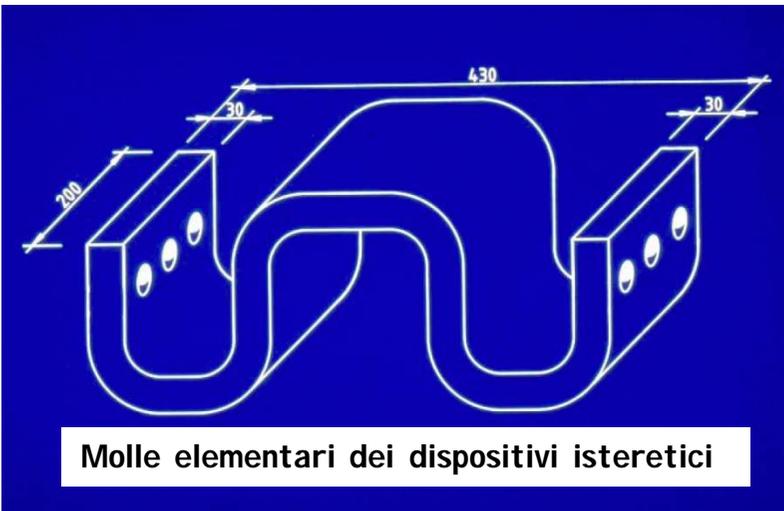
dispositivo isteretico a farfalla



dispositivo isteretico a falce di luna

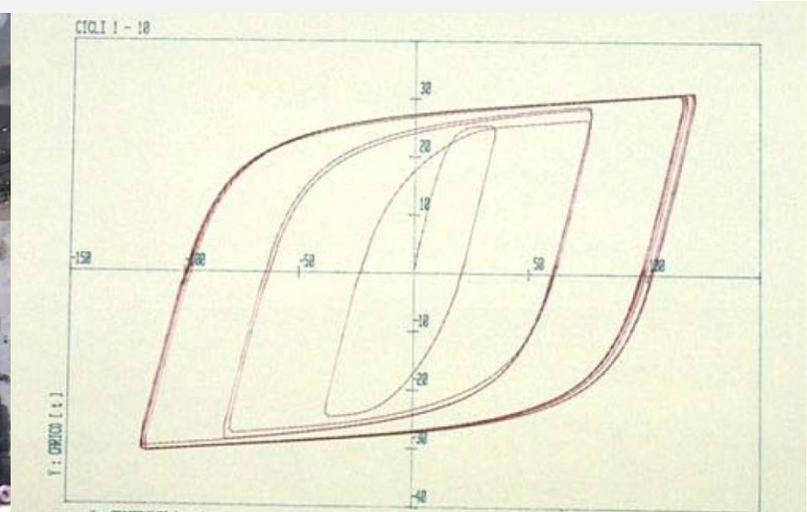


I primi dispositivi isteretici utilizzati per i ponti dell'Autostrada Udine-Tarvisio nel 1980

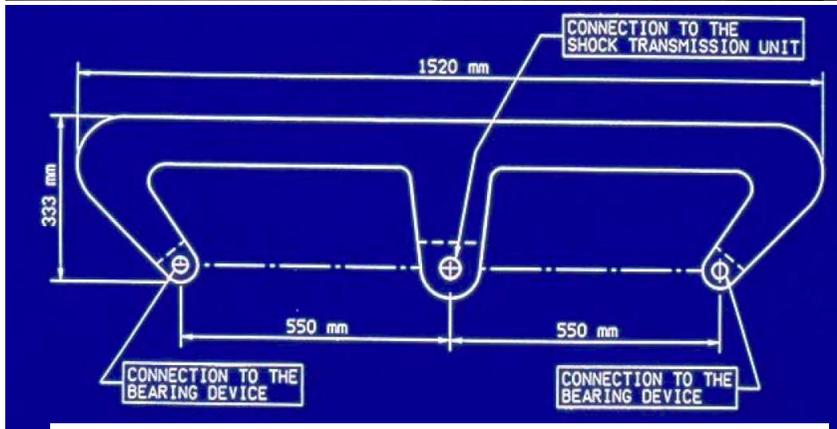




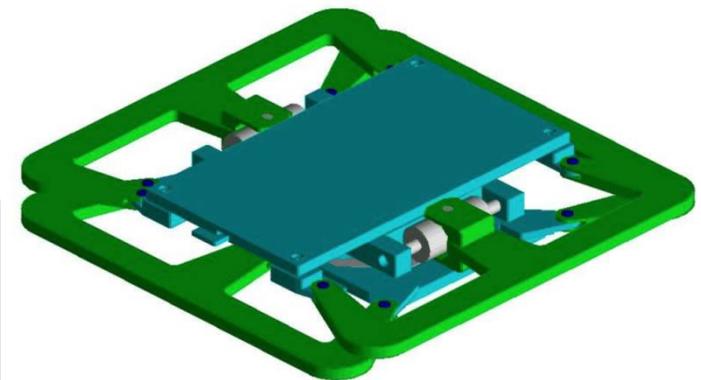
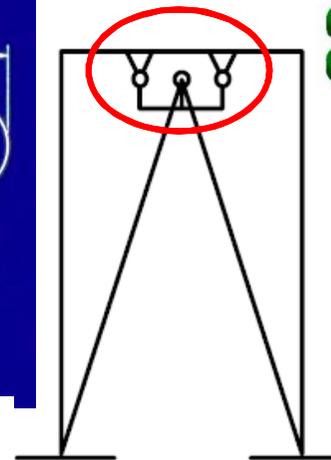
Ritegni isteretici con dispositivi ad E disposti fra impalcato e spalla



Cicli d'isteresi di un dispositivo isteretico ad E



Dettaglio di un dispositivo isteretico ad E



Schema di **dispositivi isteretici** combinati con appoggio a disco elastomerico e connettori idraulici

CONTROLLO PASSIVO

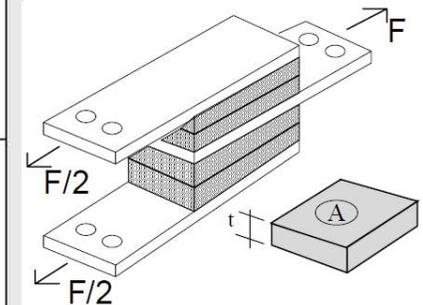
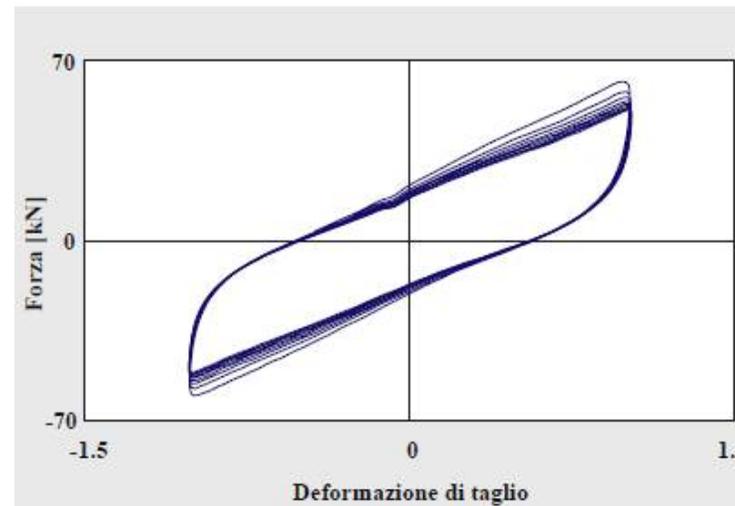
DISSIPAZIONE DI ENERGIA

DISSIPATORI VISCOELASTICI ELASTOMERICI

la dissipazione è fornita dalla **deformazione a taglio** di **gomma ad alto smorzamento**



Solitamente sono utilizzati come componenti di controventi dissipativi in edifici intelaiati; gli strati di elastomero possono essere disposti sia sul piano verticale che orizzontale.



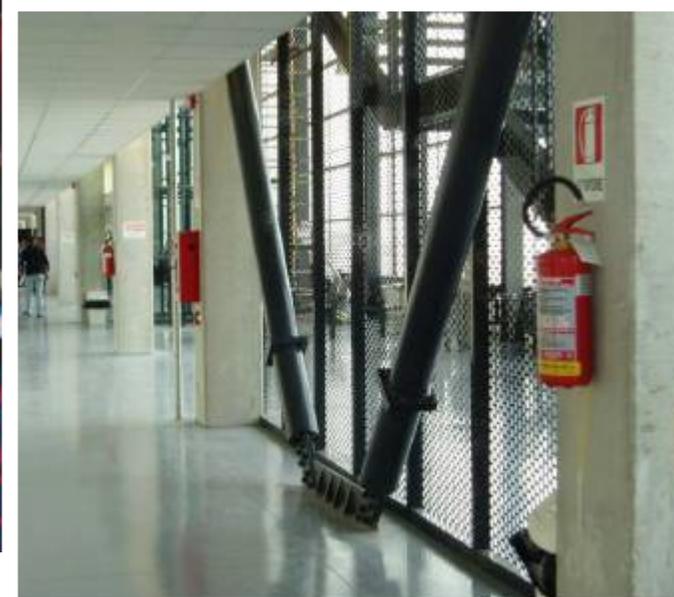
L'aggiunta di opportuni additivi alla gomma, consente di ottenere coefficiente di smorzamento viscoso equivalente più alto $\xi = 10\div 20\%$



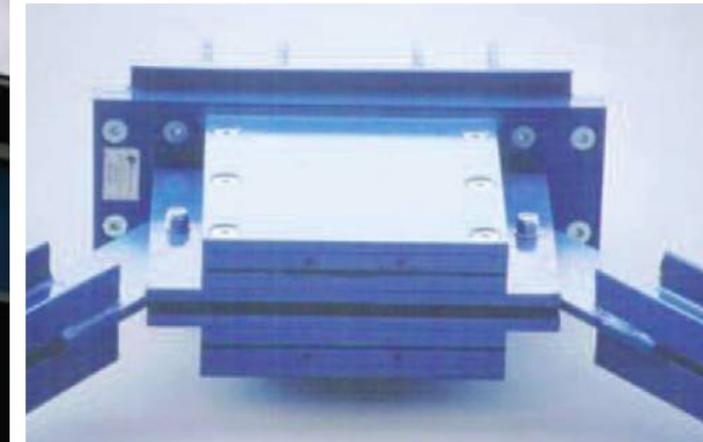
Dissipatori **elastoplastici**
Scuola Domiziano Viola, Potenza



Dissipatori **elastoplastici**
Università di Ancona,



Dissipatori **viscoelastici**,
Scuola Gentile Fermi, Fabriano





Dissipatori **viscoelastici**,
ITIS Porro, Pinerolo (TO)

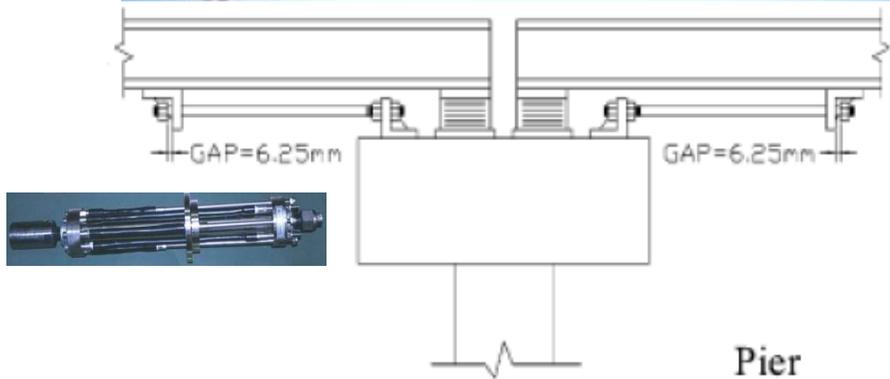


CONTROLLO PASSIVO

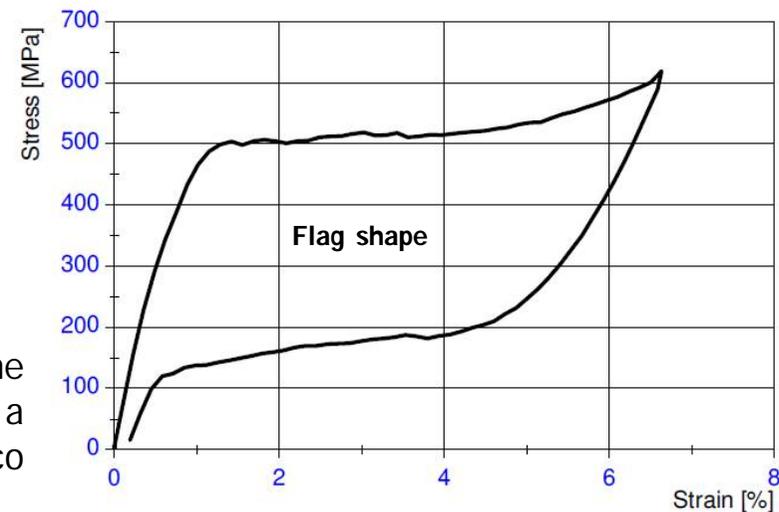
DISSIPAZIONE DI ENERGIA

DISPOSITIVI IN LEGA A MEMORIA DI FORMA

Una lega a memoria di forma (SMA, Shape Memory Alloys) è una lega metallica che "mantiene la memoria" della sua forma, riacquisendola quando viene surriscaldata

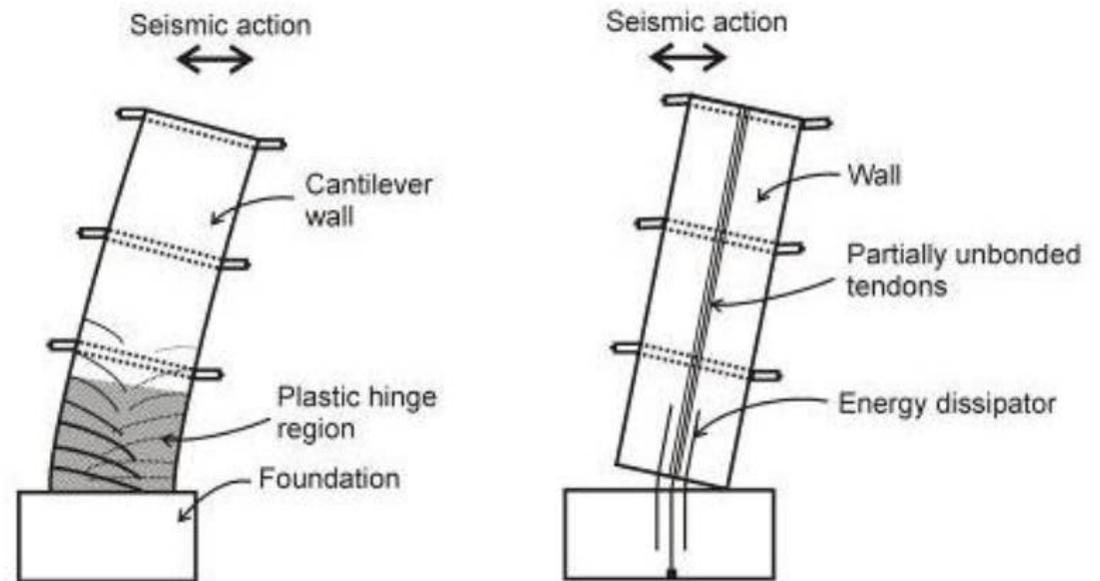


Tipico diagramma forza-deformazione di **leghe a memoria di forma** a comportamento superelastico

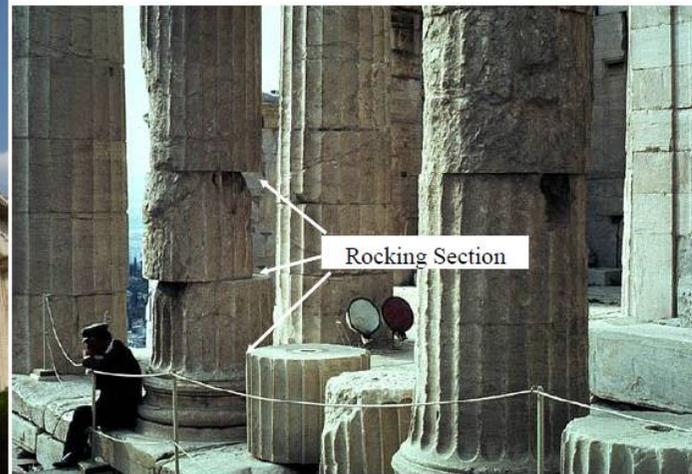


IL ROCKING

Perché possa essere sfruttata un'elevata dissipazione è necessario che la struttura abbia possibilità di sopportare elevati spostamenti senza danneggiamento.



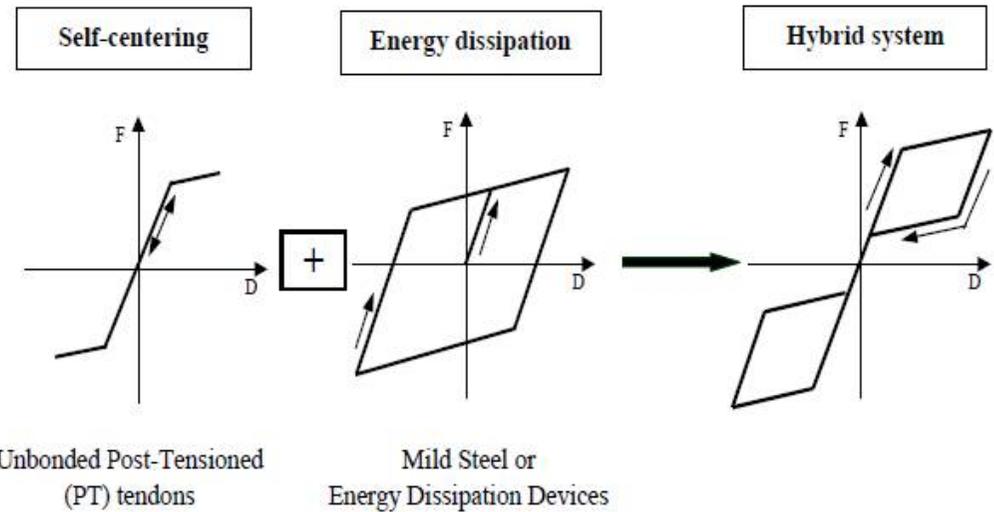
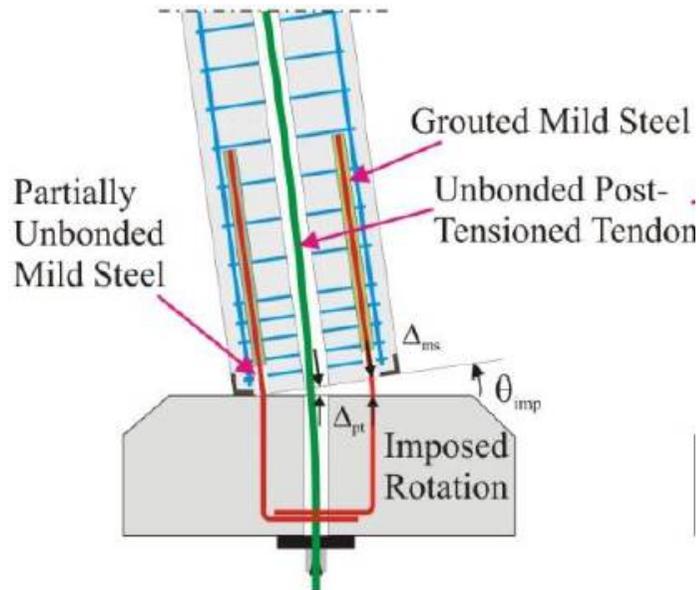
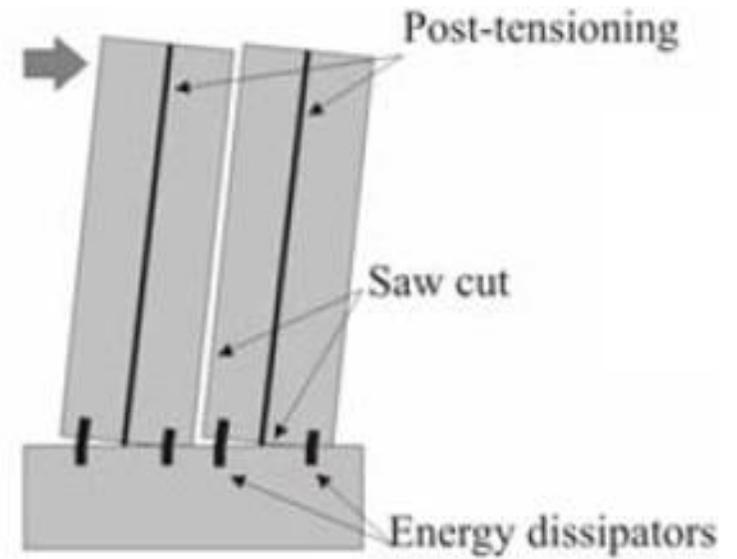
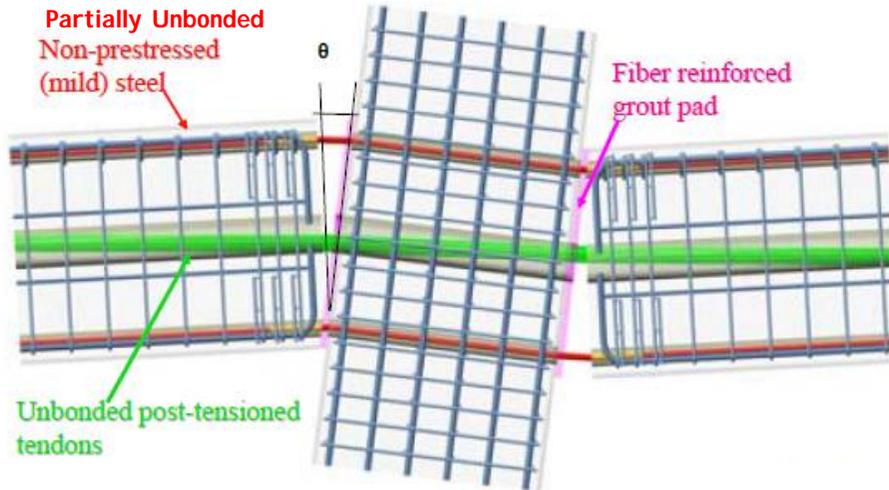
L'osservazione **delle risposte di edifici greci e romani** agli eventi sismici ha rappresentato l'ispirazione alle nuove tecniche utilizzate nelle progettazioni di ultima generazione



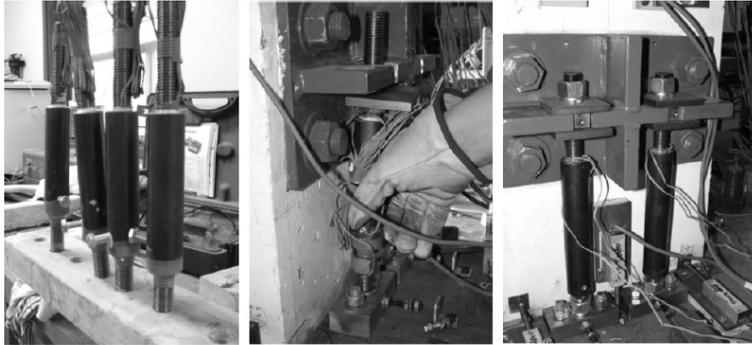
chiavi di taglio



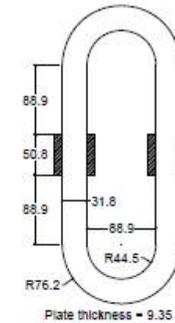
IL problema del RICENTRAGGIO



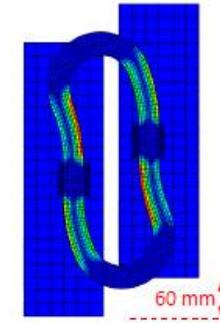
La limitazione del danno strutturale ed il ripristino post-sisma I DISSIPATORI ESTERNI



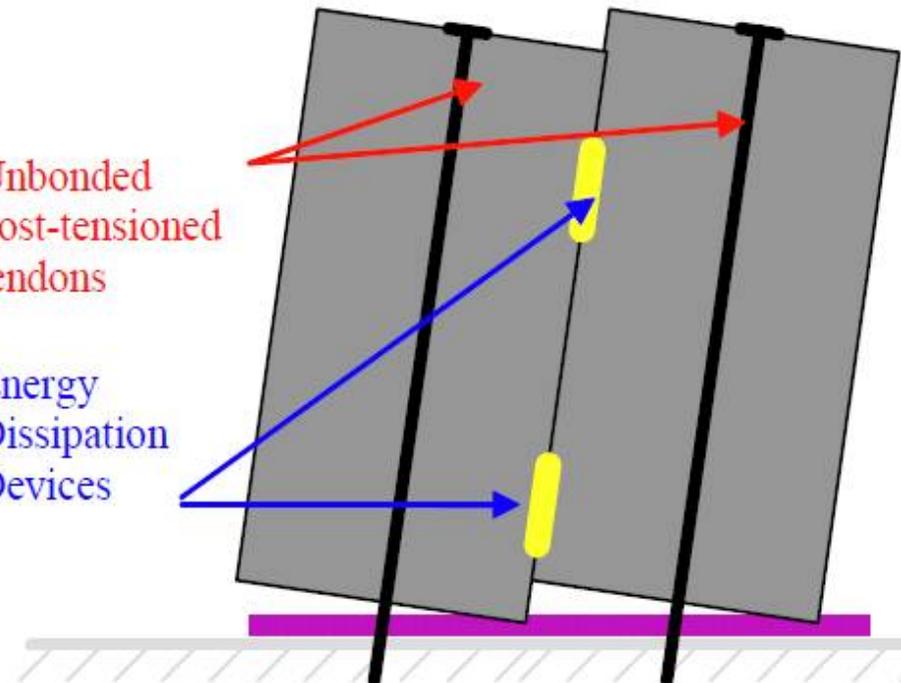
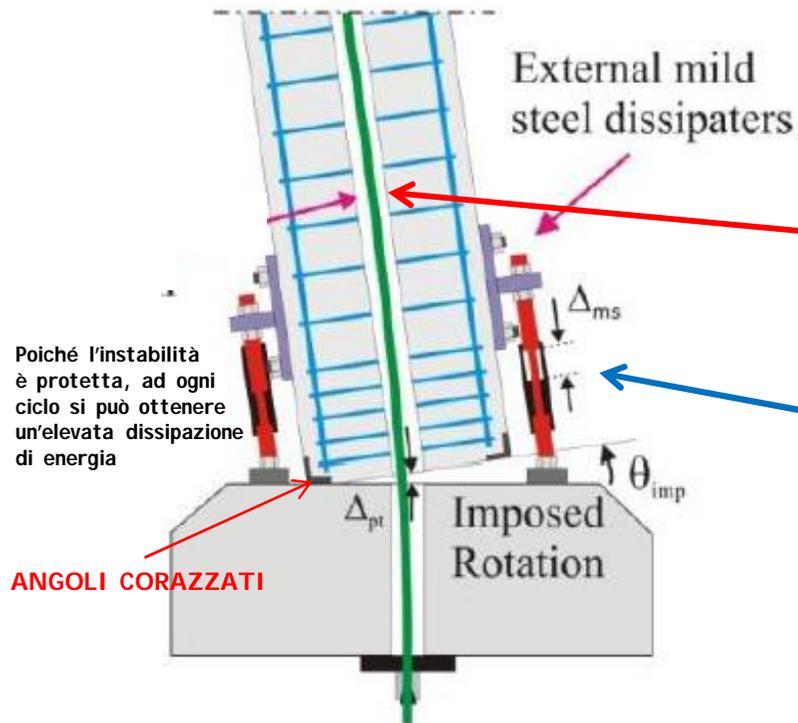
(a) UFP test



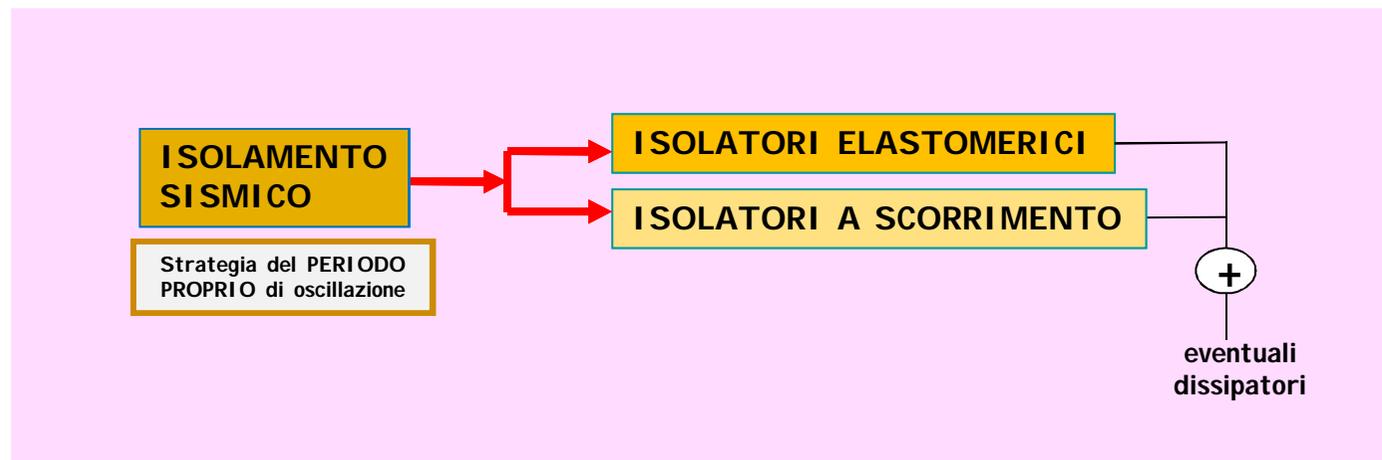
(a) Sketch of connector



(b) FEM at 60 mm disp.



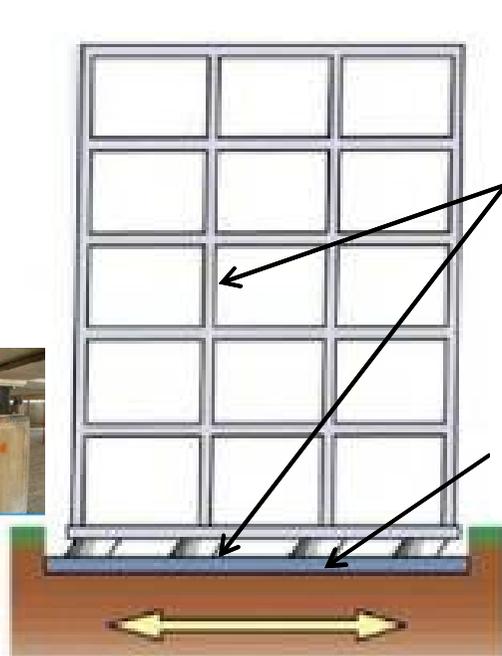
L'ISOLAMENTO



CRITERI DI BASE DELL'ISOLAMENTO SISMICO

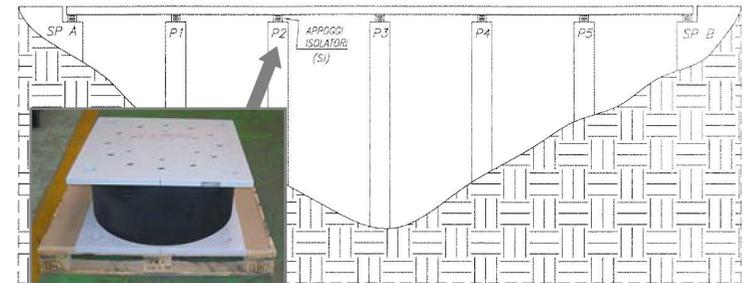
La **RIDUZIONE DI ENERGIA IN INGRESSO** si ottiene disaccoppiando il moto della struttura da quello del terreno

Le tecniche di isolamento sismico consistono nell'introdurre lungo lo sviluppo verticale della struttura da isolare una **DISCONTINUITÀ** in modo da separarla in due parti:



Una **SOVRASTRUTTURA** che negli edifici rappresenta la parte da proteggere.

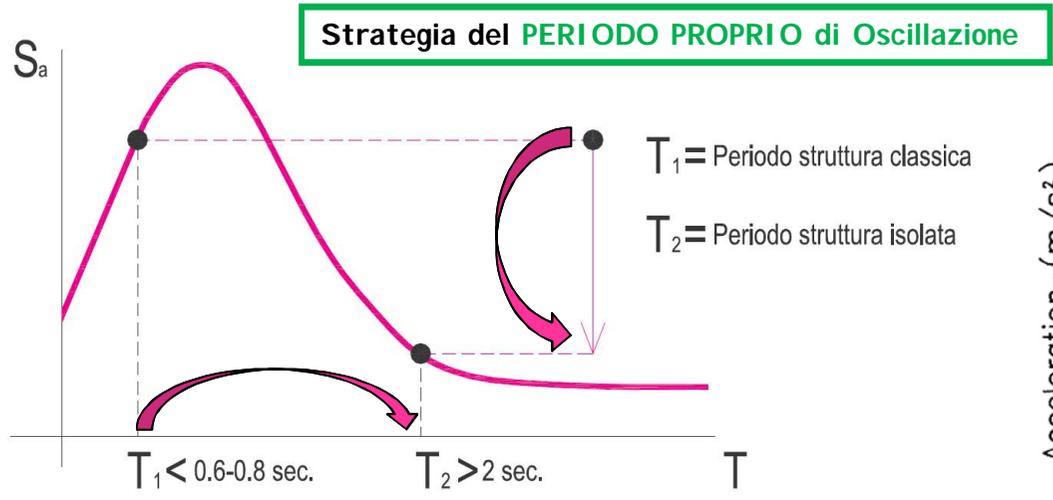
Una **SOTTOSTRUTTURA** collegata alle fondazioni



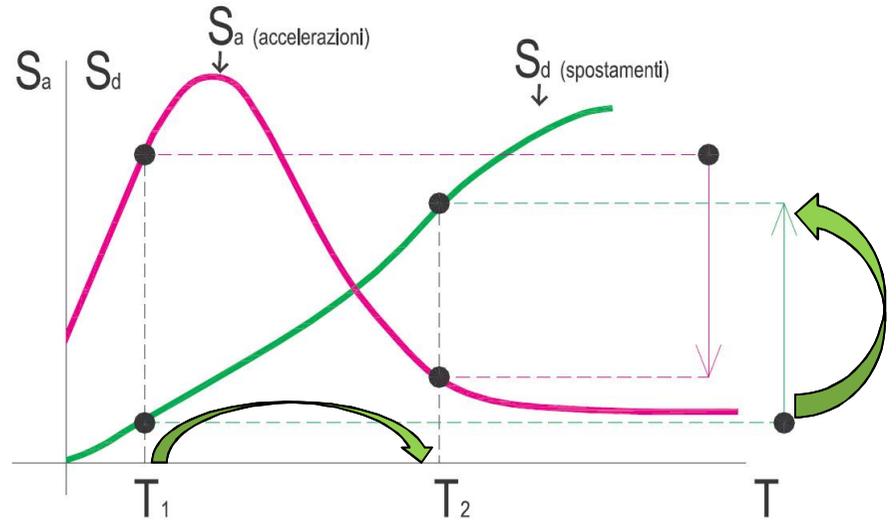
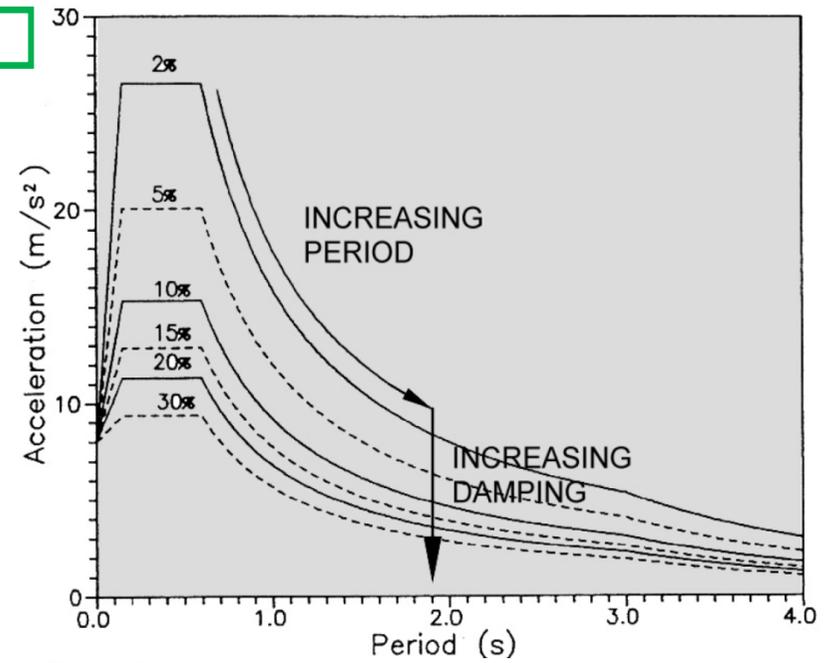
N.B. Negli EDIFICI la parte da proteggere è la SOVRASTRUTTURA mentre per i PONTI la parte da proteggere è la SOTTOSTRUTTURA

L' **INCREMENTO DELLA CAPACITÀ DISSIPATIVA** si ottiene con l'ausilio di **Dispositivi ausiliari in grado di aumentare le capacità dissipative del sistema**

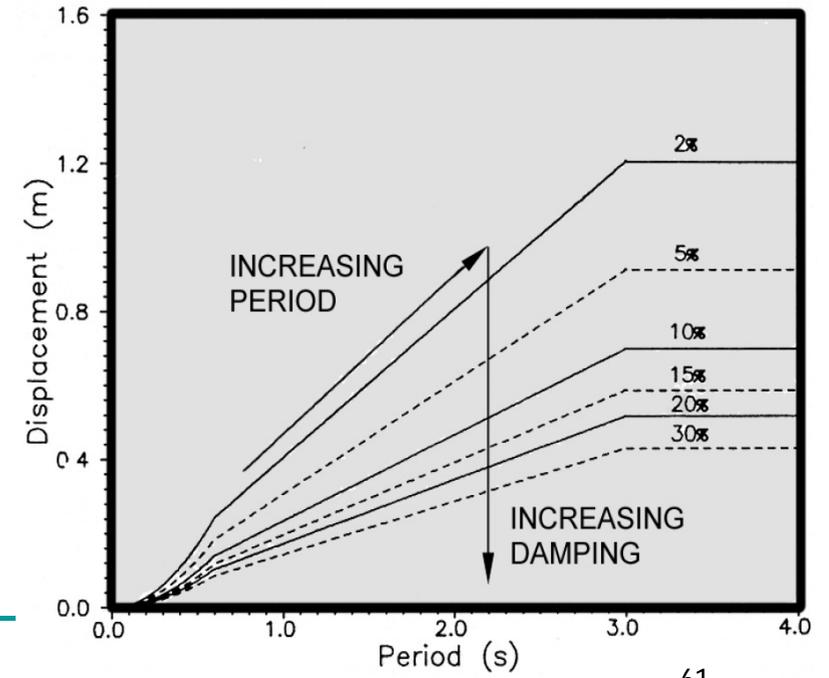




Abbattimento delle risposte attraverso l'aumento del periodo

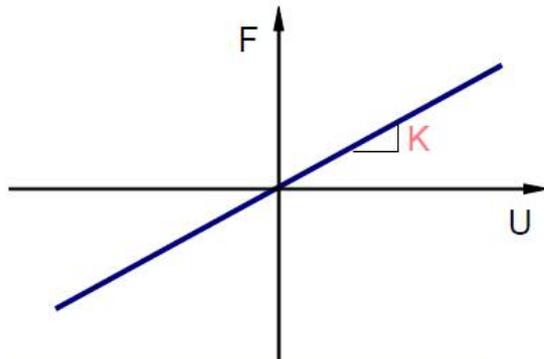


Contemporaneo incremento dello spostamento del sistema

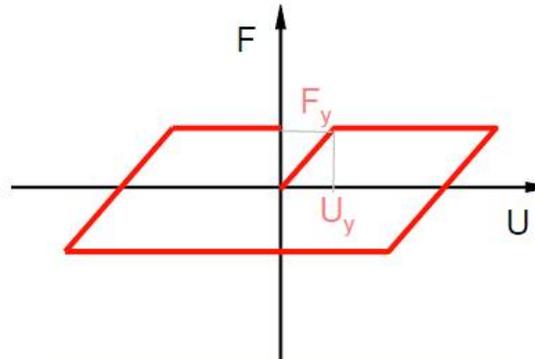


MODELLAZIONE degli ISOLATORI

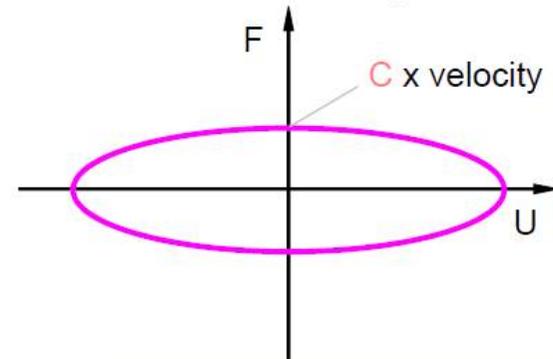
Ciascun tipo di isolatore può essere modellato come **combinazione in parallelo di più elementi base:**



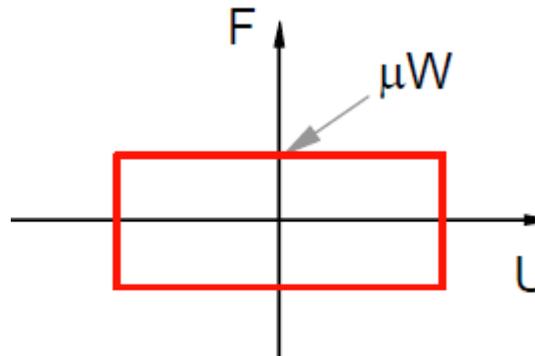
Elemento a **comportamento LINEARE**



Elemento a **comportamento ISTERETICO**



Elemento a **comportamento VISCOSO**



Elemento a **comportamento ATTRITIVO**

REQUISITI DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

1 Capacità di **sostenere i carichi gravitazionali in condizioni di servizio e sismiche**

2 **Elevata deformabilità laterale** sotto l'azione sismica

3 Funzione di **vincolo laterale** sotto le azioni di servizio

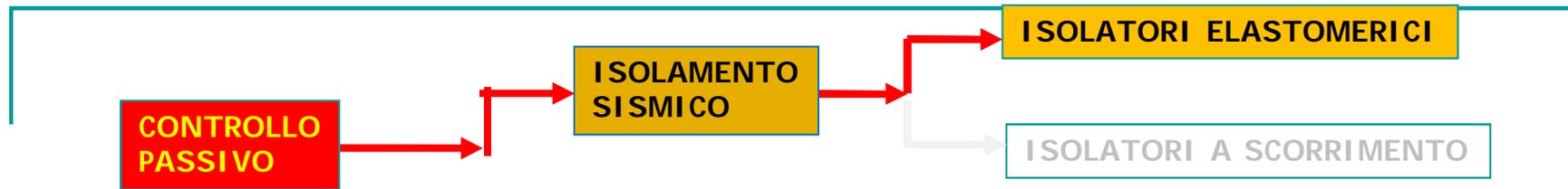
4 Facilità di **installazione** e manutenzione con costi contenuti

5 Buona **capacità dissipativa**;
Capacità di **ricentraggio**;



Dispositivi ausiliari



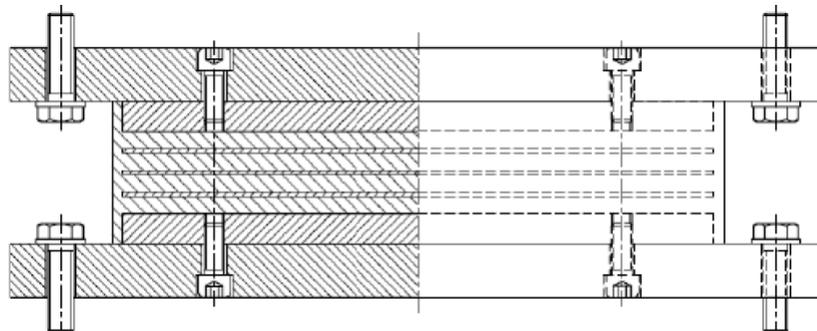


Gli Isolatori Elastomerici rappresentano i dispositivi più semplici in grado di fungere da isolatore per le strutture da ponte.

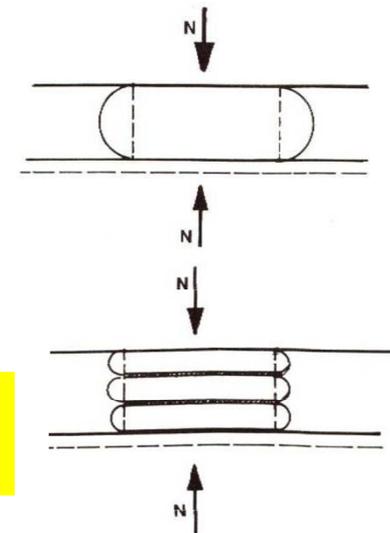
Essi sono realizzati alternando strati di elastomero dello spessore di 5 - 20 mm con lamierini di acciaio dello spessore di 2 - 3 mm (collegati tramite vulcanizzazione).

I **lamierini** hanno una plurima funzione:

- esercitare un' **azione di confinamento sull'elastomero**, limitandone la deformabilità verticale (l'abbassamento del dispositivo sotto i carichi verticali di esercizio è generalmente contenuto in 1 - 3 mm),
- **incrementare la portanza** ai carichi verticali,
- non influenzare la **deformabilità a taglio** dell'isolatore in direzione orizzontale.



Alcune varianti possono essere ottenute con l'inserimento di elementi atti ad aumentarne le capacità dissipative.



Esistono essenzialmente **tre tipi di isolatori elastomerici**, attualmente in commercio:

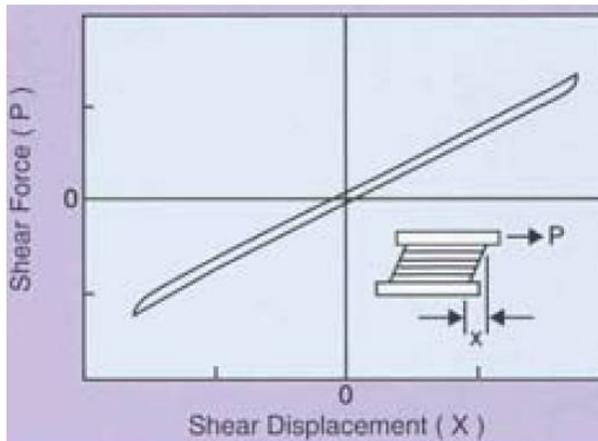
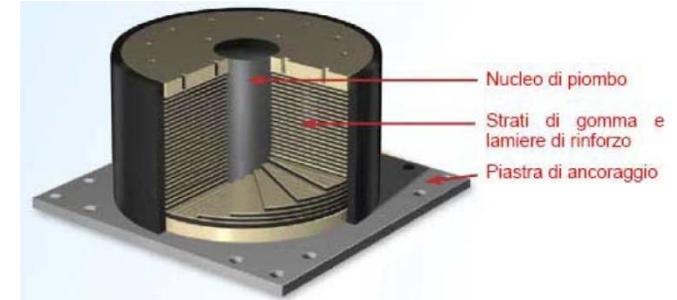
1 isolatori in gomma armata a basso smorzamento (**LDRB**)



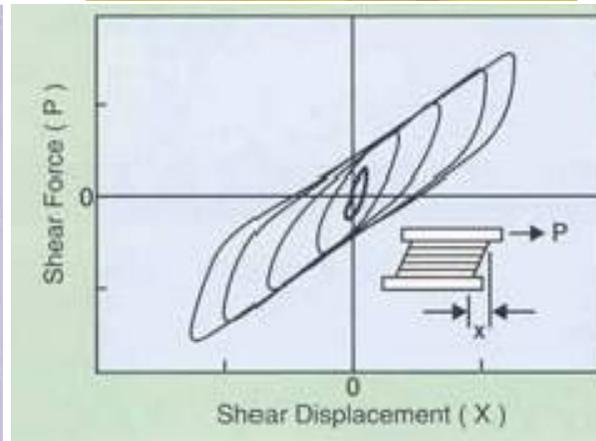
2 isolatori in gomma armata ad alto smorzamento (**High Damping Rubber Bearing, HDRB**)



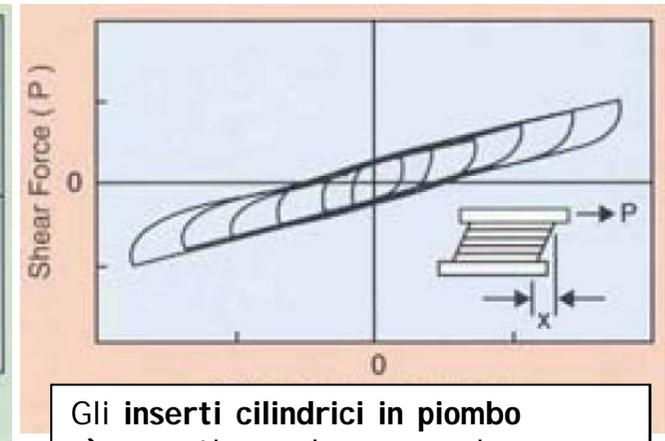
3 isolatori in gomma armata con nucleo di piombo (**Lead Rubber Bearing, LRB**)



Comportamento meccanico **sostanzialmente elastico** e coefficiente di smorzamento viscoso equivalente molto basso $\xi=2\div5\%$



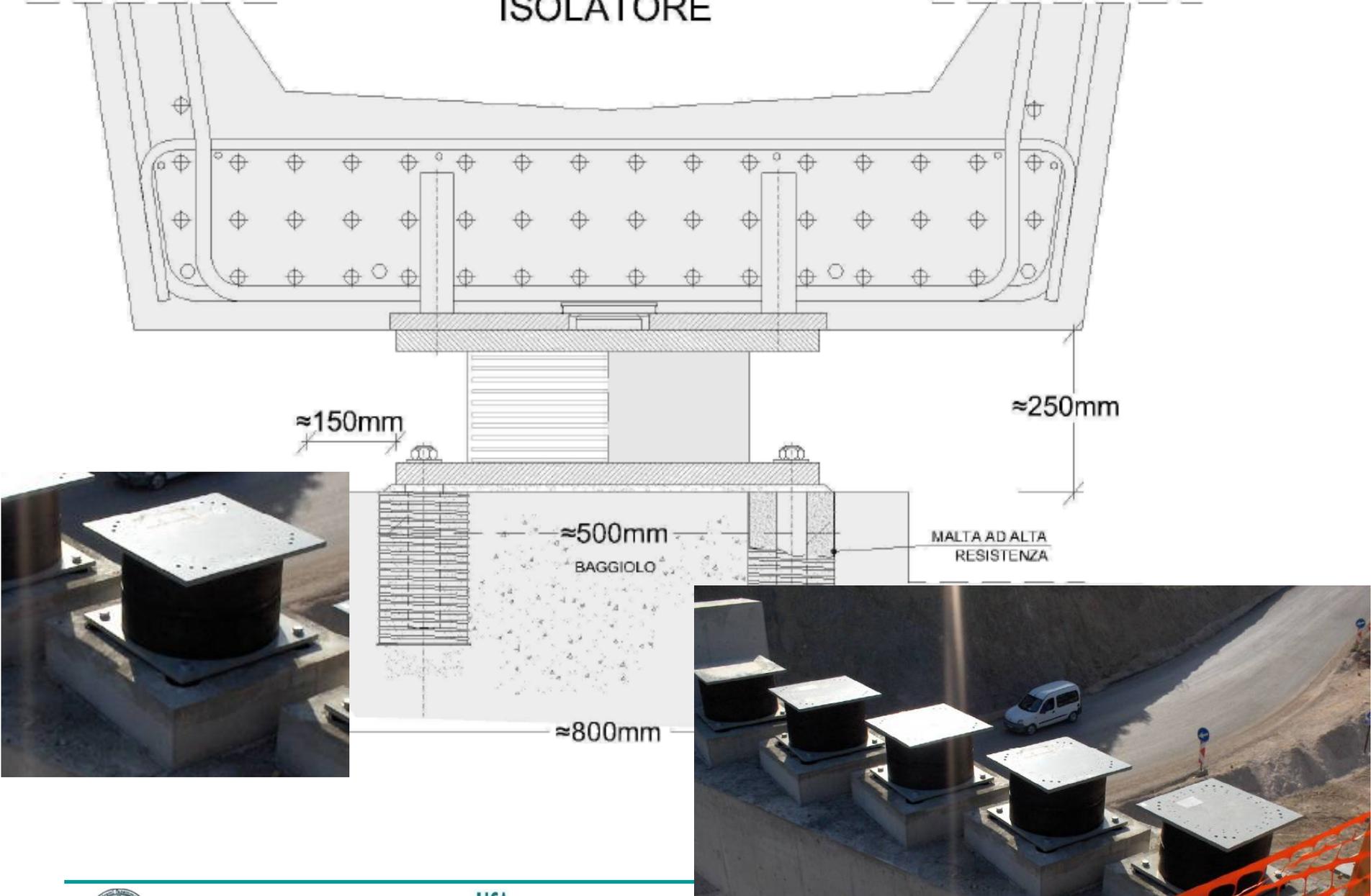
L'aggiunta di opportuni additivi alla gomma, consente di ottenere coefficiente di smorzamento viscoso equivalente più alto $\xi=10\div20\%$



Gli inserti cilindrici in piombo
a) garantiscono la necessaria **rigidezza ai carichi orizzontali di servizio** (vento, frenatura, ...),
b) forniscono un' **elevata capacità dissipativa** sotto sisma.



ISOLATORE





Gli isolatori a scorrimento (o quelli a rotolamento) sono costituiti da appoggi a scorrimento (**acciaio-teflon**) o a rotolamento (**su rulli o sfere**), caratterizzati da **bassi valori delle resistenze di attrito**.

Possono essere unidirezionali o multidirezionali e sono caratterizzati da:

- IMMAGAZZINANO L'ENERGIA PRODOTTA DALLO SPOSTAMENTO SOTTO FORMA DI **ENERGIA POTENZIALE**
- LA DISSIPAZIONE È LEGATA ALL'**ATTRITO** TRA LE SUPERFICI DI SCORRIMENTO RELATIVO.

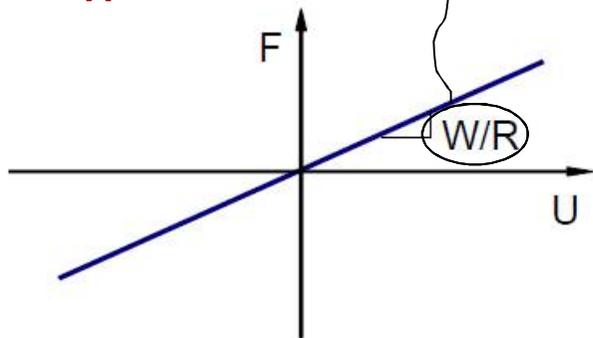
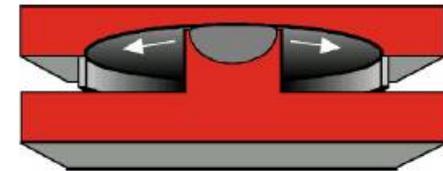
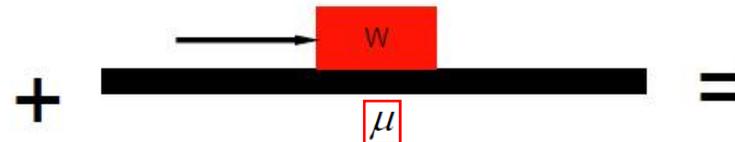
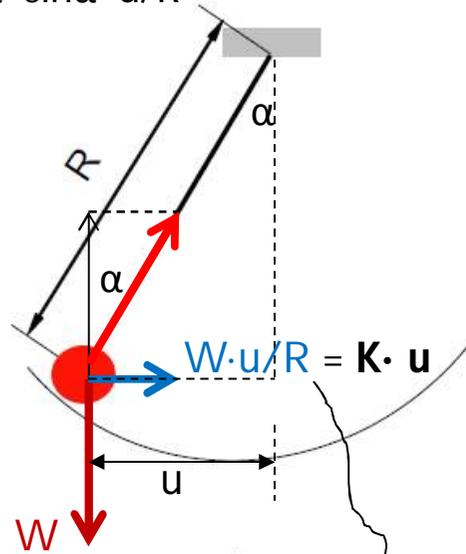
Gli isolatori a scorrimento richiedono generalmente la presenza di **DISPOSITIVI AUSILIARI** con funzioni **DISSIPATIVE** e/o **RICENTRANTI** e/o di **VINCOLO**

Pendolo ad Attrito (Friction Pendulum, FP)

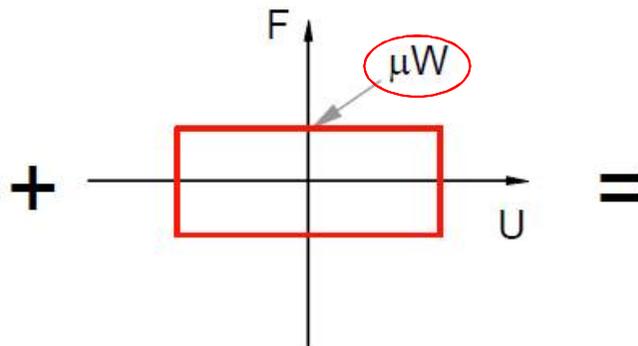
La modellazione degli isolatori è una **combinazione in parallelo** dei seguenti elementi base:



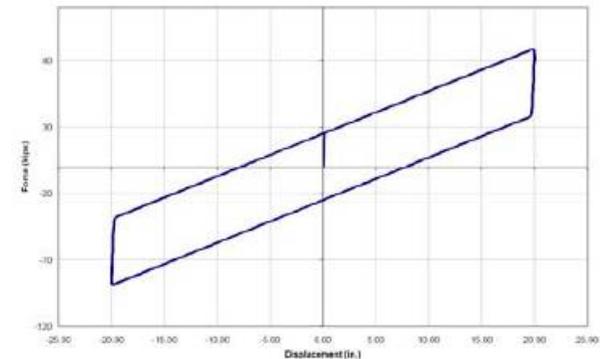
$$\text{tg}\alpha \approx \sin\alpha = u/R$$



Pendolo Semplice



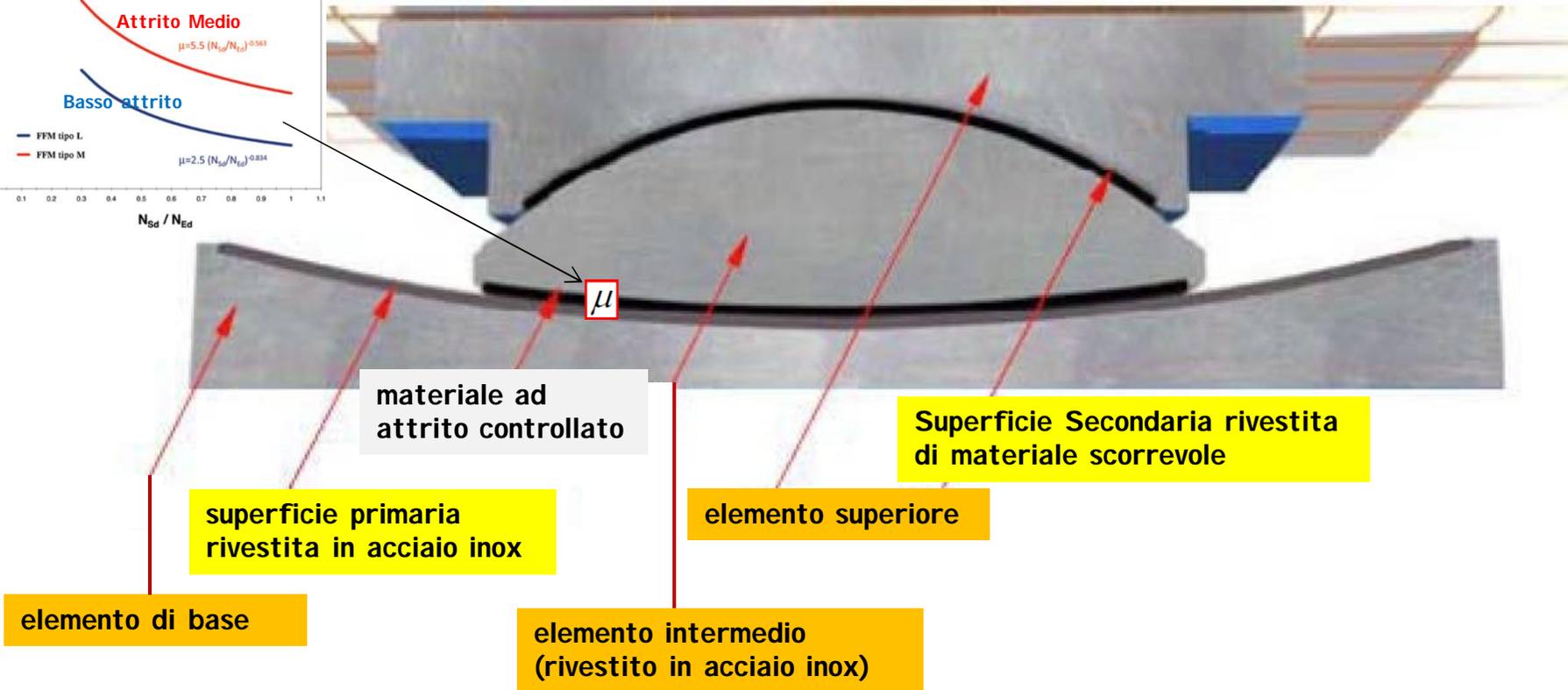
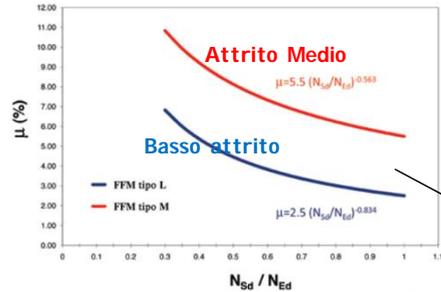
Dissipatore ad attrito



FPS



Pendolo ad Attrito (Friction Pendulum, FP)



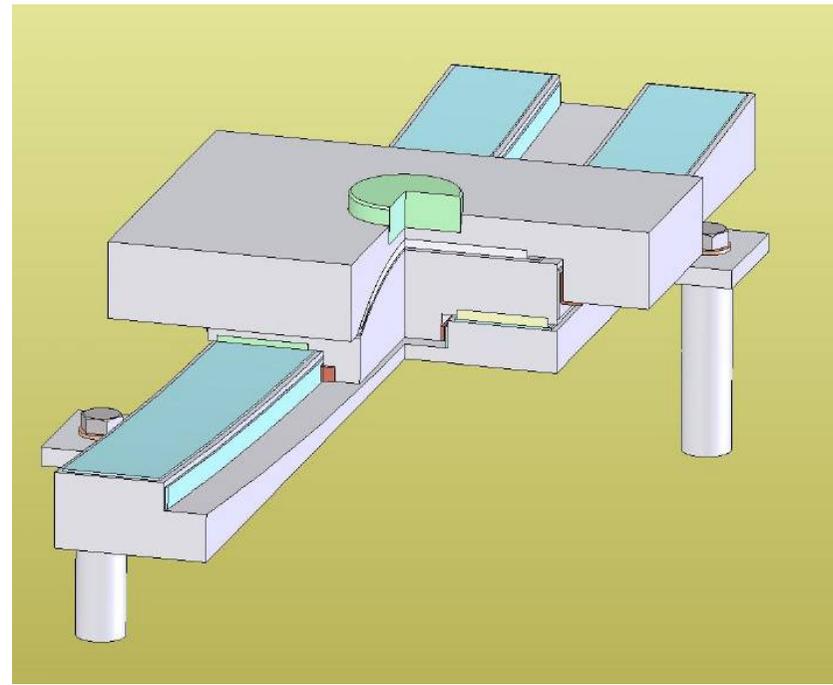
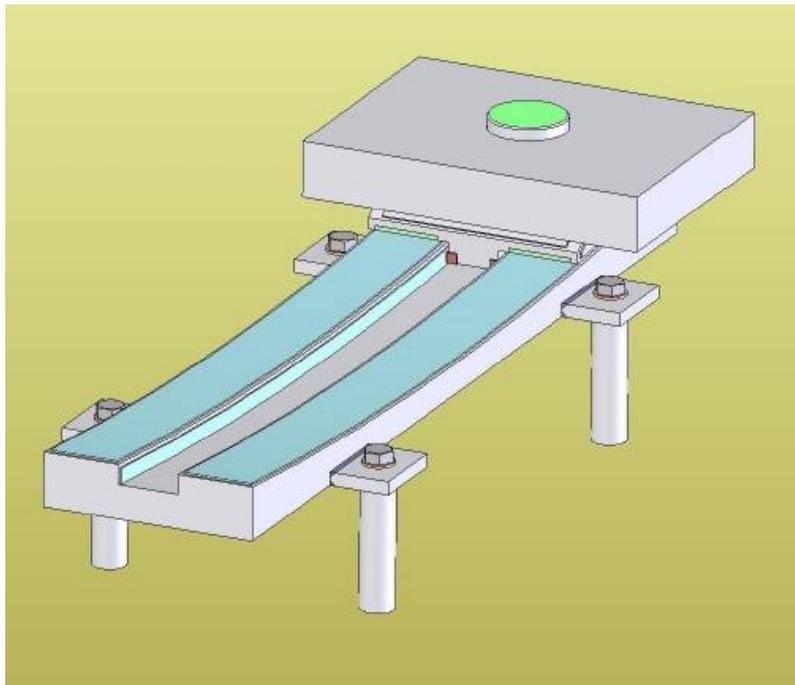
Funzione Dissipativa: garantita da una superficie non lubrificata, regolata con materiale ad attrito controllato

Funzione Ricentrante: garantita dalla gravità e dalla particolare configurazione della superficie di scorrimento.



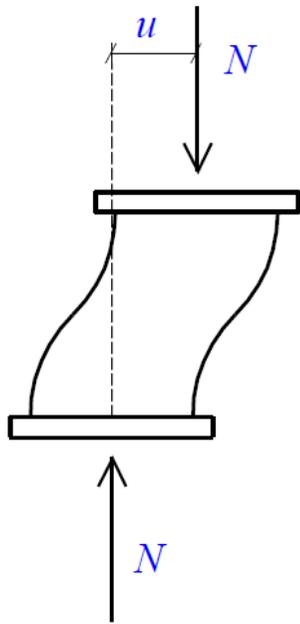
SOLUZIONE CON ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE UNIDIREZIONALE

Nei casi in cui, nella direzione trasversale pile e relative fondazioni sono tali da non richiedere isolamento sismico, è possibile utilizzare **Isolatori a pendolo scorrevole unidirezionali**

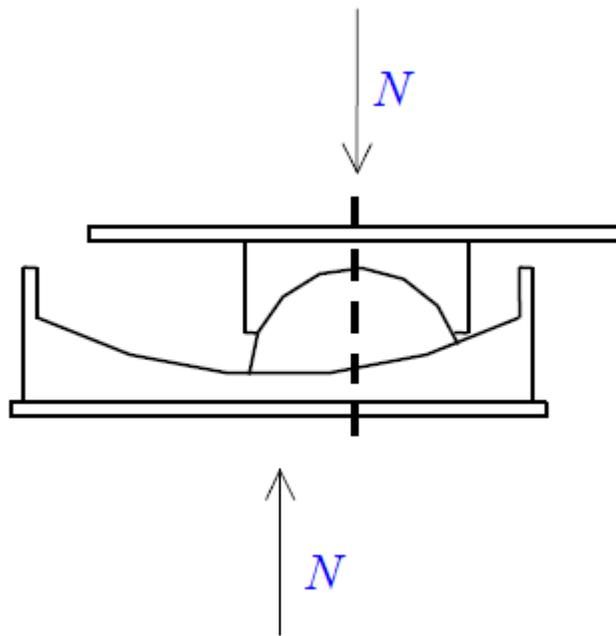


effetto $P - \delta$

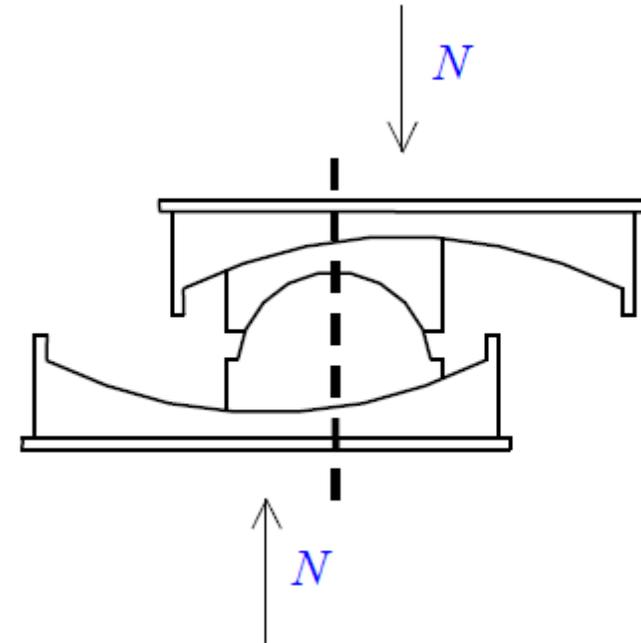
$$M_\delta = N \cdot u$$



Isolatori elastomerici



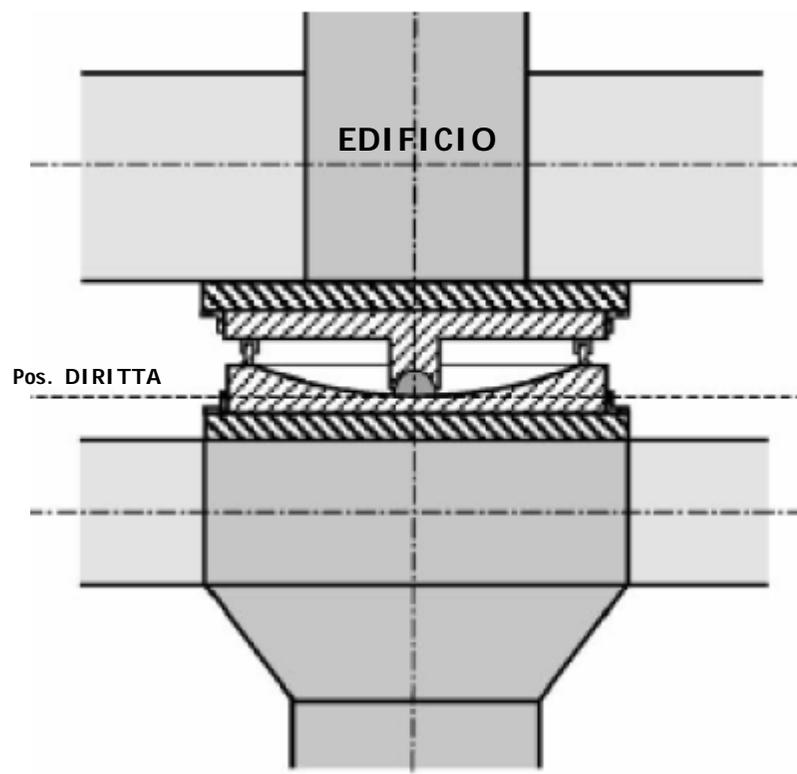
Isolatori friction pendulum a semplice curvatura:



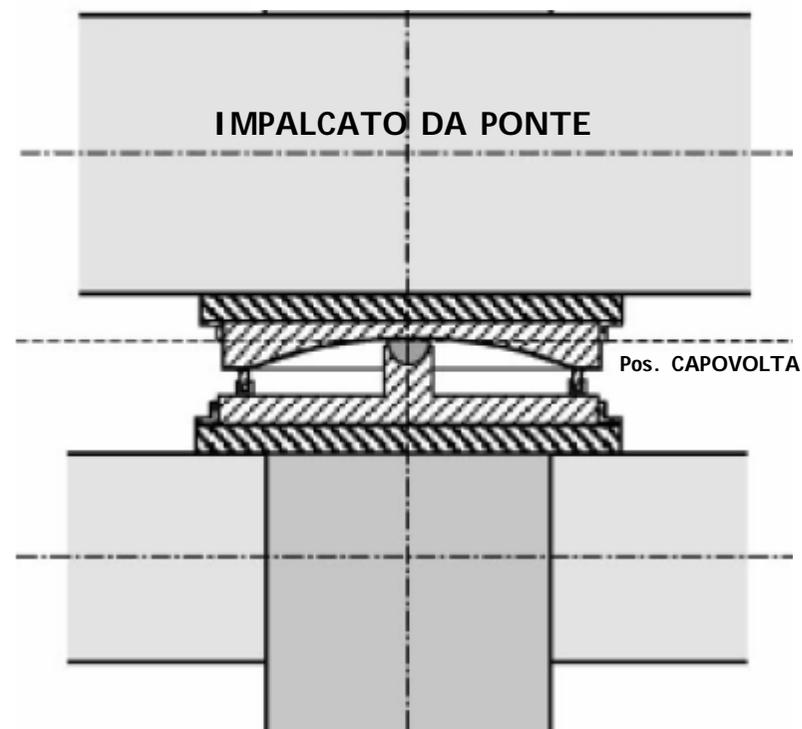
Isolatori friction pendulum a doppia curvatura:



Il Friction Pendulum può essere montato indifferentemente in posizione diritta o capovolta, concettualmente equivalente in termini di isolamento



L'affetto $P-\Delta$ si risente sulla SOTTOSTRUTTURA



L'affetto $P-\Delta$ si risente sulla SOVRASTRUTTURA



7.10.5.2 Modellazione

SOVRASTRUTTURA



comportamento elastico lineare

SISTEMA di ISOLAMENTO



comportamento visco-elastico lineare

legame costitutivo non lineare

Condizioni di applicabilità

SOTTOSTRUTTURA



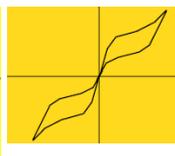
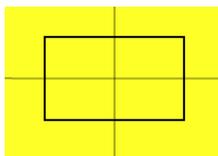
comportamento elastico lineare

rigidezza equivalente $> 50\%$ rigidezza secante al 20% dello spostamento di riferimento;

smorzamento $\xi_{\text{eff}} < 30\%$

caratteristiche forza-spostamento del sistema di isolamento **non variano di più del 10%** per effetto di variazioni della velocità di deformazione, ($\pm 30\%$), e dell'azione verticale sui dispositivi;

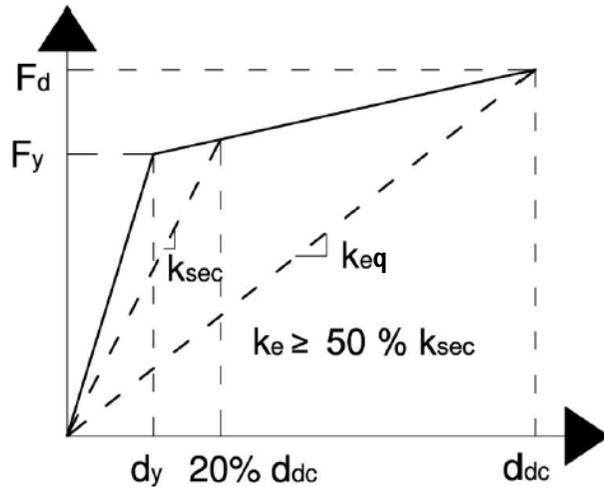
l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti tra $0,5d_{dc}$ e d_{dc} , (d_{dc} =spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica), è **almeno pari al 2,5% del peso totale dell'impalcato**



il legame costitutivo dei singoli dispositivi del sistema d'isolamento deve **riprodurre adeguatamente il loro effettivo comportamento** anche in relazione alla **corretta rappresentazione dell'energia dissipata nei cicli di isteresi**.



REQUISITI PER LA MODELLAZIONE LINEARE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO



requisito numero 1 per la modellazione lineare del sistema d'isolamento.

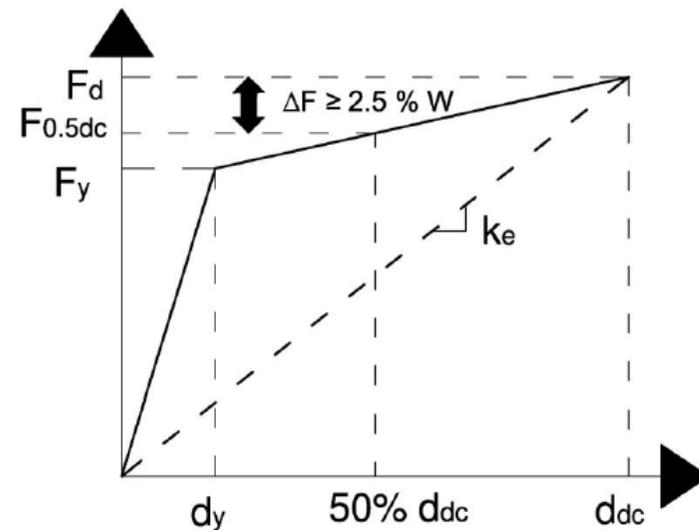
$$\xi_{eff} < 30\%$$

requisito numero 2 per la modellazione lineare del sistema d'isolamento.

in ogni caso affinché sia possibile l'utilizzo di un modello lineare equivalente si deve controllare che:

$$\Delta N \leq 10\% N_{Quasi\ Permanente}$$

requisito numero 3 per la modellazione lineare del sistema d'isolamento.



requisito numero 4 per la modellazione lineare del sistema d'isolamento.



7.10.5.3 Analisi

N.B.: PER LE COSTRUZIONI ISOLATE ALLA BASE
NON PUÒ ESSERE USATA L'ANALISI STATICA NON LINEARE.

ANALISI POSSIBILI PER LE COSTRUZIONI SISMICAMENTE ISOLATE

ANALISI LINEARE

STATICA

DINAMICA

ANALISI NON-LINEARE

DINAMICA



7.10.5.3.1 Analisi lineare statica

CONDIZIONI DI APPLICABILITÀ

il metodo dell'analisi statica lineare può essere applicato se la struttura isolata soddisfa i requisiti seguenti:

il sistema d'isolamento può essere modellato come **lineare**,

il periodo equivalente T_{is} della costruzione isolata ha un valore compreso fra $3 \cdot T_{bf}$ e **3,0 sec**, (T_{bf} è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa),

$$3T_{bf} < T_{is} < 3 \text{ sec}$$

la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v è almeno **800** volte più grande della rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento K_{esi} ;

$$K_v > 800 K_{esi}$$

il periodo in direzione verticale T_v , è inferiore a **0,1 sec**

$$T_v = 2\pi \sqrt{M/K_v} < 0.1 \text{ sec}$$

nessuno isolatore risulta in **trazione** per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali;

il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale **regolare in pianta**

lo schema statico è a impalcati in **semplice appoggio**, oppure a **impalcati continui** con **geometria regolare**, caratterizzata da:

Impalcati sostanzialmente rettilinei

Luci uguali

$$L_{TOT} < 150 \text{ m}$$

$$(K_{max}/K_{min})_{PILE} < 2$$

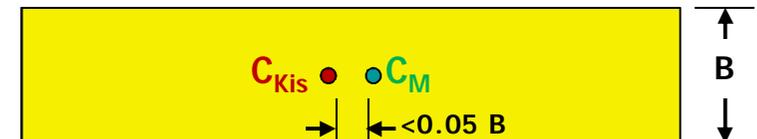
PONTI

la massa della metà superiore delle pile è inferiore a **1/5 della massa dell'impalcato**

le pile hanno altezza inferiore a 20 m;

$$H_{PILE} < 20 \text{ m}$$

in direzione trasversale la distanza tra il **centro di rigidezza del sistema di isolamento** e il **centro di massa dell'impalcato** non è superiore al 5% della dimensione trasversale della sovrastruttura



In merito all'azione sismica nelle direzioni orizzontali si opera come segue:

Si assume l'edificio come un solido rigido che trasla al di sopra del sistema di isolamento, con un periodo equivalente di traslazione pari a:

$$T_{is} = 2\pi\sqrt{M/K_{esi}}$$

M = massa totale della sovrastruttura

K_{esi} = rigidità equiv. orizzontale del sistema d'isolamento

La forza orizzontale complessiva applicata al sistema d'isolamento, da ripartire tra gli elementi strutturali costituenti la sottostruttura

$$F = M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

$S_e(T_{is}, \xi_{esi})$ = accelerazione spettrale

Lo spostamento del centro di rigidità dovuto all'azione sismica d_{dc} deve essere calcolato, in ciascuna direzione orizzontale, mediante la seguente espressione

$$d_{dc} = \frac{M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})}{K_{esi,min}}$$

$K_{esi,min}$ = rigidità equiv. minima del sistema di isolamento

Gli effetti torsionali (accidentali) sui singoli dispositivi di isolamento possono essere messi in conto amplificando gli spostamenti mediante i fattori δ_{xi} e δ_{yi} :

$$\delta_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} y \quad \delta_{yi} = 1 + \frac{e_{tot,x}}{r_x^2} x_i$$

$e_{tot x, y}$ = eccentricità totale nella direzione x, y

(x_i, y_i) = coord. del dispositivo rispetto al C.tro di rigidità

$r_{x, y}$ = raggio torsionale del sistema di isolamento, dato da

$$r_x^2 = \sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi}) / \sum K_{yi} \quad r_y^2 = \sum (x_i^2 K_{yi} + y_i^2 K_{xi}) / \sum K_{xi}$$



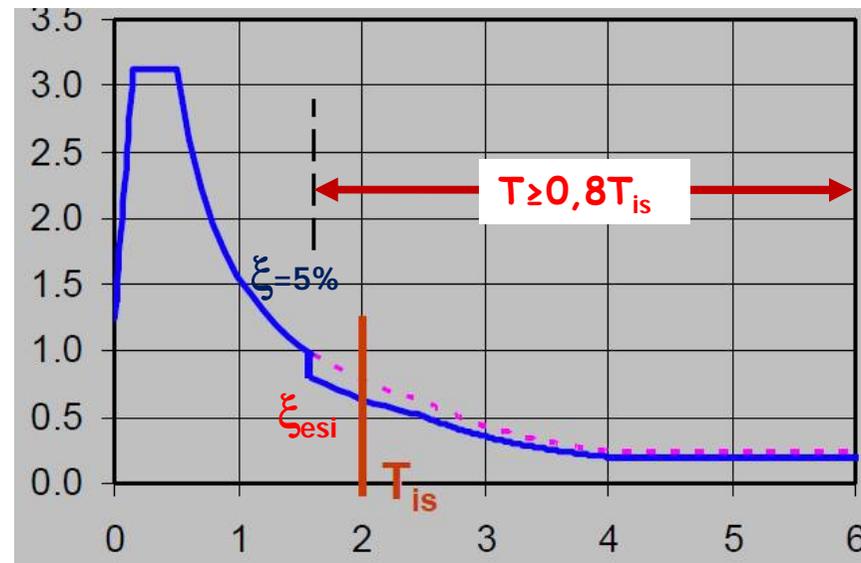
7.10.5.3.2 *Analisi lineare dinamica*

Per le costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica lineare è ammessa quando **risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento**

Il modello deve comprendere sia la **SOVRASTRUTTURA** che la **SOTTOSTRUTTURA**

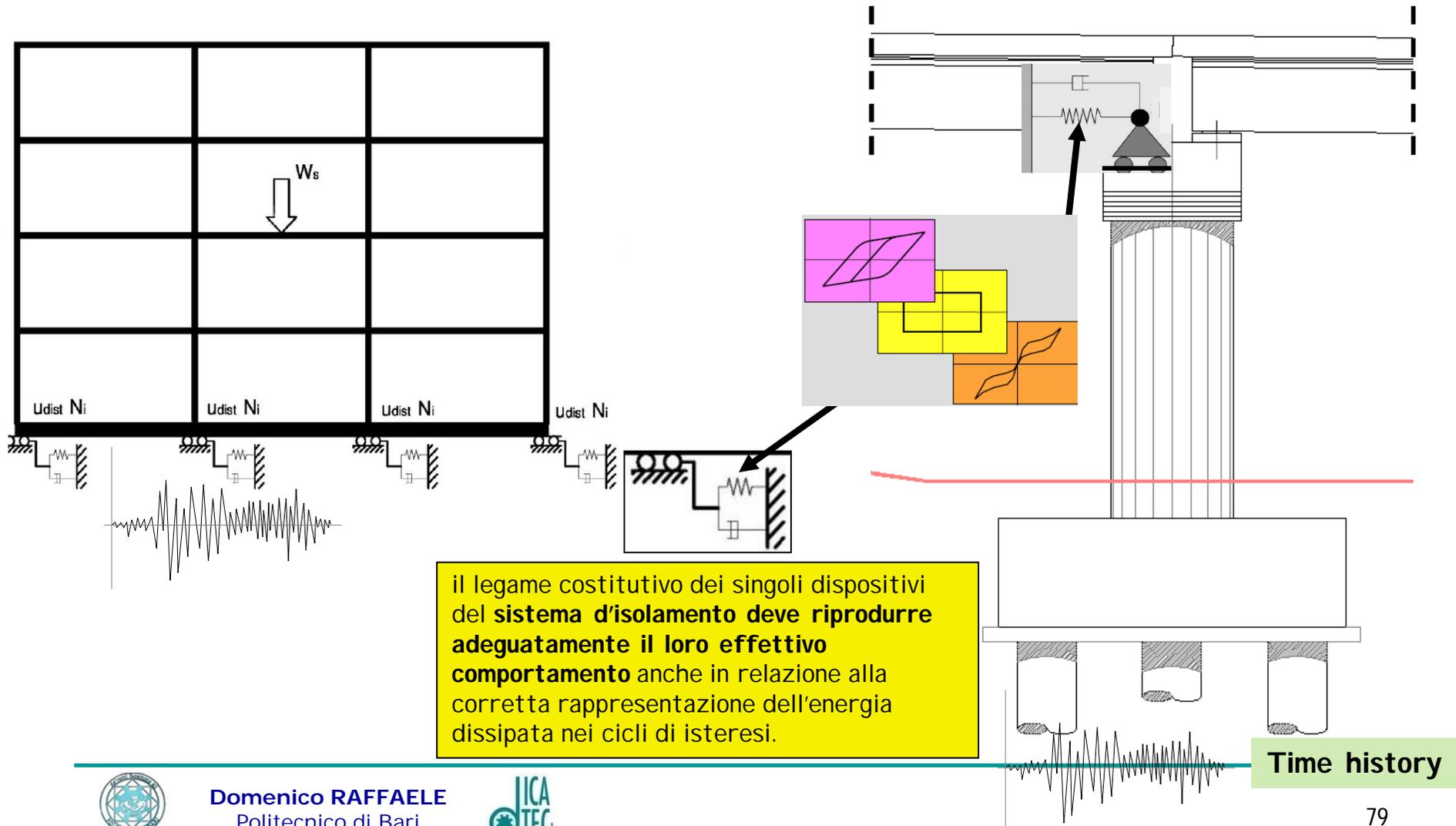
L'analisi potrà essere svolta mediante **ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA**

lo **spettro elastico va ridotto** per tutto il campo di periodi $T \geq 0,8 T_{is}$ assumendo per il coefficiente riduttivo η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_{sesi} del sistema di isolamento.



Analisi dinamica non-lineare

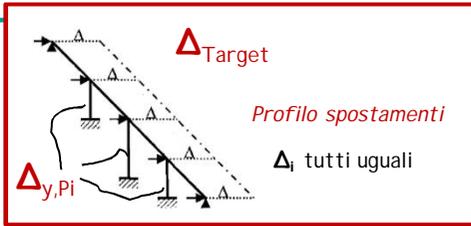
Da applicare se il **sistema di isolamento** è caratterizzato da dispositivi a **comportamento non lineare**



DDBD : Sistema ISOLATO NGDL

OBIETTIVO: PROGETTARE GLI ISOLATORI

5% Con gli spostamenti tutti uguali la procedura non richiede un processo iterativo



N.B.: le pile sono già predimensionate geometricamente

$$\delta_y = \frac{\phi_y \cdot L^2}{3}$$

$$\phi_y = 2.25 \epsilon_y / D$$

1GDL equivalente

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \Delta_{largo}$$

$$m_i = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} = m_d$$

Spost. di progetto

Pile: $v = 1.25 \quad \Delta_{d, Pi} = \Delta_{y, Pi} / v$

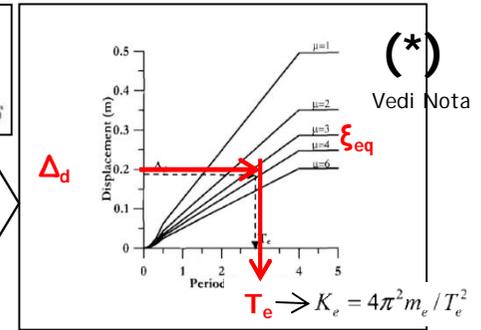
Isolatori:

$$\Delta_{d, Di} = \begin{cases} \Delta_d - \Delta_{d, Pi} & \text{piers} \\ \Delta_d & \text{abutments} \end{cases}$$

$$\xi_i = \begin{cases} \xi_{Pi} \Delta_{d, Pi} + \xi_{Di} \Delta_{d, Di} & \text{piers} \\ \Delta_d & \text{abutments} \\ \xi_{Di} & \end{cases}$$

$$\xi_e = \frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i \Delta_i \xi_i)}{\sum_{i=1}^n (\eta_i \Delta_i)} = \frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i \xi_i)}{\sum_{i=1}^n (\eta_i)}$$

N.B.: La frazione di Taglio totale portata da ciascun isolatore la si assume proporzionale alla massa afferente all'isolatore $\eta_i = m_i / m_d$

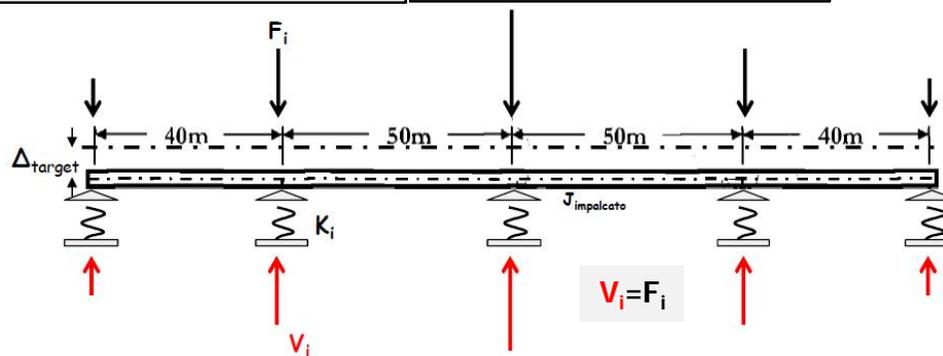


$$F = V_{Base} = K_e \Delta_d$$

$$F_i = V_{Base} (m_i \Delta_i) / \sum (m_i \Delta_i)$$

$$V_i = F_i$$

Rigidezza del sistema Pila-Isolatore

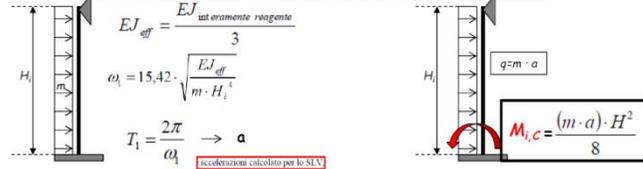


Calcolo PILA

Considerando un fattore di sovrarresistenza $\phi^0 = 1.25$ $M_{i,A} = 1.25 \cdot M_i$

Considerando gli effetti P-Δ $M_{i,B} = P_i \cdot \Delta_{pi}$

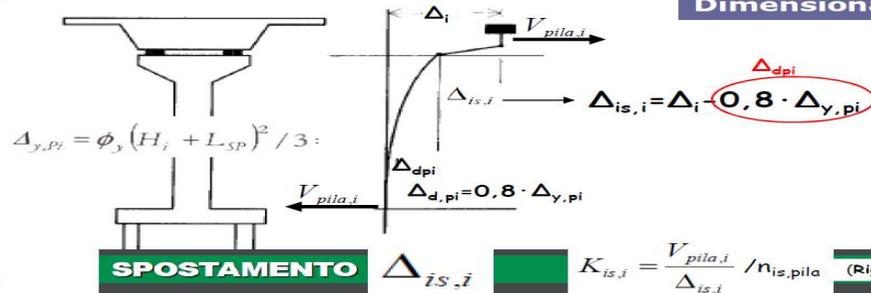
Considerando gli effetti legati ai modi di vibrare superiori al primo per ogni pila



$$M_{tot base} = M_{i,A} + M_{i,B} + M_{i,C}$$

Momento ϕ^0 Effetto modi >1°

Effetto P-Δ



Dimensionamento ISOLATORI

$$K_{is,i} = \frac{V_{pila,i}}{\Delta_{is,i}} / n_{is,pila} \quad (\text{Rigidezza dell'isolatore relativo alla singola Pila})$$

SI-S	V kN	F _{rd} kN	K _{is,i}	K _v kN/mm	D _g mm	t _e mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-S 300/126	15	750	0.2	237	300	126	230	260	360	110
SI-S 350/126	100	1200	0.1	311	350	126	253	263	400	136
SI-S 400/126	290	2120	0.0	498	400	126	213	263	450	170
SI-S 450/126	530	2800	0.1	587	450	126	226	276	500	230
SI-S 500/126	1010	4500	0.2	841	500	126	230	276	560	294
SI-S 550/126	1410	5740	0.5	957	550	126	217	267	600	338
SI-S 600/126	1820	7100	0.8	1057	600	126	213	263	660	380
SI-S 650/126	2230	8440	1.2	1230	650	126	205	255	700	440
SI-S 700/130	2740	10600	1.78	1325	700	130	216	276	750	575
SI-S 800/130	5940	21200	1.55	2086	800	130	216	276	850	747
SI-S 900/140	7670	28500	2.24	2417	900	130	222	282	900	863
SI-S 1000/140	7670	22500	2.24	2658	1000	140	236	316	1050	1402
SI-S 1100/140	10720	27480	2.72	3662	1100	140	236	316	1150	1591
SI-S 1200/144	12850	28700	3.14	4013	1200	144	236	316	1250	1970

Grazie per l'attenzione...

