

Taormina 8 novembre 2019

Strutture in c.a.: Le nuove progettazioni e il rinforzo delle costruzioni esistenti

Edoardo Cosenza
Università di Napoli Federico II
Presidente Ordine Ingegneri Provincia di Napoli

Location HOTEL BAJA TAORMINA Date 7-8 NOVEMBRE 2019

Con il patrocinio di

CONSIGLIO NAZIONALE
UNIME
CONFERENZA INGENNERIA

ORDINE DEGLI INGEGNERI DI
MESSINA

L'ORDINE DEGLI INGEGNERI DI MESSINA
organizza il Corso Formativo

DAL TERREMOTO DI MESSINA AL CROLLO DEL PONTE MORANDI

07/11/2019

8:00 Registrazione dei partecipanti

8:30 Saluti e presentazioni

- ING. FRANCESCO TRIOLI *Presidente Ordine Ingegneri di Messina*
- ING. GAETANO DELUCA *Sindaco della Città di Messina*
- ING. GAETANO FEDE *Consigliere Nazionale Ordine Ingegneri*
- PROF. SSA. IDA MILONE *Direttore Dip. Ingegneria Università di Messina*
- ING. ELVIRA RESTIVO *Presidente Consilia Ingegneri di Sicilia*
- ING. GIUSEPPE RICCIARDELLO *Presidente ANICE Messina*

Speakers

09:30 PROF. ING. ANTONINO REDIPEPO
Assoc. Tecn. delle Costruzioni Università di Messina
Il degrado e i difetti nelle strutture da ponte: analisi e metri di ripristino

10:30 PROF. ING. GIOVANNI FALSONE
Dir. Scienze delle Costruzioni Università di Messina
Il comportamento delle strutture soggette a azioni poco profonde

11:30 PROF. ING. MARIO DI PAOLA
Scienze e Sicurezza delle Costruzioni Università di Palermo
Controllo passivo delle vibrazioni strutturali

12:30 ING. MARCO COSTANZO
Specialista in campo della sicurezza "Marta"
La sicurezza nelle costruzioni

13:00 Pausa Pranzo *Rinfresco offerto dall'organizzazione*

Speakers

15:00 ING. GIORGIO GIACOMINI
"S&P Ingegneri" - Membro commissione CNR DT208
Tecnologie di riqualificazione strutturale e antisismiche delle costruzioni esistenti

16:00 PROF. LIDIA LA MENDOLA
Dir. Tecnica delle Costruzioni Università di Palermo
L'irrigazione delle travi reticolari miste nei telai sismoresistenti

17:00 PROF. ING. CARLO PELLEGRINO
Dir. Tecnica delle Costruzioni Università di Palermo
Gestione di ponti e viadotti in zone sismiche

08/11/2019

Speakers

9:00 ING. GIOVANNI CARDINALE
Vice Presidente del CNL Libero Professionista
Cemento armato precompresso ed infrastrutture: storia, progetto, ciclo di vita

10:30 PROF. ING. EDOARDO COSENZA
Dir. Tecnica Costruzioni Università Federico II di Napoli, componente del Consiglio Superiore dei LL.PP.
Strutture in c.a.: le nuove progettazioni e il rinforzo delle costruzioni esistenti

12:00 ING. ARCH. MASSIMO MARANI
Componente CNL Libero Professionista
Memoria del danno negli edifici in muratura - Esistenza della componente verticale del sistema - Tecniche di intervento

13:00 PROF. ING. GIUSEPPE RICCIARDI
Dir. Scienze delle Costruzioni Università di Messina
Problemi aperti delle tecniche innovative di progettazione antisismica

thanks SPONSOR

Audi, Tradimat, GOMMEGGI, WURTH, GESPAM, GOMMEGGI, ANICE MESSINA, Stato Taormina, L.E.M., GESSO, SIF, stiffera.it, GILTEST, rothoblaas, sig, L'Esperto, Viteco

Figure from: Iervolino, I., Petruzzelli, F. (2011) NODE v.1.0 beta: attempting to prioritize large-scale seismic risk of engineering structures on the basis of nominal deficit, atti di XIV Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS. http://wpage.unina.it/iuniervo/papers/Petruzzelli_Iervolino_ANIDIS_2011.pdf

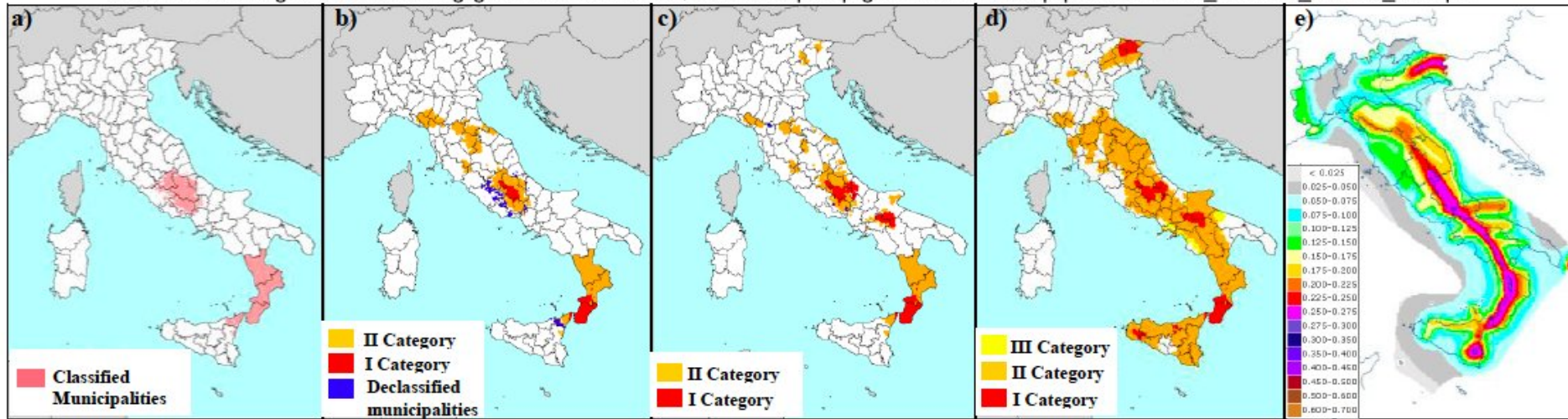


Figure 2. Italian seismicity map after year 1915 (a), 1927 (b), 1962 (c), 1984 (d) and 2009 (e) codes. The latter is based on PGA on rock with 10% exceedance probability in 50 yr .

Definizione Stati Limite Sismici:

NTC 2018 = NTC 2008



Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R = 50 anni		
Stati limite di esercizio	SLO	$\lambda = 3,33\%$	81%	$Tr = 30$ anni
	SLD	$\lambda = 2\%$	63%	$Tr = 50$ anni
Stati limite ultimi	SLV	$\lambda = 0,21\%$	10%	$Tr = 475$ anni
	SLC	$\lambda = 0,1025\%$	5%	$Tr = 975$ anni

Stato Limite di Operatività (SLO)_Tr=30y: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD)_50y: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Stato Limite di Salvaguardia delle Vita (SLV)_Tr=475y: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)_Tr=975y: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le verifiche degli elementi non strutturali (NS) e degli impianti (IM) si effettuano in termini di funzionamento (FUN) e stabilità (STA), come sintetizzato nella tabella 7.3.III, in dipendenza della Classe d'Uso (CU).

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO							
	SLD	RIG	RIG			RIG		FUN
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

Le verifiche allo stato limite di prevenzione del collasso (SLC), a meno di specifiche indicazioni, si svolgono soltanto in termini di duttilità e solo qualora le verifiche in duttilità siano espressamente richieste (v. §7.3.6.1)

7.3.6.2. ELEMENTI NON STRUTTURALI (NS)

VERIFICHE DI STABILITA'

Per gli elementi non strutturali devono essere adottati magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione della F_a corrispondente allo SL e alla CU considerati

7.3.6.3 IMPIANTI

VERIFICHE DI FUNZIONAMENTO (FUN)

Per gli impianti, si deve verificare che gli spostamenti strutturali o le accelerazioni (a seconda che gli impianti siano più sensibili all'effetto dei primi o delle seconde) prodotti dalle azioni relative allo SL e alla CU Considerati non siano tali da produrre interruzioni d'uso degli impianti stessi

VERIFICHE DI STABILITA' (STA)

Per ciascuno degli impianti principali, i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto, compresi gli elementi strutturali che li sostengono e collegano, tra loro e alla struttura principale, devono avere capacità sufficiente a sostenere la domanda corrispondente allo SL ed alla CU considerati.

• Duttività

- Per eventi molto intensi, SLV e SLC, le strutture salvano le vite dissipando energia (cioè sono progettate per danneggiarsi in maniera controllata!)



In parti prefissate
Energia dissipata
plasticamente >
Energia cinetica

$\frac{1}{2} m v^2$ si
dissipa come
energia plastica
in modo controllato



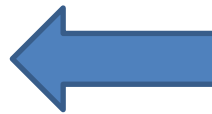


VERIFICHE DI RESISTENZA E VERIFICHE DI DUTTILITA'

Le verifiche si eseguono confrontando la capacità, espressa in termini di resistenza e, quando richiesto al § 7.4 delle presenti norme, di duttilità, con la corrispondente domanda, secondo le relazioni:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad [4.1.18a]$$

$$\mu_{\phi} = \mu_{\phi}(N_{Ed}) \geq \mu_{Ed} \quad [4.1.18b]$$



dove

M_{Rd} è il valore di progetto del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;

N_{Ed} è il valore di progetto dello sforzo normale sollecitante;

M_{Ed} è il valore di progetto del momento di domanda;

μ_{ϕ} è il valore di progetto della duttilità di curvatura corrispondente a N_{Ed} ;

μ_{Ed} è la domanda in termini di duttilità di curvatura.

Calcestruzzo confinato

Per il diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo confinato è possibile adottare opportuni modelli rappresentativi del reale comportamento del materiale in stato triassiale. Questi modelli possono essere adottati nel calcolo sia della resistenza ultima sia della duttilità delle sezioni e devono essere applicati alle sole zone confinate della sezione.

Il confinamento del calcestruzzo è normalmente generato da staffe chiuse e legature interne, che possono raggiungere la tensione di snervamento a causa della dilatazione laterale del calcestruzzo stesso a cui tendono ad opporsi. Il confinamento consente al calcestruzzo di raggiungere tensioni e deformazioni più elevate di quelle proprie del calcestruzzo non confinato. Le altre caratteristiche meccaniche si possono considerare inalterate.

In assenza di più precise determinazioni basate su modelli analitici di comprovata validità, è possibile utilizzare la relazione tensione-deformazione rappresentata in Fig. 4.1.2 (dove le deformazioni di compressione sono assunte positive), in cui la resistenza caratteristica e le deformazioni del calcestruzzo confinato sono valutate secondo le relazioni seguenti:

$$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,0 + 5,0 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{per } \sigma_2 \leq 0,05f_{ck} \quad [4.1.8]$$

$$f_{ck,c} = f_{ck} \cdot (1,125 + 2,5 \cdot \sigma_2 / f_{ck}) \quad \text{per } \sigma_2 > 0,05f_{ck} \quad [4.1.9]$$

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2} \cdot (f_{ck,c} / f_{ck})^2 \quad [4.1.10]$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu} + 0,2 \cdot \sigma_2 / f_{ck} \quad [4.1.11]$$

$$f_{cd,c} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck,c} / \gamma_c \quad [4.1.12]$$

essendo σ_2 la pressione laterale efficace di confinamento allo *SLV* mentre ε_{c2} ed ε_{cu} sono valutate in accordo al § 4.1.2.1.2.1.

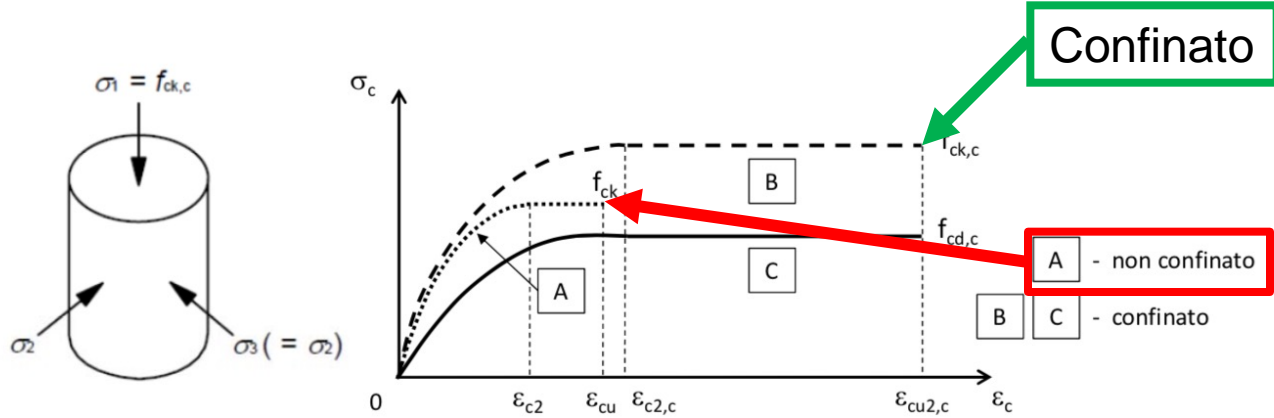


Fig. 4.1.2 – Modelli σ - ϵ per il calcestruzzo confinato

La pressione efficace di confinamento σ_2 può essere determinata attraverso la relazione seguente:

$$\sigma_2 = \alpha \cdot \sigma_1 \quad [4.1.12.a]$$

dove α è un coefficiente di efficienza (≤ 1), definito come rapporto fra il volume $V_{c,eff}$ di calcestruzzo efficacemente confinato ed il volume V_c dell'elemento di calcestruzzo, depurato da quello delle armature longitudinali (generalmente trascurabile) e σ_1 è la pressione di confinamento esercitata dalle armature trasversali.

La pressione laterale può essere valutata, per ogni direzione principale della sezione, direttamente da considerazioni di equilibrio sul nucleo confinato, in corrispondenza della tensione di snervamento dell'armatura trasversale, come di seguito indicato.

a) Per sezioni rettangolari

Per le due direzioni principali della sezione x e y valgono, rispettivamente, le relazioni:

$$\sigma_{l,x} = \frac{A_{st,x} \cdot f_{yk,st}}{b_y \cdot s}; \quad \sigma_{l,y} = \frac{A_{st,y} \cdot f_{yk,st}}{b_x \cdot s} \quad [4.1.12.b]$$

dove $A_{st,x}$ e $A_{st,y}$ sono il quantitativo totale (aree delle sezioni) di armatura trasversale in direzione parallela, rispettivamente, alle direzioni principali x e y , b_x e b_y sono le dimensioni del nucleo confinato nelle direzioni corrispondenti (con riferimento alla linea media delle staffe), s è il passo delle staffe, $f_{yk,st}$ è la tensione caratteristica dell'acciaio delle staffe.

La pressione laterale equivalente σ_l può essere determinata attraverso la relazione:

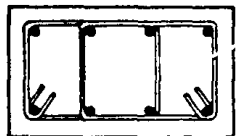
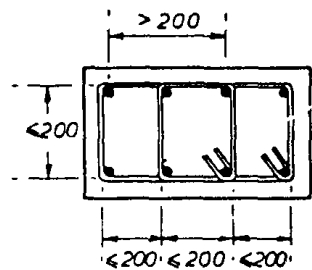
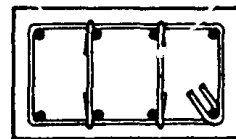
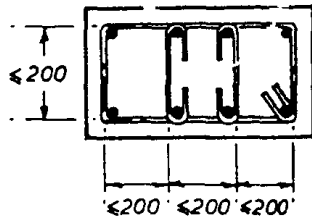
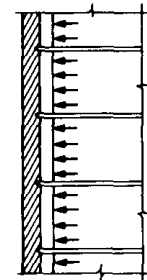
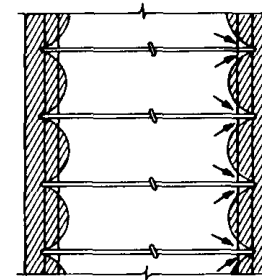
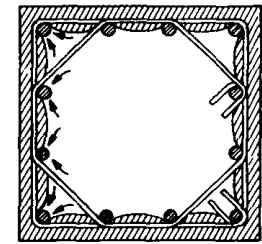
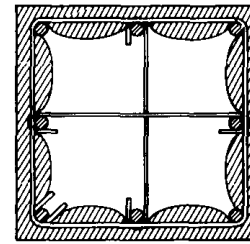
$$\sigma_l = \sqrt{\sigma_{l,x} \cdot \sigma_{l,y}} \quad [4.1.12.c]$$

b) Per sezioni circolari

$$\sigma_l = \frac{2A_{st} \cdot f_{yk,st}}{D_0 \cdot s} \quad [4.1.12.d]$$

Effetto benefico
armatura trasversale:

Confinamento e Staffe
chiuse con legature



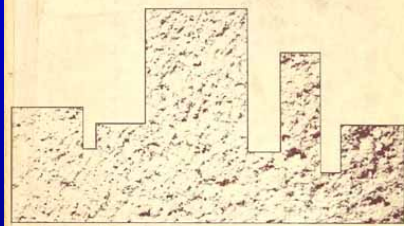
IL
CONFINAMENTO
AUMENTA LA
Resistenza e la
DUTTILITA'

Comportamento elastico-lineare (FRAGILE !!)

Comportamento elastico-plastico (duttile)



R. Park and T. Paulay

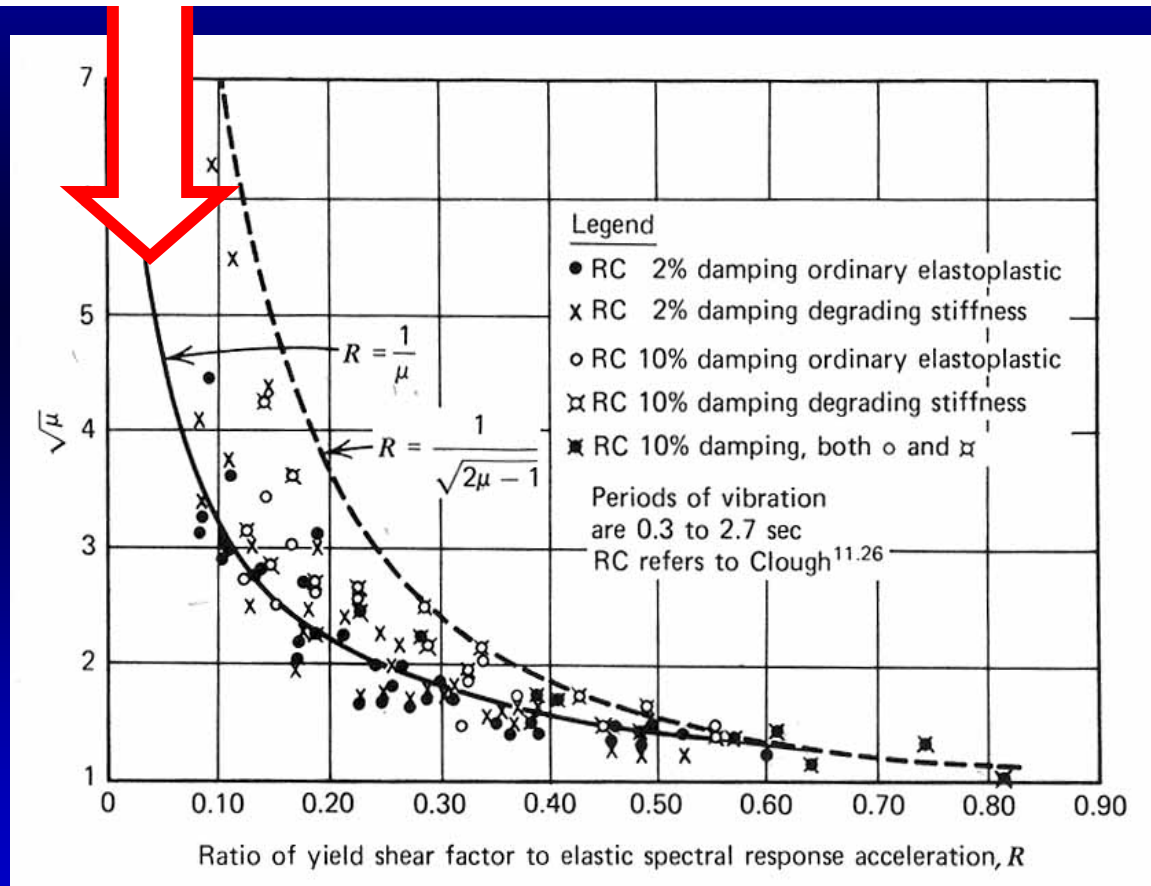


REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

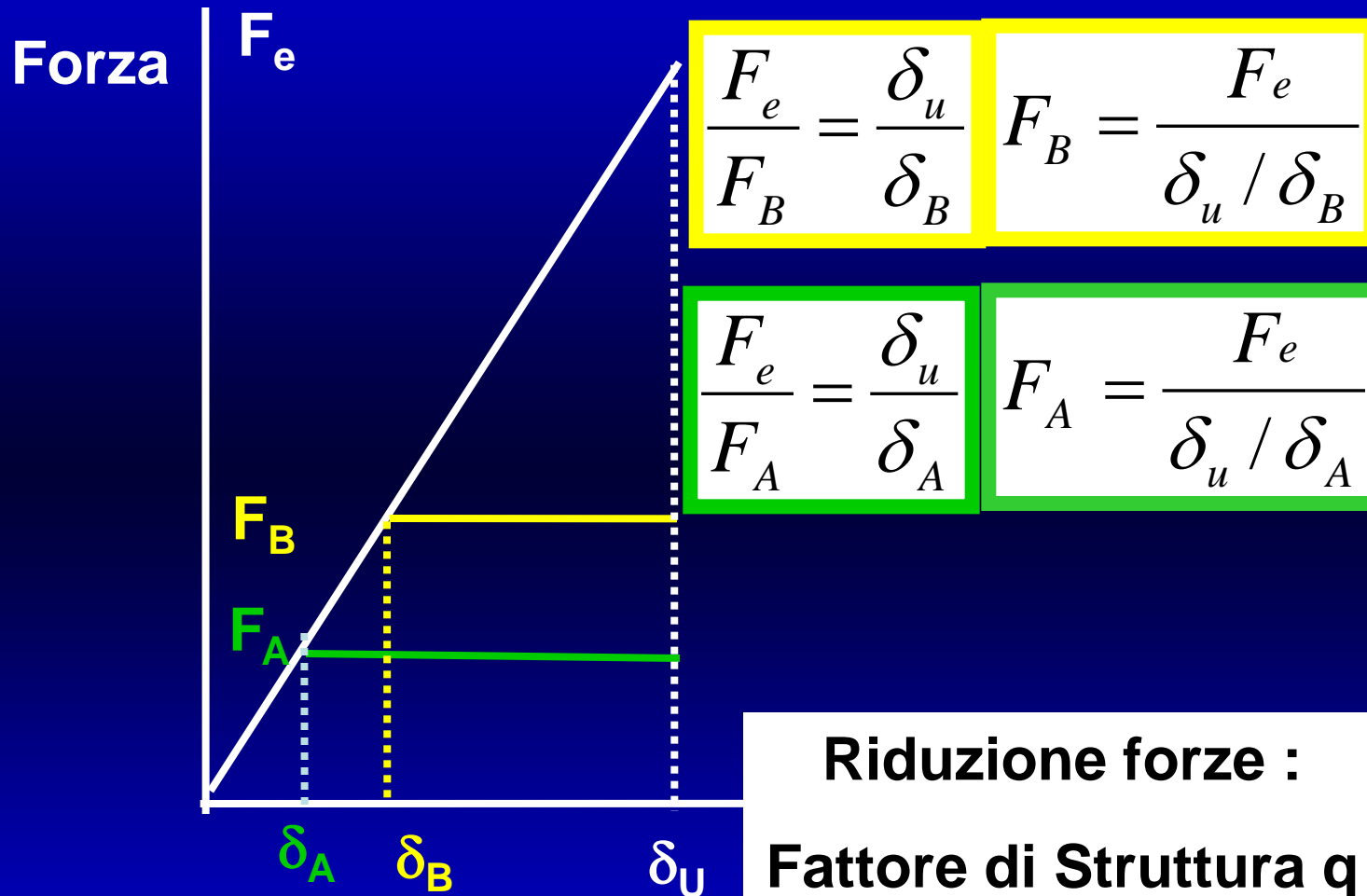
Park & Paulay

1975

CRITERIO DELLO STESSO SPOSTAMENTO



Comportamenti sismicamente equivalenti (criterio max spostamento)



Riduzione forze :

Fattore di Struttura q

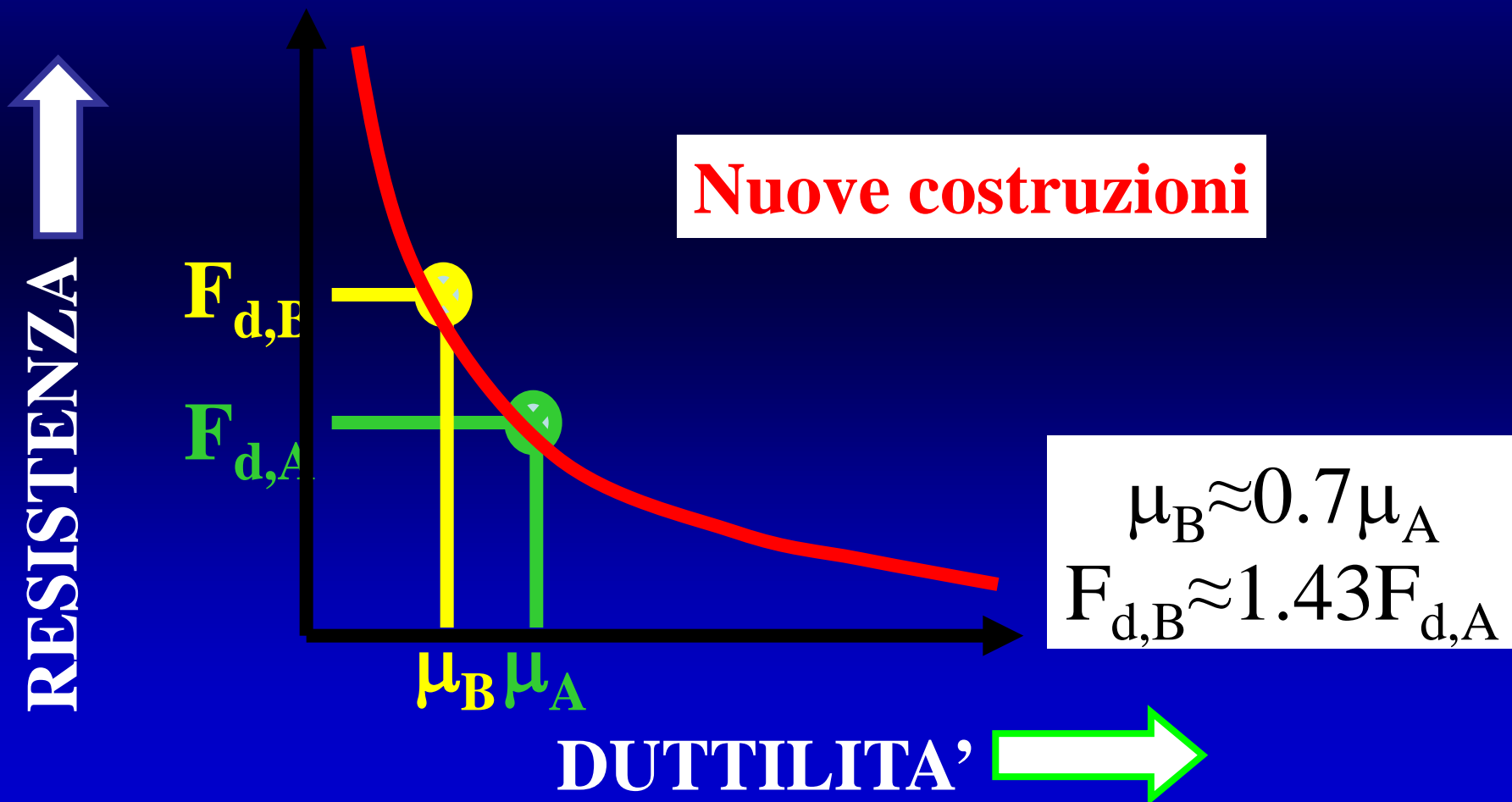
=

Duttilità

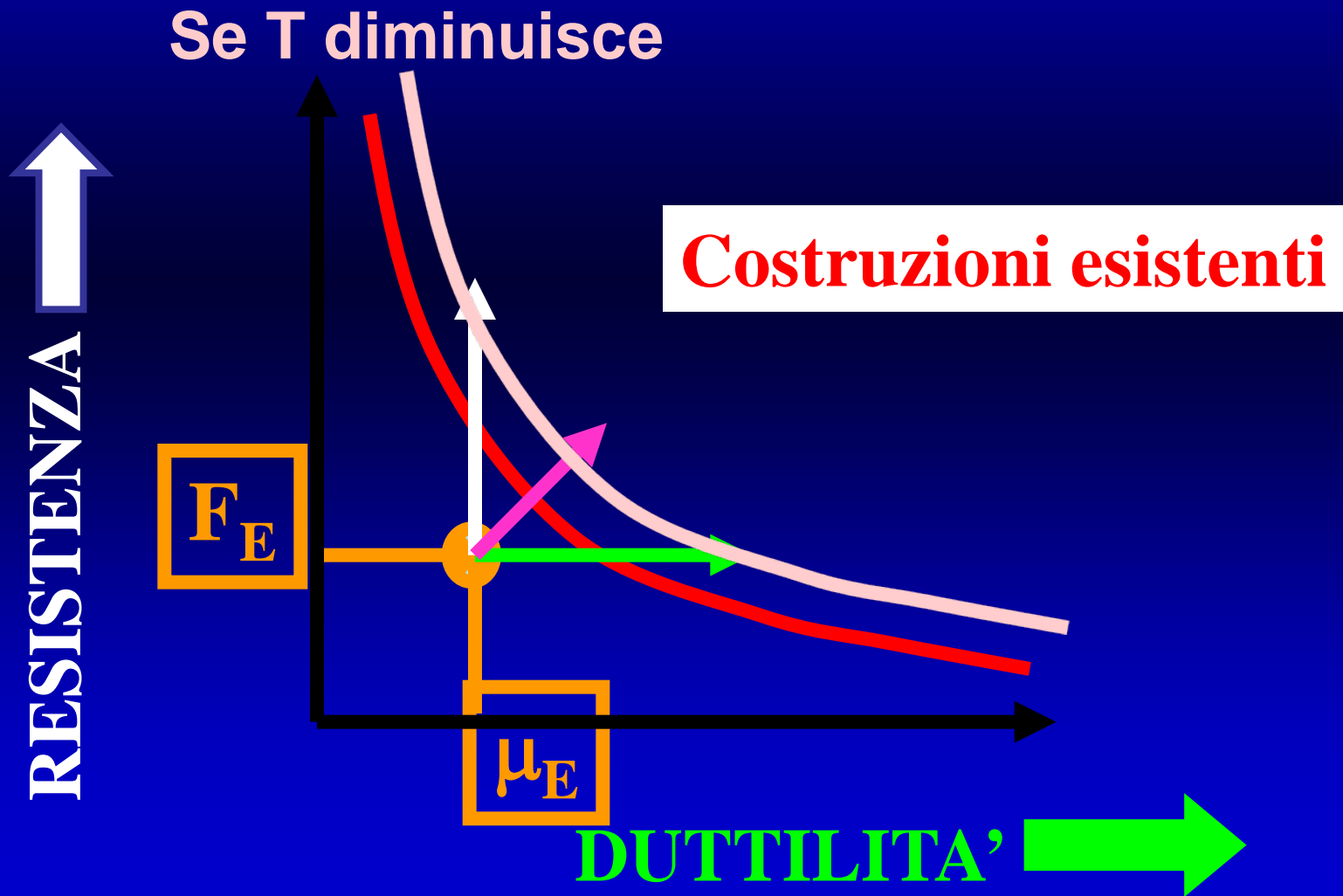
$$F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m$$

$$F_d = \frac{F_e}{q} = \frac{F_e}{\mu}$$

$$F_d \cdot \mu = F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m = \text{costante}$$



$$F_d \cdot \mu = F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m = \text{costante}$$

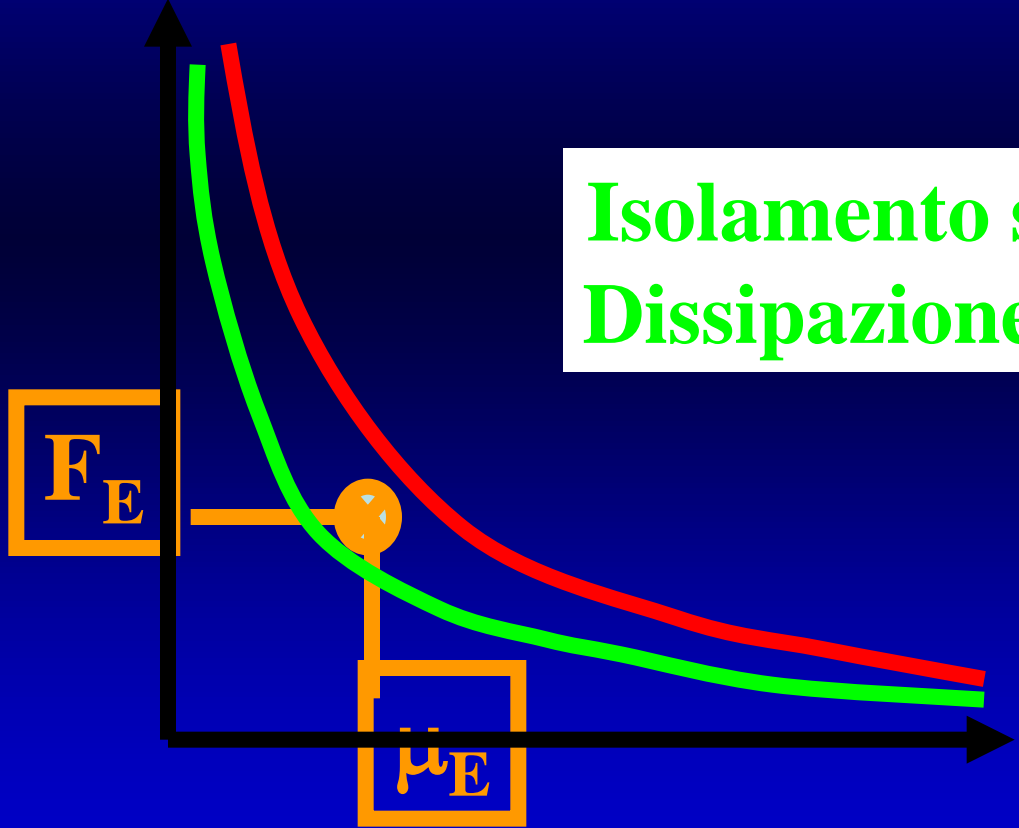


$$F_d \cdot \mu = F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m = \text{costante}$$

$$T_{isol} \gg T \Rightarrow S_e(T_{isol}) \ll S_e(T)$$

$$\xi_{dissip} \gg \xi \Rightarrow S_e(\xi_{dissip}) \ll S_e(\xi)$$

RESISTENZA ↑



Isolamento sismico /
Dissipazione sismica

DUTTILITA' →



Fattore di comportamento _ q factor

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

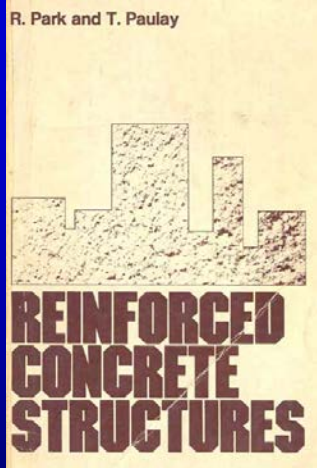
Tipologia strutturale	q_0	
	CD" A"	CD" B"
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	$4,5 \alpha_u/\alpha_1$	$3,0 \alpha_u/\alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5
Costruzioni con struttura prefabbricata (§ 7.4.5.1)		
Strutture a pannelli	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$	3,0
Strutture monolitiche a cella	3,0	2,0
Strutture con pilastri incastrati e orizzontamenti incernierati	3,5	2,5
Costruzioni d'acciaio (§ 7.5.2.2) e composte di acciaio-calcestruzzo (§ 7.6.2.2)		
Strutture intelaiate	$5,0 \alpha_u/\alpha_1$	4,0
Strutture con controventi eccentrici		
Strutture con controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4,0	4,0
Strutture con controventi concentrici a V	2,5	2,0
Strutture a mensola o a pendolo inverso	$2,0 \alpha_u/\alpha_1$	2,0
Strutture intelaiate con controventi concentrici	$4,0 \alpha_u/\alpha_1$	4,0
Strutture intelaiate con tamponature in murature	2,0	2,0
Costruzioni di legno (§ 7.7.3)		
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	3,0	2,0
Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati		



Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	2,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.	5,0	3,0
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti Strutture cosiddette miste, con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti		2,5
Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali		1,5
Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3)		
Costruzioni di muratura ordinaria		$1,75 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni di muratura armata		$2,5 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità		$3,0 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni di muratura confinata		$2,0 \alpha_u / \alpha_1$
Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità		$3,0 \alpha_u / \alpha_1$
Ponti (§ 7.9.2.1)		
Pile in calcestruzzo armato		
Pile verticali inflesse	3,5 λ	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,1 λ	1,2
Pile in acciaio:		
Pile verticali inflesse	3,5	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,0	1,2
Pile con controventi concentrici	2,5	1,5
Pile con controventi eccentrici	3,5	-
Spalle		
In genere	1,5	1,5
Se si muovono col terreno	1,0	1,0

Olive View Hospital San Fernando earthquake 1971





1975

Meccanismo di piano

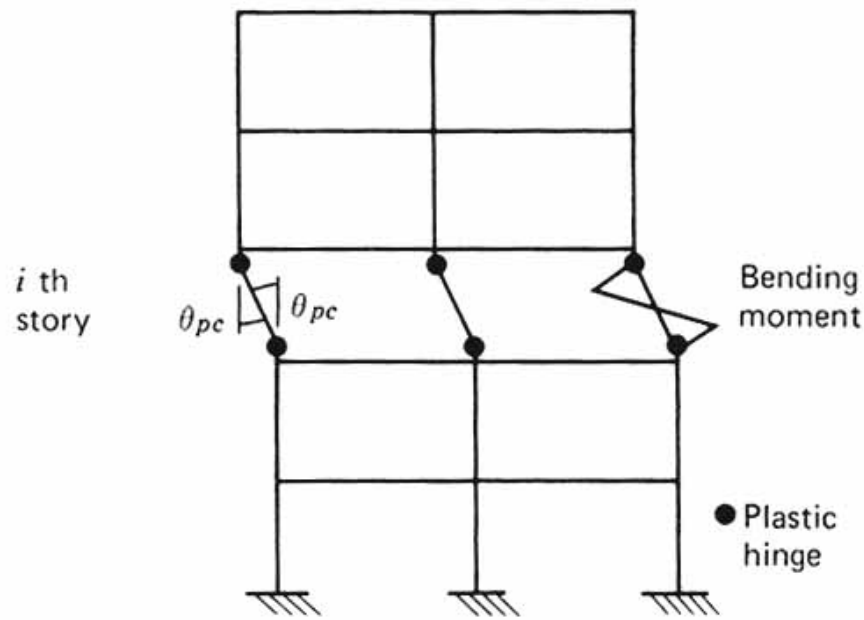


Fig. 11.29. Column sidesway mechanism in *i*th story

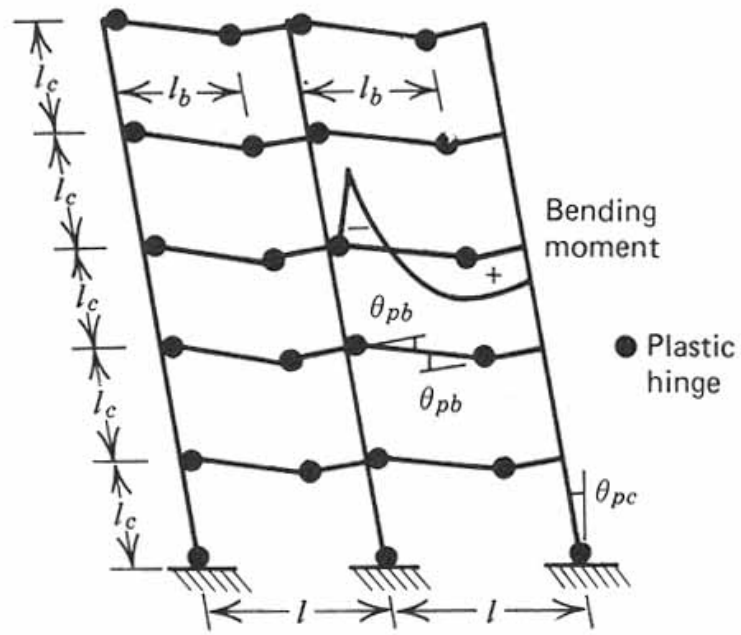


Fig. 11.31. Beam sidesway mechanism.

Meccanismo globale

Meccanismo globale:

20 cerniere plastiche duttili

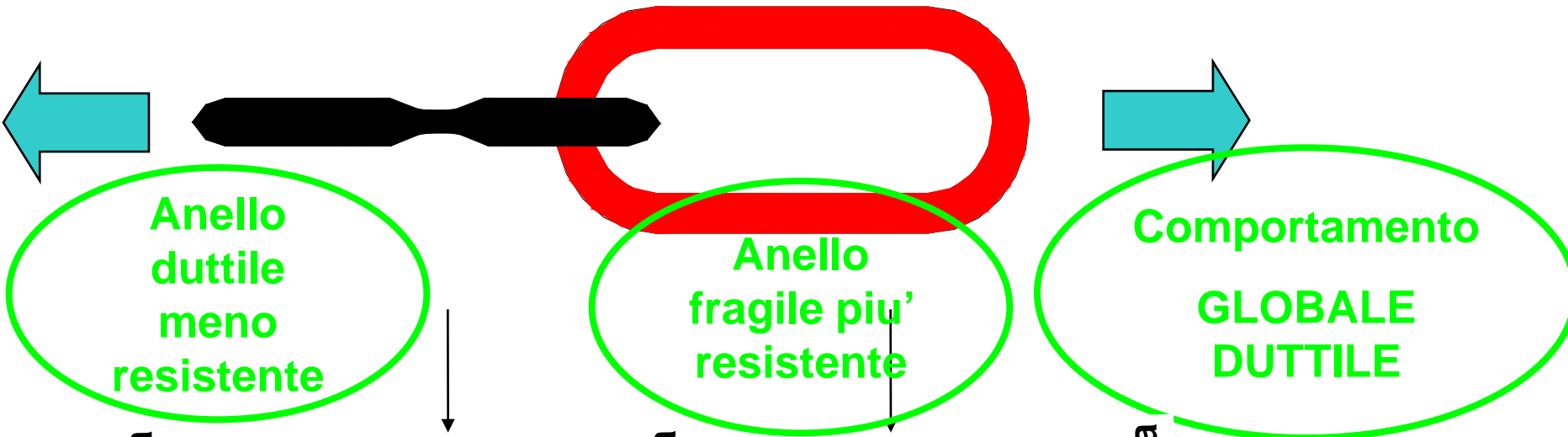
Poi 3 cerniere plastiche fragili

Meccanismo di piano:

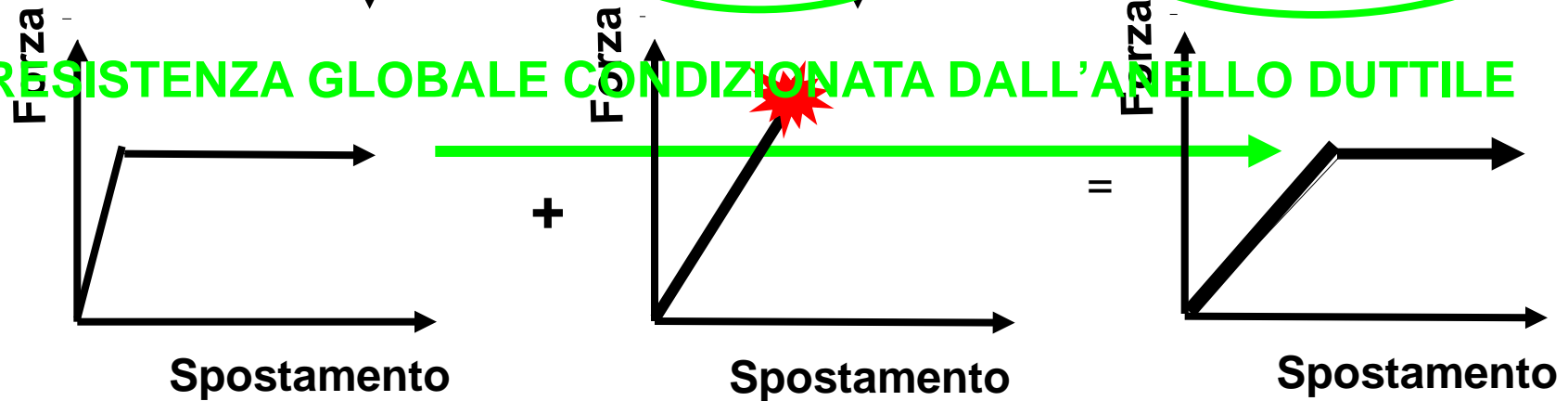
6 cerniere plastiche fragili

- Gerarchia
delle
resistenze
- Capacity
Design

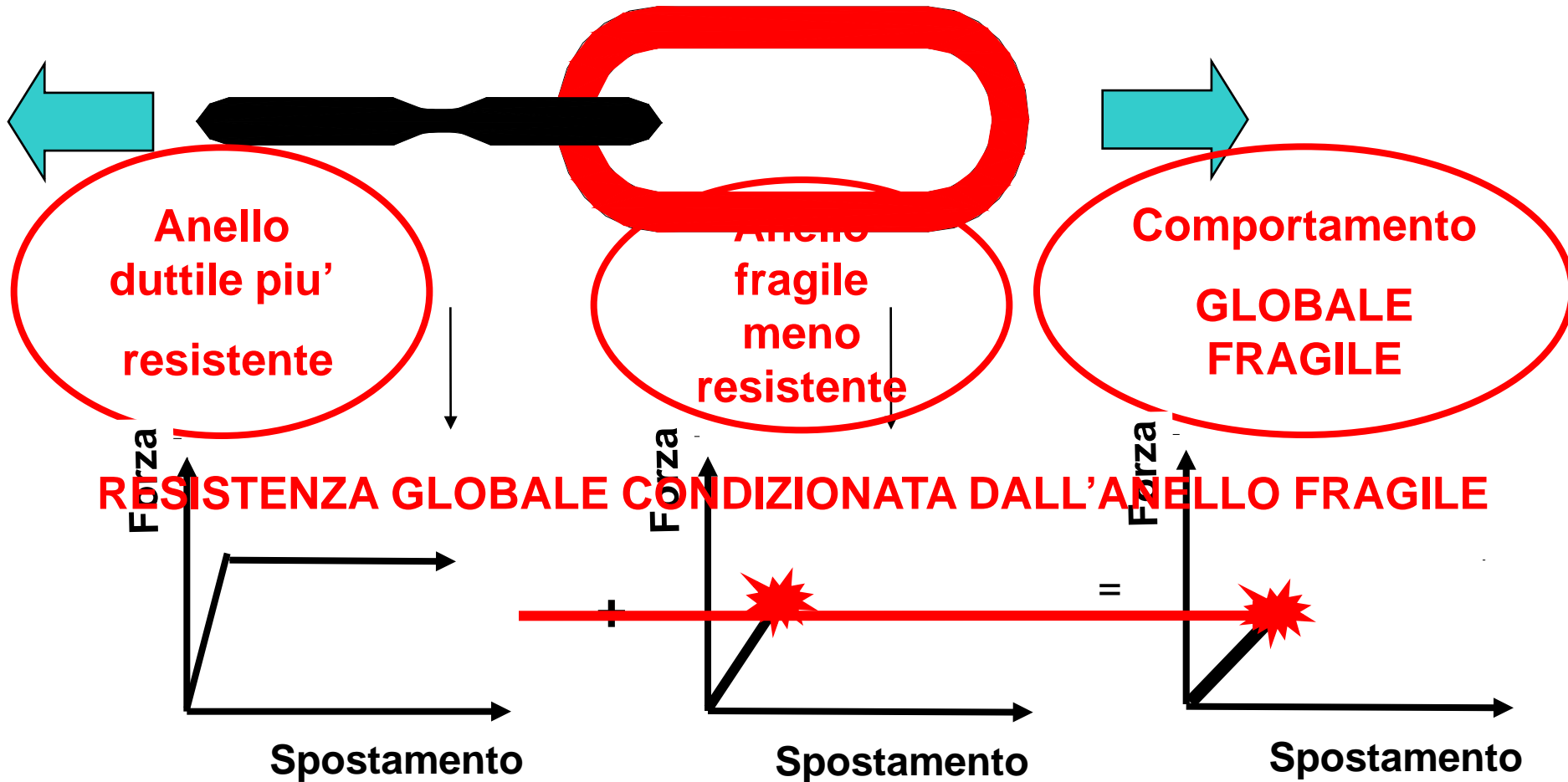
GERARCHIA DELLE RESISTENZE (CORRETTA !)

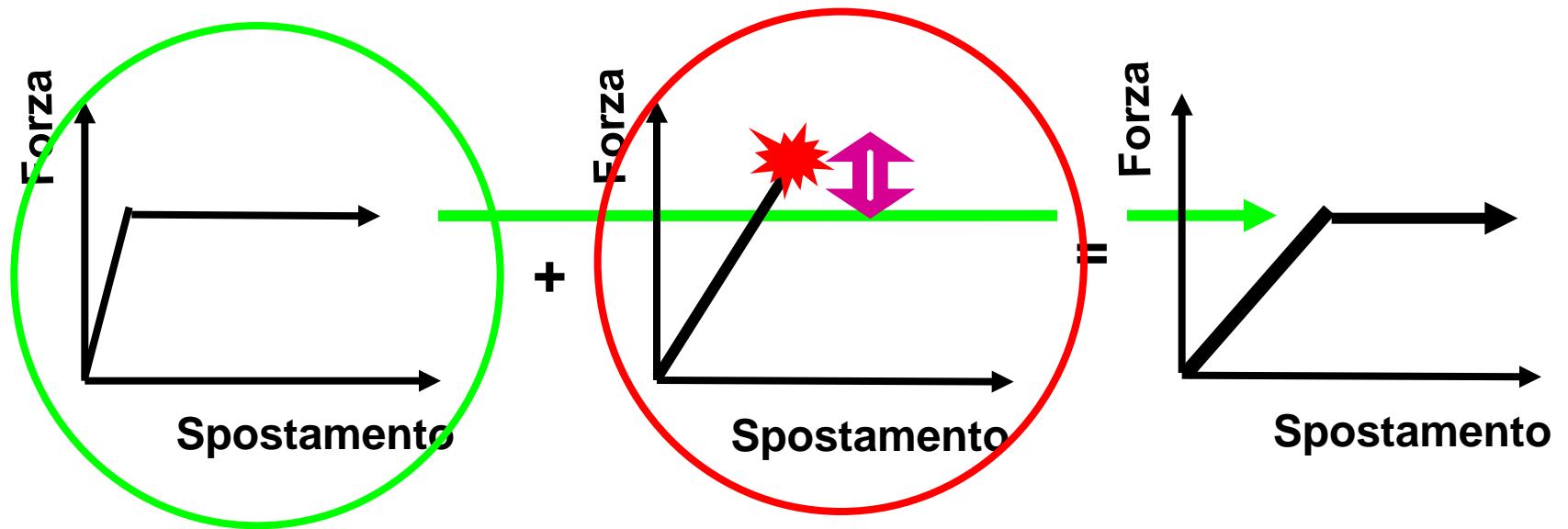


RESISTENZA GLOBALE CONDIZIONATA DALL'ANELLO DUTTILE



GERARCHIA DELLE RESISTENZE (ERRATA!)





$$R_{\text{ELEMENTI FRAGILI}} \geq \gamma_{Rd} \cdot R_{\text{ELEMENTI DUTTILI}}$$

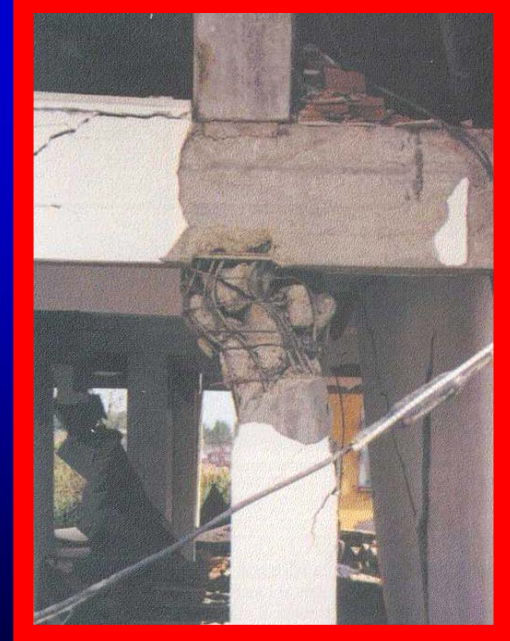
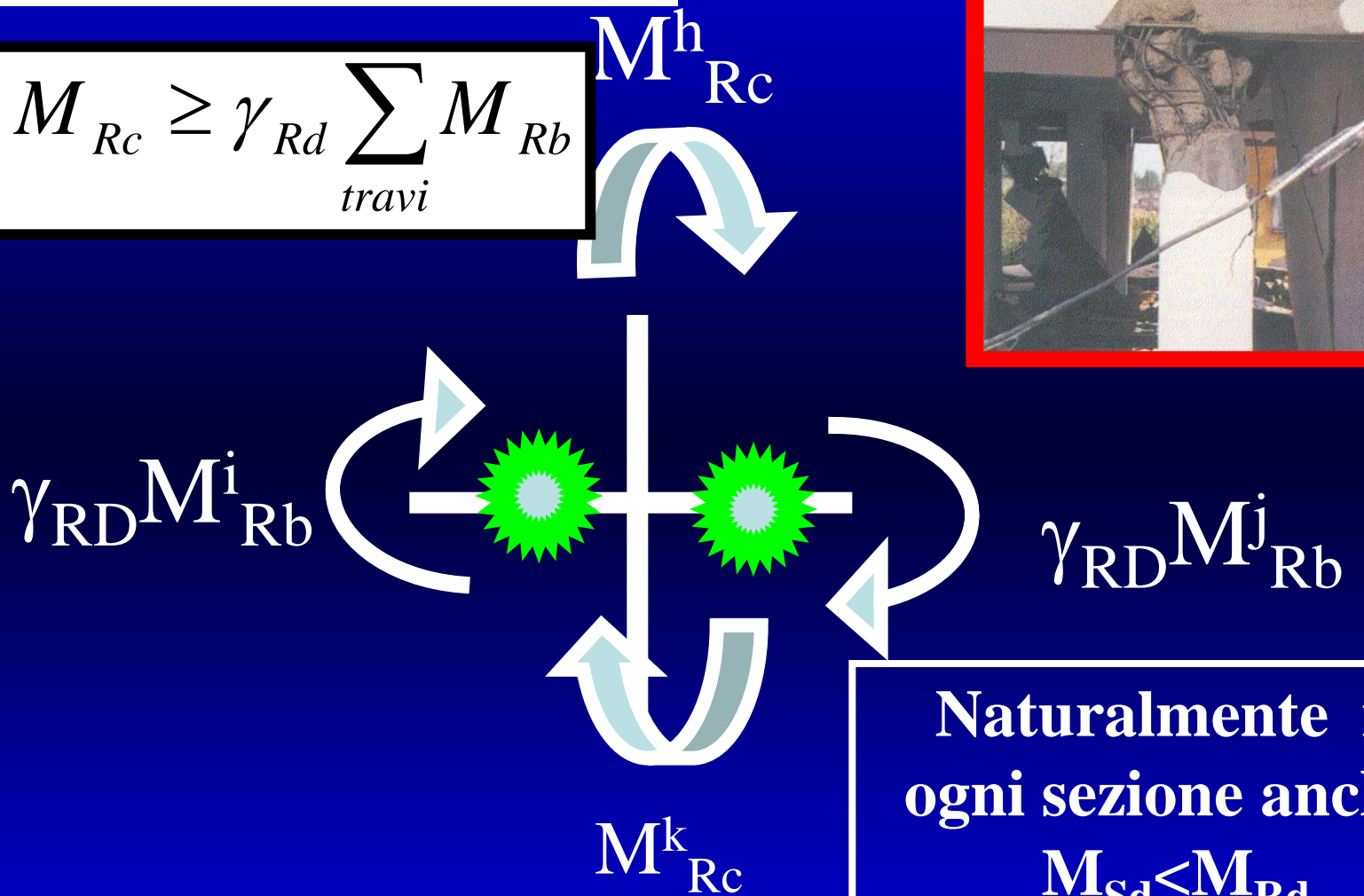
γ_{Rd} = coefficiente di sovrarresistenza che tiene conto delle incertezze sui materiali e di modello

$$R_{\text{ELEMENTI DUTTILI}} \geq S_{\text{ELEMENTI DUTTILI}}$$

7.4.3.2 Pilastrì

7.4.3.2.1 Sollecitazioni di calcolo

$$\sum_{\text{pilastrì}} M_{Rc} \geq \gamma_{Rd} \sum_{\text{travi}} M_{Rb}$$



Naturalmente in ogni sezione anche:
 $M_{Sd} < M_{Rd}$



Collassi strutturali – L'Aquila



Gli edifici di Pettino



HOTEL ROMA, AMATRICE





GERARCHIA DELLE RESISTENZE

SEZIONI

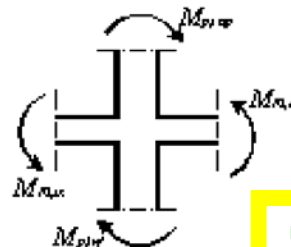
Struttura verticale - Impalcato Acciaio - Calcestruzzo

**NODI non
confinati**

Trave

Pilastro

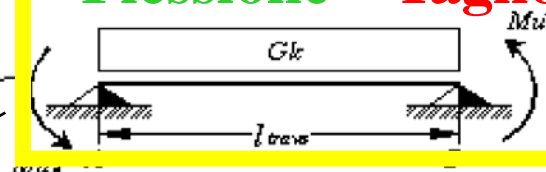
PANNELLO



$$\alpha = \gamma_{rel} \frac{|\sum M_{trave}|}{|\sum M_{col}|}$$

Trave - Pilastro

Flessione - Taglio



$$V_A = \gamma_{rel} \frac{M_{col}^+ + M_{col}^-}{l_{trave}} + \frac{G_k \cdot l_{trave}}{2}$$

Struttura - Fondazione

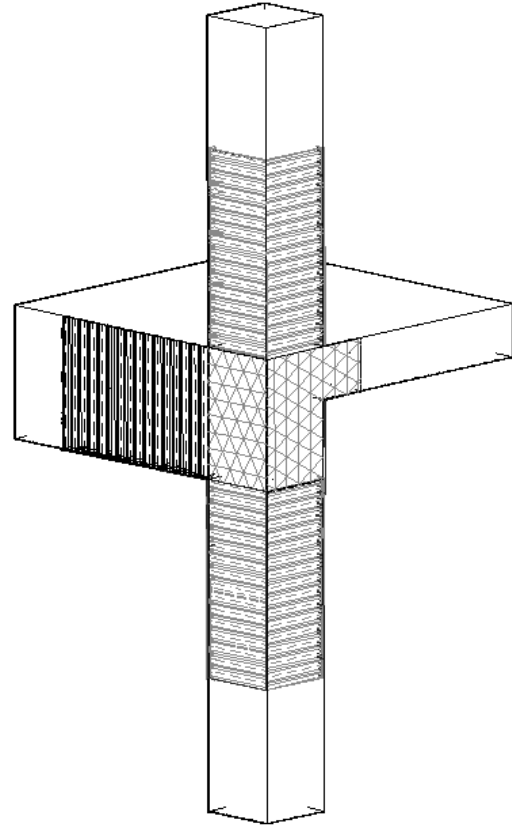
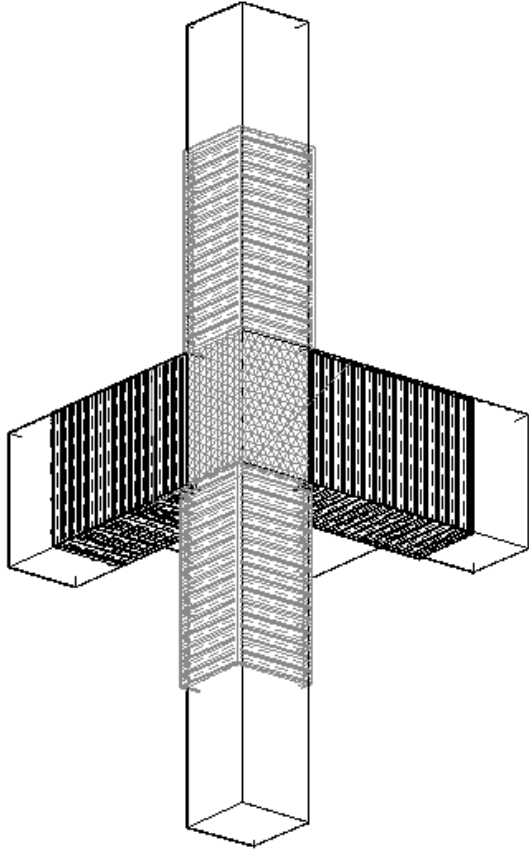


Tab. 7.2.I - Fattori di sovreresistenza γ_{Rd} (fra parentesi quadre è indicato il numero dell'equazione corrispondente)

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	γ_{Rd}	
			CD "A"	CD "B"
C.a. gettata in opera	Travi (§ 7.4.4.1.1)	Taglio	1,20	1,10
	Pilastrì (§ 7.4.4.2.1)	Pressoflessione [7.4.4]	1,30	1,30
		Taglio [7.4.5]	1,30	1,10
	Nodi trave-pilastro (§ 7.4.4.3.1)	Taglio [7.4.6-7, 7.4.11-12]	1,20	1,10
	Pareti (§ 7.4.4.5.1)	Taglio [7.4.13-14]	1,20	-
C.a. prefabbricata a struttura intelaiata	Collegamenti di tipo a) (§ 7.4.5.2.1)	Flessione e taglio	1,20	1,10
	Collegamenti di tipo b) (§ 7.4.5.2.1)	Flessione e taglio	1,35	1,20
C.a. prefabbricata con pilastrì incastrati alla base e orizzontamenti incernierati	Collegamenti di tipo fisso (§ 7.4.5.2.1)	Taglio	1,35	1,20
Acciaio	Si impiega il fattore di sovreresistenza γ_{ov} definito al § 7.5.1			
	Colonne (§ 7.5.4.2)	Pressoflessione [7.5.10]	1,30	1,30
Composta acciaio-calcestruzzo	Si impiega il fattore di sovreresistenza γ_{ov} definito al § 7.5.1			
	Colonne (§ 7.6.6.2)	Pressoflessione [7.6.7]	1,30	1,30
Legno	Collegamenti		1,60	1,30
Muratura armata con progettazione in capacità	Pannelli murari (§ 7.8.1.7)	Taglio	1,50	
Ponti	Si impiegano i fattori di sovreresistenza definiti al § 7.9.5			

Linee guida per gli interventi







Valutazione dei danni da calamità naturali

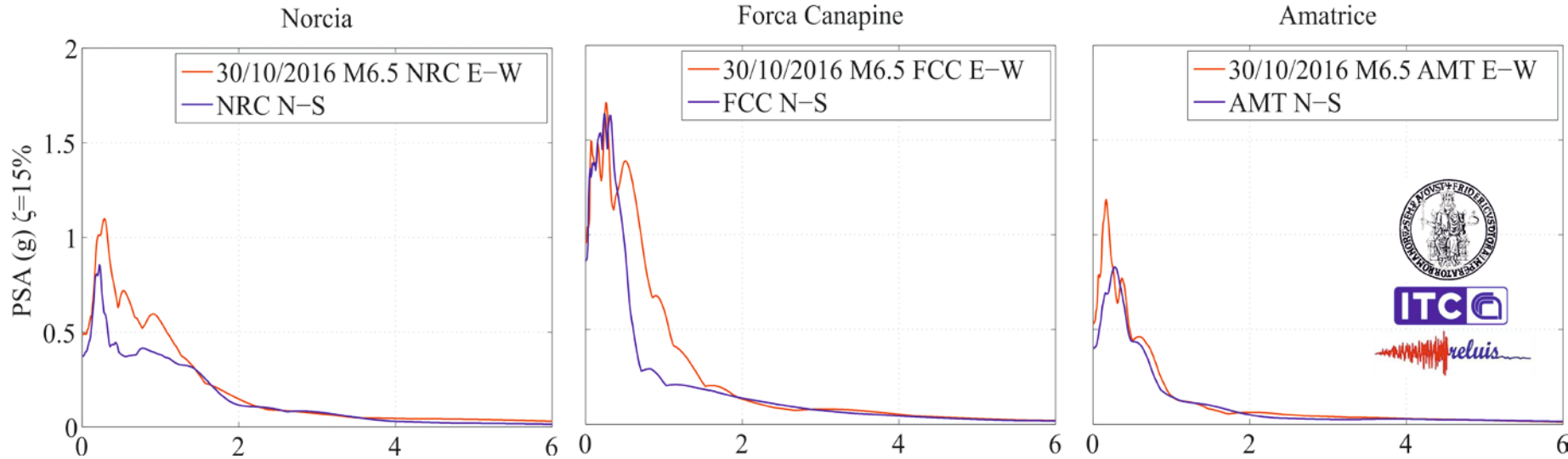
compositi



CORRETTA PROGETTAZIONE PER I DIVERSI STATI LIMITE

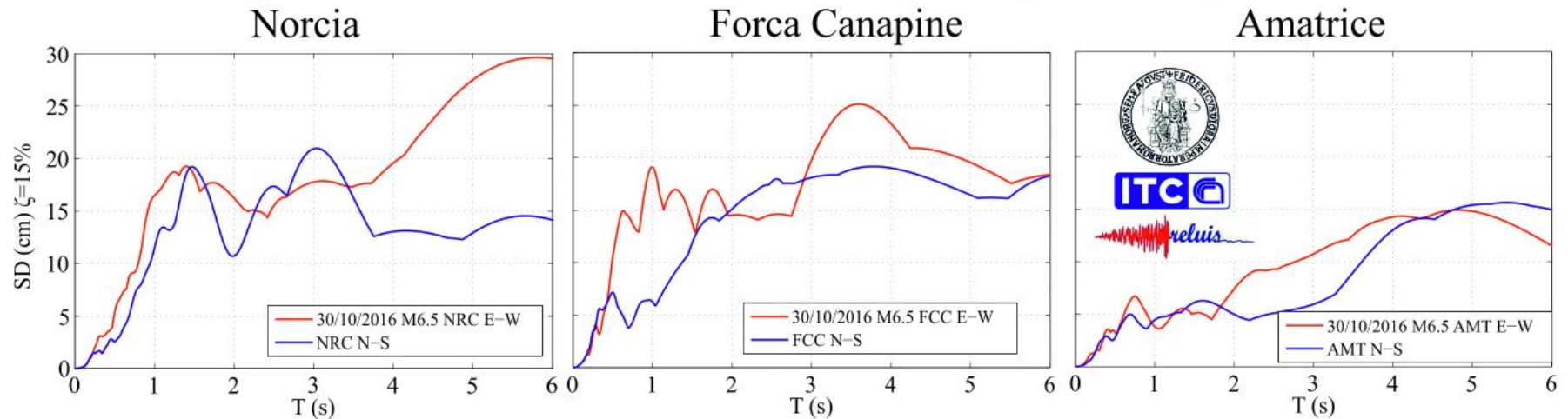
- **SLV e SLC = RESistenza, con domanda ridotta tramite la duttilità: minimizzare accelerazioni e massimizzare la duttilità**
- **SLD = RIGidezza/Spostamenti relativi di piano: massimizzare la rigidezza**
- **SLO = In parte (in prevalenza, accelerazione sugli oggetti; in parte minore: spostamenti o velocità/energia cinetica): in prevalenza minimizzare accelerazioni**

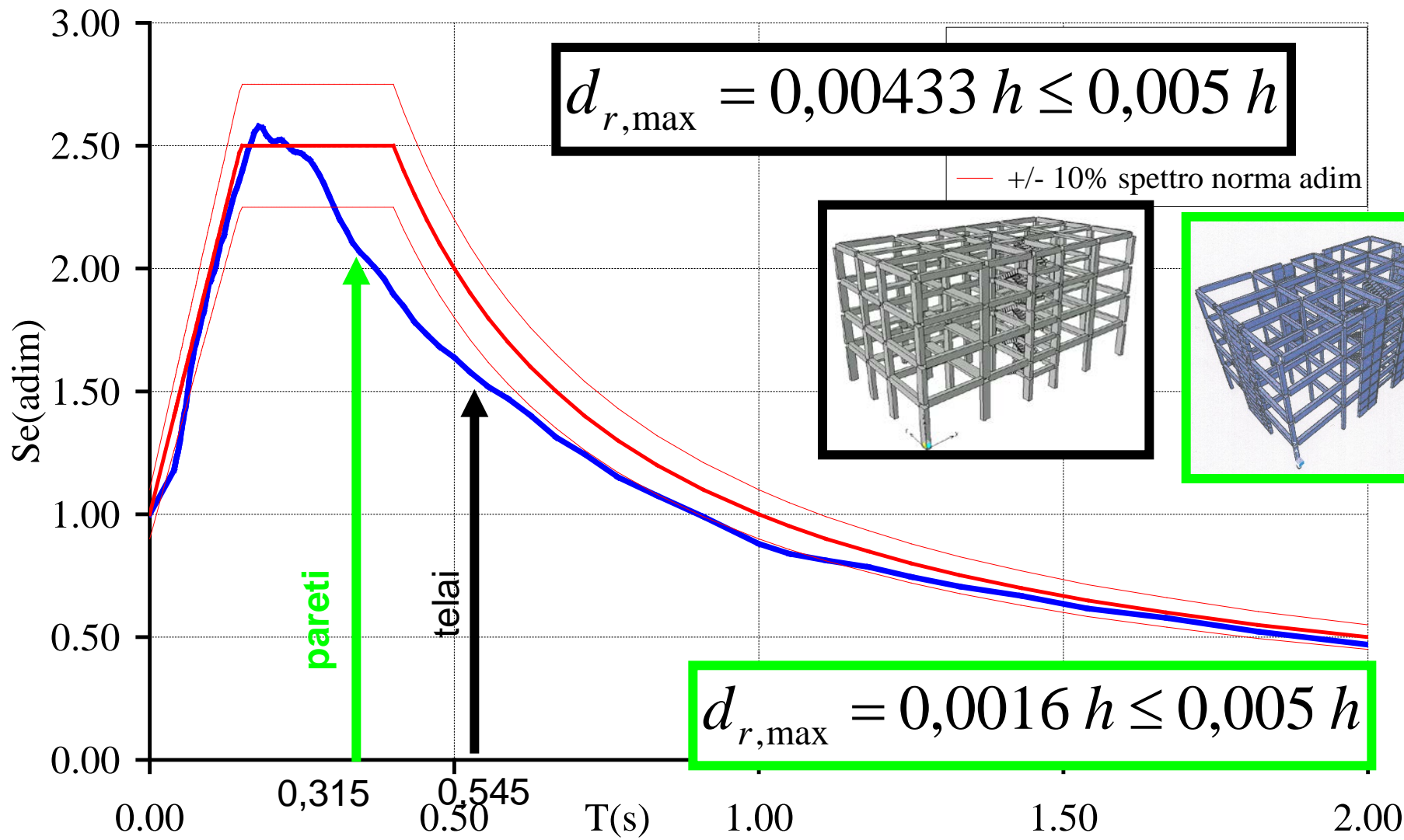
SPETTRI ACCELERAZIONE



SPETTRI SPOSTAMENTI

30/10/2016 M6.5 event 15%-damped displacement spectra

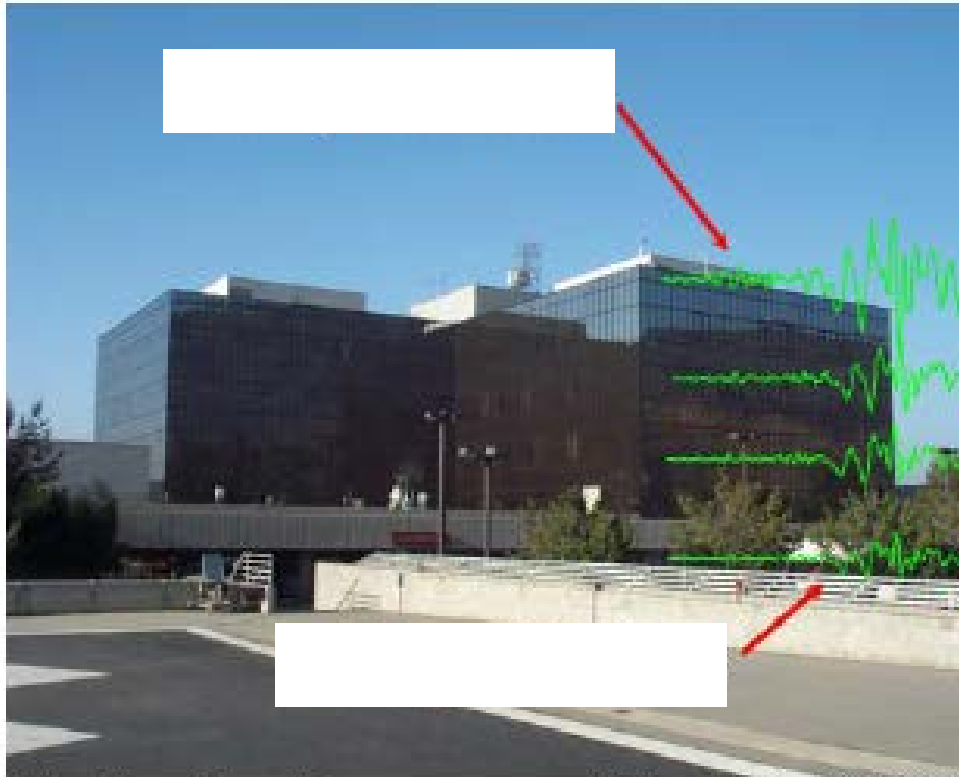




Suolo A

20 anni dopo ... 1994, Terremoto di Northridge

Olive View Medical Center in Sylmar, CA
1994 Northridge earthquake



Olive View Hospital

(Instrumentation by CSMIP-CGS)

(Photo by E. Miranda)

Eduardo Miranda, Stanford University, USA

Available at: <http://www.fema.gov/plan/prevent/earthquake/fema74/>

Last Modified: January 2011

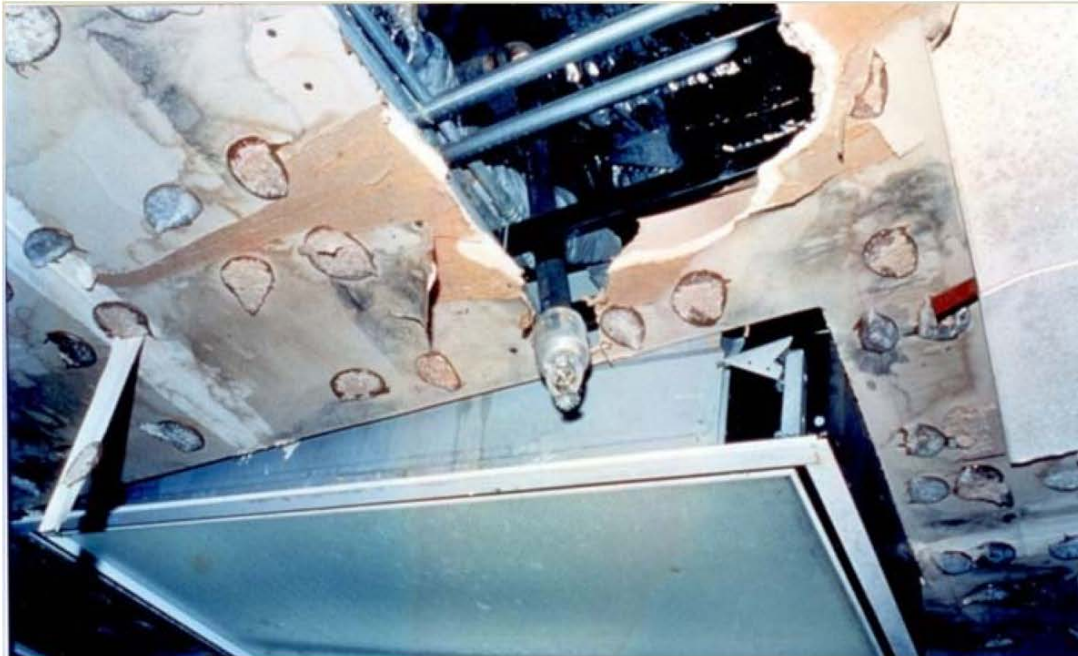


Figure 2.4.3-1

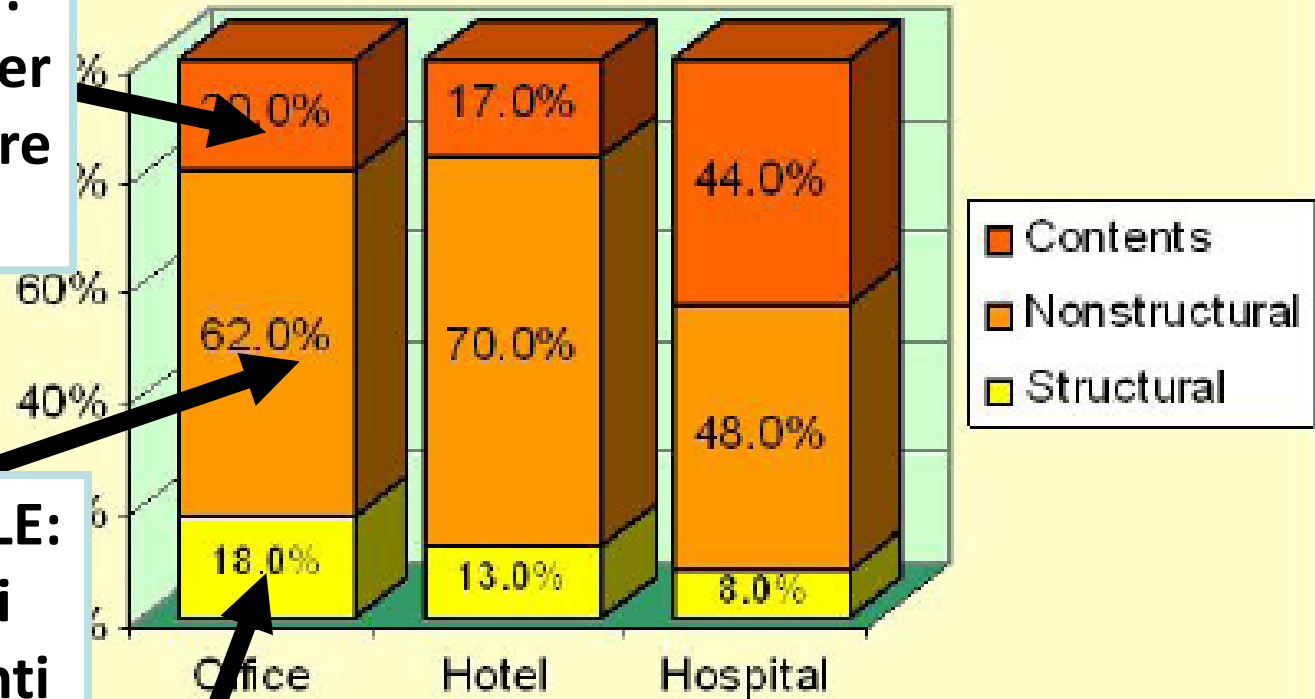
Broken sprinkler pipe at Olive View Hospital in Sylmar, California as a result of the 1994 Northridge, Earthquake. Pipe ruptured at the elbow joint due to differential motion of the pipe and ceiling (FEMA 74, 1994).



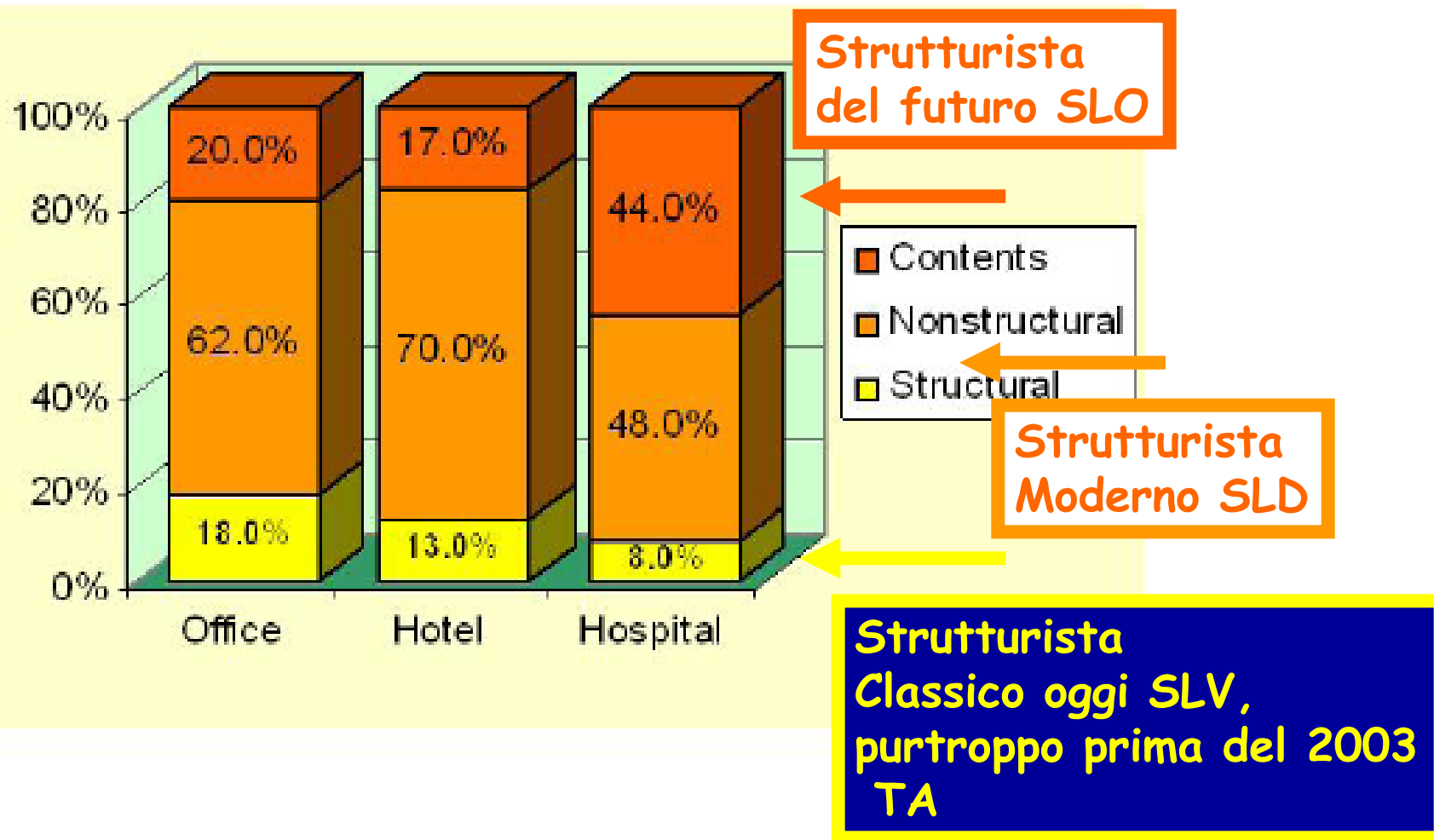
COSTI COMPLESSIVI

OGGETTI INTERNI:
bacheche, computer
, contenuti in genere

NON STRUTTURALE:
Edilizia, Impianti
meccanici, Impianti
elettrici



STRUTTURE



Edifici per abitazioni: stima 40% + 40% + 20%



(Photo by N. Nishikawa/CEER)



(Photo by N. Nishikawa/CEER)



(Photo by Gung Healy/CEER)



(Photo by James Usher/CEER)



1999 Izmit Turkey, earthquake

(Photo by Sezer/PEER)



(Photo by Tom Roesler/PEER)

SLD = Stato Limite di DANNO

Controllare

Con un calcolo ELASTICO LINEARE

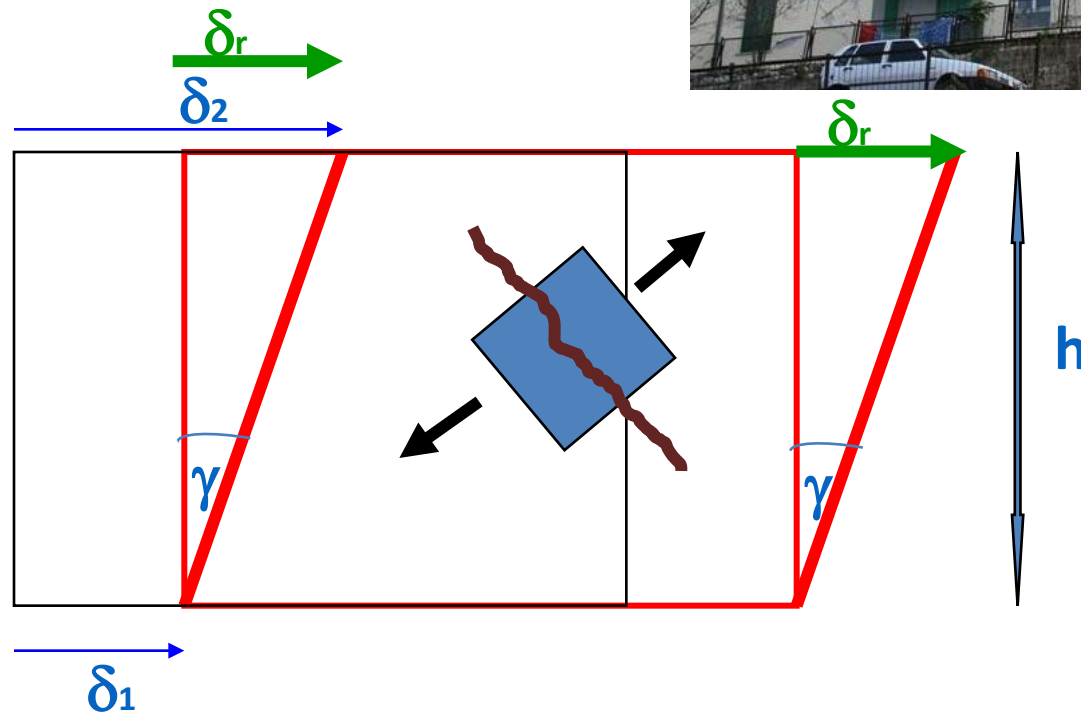
se

SPOSTAMENTI RELATIVI DI

PIANO attesi

PER IL SISMA DELLO SLD

**sono tali da danneggiare tramezzi,
tamponature, ecc**



Parametro critico: distorsione angolare media di piano

$$\gamma = \delta_r / h < 0,005 = 5\text{‰}$$





VALUTAZIONE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

SLD

CR=15%

EDIFICI IN CEMENTO ARMATO: 1598
Costo medio di riparazione 184 euro/mq

EDIFICI IN MURATURA: 899
Costo medio di riparazione 217 euro/mq

EDIFICI TOTALI: 2497
Coto medio Di riparazione 196 euro/mq

Considerando che il costo di intera ricostruzione è dell'ordine di 1200 euro /mq, la stima è **CR del 16,3 %**

L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

➤ Costi di riparazione edifici in c.a.

Voci di costo:

Oneri



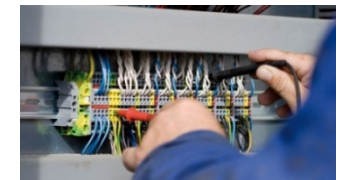
Strutture



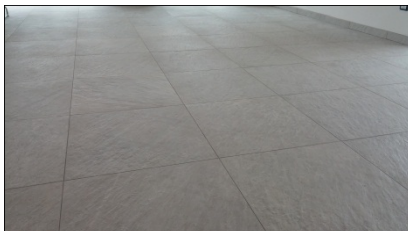
Tamponature



Servizi/
Impianti

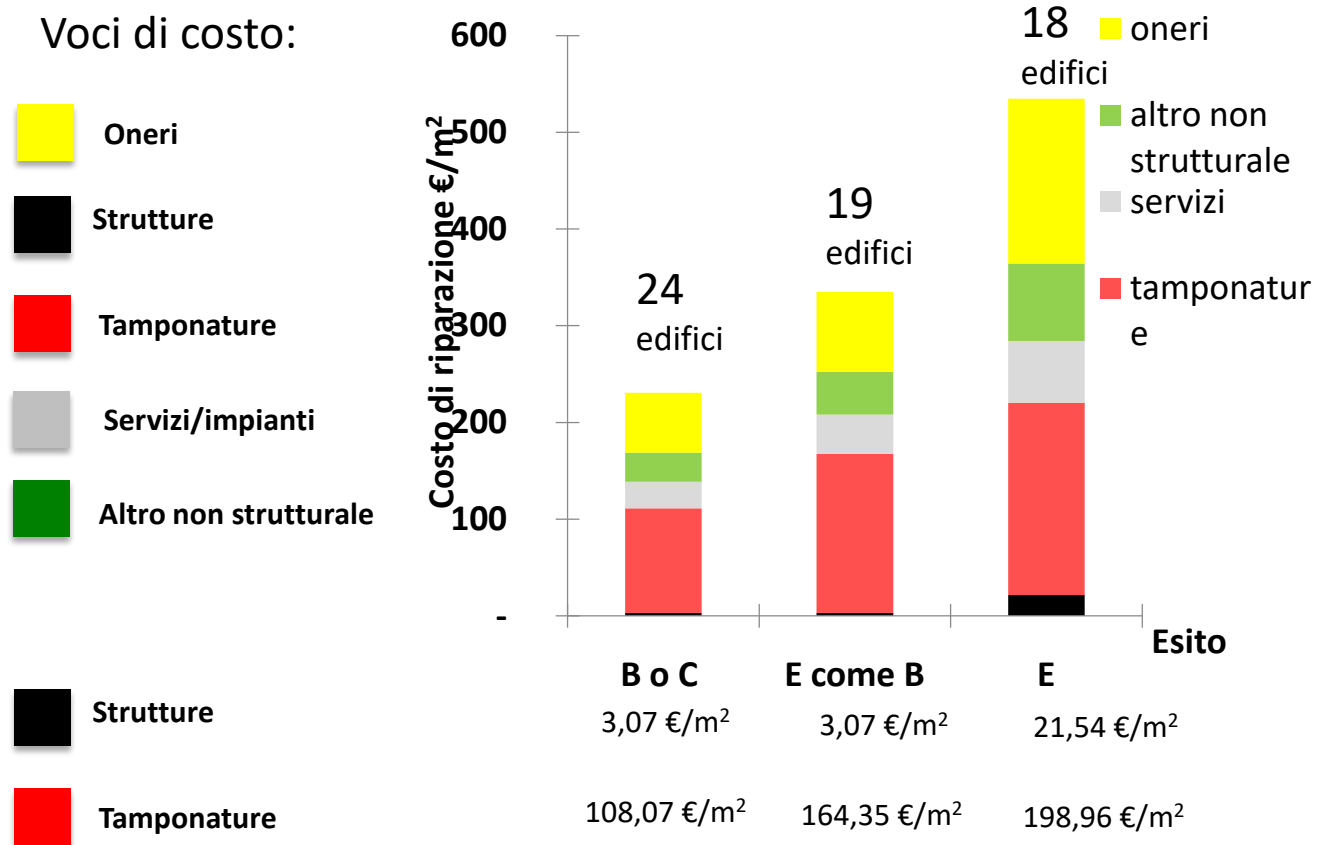


Altro non strutturale: pavim/massetto, canne fumarie, rivest.scale, tegole e comignoli



L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

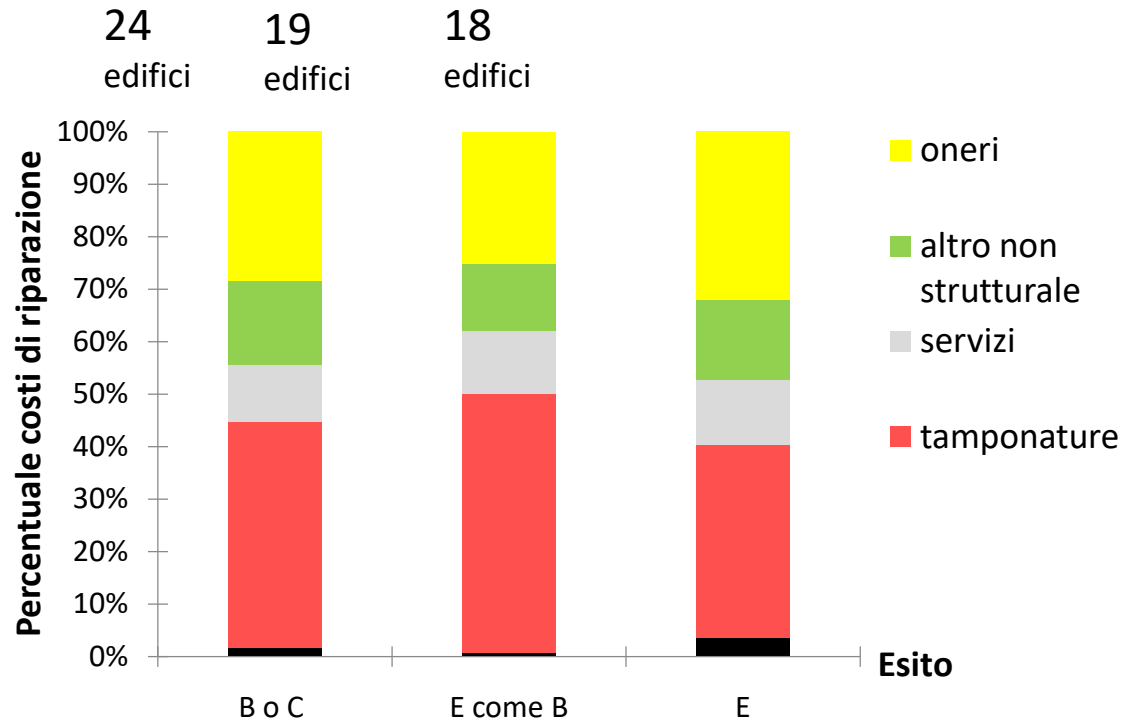
➤ Costi di riparazione edifici in c.a. Campione dati: 63 edifici



L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

➤ Costi di riparazione edifici in c.a. Campione dati: 63 edifici

Voci di costo:



25% < Oneri < 32%

1% < Riparazioni strutturali < 4%

37% < Riparazioni tamponature < 43%

11% < Riparazioni servizi/impianti < 12%

13% < Altre riparazioni non strutturali < 16%

SLD, analisi costi riparazione L'Aquila

(Prota, Di Ludovico et al, 24 Edifici B o C)

TAMPONATURE: 43%

STRUTTURE: 2%

IMPIANTI IDRAULICI/ELETTTRICI 11%

Pavimenti, massetti, tegole, comignoli,

Canne fumarie, rivestimenti scale: 16%

ONERI GENERALI: 28%

RIPARTENDO UNIFORMEMENTE

ONERI GENERALI:

TAMPONATURE: 60%

STRUTTURE: 3%

IMPIANTI IDRAULICI/ELETTTRICI 15%

Pavimenti, massetti, tegole, comignoli,

Canne fumarie, rivestimenti scale: 22%

SLD, analisi dei dati esistenti, Tamponature tradizionali in laterizio (GM Verderame et al)



Definizione diversi Stati di Danno:

DS1: Distacco delle tamponature da telai, con leggere lesioni diagonali (ampiezza <1mm)

DS2: Estese lesioni diagonali (ampiezza compresa tra 1 e 2 mm); possibile rottura di qualche blocco di laterizio

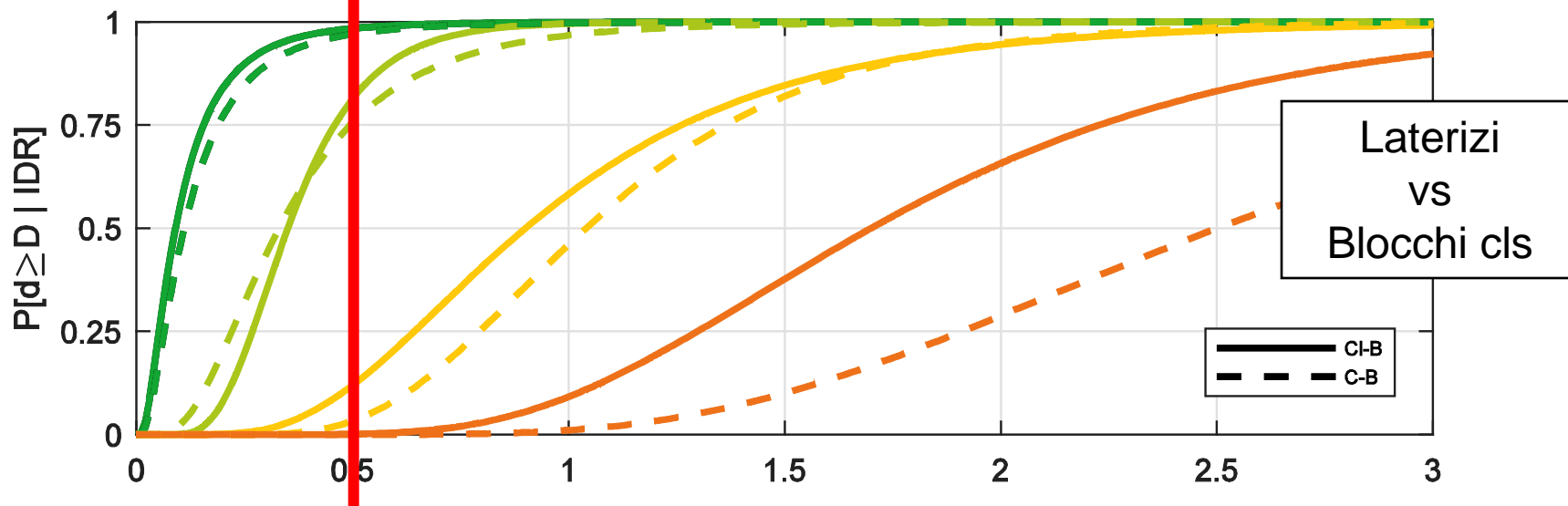
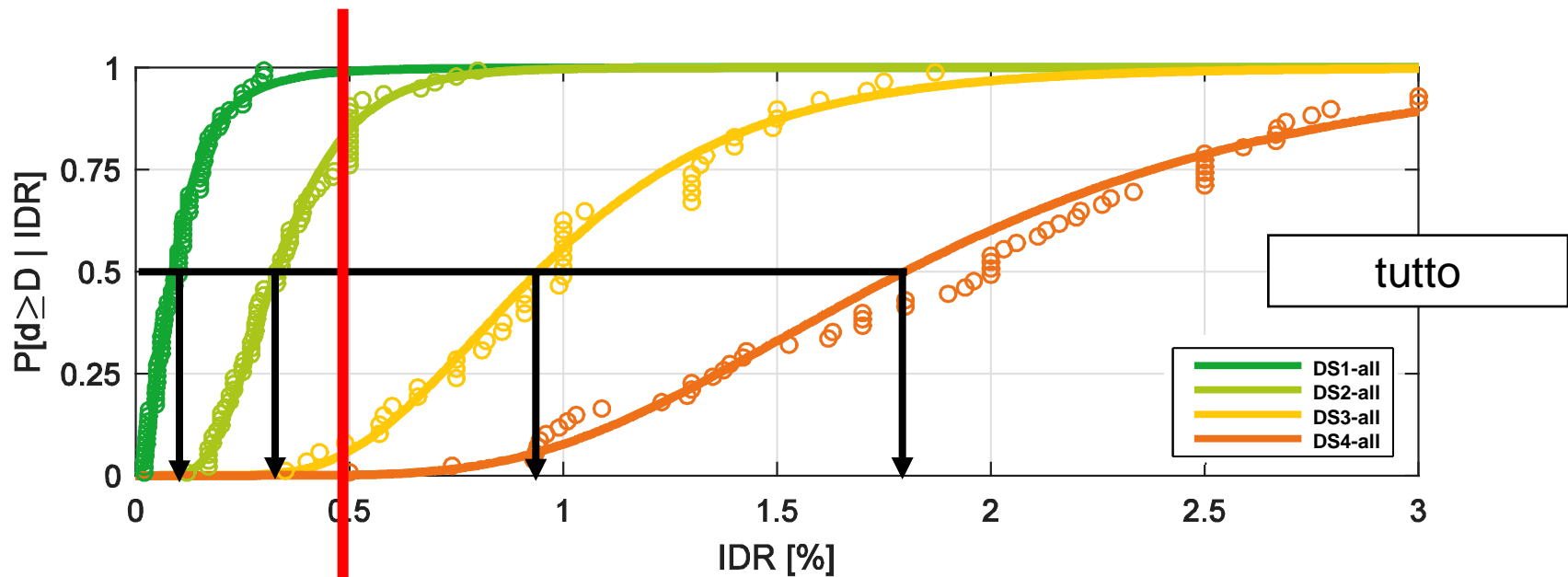
DS3: Crushing negli angoli, rottura laterizi, scorrimenti lungo i letti di malta

DS4: **Collasso delle tamponature, dentro o fuori del piano**

STATO DI DANNO	MEDIA Spostamento interpiano/ altezza piano	COV	Probabilità Superamento in caso di raggiungimento SLD (0,5%)
DS1	0,07%	105%	≈100%
DS2	0,4%	42%	≈75%-80%
DS3	1,0%	39%	≈5%-10%
DS4	1,94%	20%	≈0%



VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' DI SPOSTAMENTO



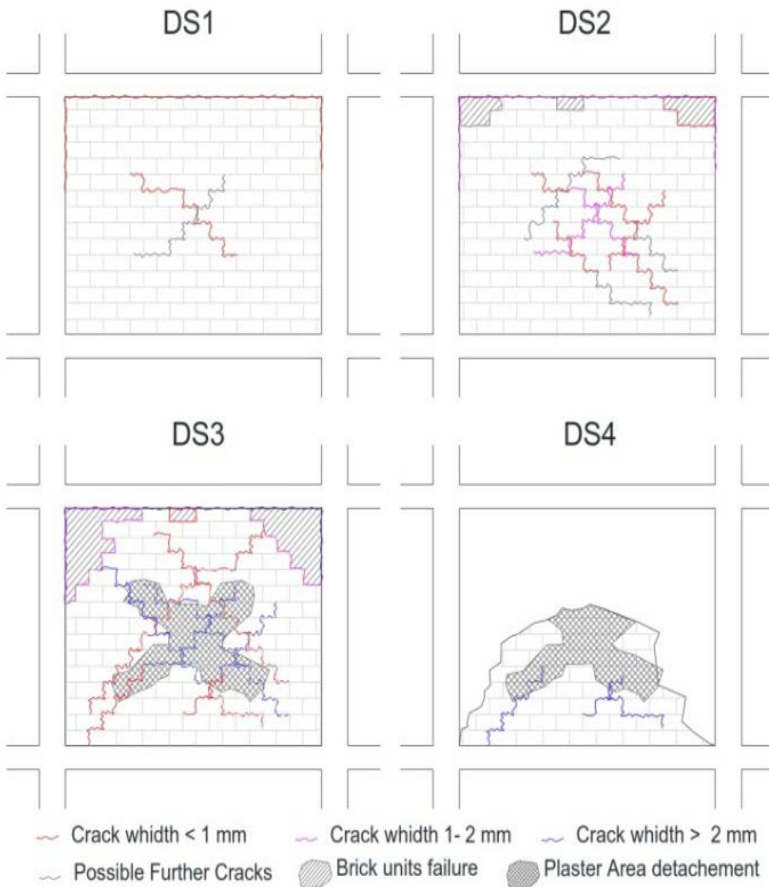
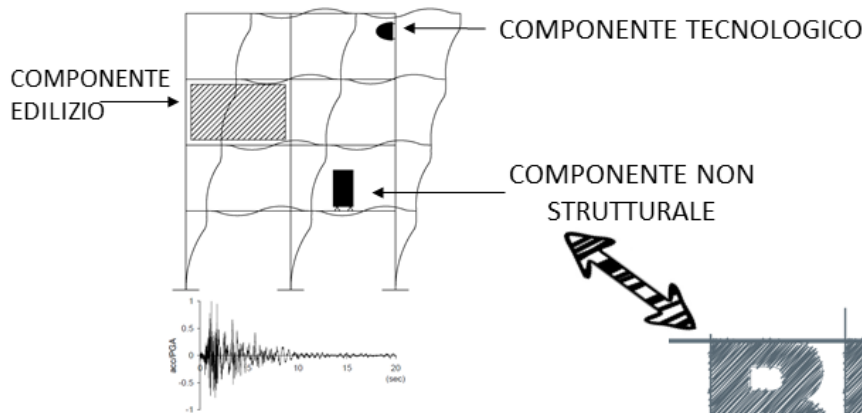


Figure 9. Damage states of masonry infills without openings (a);
 Damage states interpretation for test #49 (DIST Unina) (b)

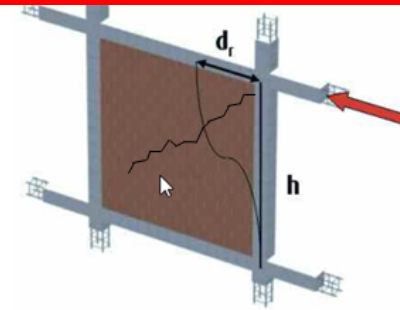
MODELLO STRUTTURALE



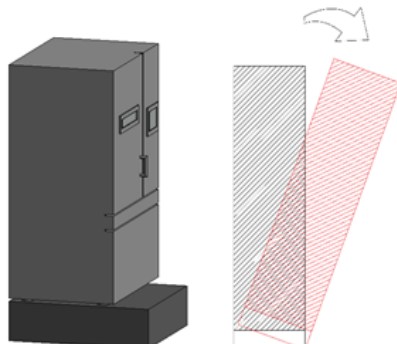
COMPONENTE EDILIZIO

Spostamento relativo al piano della partizion

SLD



COMPONENTE NON STRUTTURALE

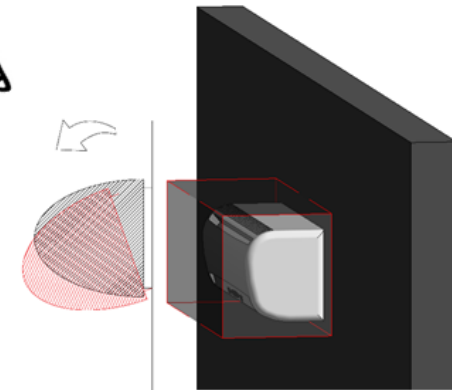


SLO

Velocità angolare del componente al piano del componente

COMPONENTE TECNOLOGICO

SLO/SLD



Accelerazione al piano del componente

CURVA DI RIFERIMENTO, EDIFICIO ESATTAMENTE A NORMA



SLID

Tr=10y ; Freq. annuale $\lambda=10\%$ CR=0%



1999 Izmit Turkey, earthquake

(Photo by Google/PE 07)

SLO

Tr=30y; Freq. annua $\lambda=3,33\%$

CR=7%



08.04.2009 10:56

SLD

Tr=50y; Freq. annua $\lambda=2\%$ CR=15%

SLV

Tr=475y; Freq. Annua $\lambda=0,21\%$ CR=50%



SLC

Tr=975y; Freq. annuale $\lambda=0,1\%$ CR=80%



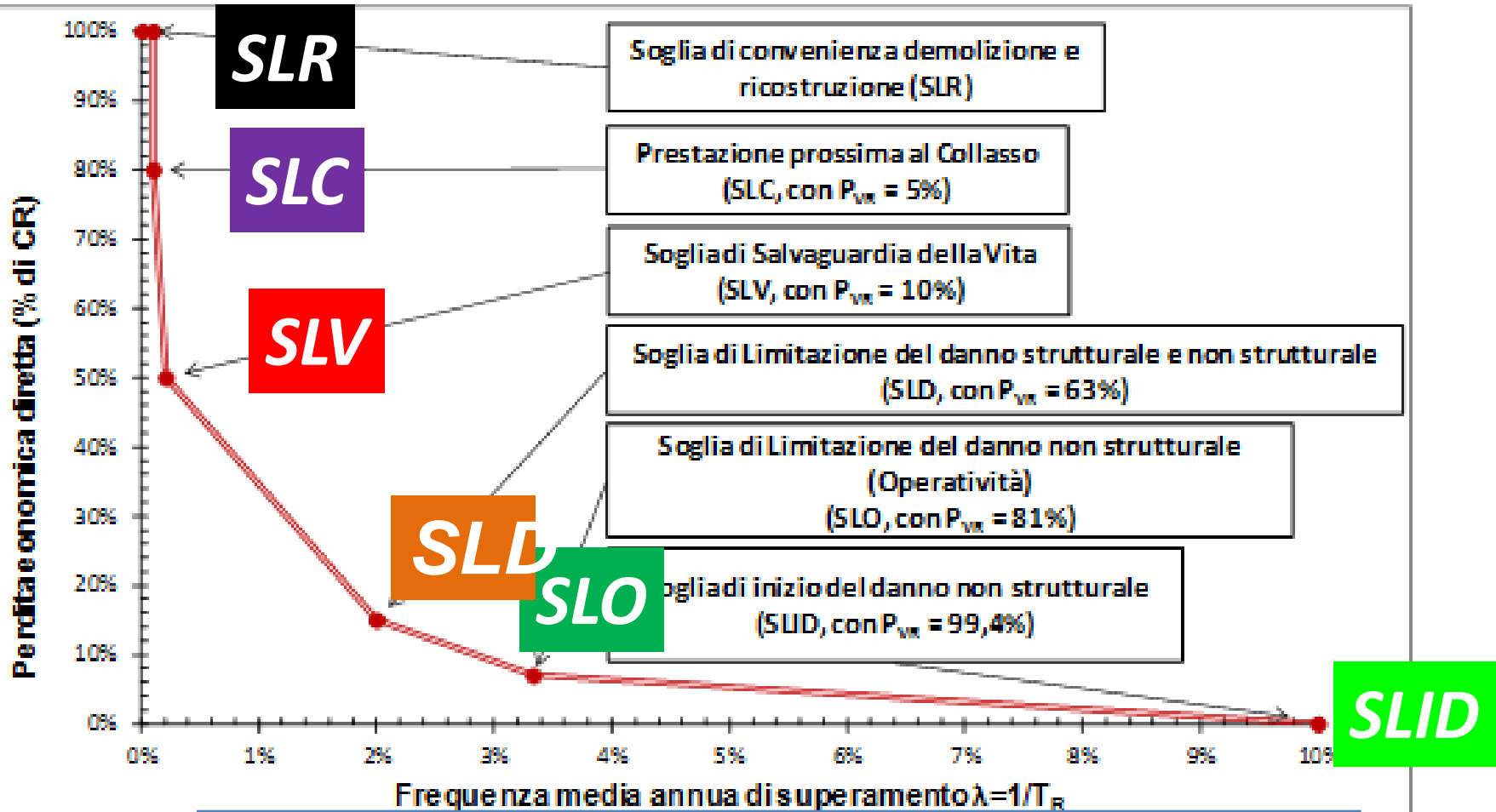
SLR

Tr= infinito; Freq. annuale $\lambda=0\%$ CR=100%



NOVITA' ASSOLUTA NEL PANORAMA TECNICO MONDIALE LA NORMA ASSOCIA I DANNI AI COSTI E QUINDI AI POTENZIALI RISPARMI DELLO STATO IN CASO DI INTERVENTO STRUTTURALE

% Costo di Ricostruzione (Perdita economica diretta)

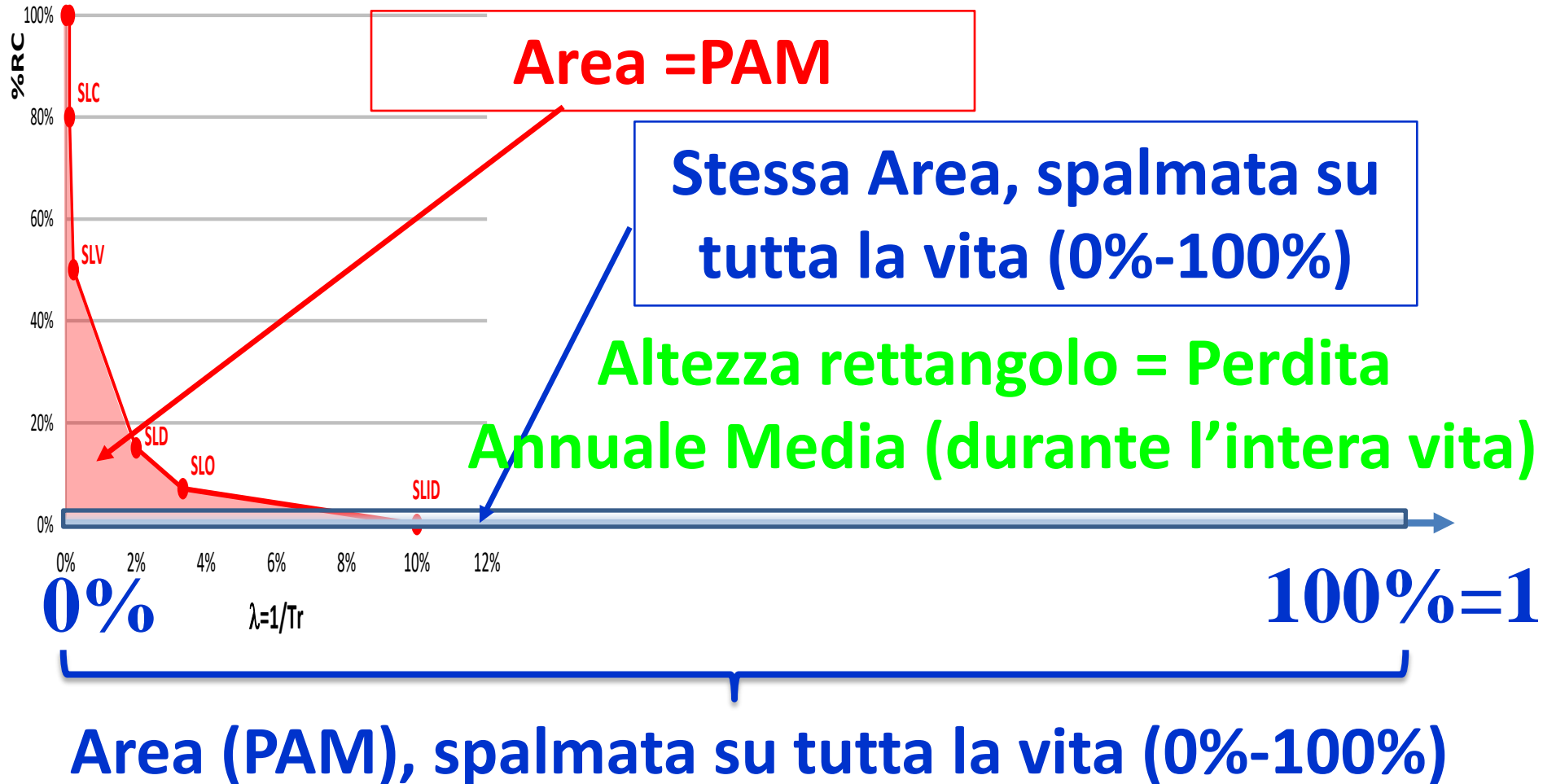


ASCISSA: Frequenza media annua di superamento

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO



Curva di Riferimento



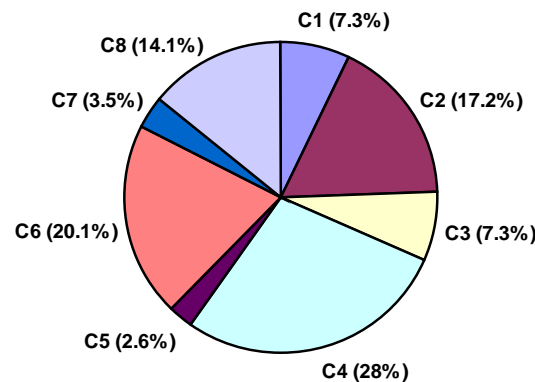
Selezione dell'intervento di adeguamento sismico

Un problema decisionale Multi-Criterio

CRITERI DI GIUDIZIO

CRITERI SOCIO-ECONOMICI	CRITERI TECNICI
<ul style="list-style-type: none">➤ C₁: Costo di installazione➤ C₂: Costi di manutenzione➤ C₃: Durata lavori/ disturbo uso edificio➤ C₄: Compatibilità funzionale	<ul style="list-style-type: none">➤ C₅: Specializzazione manodopera necessaria➤ C₆: Entità intervento in fondazione richiesto➤ C₇: Rischio di Danno Severo➤ C₈: Rischio di Danno Limitato

“PESI” DEI CRITERI



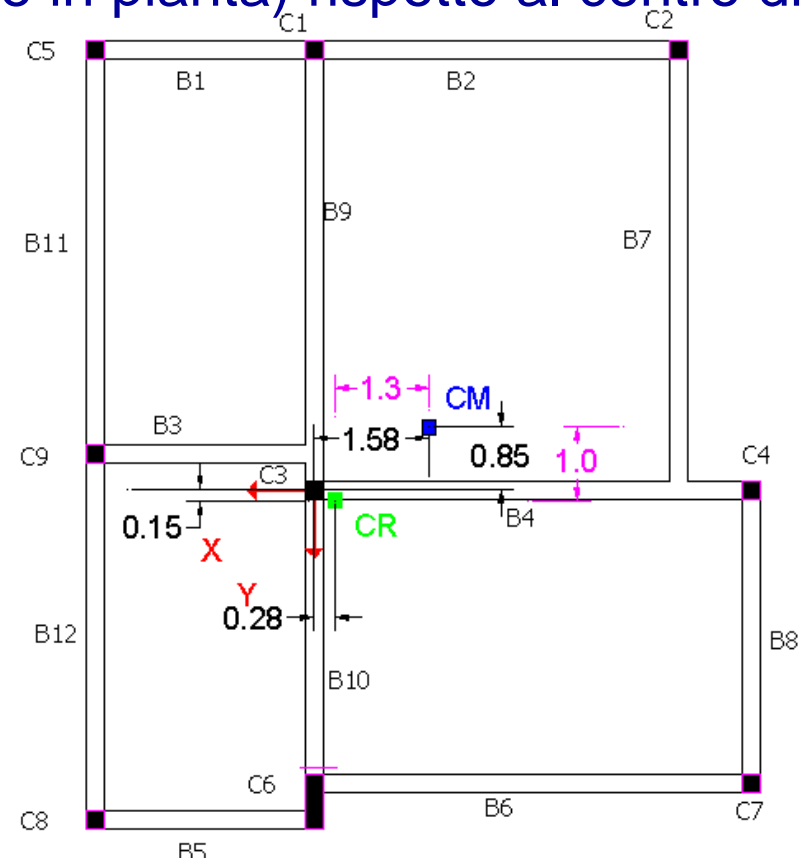
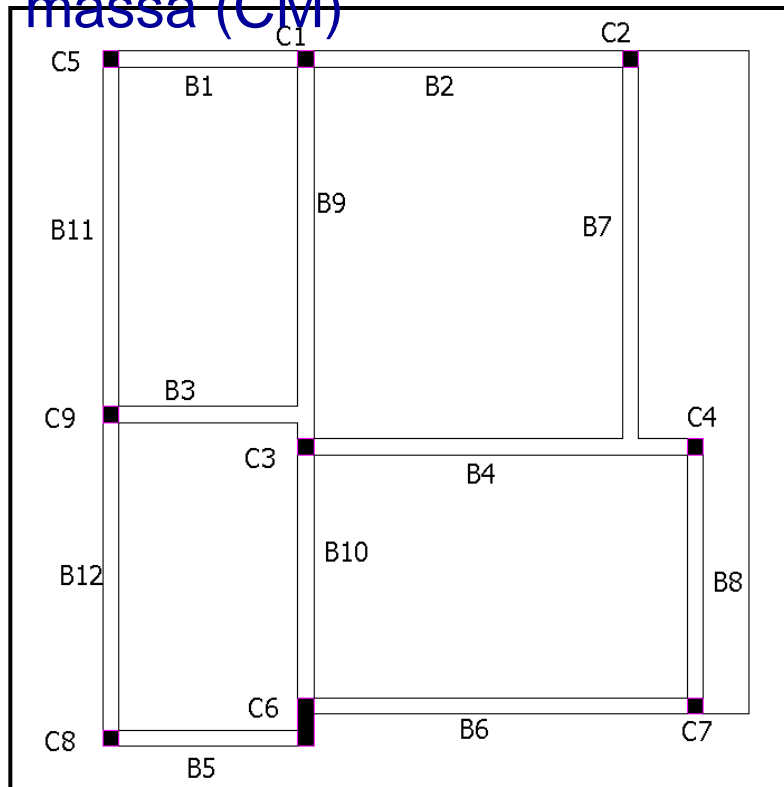
La Struttura SPEAR



- Edificio di **tre piani** progettato per **solli carichi verticali**
- Progettato secondo le indicazioni della Normativa Greca utilizzata dal **1954 al 1995**
- Struttura regolare in elevazione ma **doppiamente non simmetrica in pianta**
- Telai a **2 campate** con luci da 3 a 6 m

Descrizione della Struttura

- Struttura regolare in elevazione
- Travi e colonne di ciascun piano sono armate allo stesso modo
- Il centro di rigidezza (CR) presenta un'eccentricità pari a 1.3 m nella direzione X (~13% della dimensione in pianta) e 1.0 m nella direzione Y (~9.5% della dimensione in pianta) rispetto al centro di massa (CM)



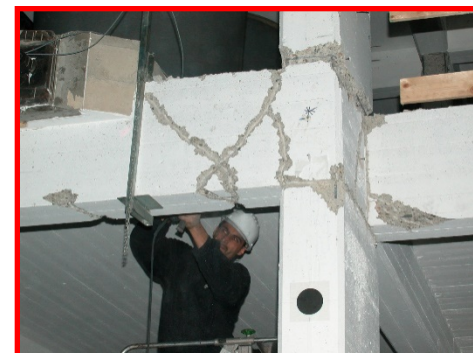
Risultati Sperimentali: Struttura non rinforzata

■ Maggiori danni riscontrati sulle colonne:

- La struttura progettata per soli carichi verticali – nessuna attenzione alla gerarchia delle resistenze
- Colonne di dimensioni ridotte e armatura insufficiente a sopportare sforzo normale e flessione biassiale

■ Meccanismo di trave forte pilastro debole con formazione di cerniere plastiche nelle colonne

- La mancanza di infittimento della staffatura nei nodi aumenta il rischio di fenomeni locali di collasso fragile: rottura del calcestruzzo, instabilità delle barre di acciaio longitudinali, sfilamento delle barre



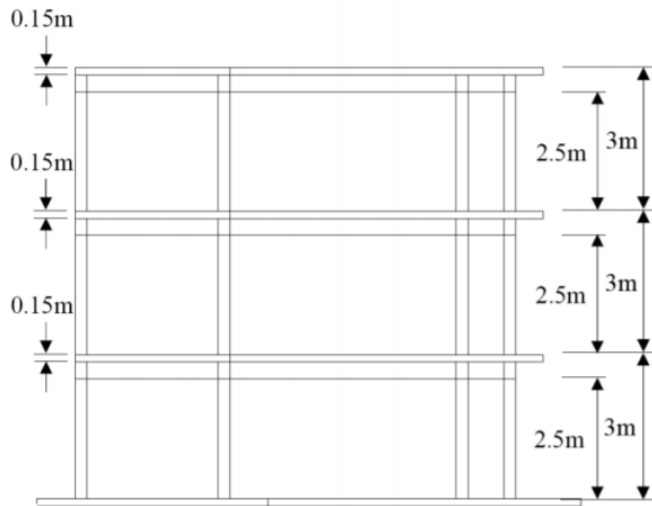


Figure 3. Front view of the case-study structure

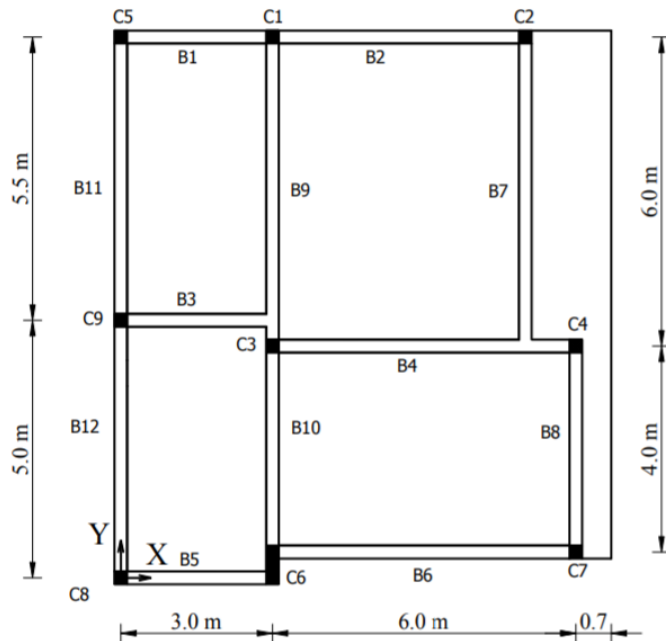


Figure 4. Plan of the case-study structure

A0. Soluzione originaria $T=0,52$ s

Table 3. Evaluation criteria

C_1	Installation cost
C_2	Installation cost NET of taxes reimbursement GROSS of expected losses
C_3	Number of risk classes of improvement
C_4	Cost for maintenance
C_5	Duration of works
C_6	Architectural impact/functional compatibility
C_7	Increase of force demand at foundation

A1. FRP Stesso T

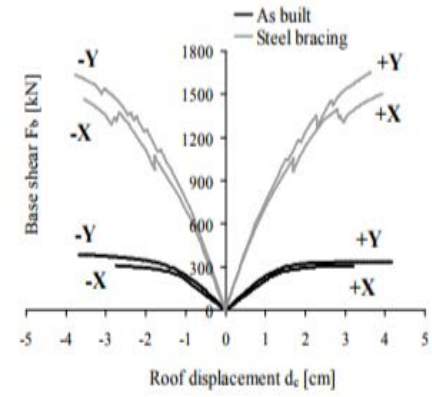
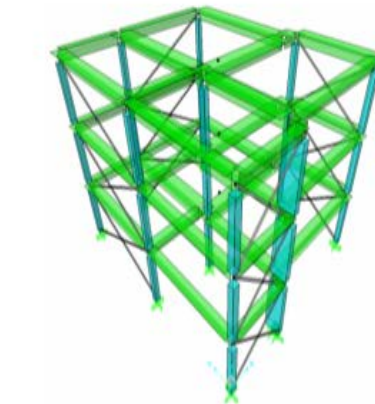
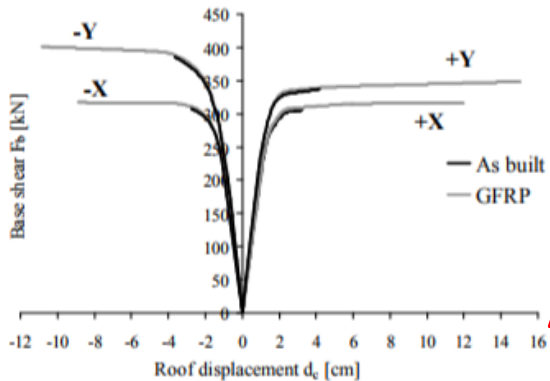


Figure 6. Alternative A2: bracing configuration (left) and pushover curves at LS limit state for the as-built and the retrofitted structure.

A2. Controventi acciaio T=0,27 s

A3. Incamiciatura in c.a., T=0,42 s

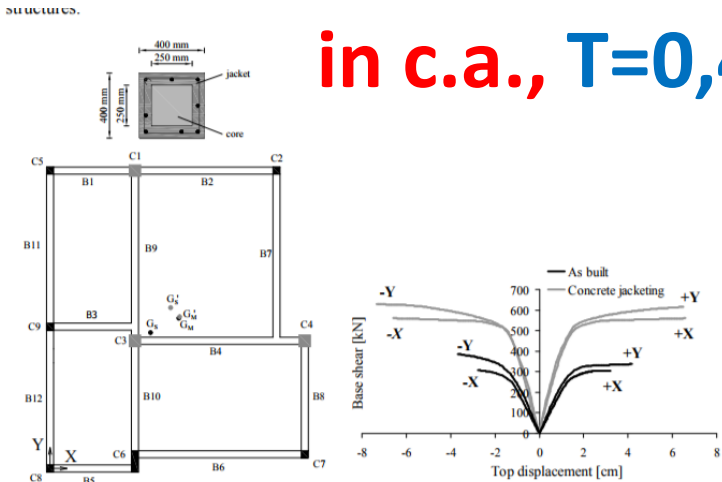


Figure 7. Alternative A2: RC jacket for three columns (left), pushover curves at LS limit state for the as-built and the retrofitted structure.

A4. Isolamento sismico alla base T=1,39 s

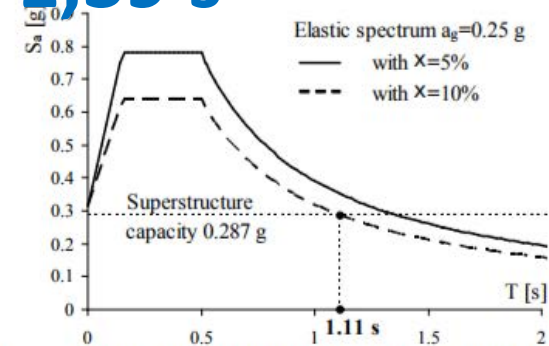
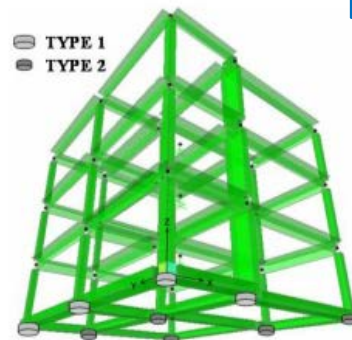
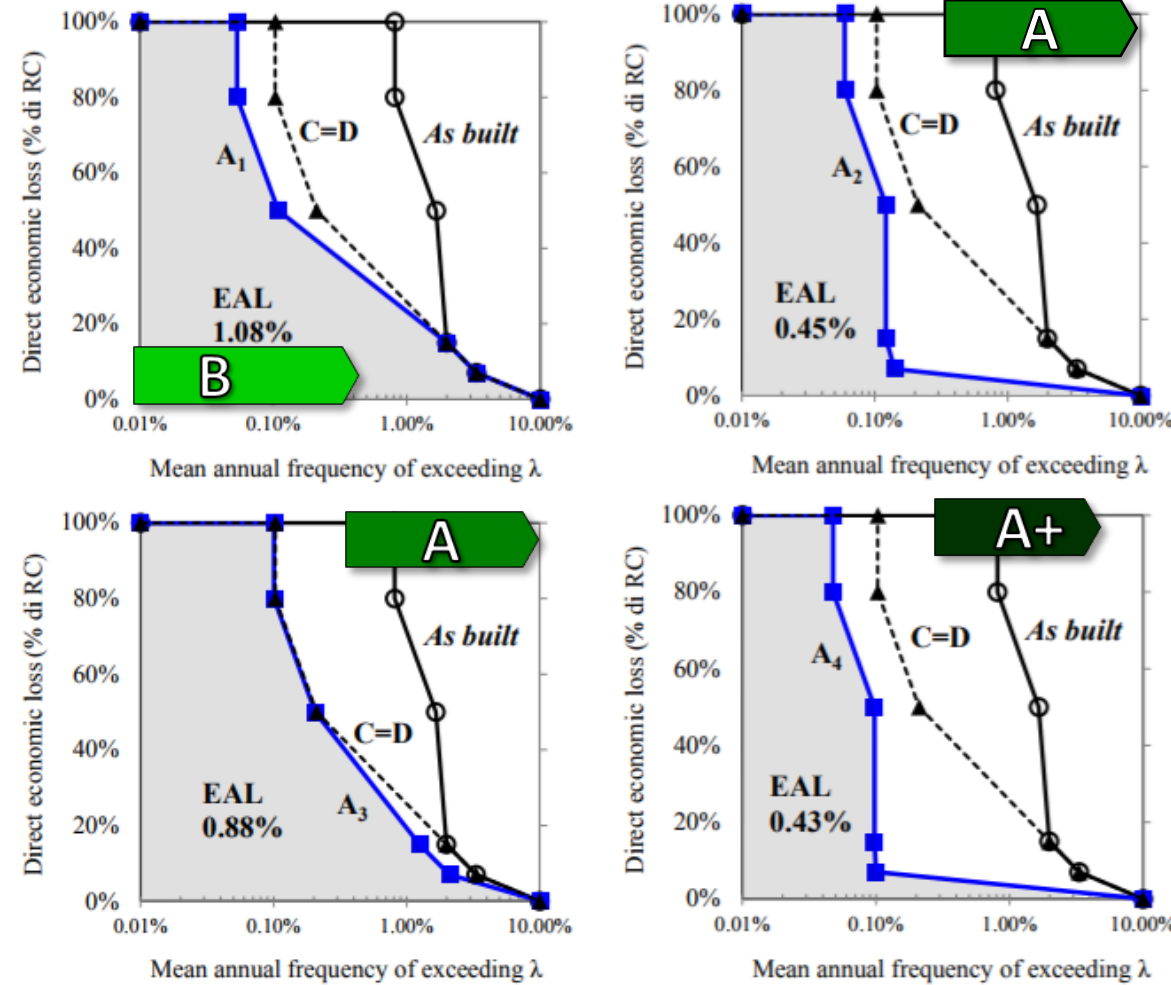


Figure 8. Alternative A4, base isolation: placement of the two types of device (left), evaluation of the minimum period for isolation (right).



As Built
PAM=1,85%

C

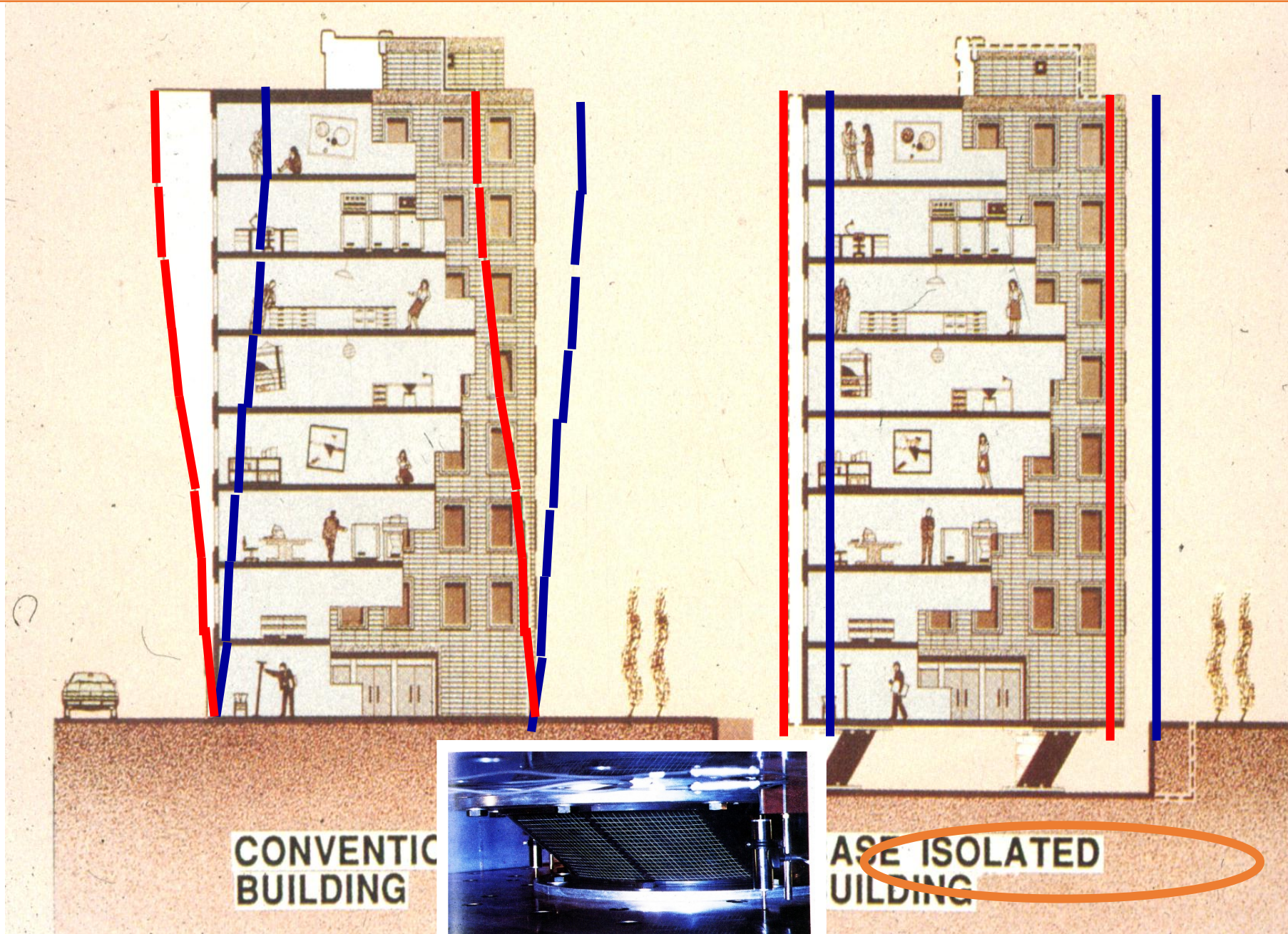
Figure 10. Loss curves for the as-built and retrofitted structure (four alternatives). The area under a curve is the EAL. Dashed line refers to the ideal condition Capacity=Demand. $EAL_{As\ built}=1.85\%$, $EAL_{C=D}=1.13\%$.

Ranking of alternatives for DM₁ and DM₂.

	Decision maker 1				Decision maker 2			
	S _i *	S _{i-}	C _i *	Rank	S _{i-}	C _i *	C _i *	Rank
A ₁	0.03	0.29	0.90	I	0.11	0.21	0.65	I
A ₂	0.29	0.05	0.16	IV	0.21	0.11	0.35	IV
A ₃	0.14	0.21	0.60	II	0.13	0.13	0.49	III
A ₄	0.23	0.13	0.35	III	0.13	0.15	0.54	II

**Diverso il decisore,
Diverse le priorità,
Diversa la scelta ottimale**

NUOVE TECNOLOGIE: ISOLAMENTO alla Base

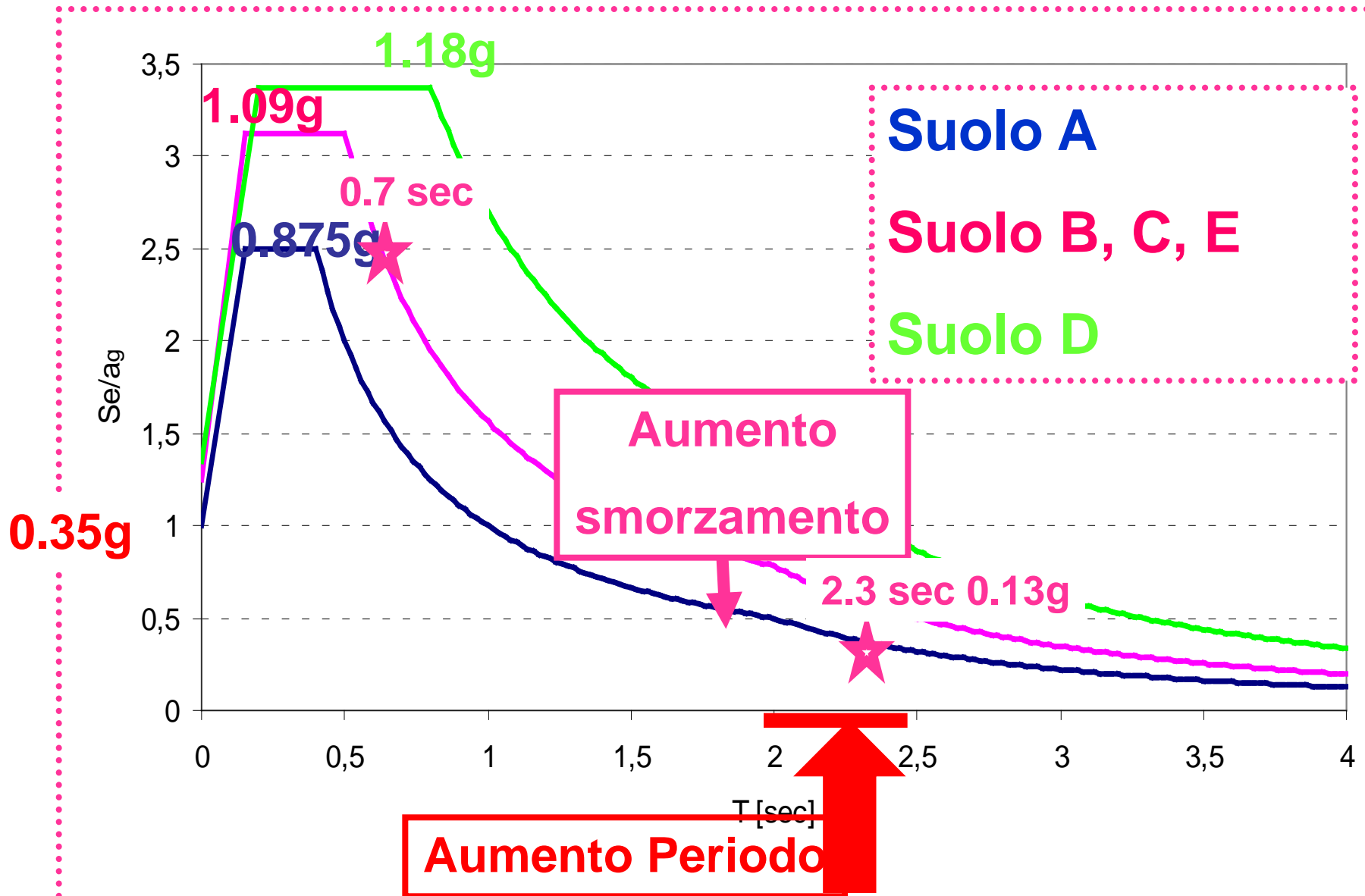


CONVENTIC BUILDING

BASE ISOLATED BUILDING

Spettri elastici

zona 1

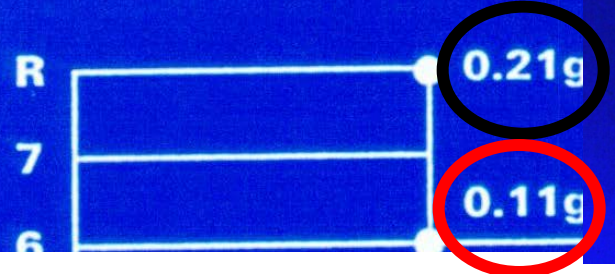


**Verifica "sperimentale":
Il terremoto di Northridge**

N-S Response of USC Hospital



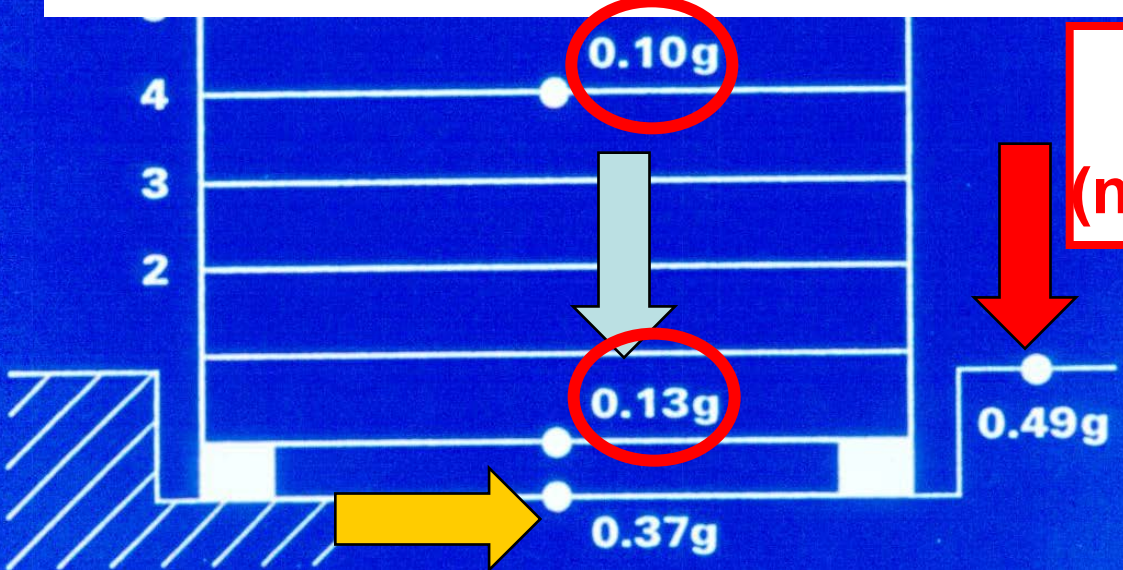
**USC University Hospital
CSMIP Recorded Accelerations
North - South Direction**



FORTISSIMA RIDUZIONE DEGLI EFFETTI !

**Distribuzione uniforme
(non triangolare) delle azioni**

**Irregolarità
strutturale**



L'AQUILA: Edifici in c.a. «E» riparati con isolamento sismico

TOTALE 59

COSTO MEDIO INTERVENTO: 340 euro/mq

- ELASTOMERI E SLITTE 25;
- PENDOLI CON DOPPIA SUPERFICE CURVA 34

DA REGOLA: IS-V POST INTERVENTO > 60%

IN 14 CASI, A SPESE PROPRIETARI, IS-V \geq 1

Costo medio aggiuntivo 4,4 euro/mq