

**Progettazione
antisismica per
strutture nuove
ed esistenti e
riferimenti
normativi**

02 Marzo 2020

ore 14:30

Sala Milone della BPER
Banca Crotona
Piazza Antonio Gramsci, 2

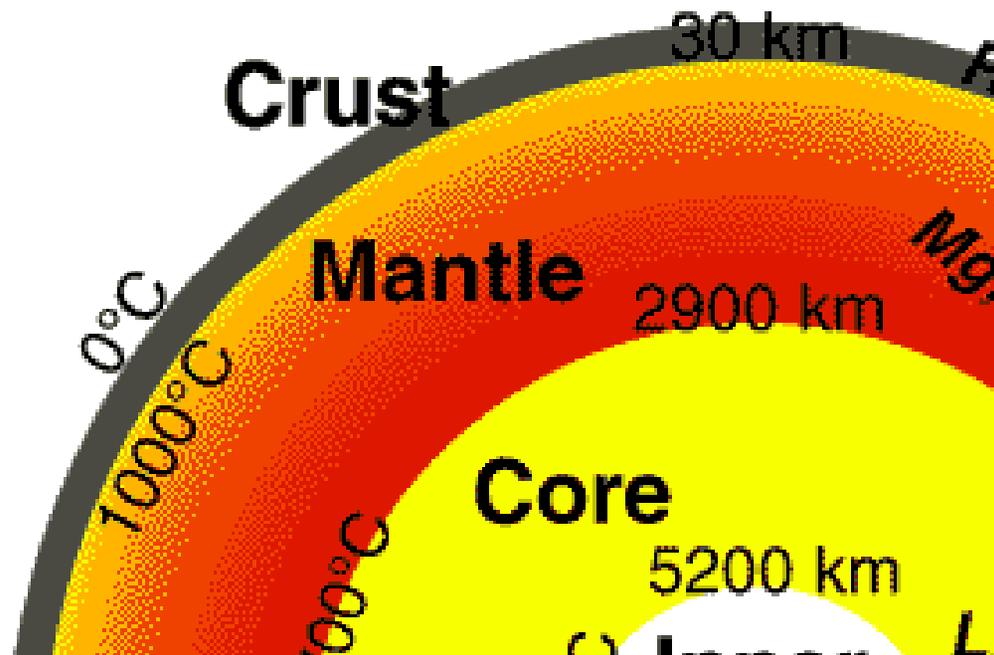


Salt

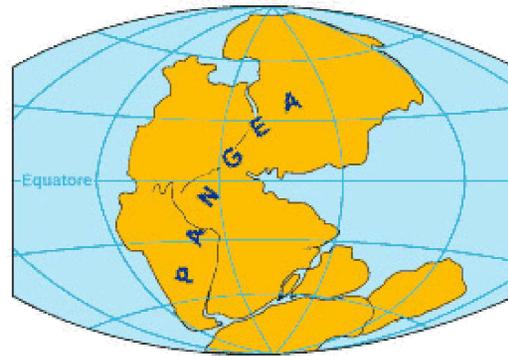
Ing. A

Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Prov

Globo terrestre:
E' fuso internamente e le "placche"
galleggiano



225 milioni
Anni fa



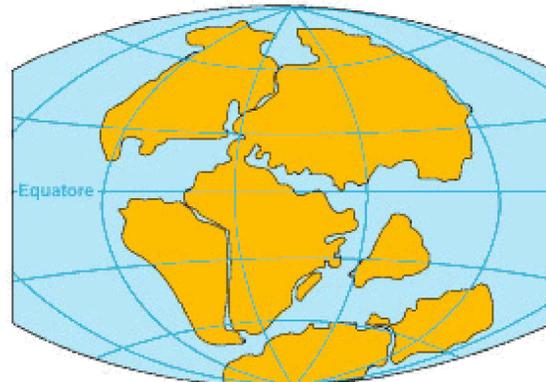
PERMIANO
225 milioni di anni



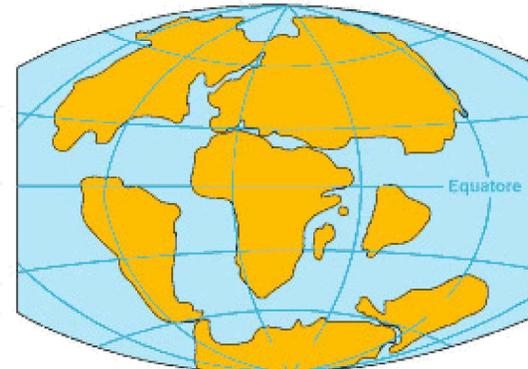
TRIASSICO
200 milioni di anni

200 milioni
Anni fa

135 milioni
Anni fa



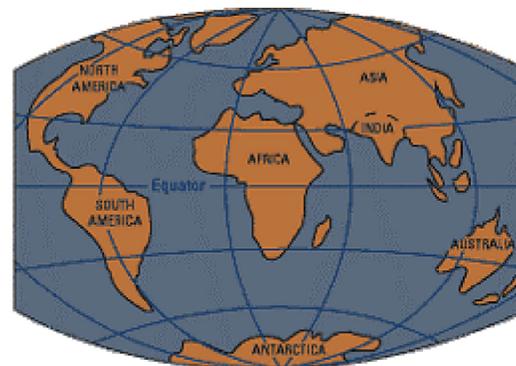
GIURASSICO
135 milioni di anni



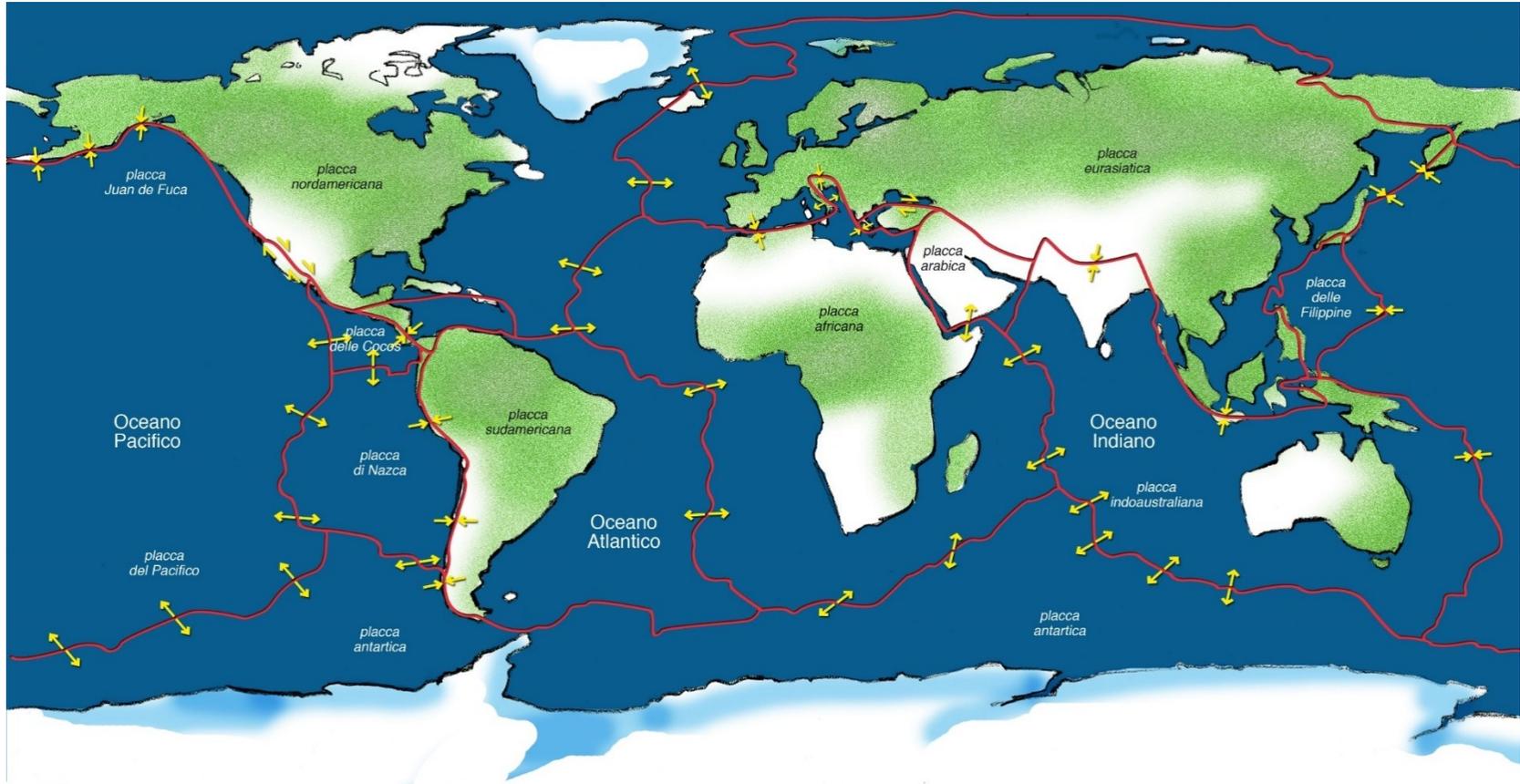
CRETACICO
65 milioni di anni

65 milioni
Anni fa

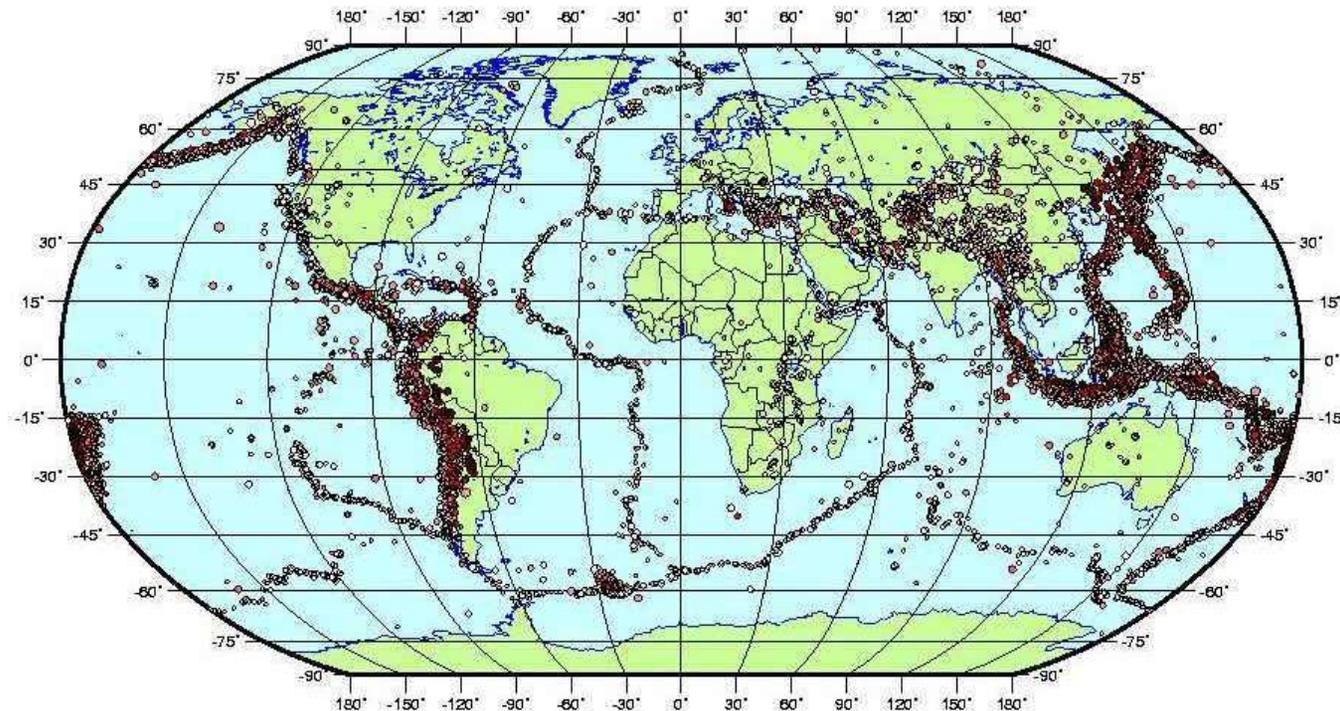
OGGI



Present Day



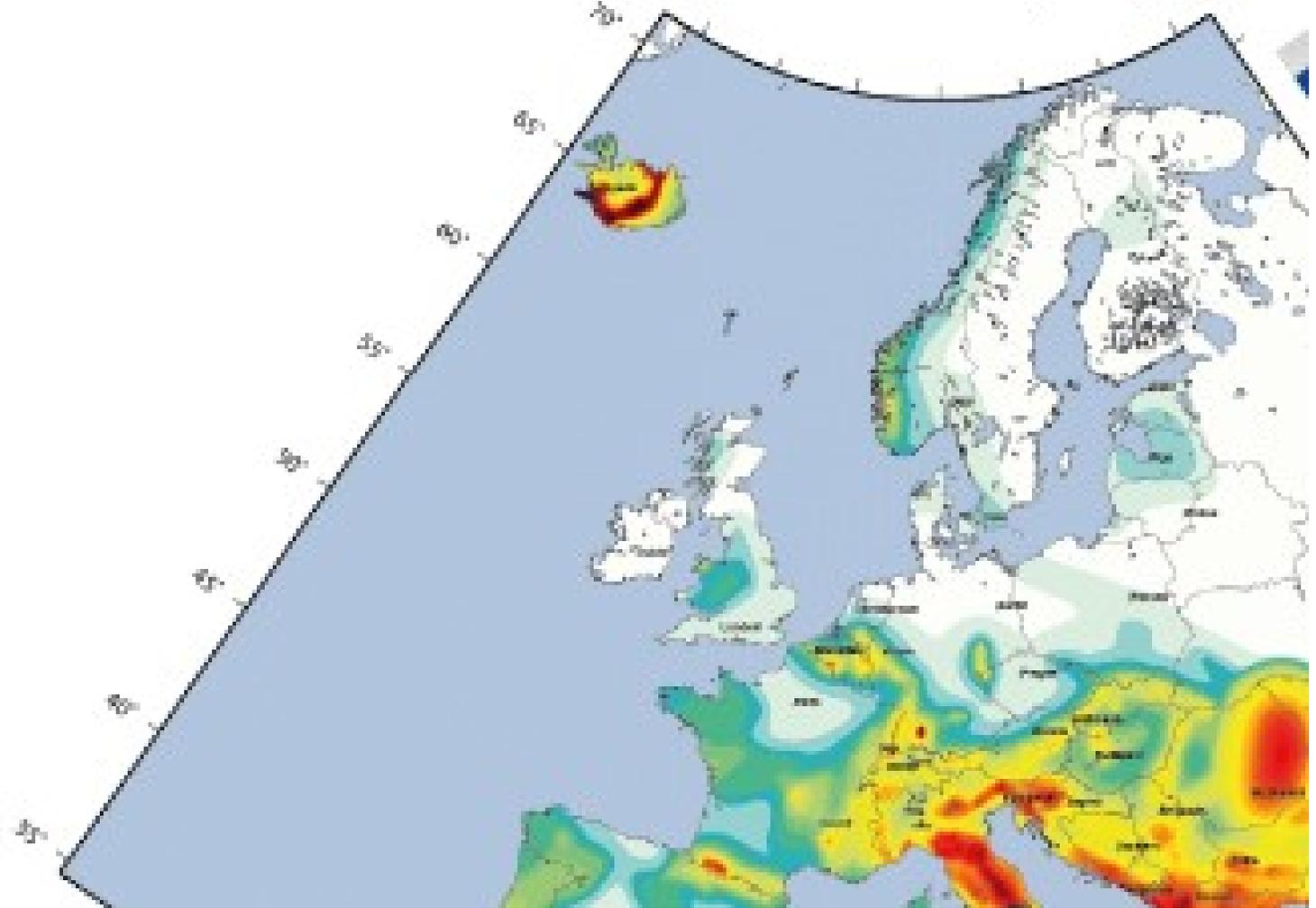
Distribuzione terremoti nel mondo / placche tettoniche

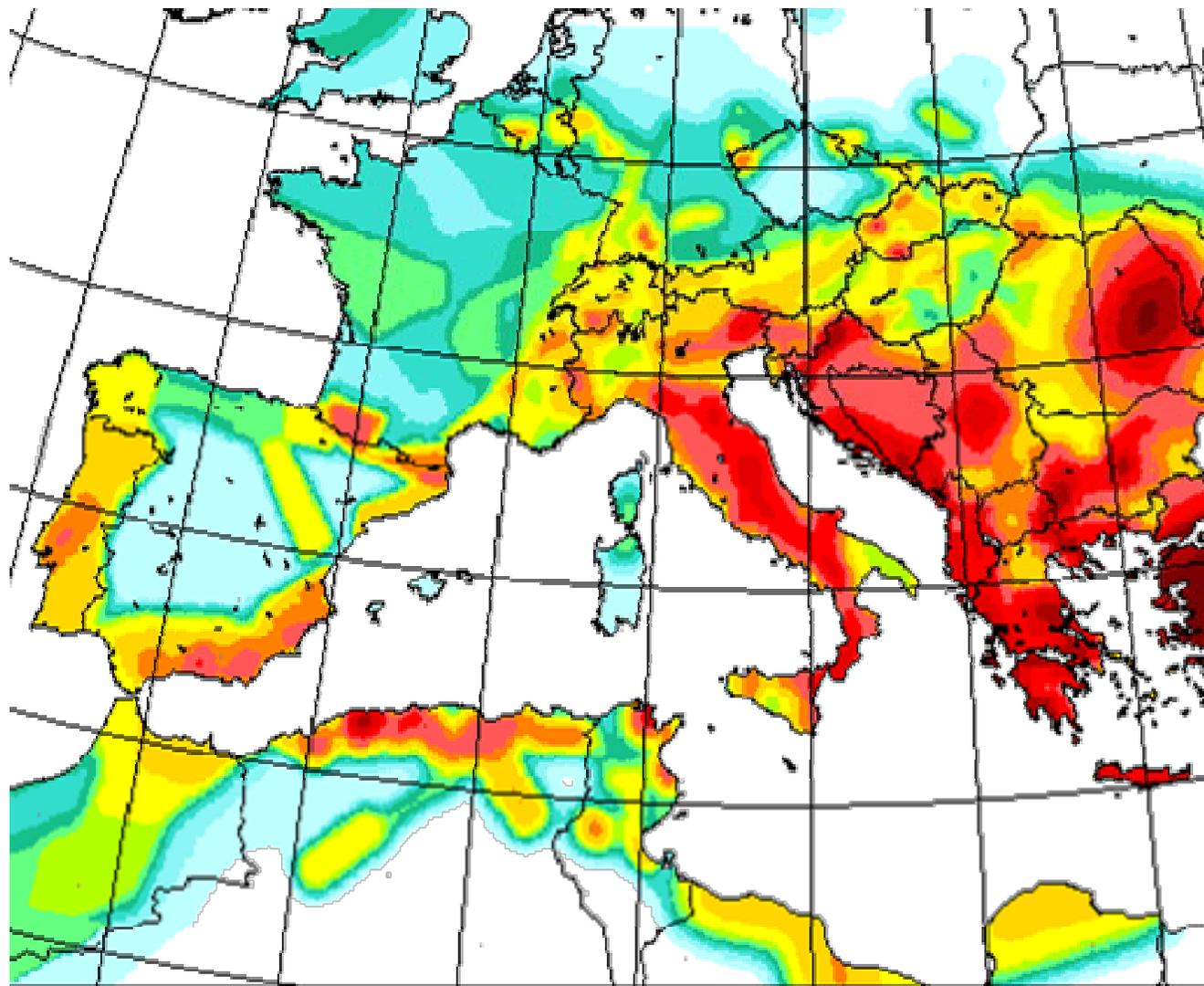


I lenti movimenti delle placche fanno avvenire i terremoti, principalmente al confine fra le placche stesse

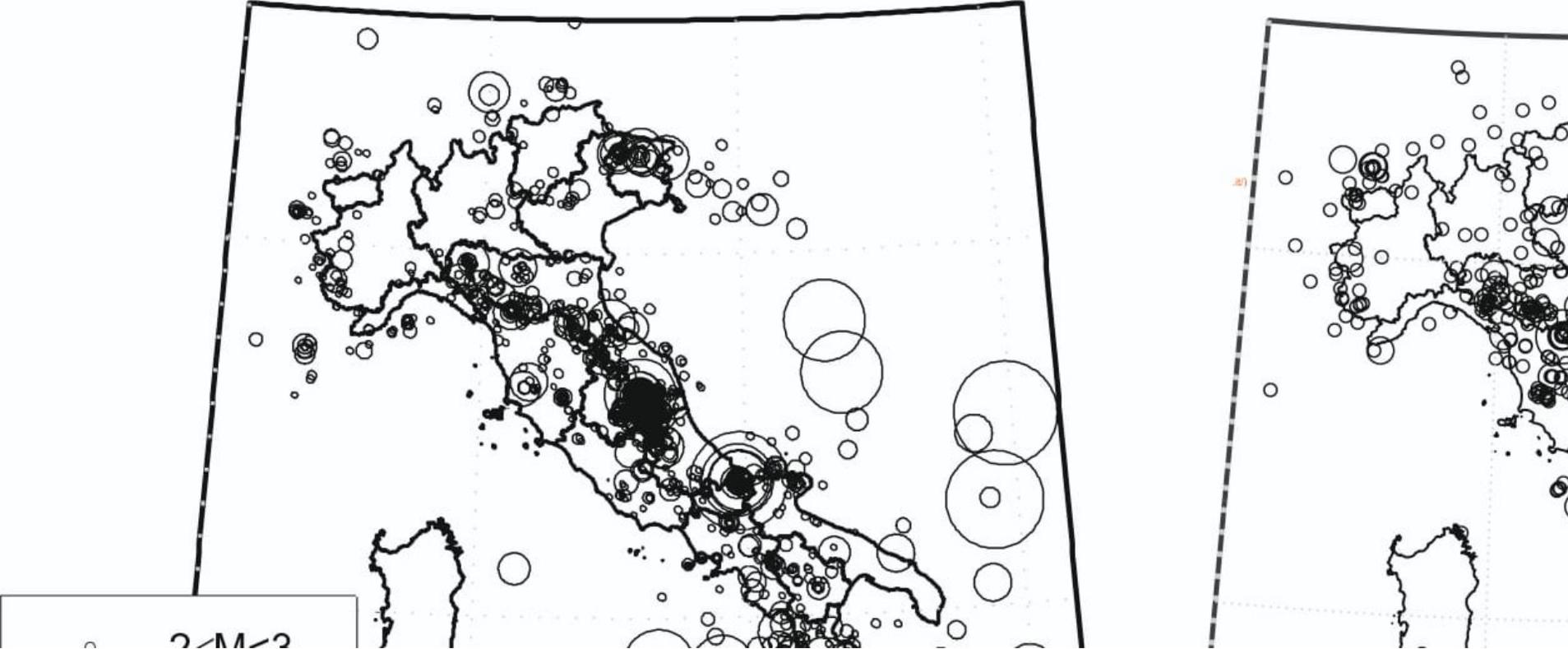


10% Exceedance Probability in 50 years





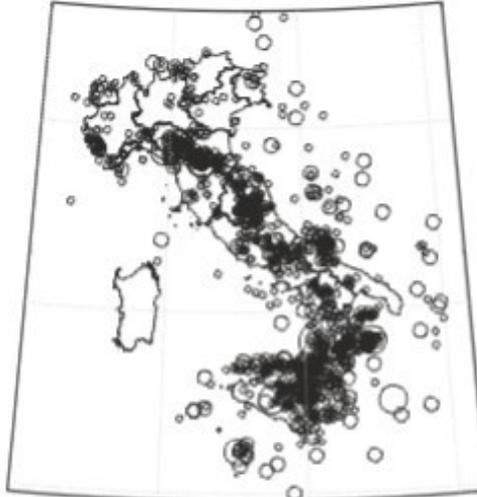
2018



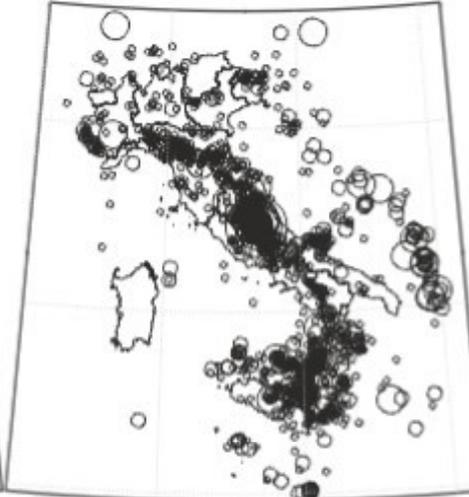
Il numero e la localizzazione dei terremoti registrati i

Iunio Iervolino,¹ Roberto Baraschino,¹ Warner Ma

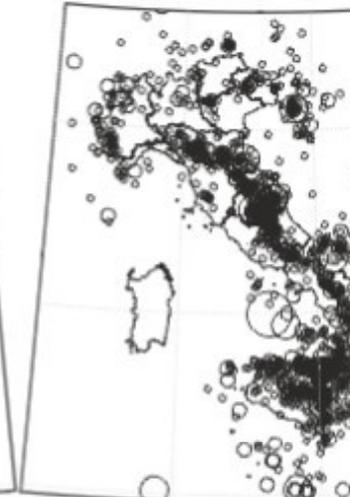
1820 terremoti registrati nel 2008



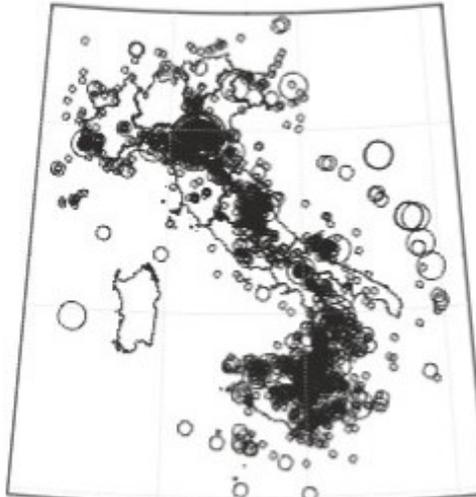
4943 terremoti registrati nel 2009



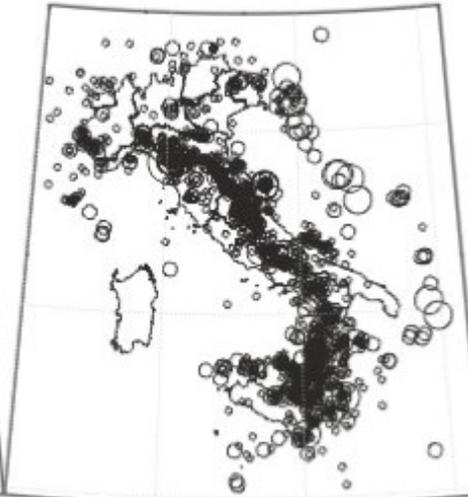
2009 terremoti registrati



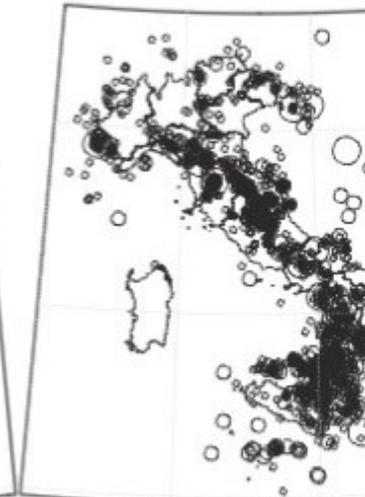
4430 terremoti registrati nel 2012



2791 terremoti registrati nel 2013



2487 terremoti registrati n



11854 terremoti registrati nel 2016



4523 terremoti registrati nel 2017

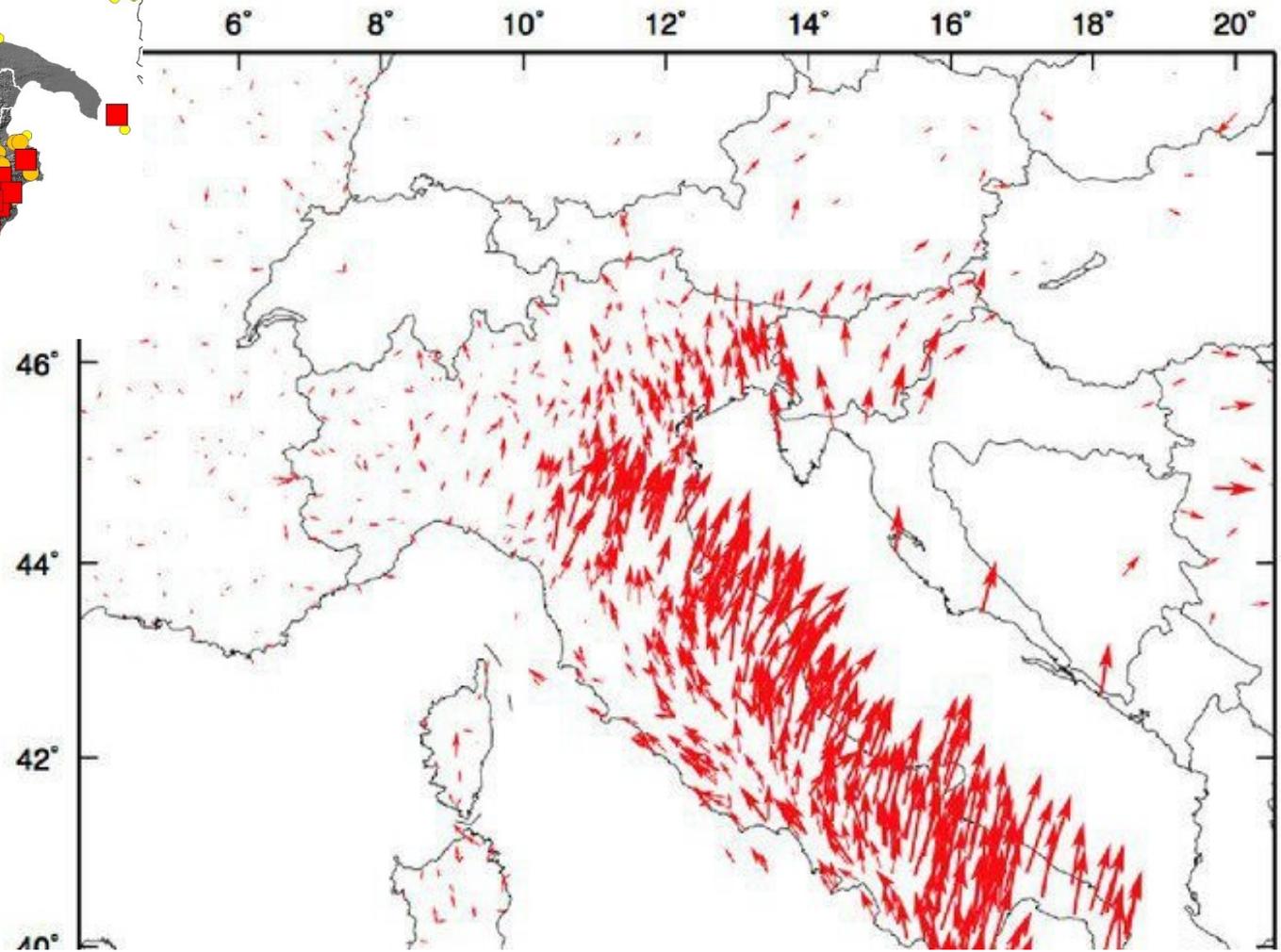
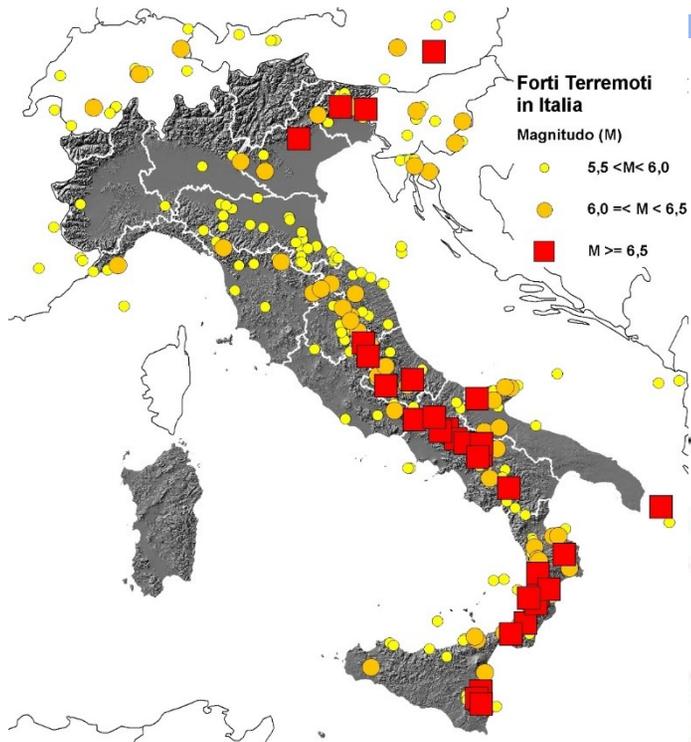


2433 terremoti registrati ne



Intervallo magnitudo	Numero eventi registrati in Italia nel decennio 2010-1019
2-2.5	24.814
2.5-3	8157
3-3.5	2545
3.5-4	789
4-4.5	219
4.5-5	71
5-5.5	27
5.5-6	5
6-6.5	2
6.5-7	1
>7	????

Previsione concettualmente approssimata (per il cumulo delle repliche ed altro)

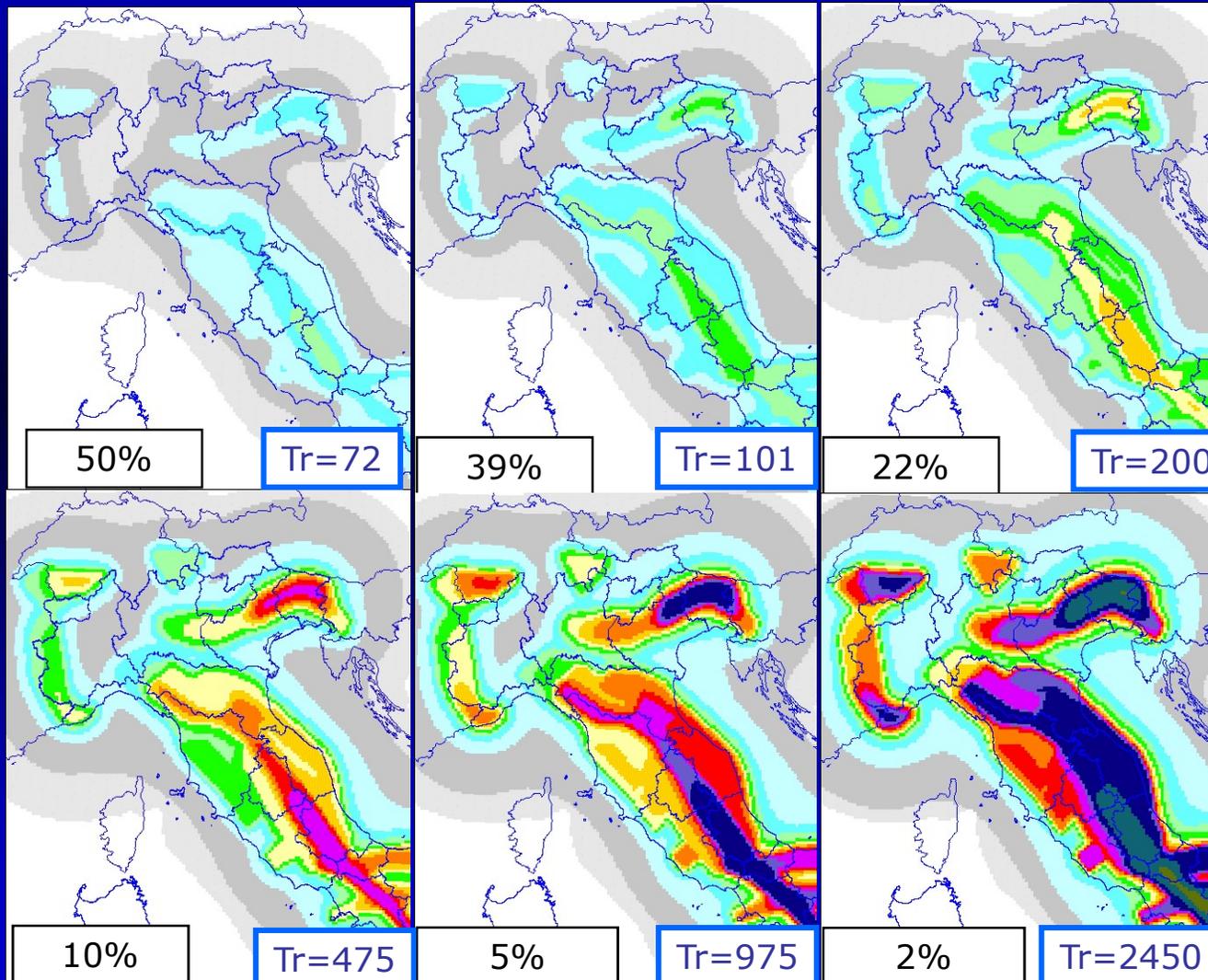


9 Mappe di pericolosità INGV _ DPC _ NTC

Periodo ritorno: 30y, 50y, 72y, 101y, 140y, 201y, 475y, 975y, 2475y

Probabilità superamento in 50y: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 10%, 5%, 2%

E. Cosenza – Nuova Normativa Costruzioni Antisismiche



Probabilità che un terremoto in Italia superi una certa Magnitudo M

	M>4	M>5	M>6	M>7
10 anni	1.0	1.0	0.7	0.2
20 anni	1.0	1.0	0.9	0.3
50 anni	1.0	1.0	1.0	0.7

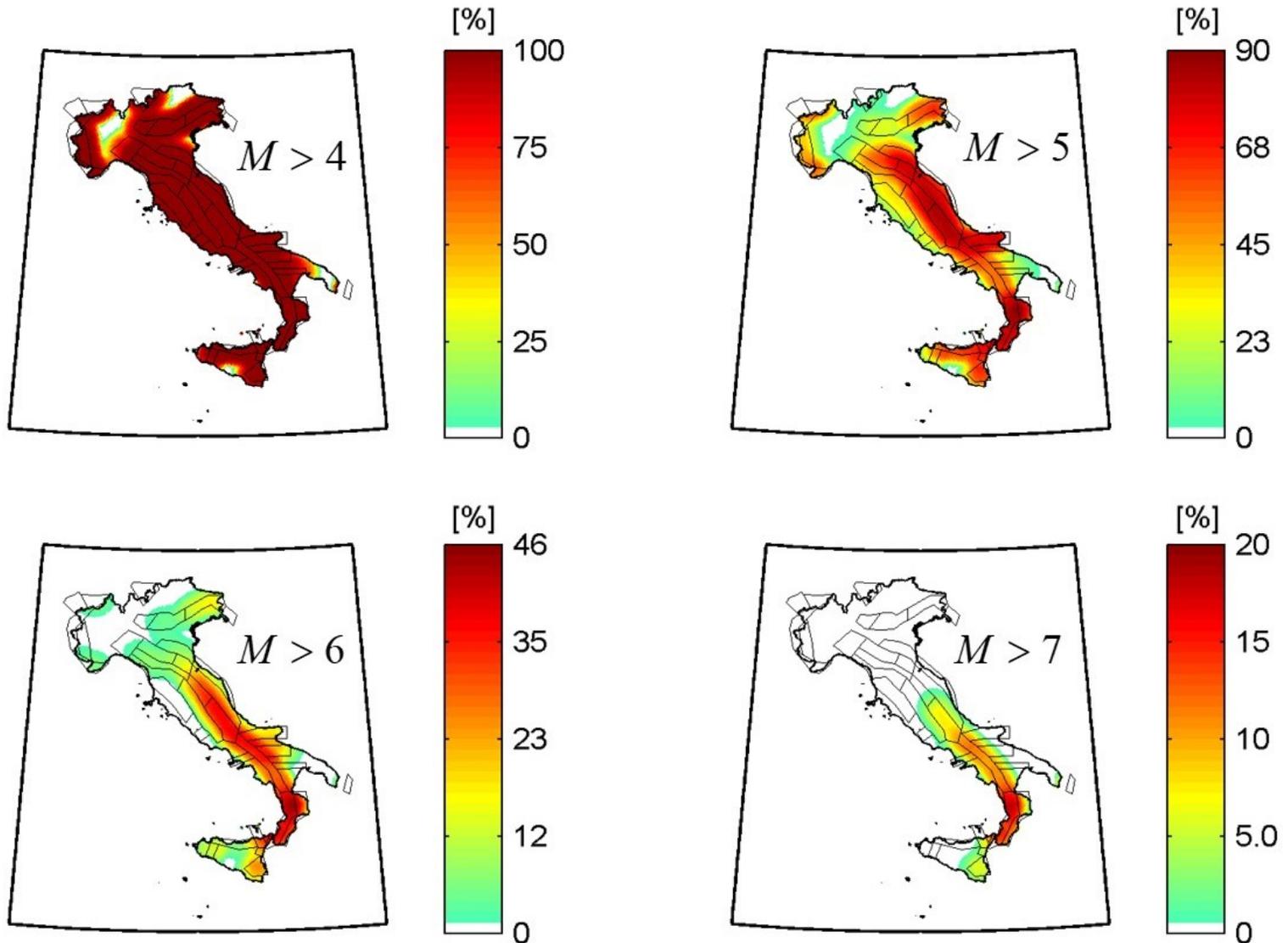
Diapositiva 14

M1

Microsoft; 09/06/2017

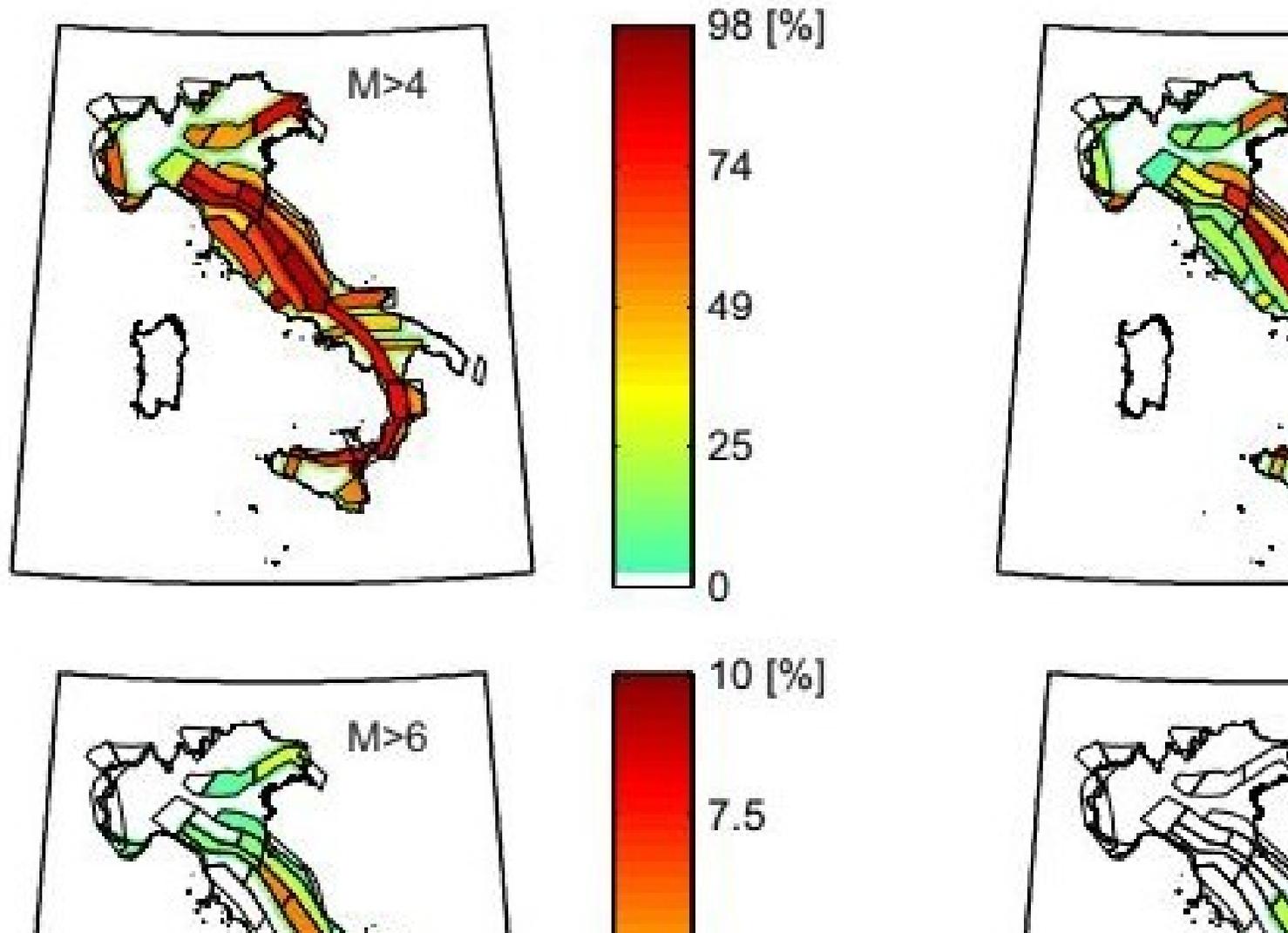
Cortesia prof Iunio iervolino, Dist

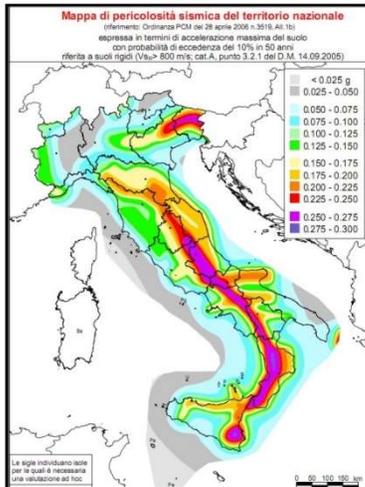
Probabilità di occorrenza in cinquant'anni di almeno un terremoto **entro 50km**



Cortesia prof Iunio iervolino, Dist

Probabilità di occorrenza in cinquant'anni di almeno un terremoto **entro 15 Km**





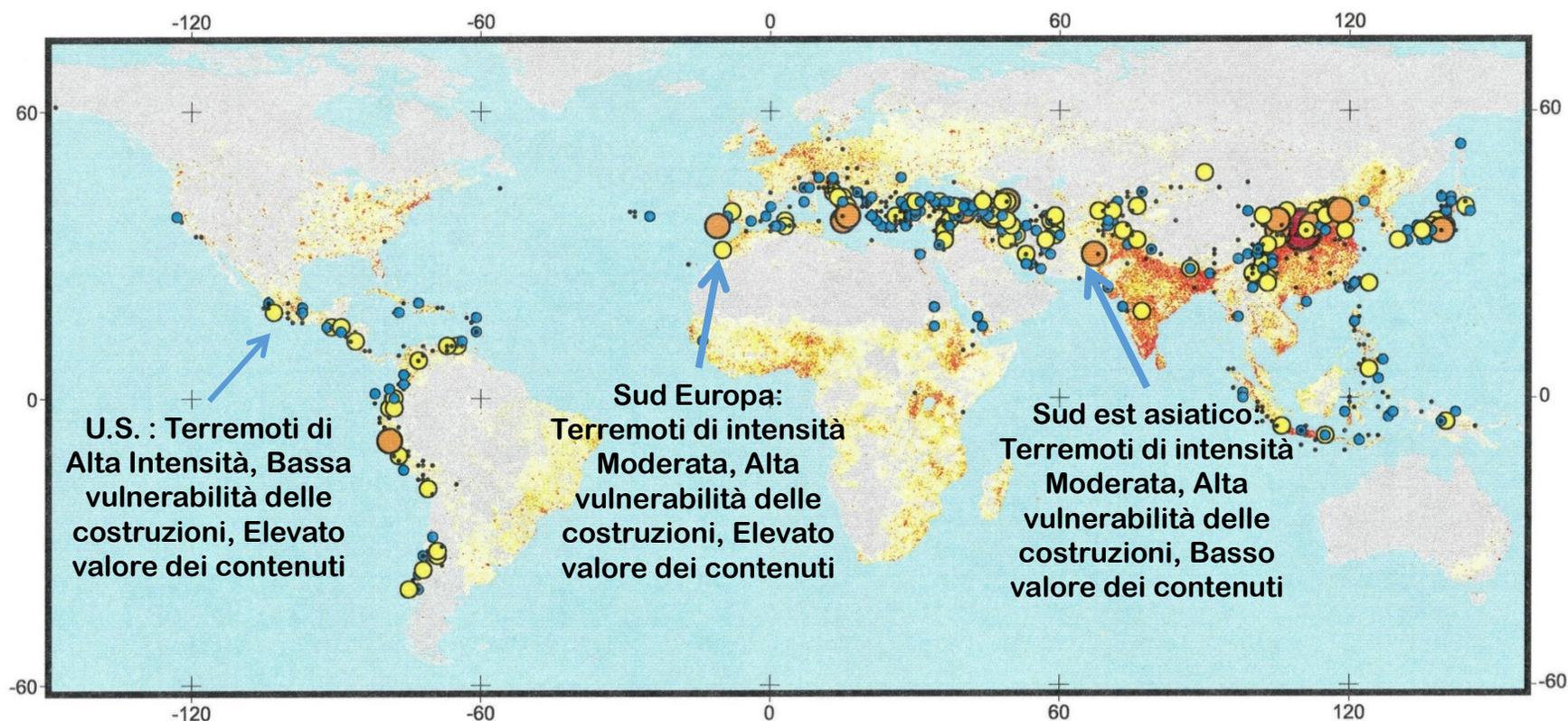
PERICOLOSITA'

VULNERABILITA'

ESPOSIZIONE



II RISCHIO SISMICO dipende (è il prodotto di)
PERICOLOSITA', VULNERABILITA', ESPOSIZIONE.



Location	Iran
Year	2003
Magnitude	6.6
Depth	10 km

STESSA PERICOLOSITA'
DIFFERENTE VULNERABILITA'
DIFFERENTE ESPOSIZIONE

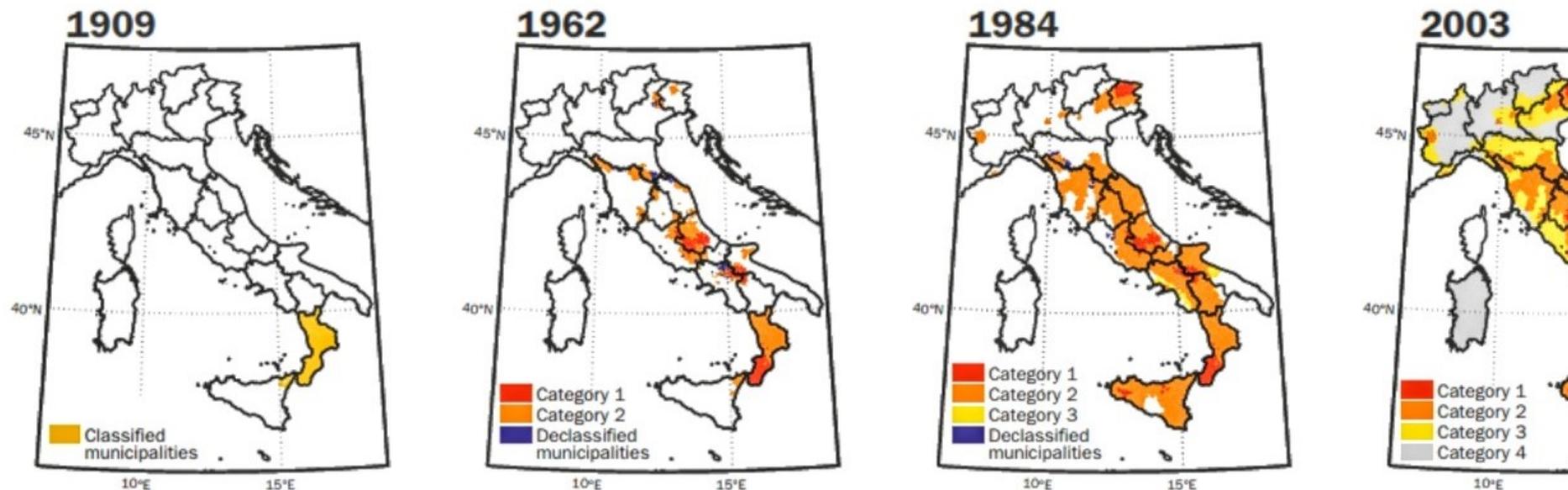
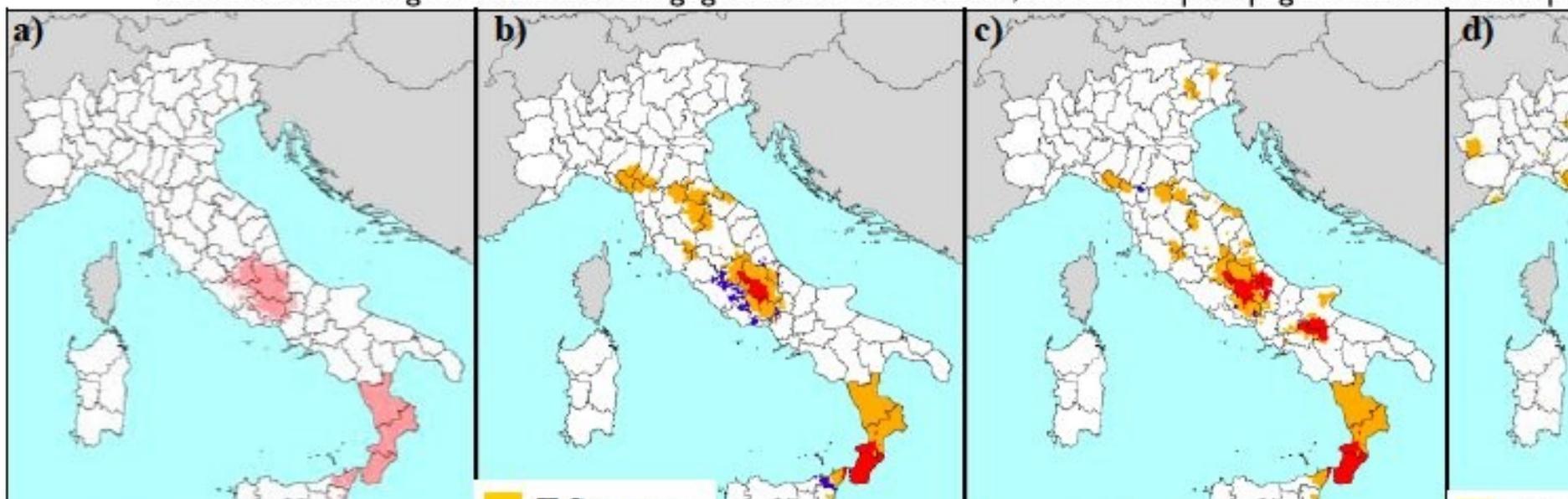


Figure from: Iervolino, I., Petruzzelli, F. (2011) NODE v.1.0 beta: attempting to prioritize large-scale seismic risk of
 atti di XIV Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS. <http://wpage.unina.it/iuniervo/pa>





VITTIME IN ITALIA dal 1900 (MAGGIORI EVENTI)

- LAMEZIA TERME 1905 **557**
- REGGIO E MESSINA 1908 **120.000**
- AVEZZANO 1915 **33.000**
- IRPINIA 1930 **1404** 
- BELICE 1968 **370** 
- FRULI 1976 **989** 
- IRPINIA 1980 **2914**
- L'AQUILA 2009 **308** 
- CENTRO ITALIA 2016/17 **299** 
- ...
- **TOTALE DAL 1900 : OLTRE 160.000**

MAGNITUDO MOMENTO Mw

- LAMEZIA TERME 1905 **M=7,1**
- REGGIO E MESSINA 1908 **M=7,2**
- AVEZZANO 1915 **M=7,0**
- IRPINIA 1930 **M=6,7**
- BELICE 1968 **M=6,1**
- FRULI 1976 **M=6,4**
- IRPINIA 1980 **M=6,9**
- L'AQUILA 2009 **M=6,1**
- CENTRO ITALIA 2016/17 **M=6,1-6,5**
- ...

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

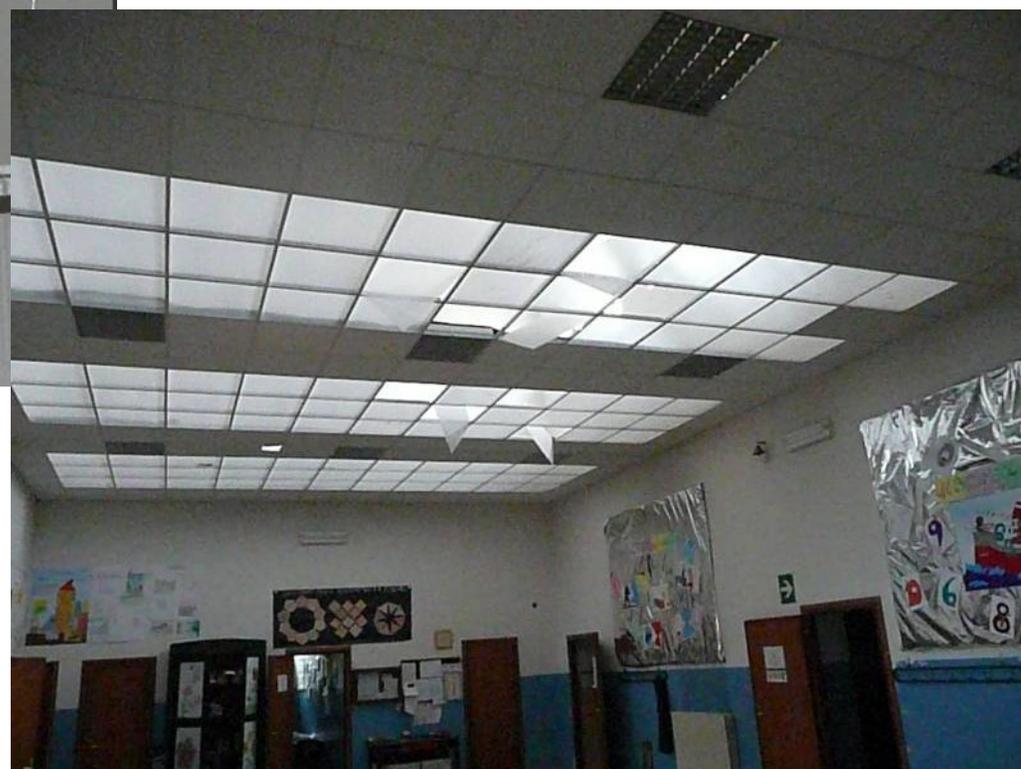
Stato Limite di Danno (SLD)_50y: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza 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 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)_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.



Controsoffittature e componenti, L'Aquila





Ospedali





Ospedale San Salvatore dell'Aquila: collasso delle doghe in lamierino di acciaio

Scuole



Polo didattico di via G. Di Vincenzo dell' Aquila:
collasso della griglia di sospensione metallica con
conseguente perdita di appoggio o collasso dei
correnti e collasso dei pannelli 60x60 in fibra
minerale

Available at: <http://www.fema.gov/p>



Non-structural lightweight steel drywall building components

Typical damages of lightweight steel drywall building components

Damage to partition walls



Damage to suspended ceilings



Ospedale San Salvatore L'Aquila





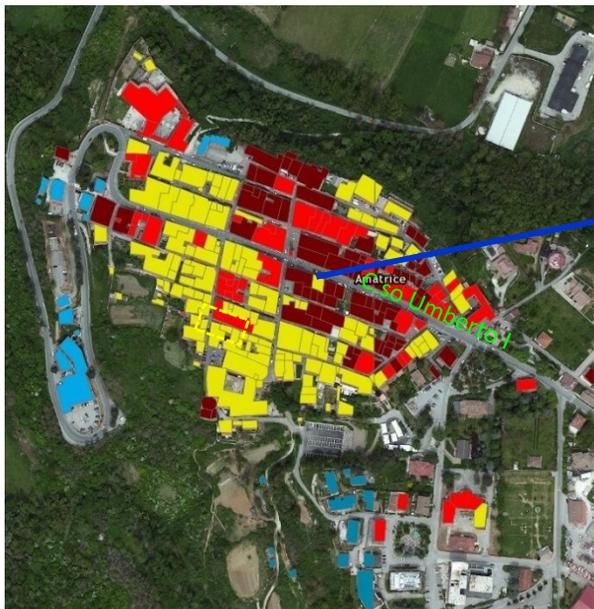
Tamponature,
L'Aquila





AMATRICE «EDIFICIO ROSSO»

Corso Umberto I

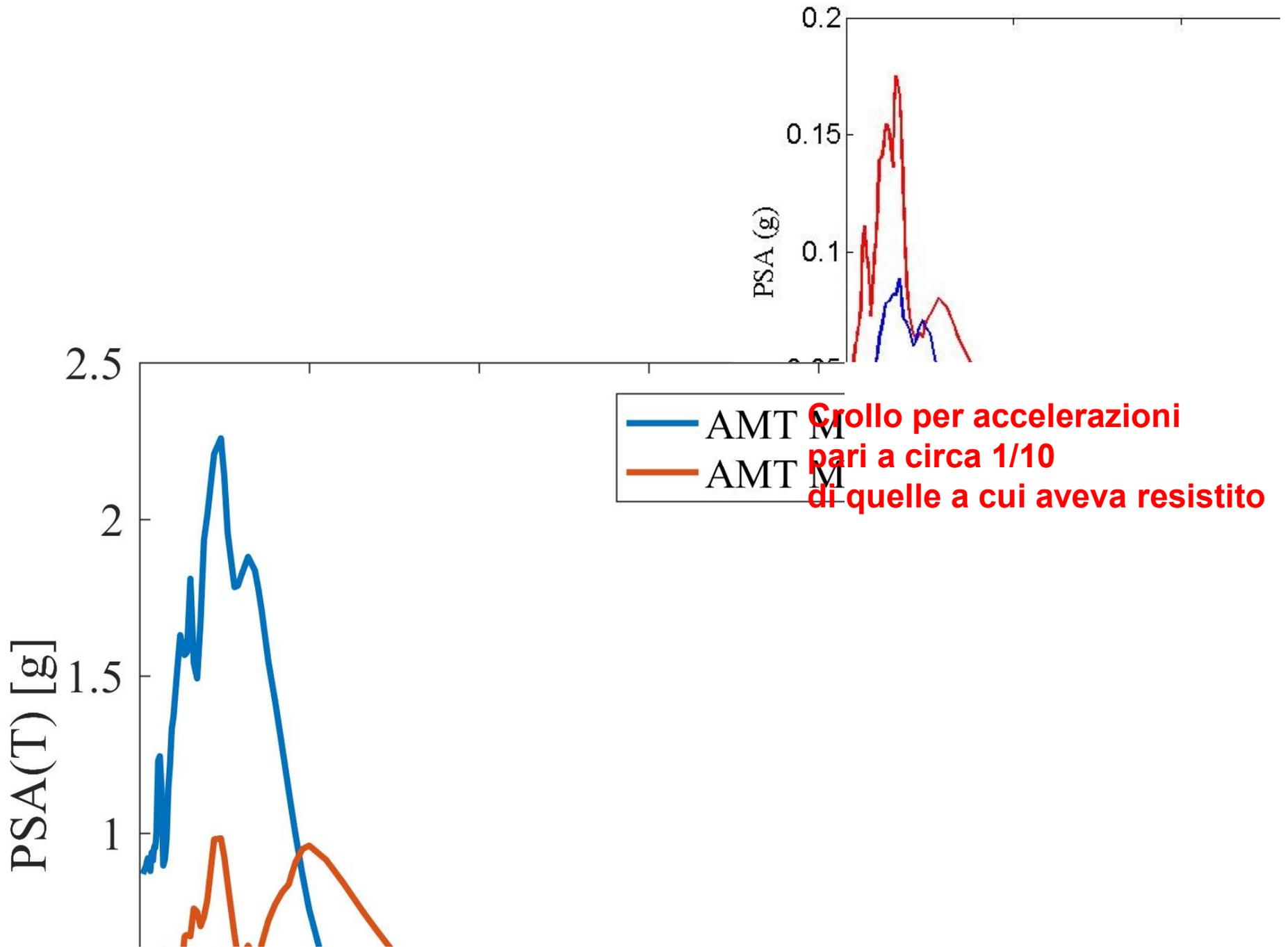




AMATRICE «EDIFICIO ROSSO»

Corso Umberto I







Le verifiche degli elementi non strutturali (NS) e degli impianti (IM) si effettuano in ter (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 s

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

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.

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**



• 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, q
me, di duttilità, con la corrispondente domanda, secondo le relazioni:

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

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

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;



Calcestruzzo confinato

Per il diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo confinato è possibile adottare reale comportamento del materiale in stato triassiale. Questi modelli possono essere adottati 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 di snervamento a causa della dilatazione laterale del calcestruzzo stesso a cui tendono a raggiungere tensioni e deformazioni più elevate di quelle proprie del calcestruzzo. Le caratteristiche meccaniche si possono considerare inalterate.

In assenza di più precise determinazioni basate su modelli analitici di comprovata validità tensione-deformazione rappresentata in Fig. 4.1.2 (dove le deformazioni di compressione sono caratteristiche e le deformazioni del calcestruzzo confinato sono valutate secondo le relazioni

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

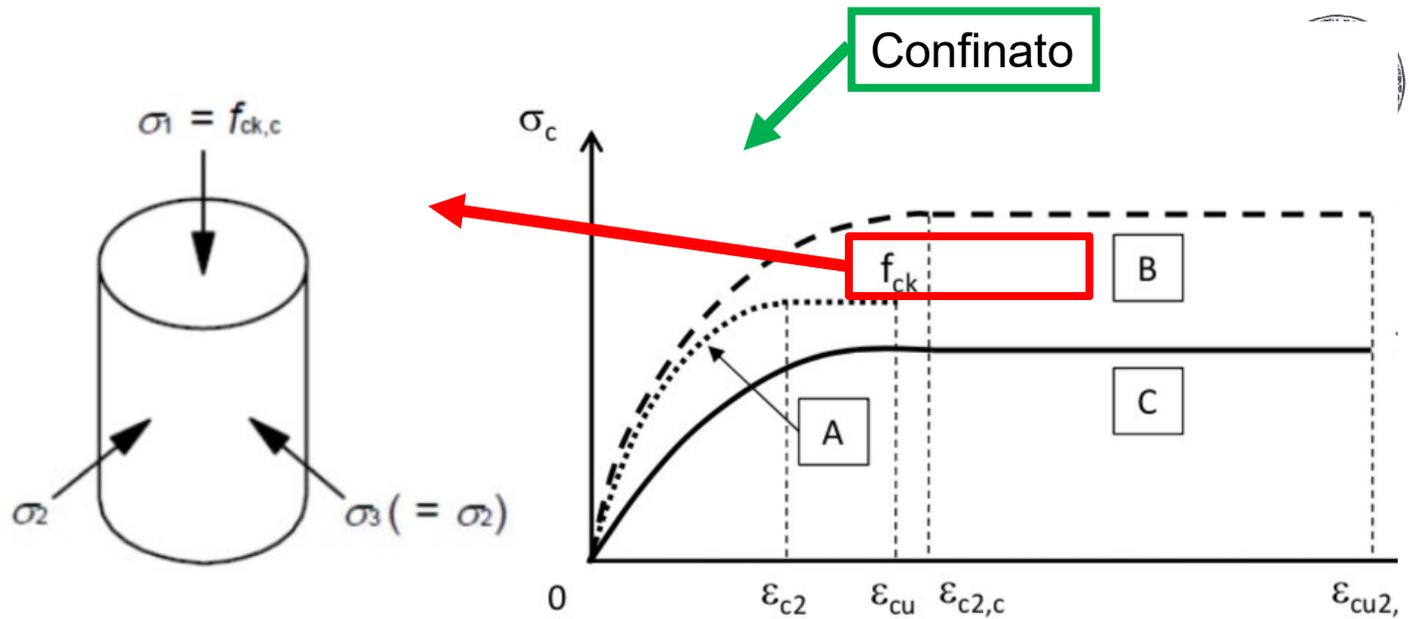


Fig. 4.1.2 – Modelli σ - ϵ per il calcestruzzo confinato

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

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

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

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

a) Per sezioni rettangolari

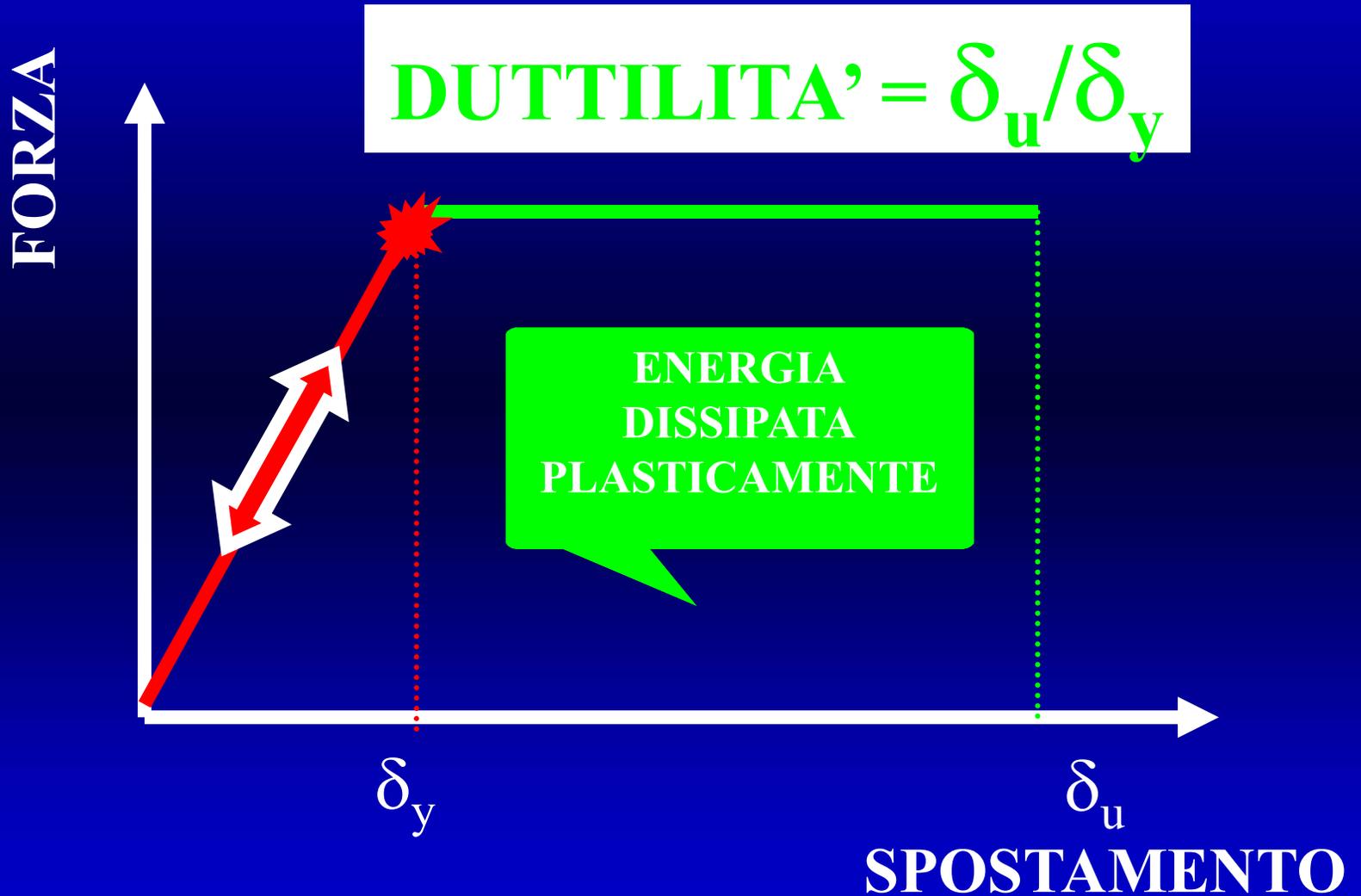
Per le due direzioni principali della sezione x e y valgono, rispettivamente, le relazioni:

$$\sigma_2 = \frac{A_{st,x} \cdot f_{yk,st}}{A_c} \quad \sigma_2 = \frac{A_{st,y} \cdot f_{yk,st}}{A_c} \quad [4.1.12.b]$$

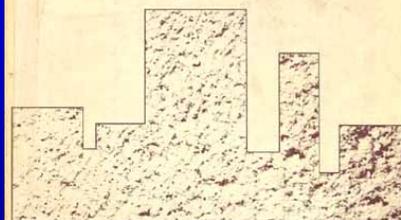
Comportamento elastico-lineare (FRAGILE !!)



Comportamento elastico-plastico (duttile)



R. Park and T. Paulay



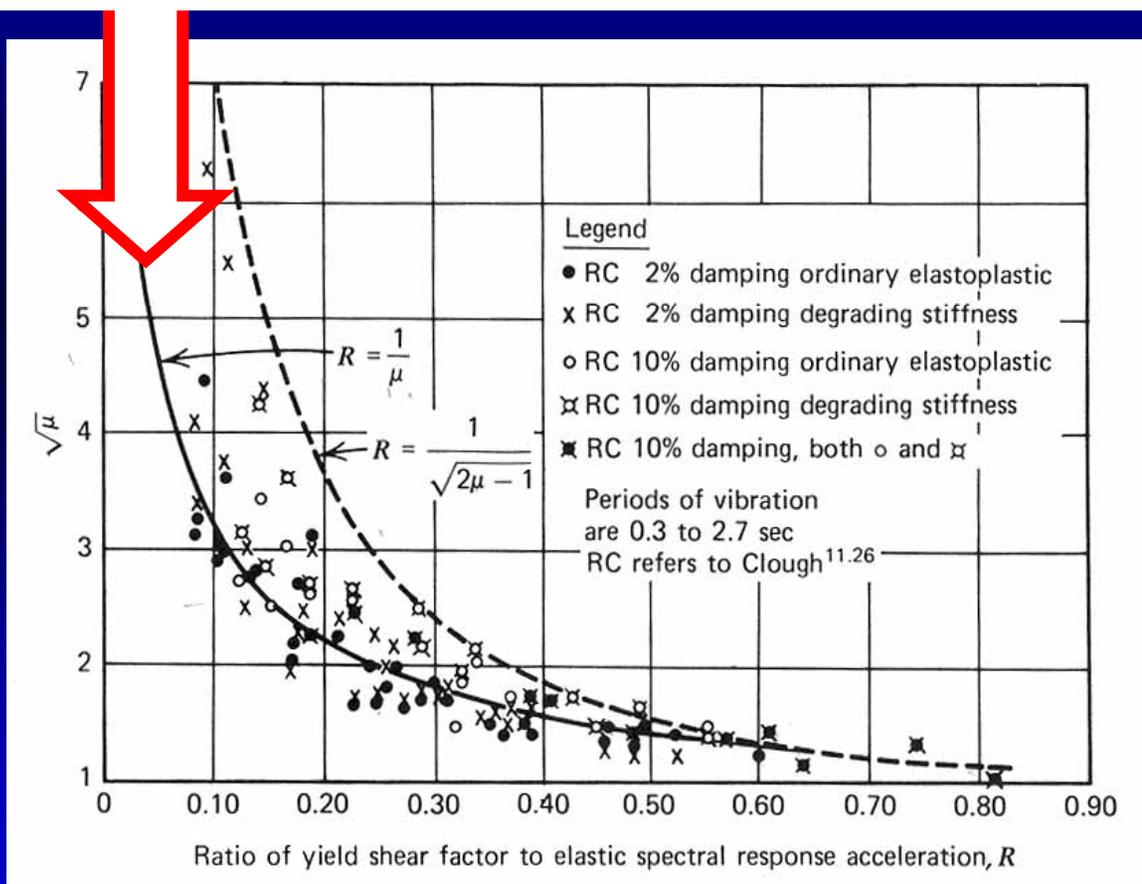
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Park & Paulay

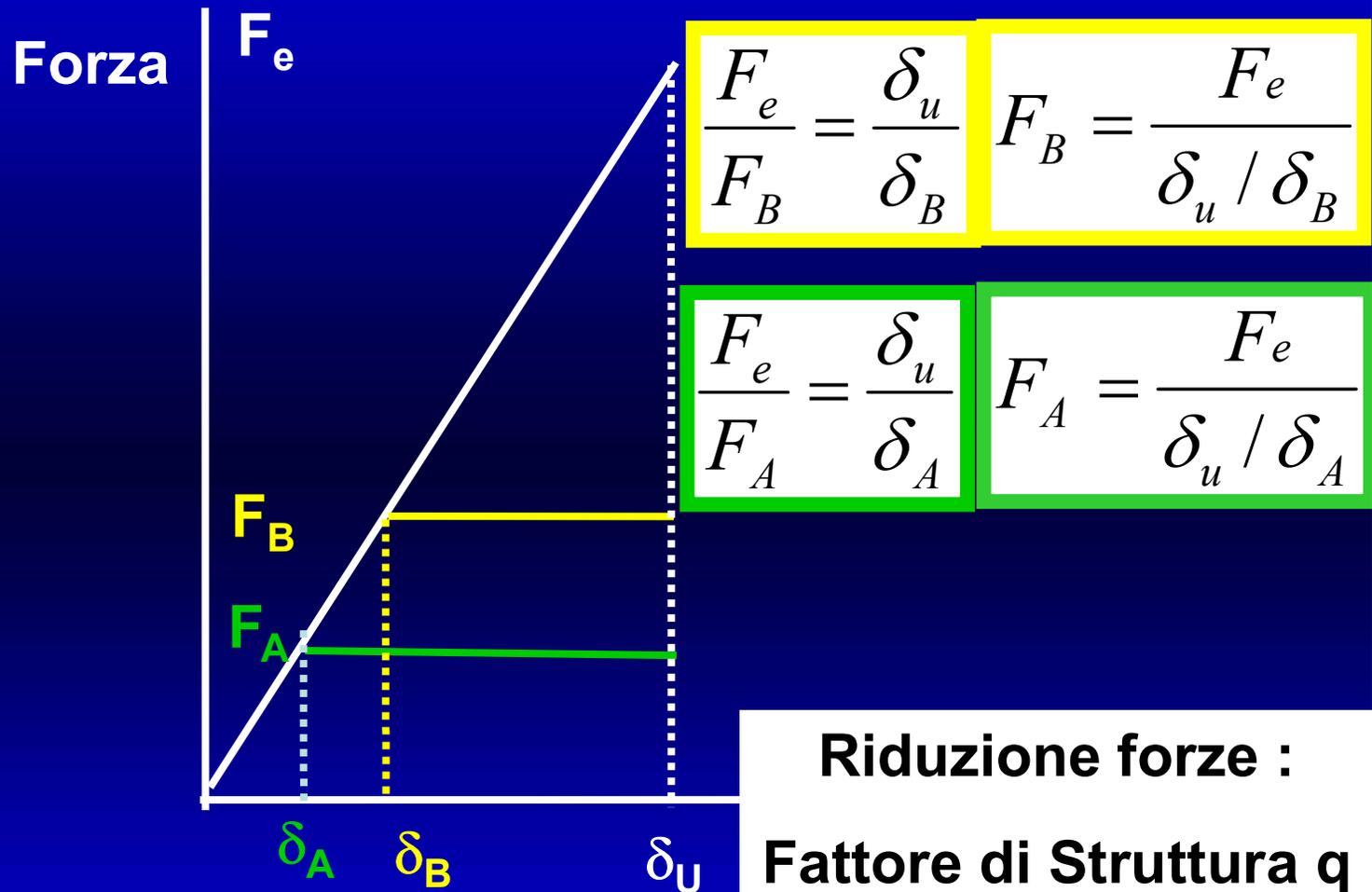
1975



CRITERIO DELLO STESSO SPOSTAMENTO



Comportamenti sismicamente equivalenti (criterio max spostamento)



Riduzione forze :

Fattore di Struttura q

=

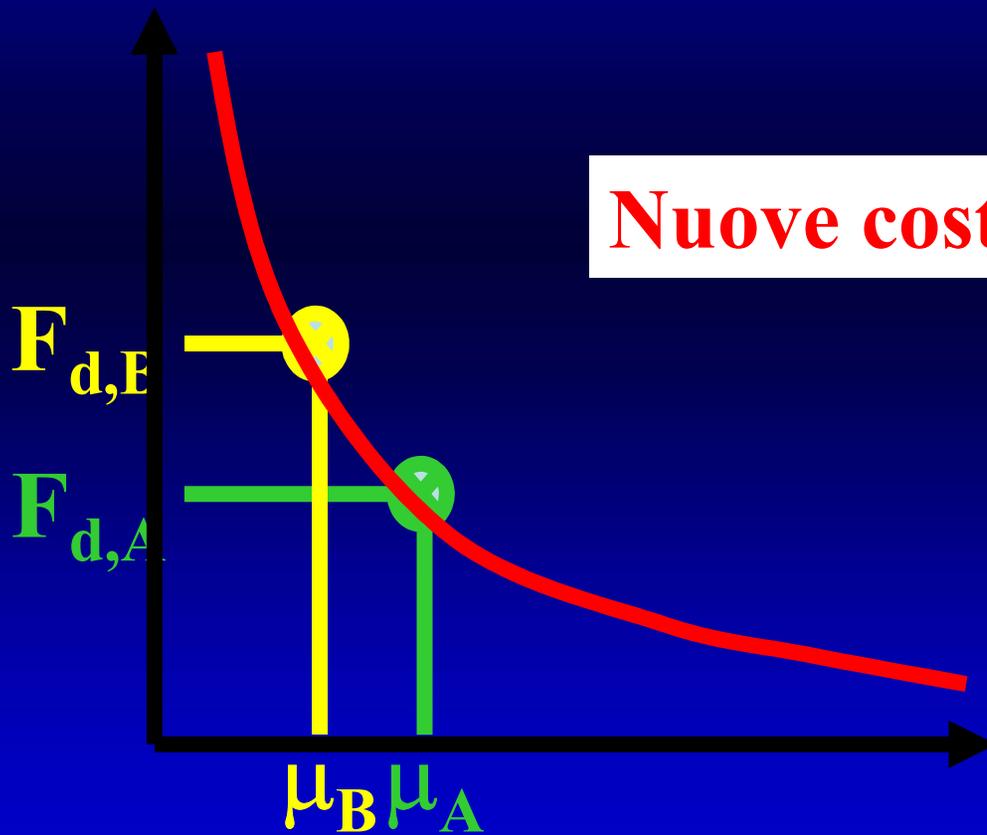
Duttilità

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

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

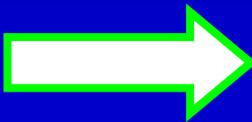
$$F_d \cdot \mu = F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m = \text{costante}$$

RESISTENZA 



Nuove costruzioni

$$\mu_B \approx 0.7 \mu_A$$
$$F_{d,B} \approx 1.43 F_{d,A}$$

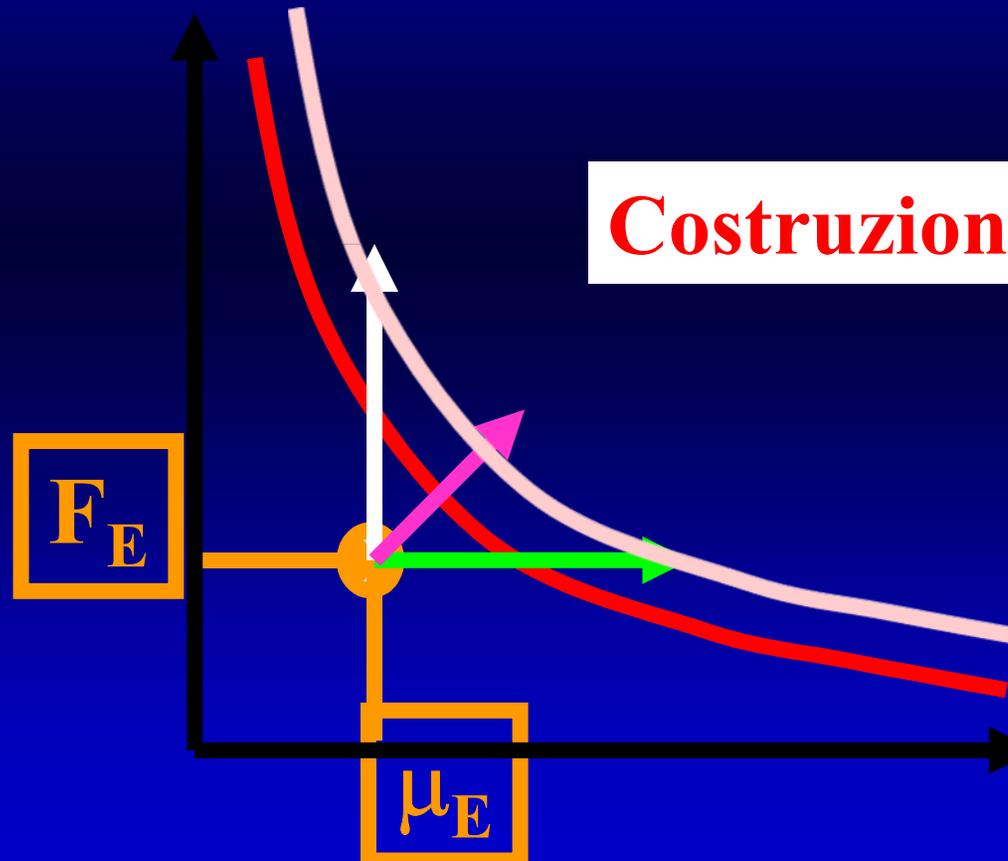
DUTTILITA' 



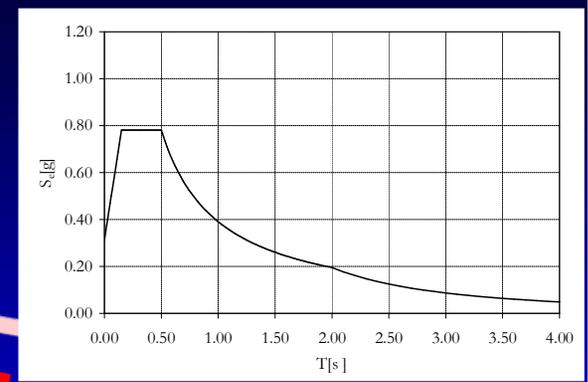
$$F_d \cdot \mu = F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m = \text{costante}$$

Se $T > T_c$ diminuisce

RESISTENZA ↑



Costruzioni esistenti



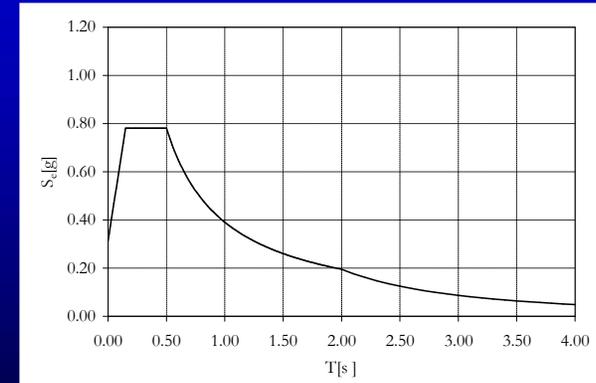
DUTTILITA' →



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

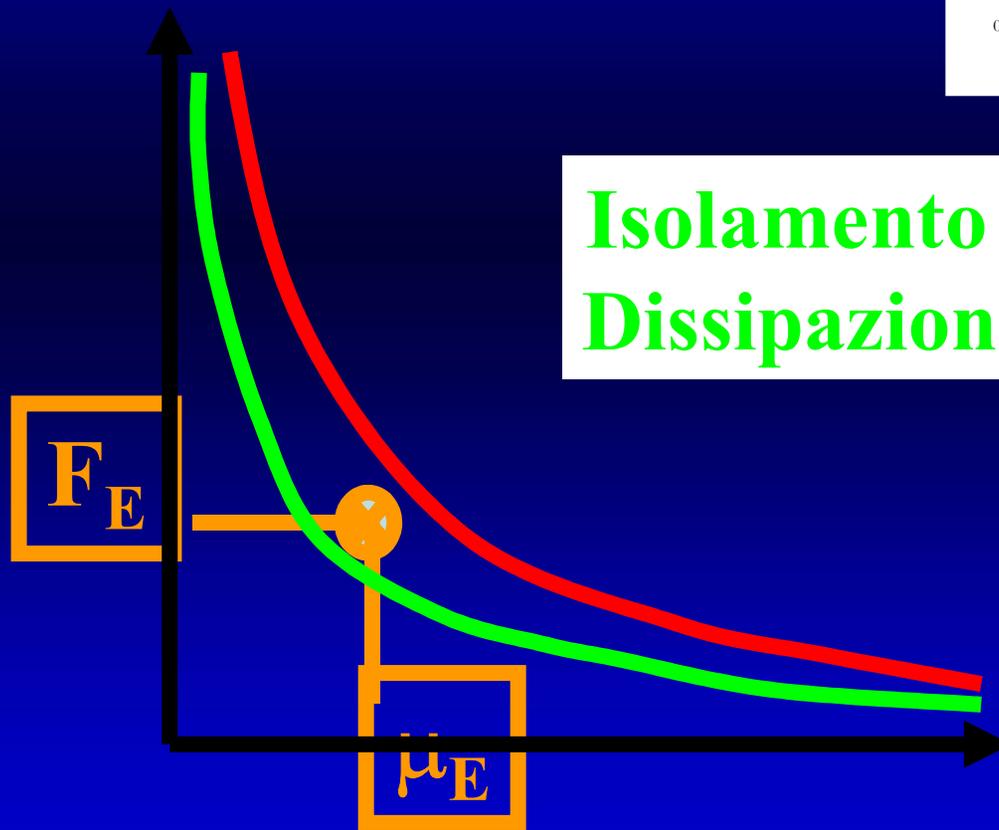
$$T_{isol} \gg T \Rightarrow S_e(T_{isol}) \ll S_e(T)$$

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



E. Cosenza - NUOVE NORME TECNICHE - F

RESISTENZA ↑



Isolamento sismico /
Dissipazione sismica

DUTTILITA' →



Heavy reconstruction – Repair & Strength. Costs

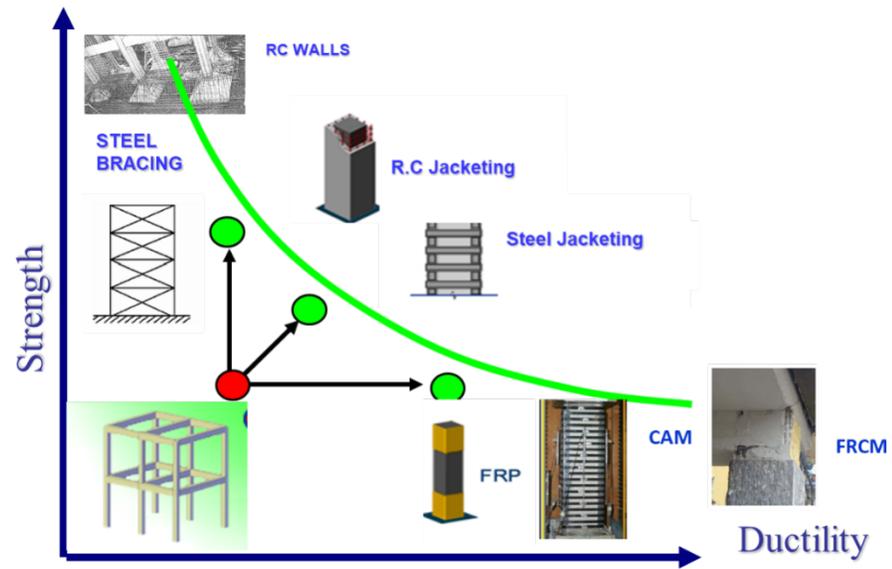
- R.C. Private buildings

Buildings E : • RC Buildings

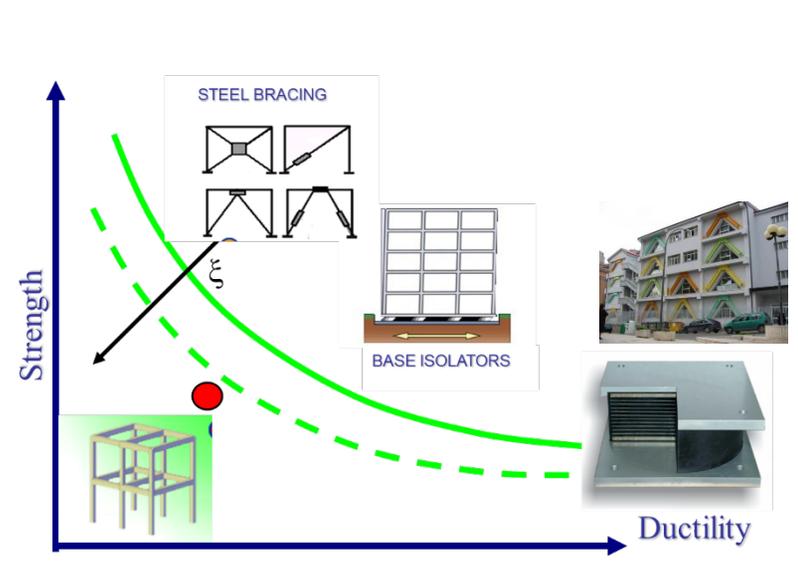
- Repair mean costs: 533 €/m²
- Seismic strengthening mean costs: 309 €/m²

✓ Original seismic capacity increase up to a minimum safety level of 60% (maximum funded intervention up to 80%)

Capacity increase based strategies



Demand reduction based strategies

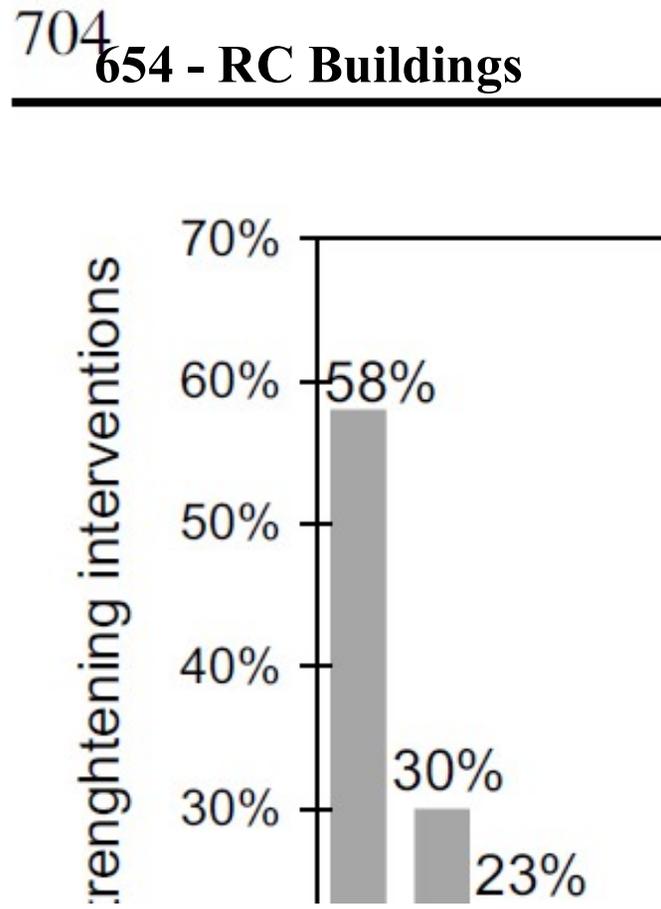


Heavy reconstruction – Repair & Strength. Costs

- R.C. Private buildings

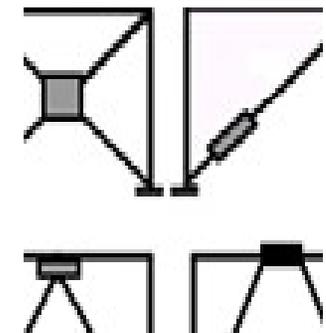
Buildings E :

- Repair mean costs: 533 €/m²
- Seismic strengthening mean costs: 309 €/m²



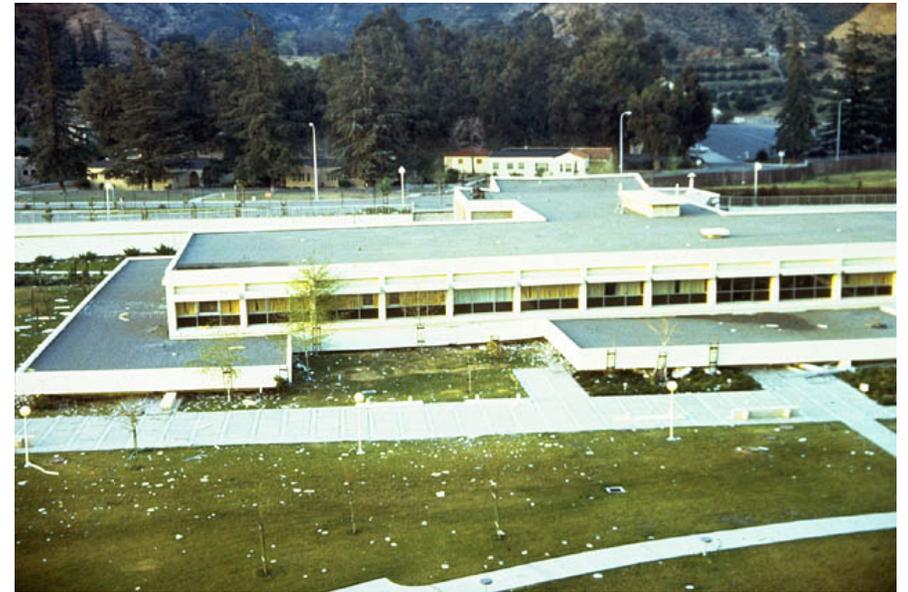
Isolators

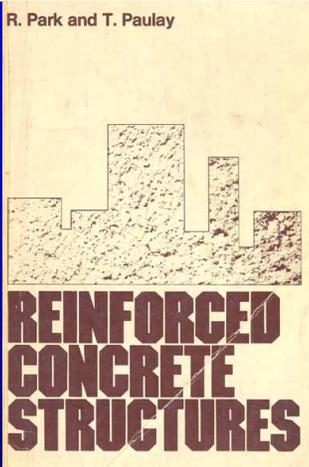
Steel dampers



- ✓ Strong impetus for innovation (more than 80 isolated or with steel dampers structures)
- ✓ Almost in every case two or more techniques have been used in combination

Olive View Hospital San Fernando earthquake 1971





1975

Meccanismo di piano

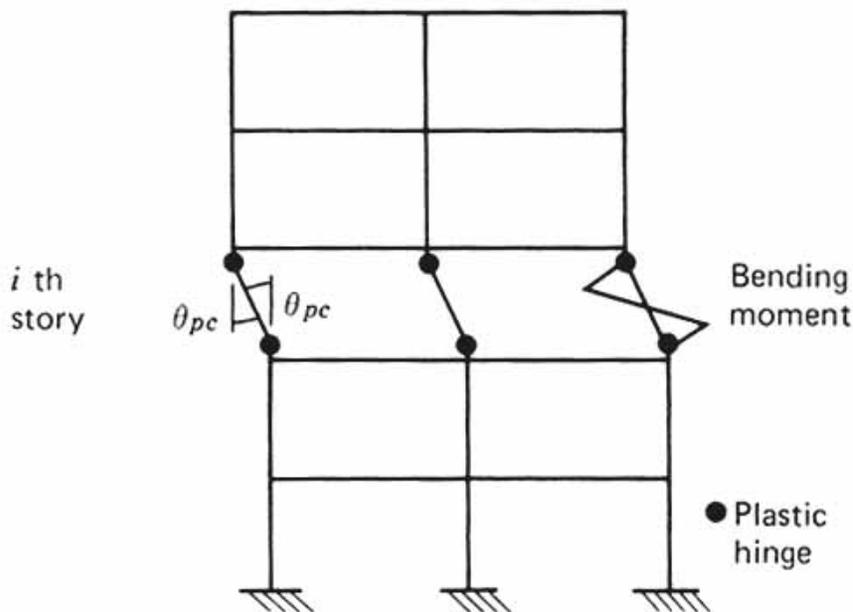


Fig. 11.29. Column sidesway mechanism in *i*th story

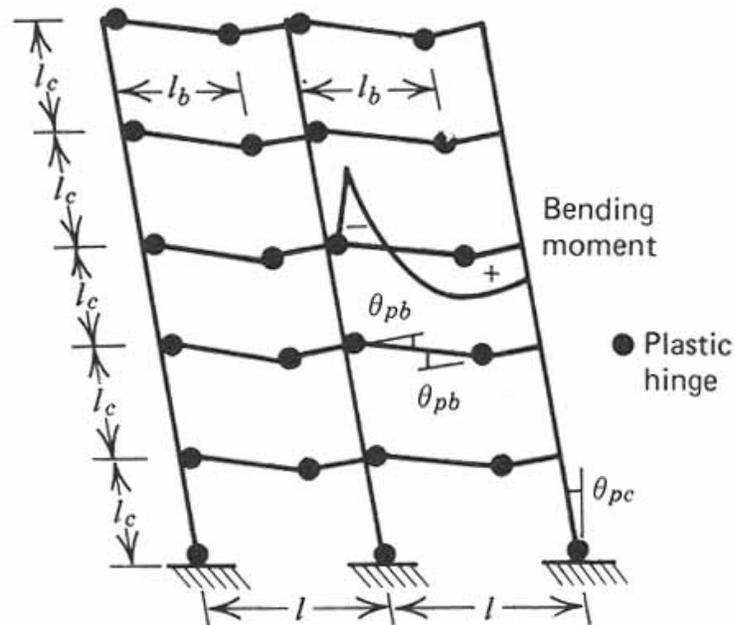


Fig. 11.31. Beam sidesway mechanism.

Meccanismo globale

Meccanismo globale:

20 cerniere plastiche duttili

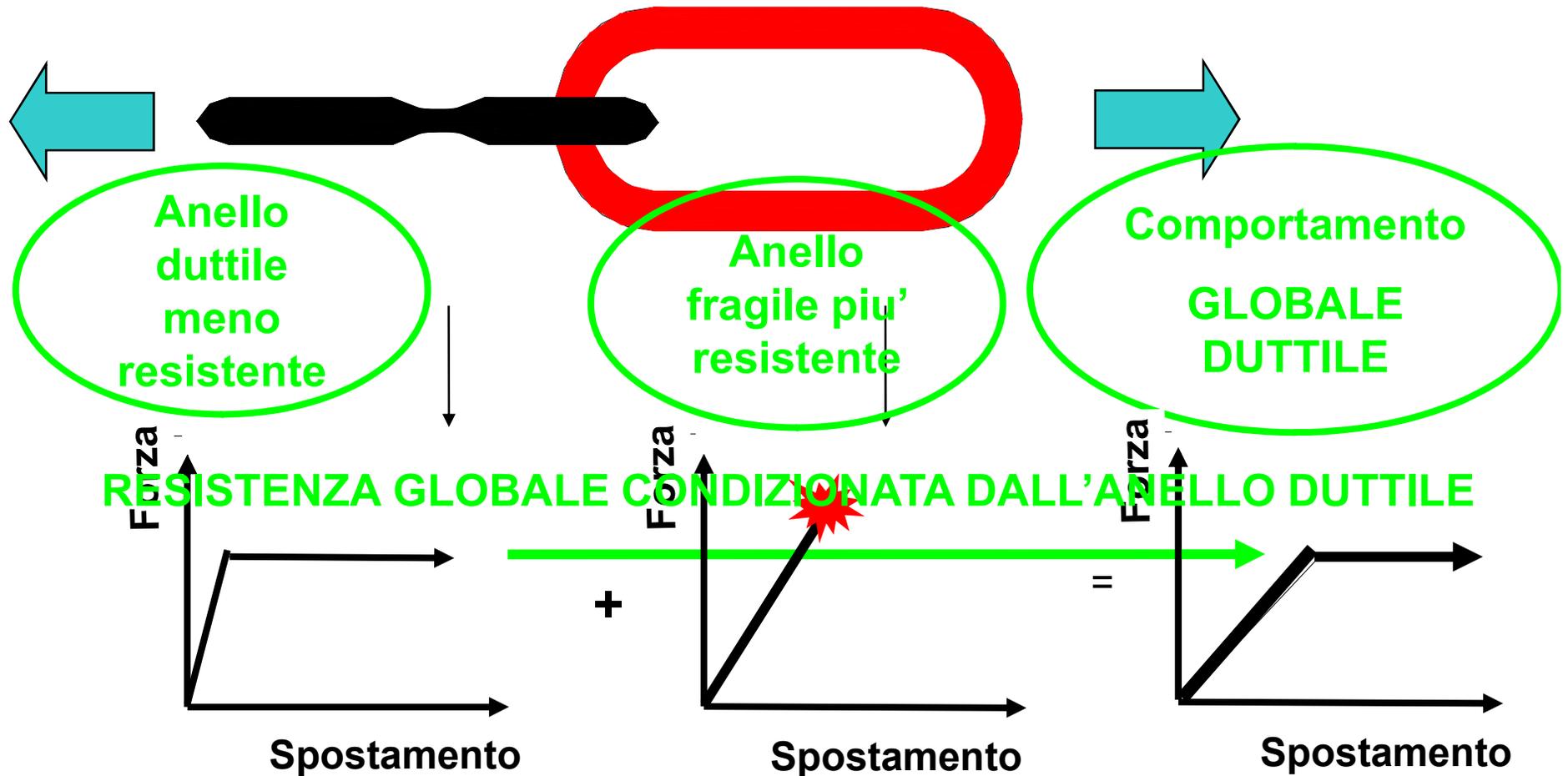
Poi 3 cerniere plastiche fragili

Meccanismo di piano:

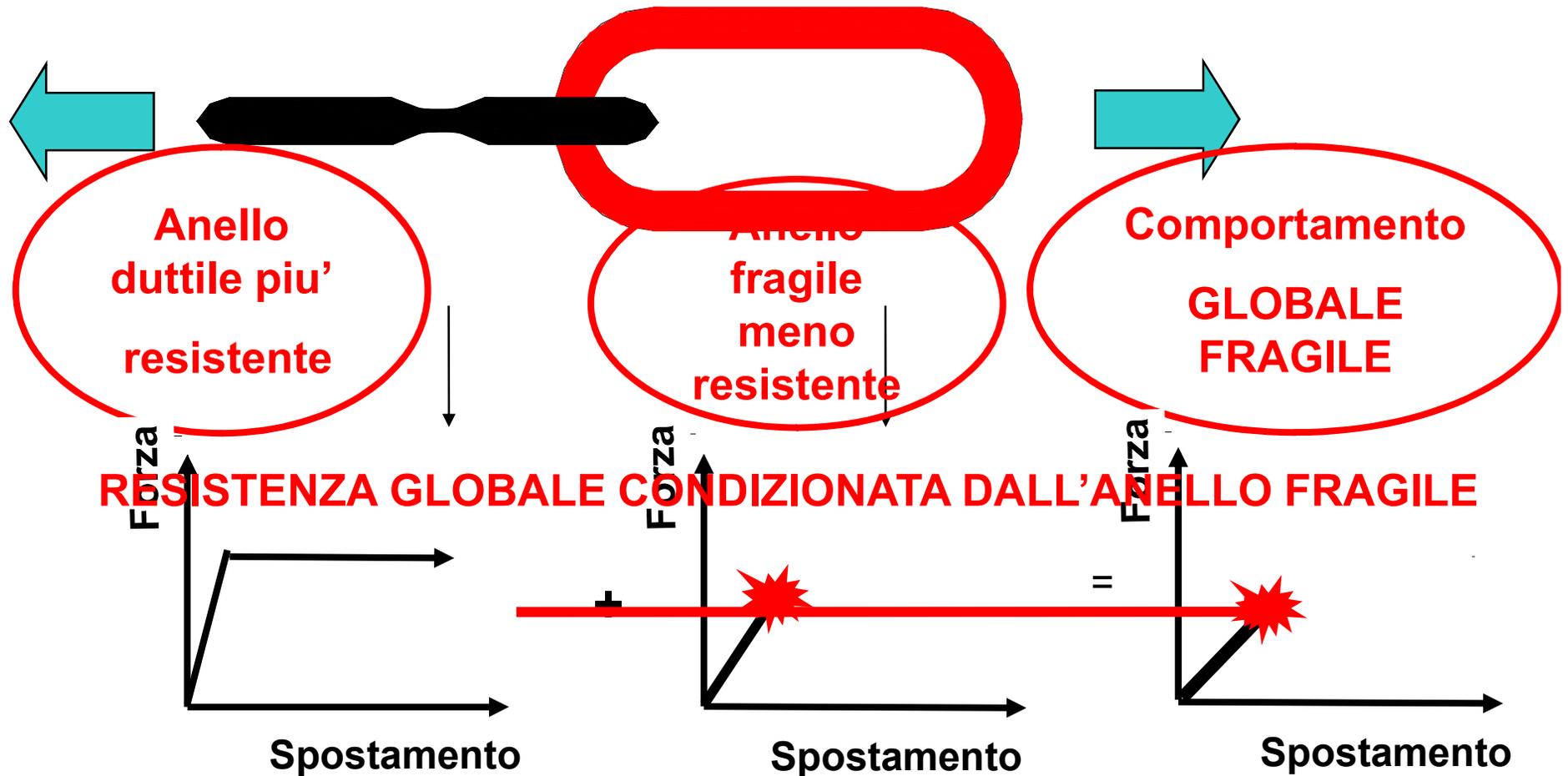
6 cerniere plastiche fragili

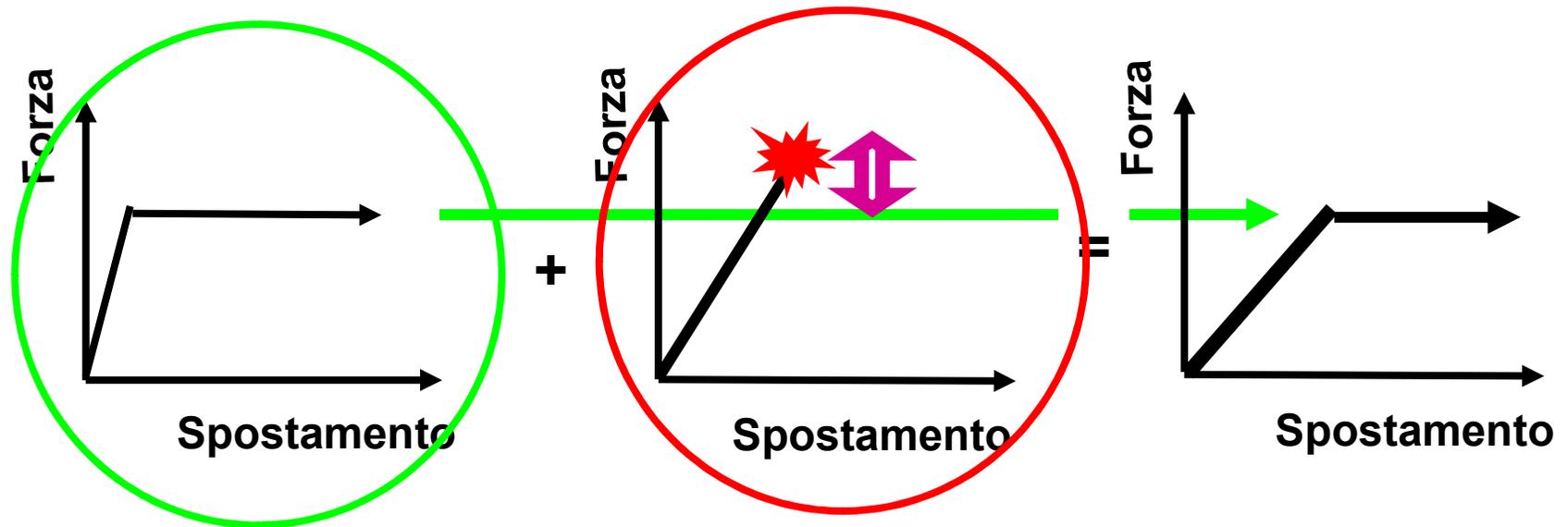
- Gerarchia
delle
resistenze
- Capacity
Design

GERARCHIA DELLE RESISTENZE (CORRETTA !)



GERARCHIA DELLE RESISTENZE (ERRATA!)





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

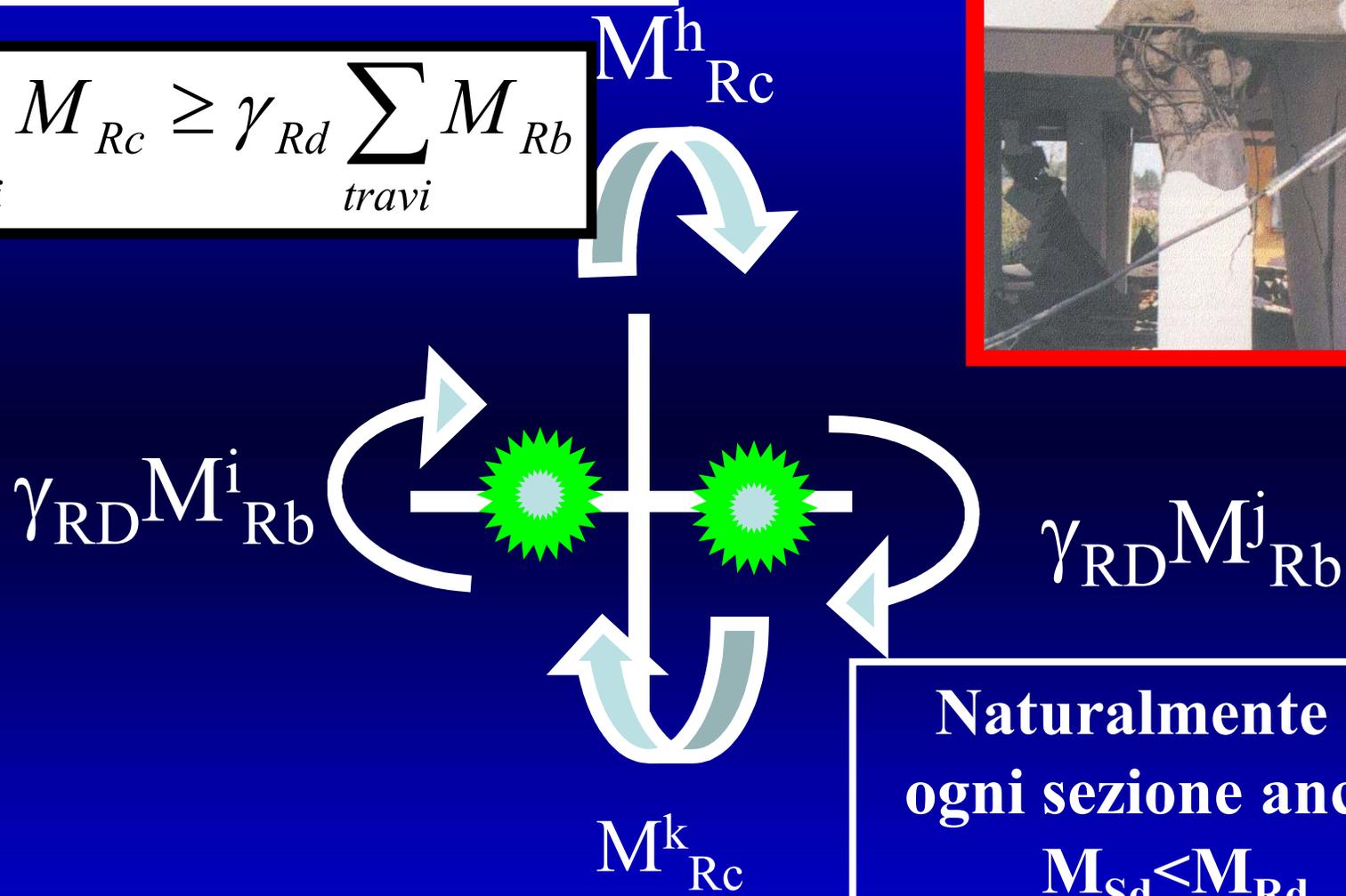
γ_{Rd} = coefficiente di sovrarresistenza che tiene conto delle incertezze sui materiali e di modello

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

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

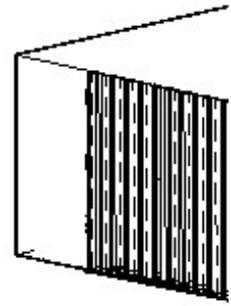






Linee guida per gli interventi







Valutazione dei danni da calamità naturali

compositi

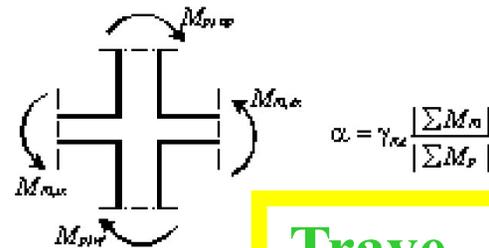


GERARCHIA DELLE RESISTENZE

SEZIONI

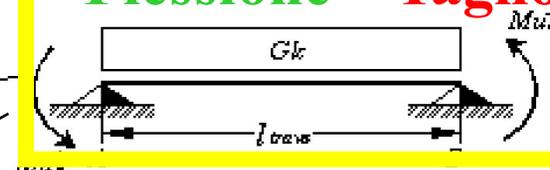
Struttura verticale - Impalcato Acciaio - Calcestruzzo

**NODI non
confinati**
Trave
Pilastro
PANNELLO



Trave - Pilastro

Flessione - Taglio



Struttura - Fondazione



Tab. 7.2.I - *Fattori di sovraresistenza γ_{Ra} (fra parentesi quadre è indicato il numero*

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in c
C.a. gettata in opera	Travi (§ 7.4.4.1.1)	Taglio
	Pilastrì (§ 7.4.4.2.1)	Pressoflessione [
		Taglio [7.4.5
	Nodi trave-pilastro (§ 7.4.4.3.1)	Taglio [7.4.6-7, 7.4
Pareti (§ 7.4.4.5.1)	Taglio [7.4.13-	
C.a. prefabbricata a struttura intelaiata	Collegamenti di tipo a) (§ 7.4.5.2.1)	Flessione e tag
	Collegamenti di tipo b) (§ 7.4.5.2.1)	Flessione e tag
C.a. prefabbricata con pilastrì incastrati alla base e orizzontamenti incernierati	Collegamenti di tipo fisso (§ 7.4.5.2.1)	Taglio



SEISMIC DAMAGE OBSERVED IN AMATRICE

Tall RC buildings nearby the school Romolo Capranica

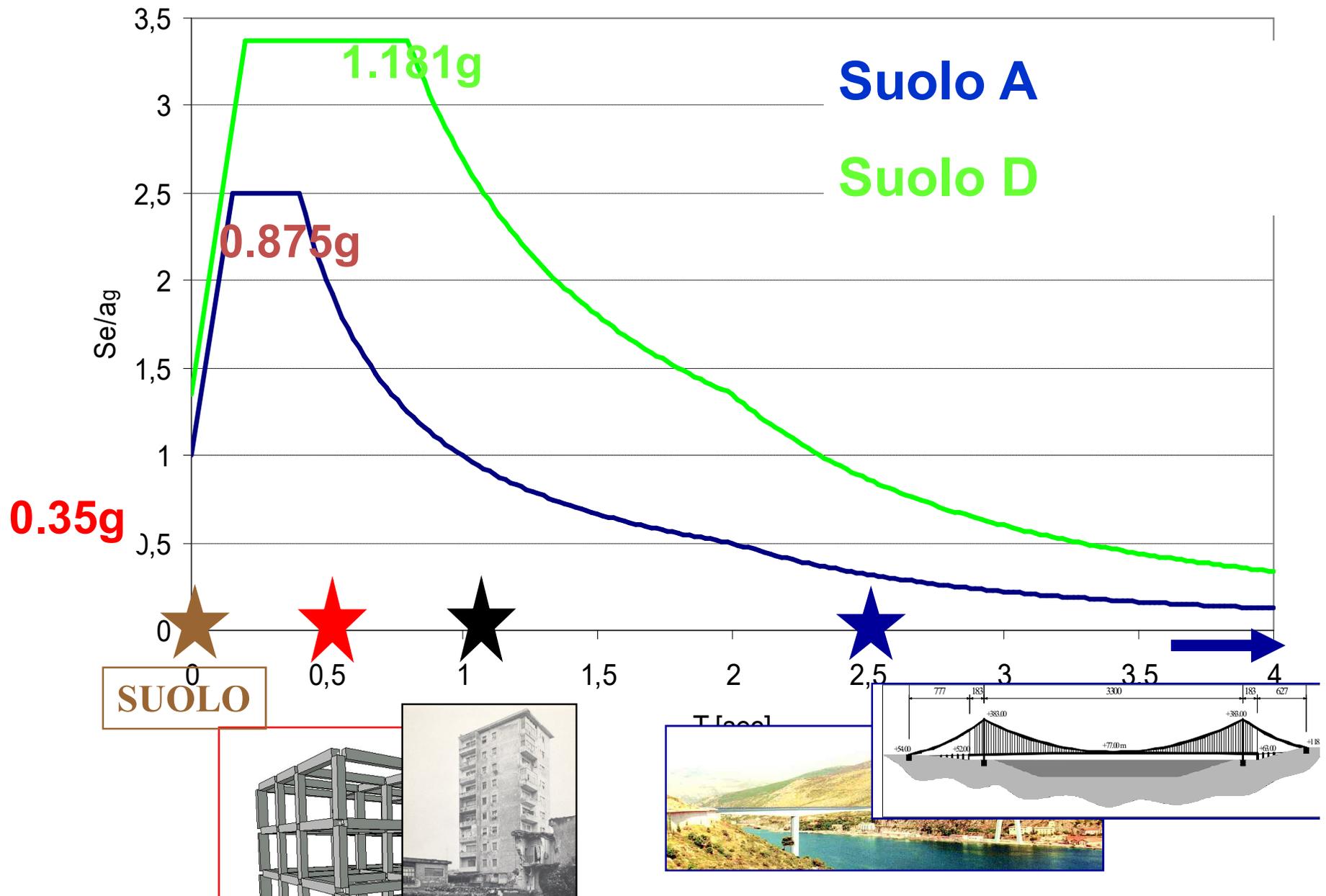


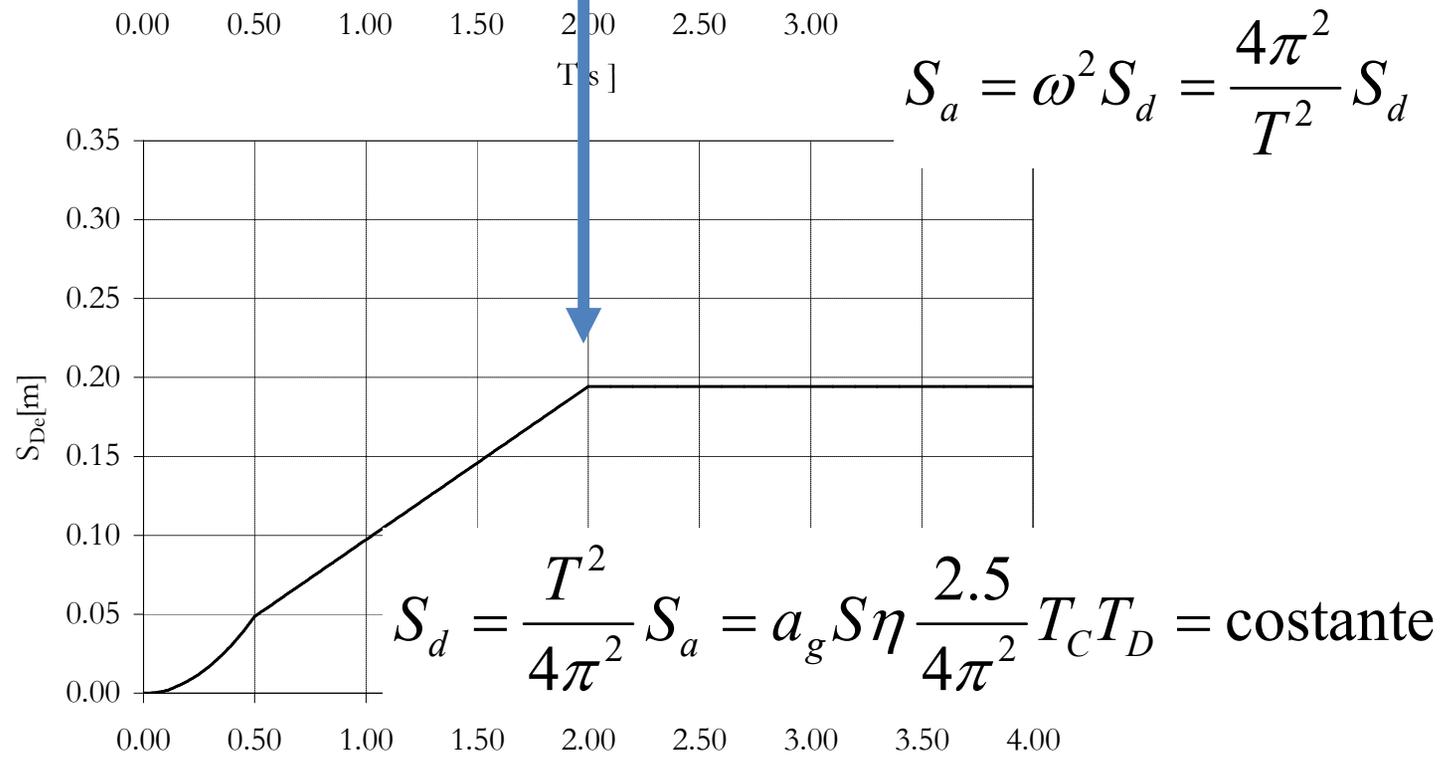
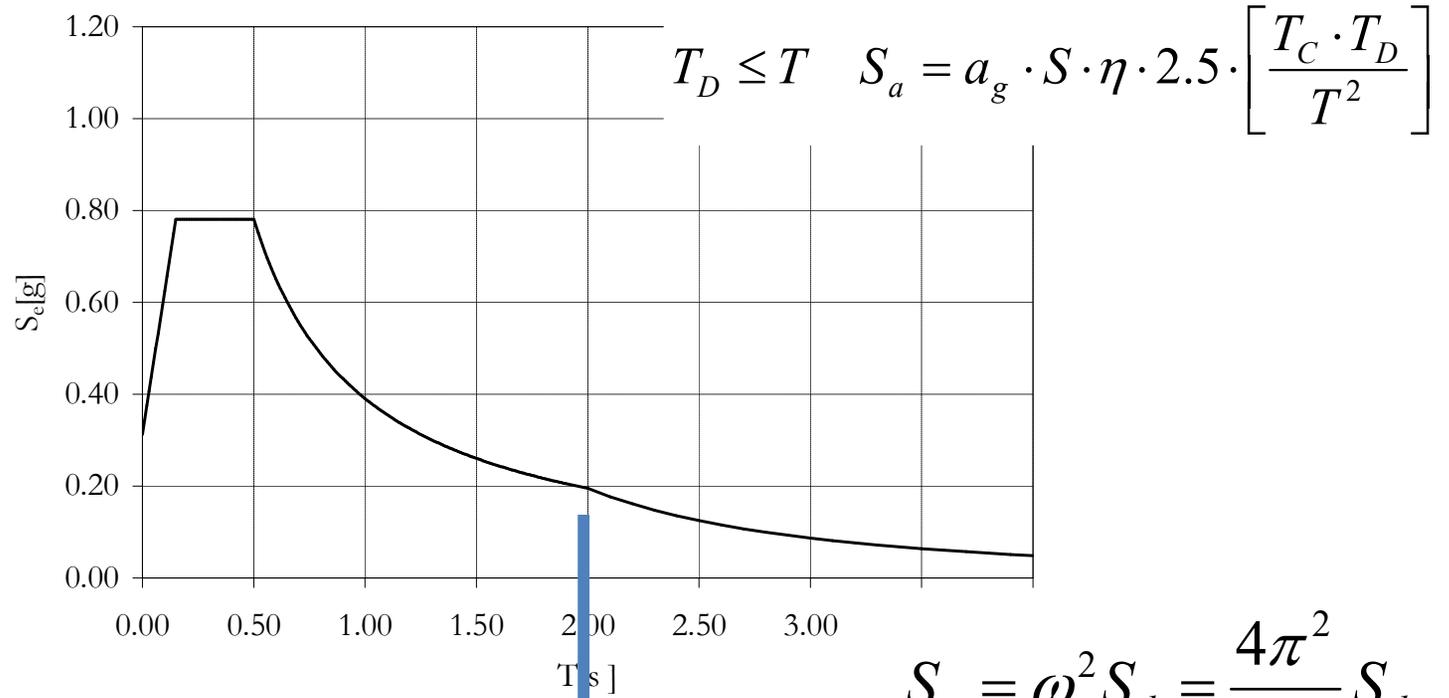
- The tallest building in Amatrice (RC structure) showed no significant damage.
- The dynamic behaviour of the structures largely influenced the structural behavior of buildings in Amatrice.
- Best was, in general, the behavior of tall RC framed structures, being more deformable and thus subjected to much smaller spectral accelerations.

CORRETTA PROGETTAZIONE PER I DIVERSI STATI LIMITE

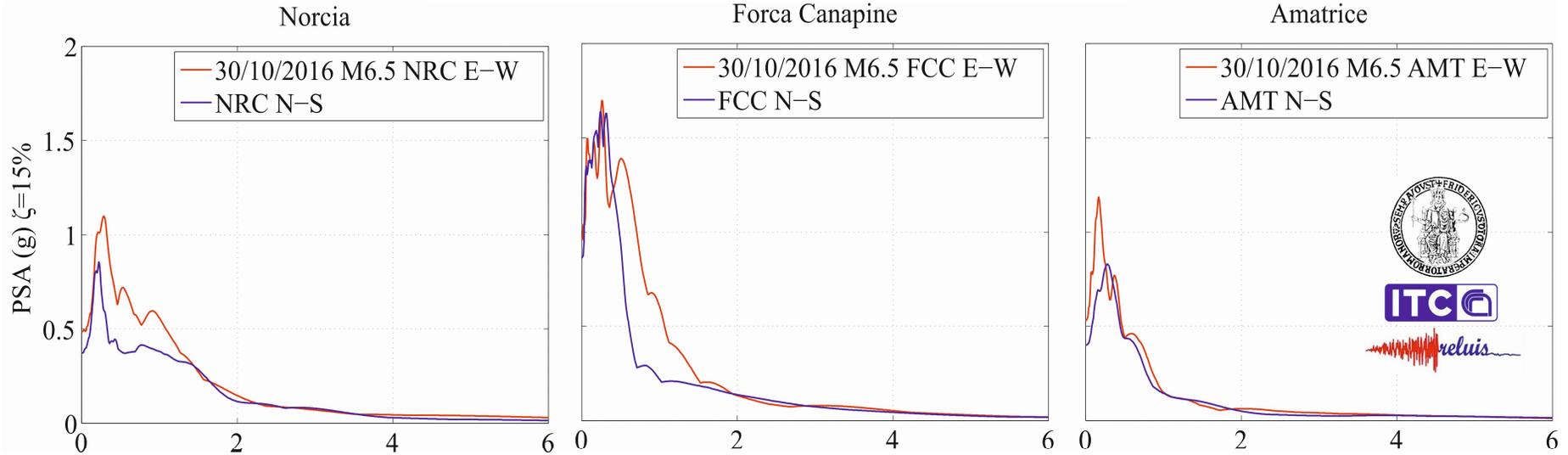
- **SLV e SLC = RESistenza, con domanda ridotta tramite la duttilità: minimizzare accelerazioni e massimizzare la duttilità**
- **SLD = RIGidezza/Spostamenti relativi di piano: massimizzare la rigidezza**
- **SLO = In parte (in prevalenza, accelerazione sugli oggetti; in parte minore: spostamenti o velocità/energia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

Spettri elastici zona 1

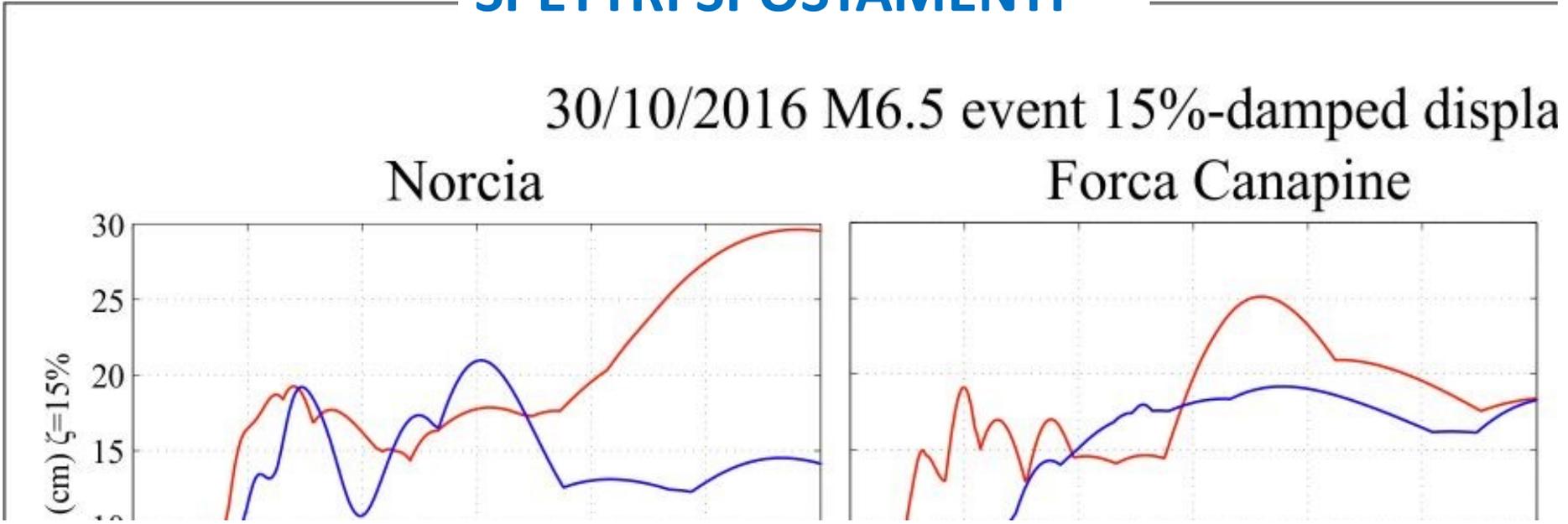




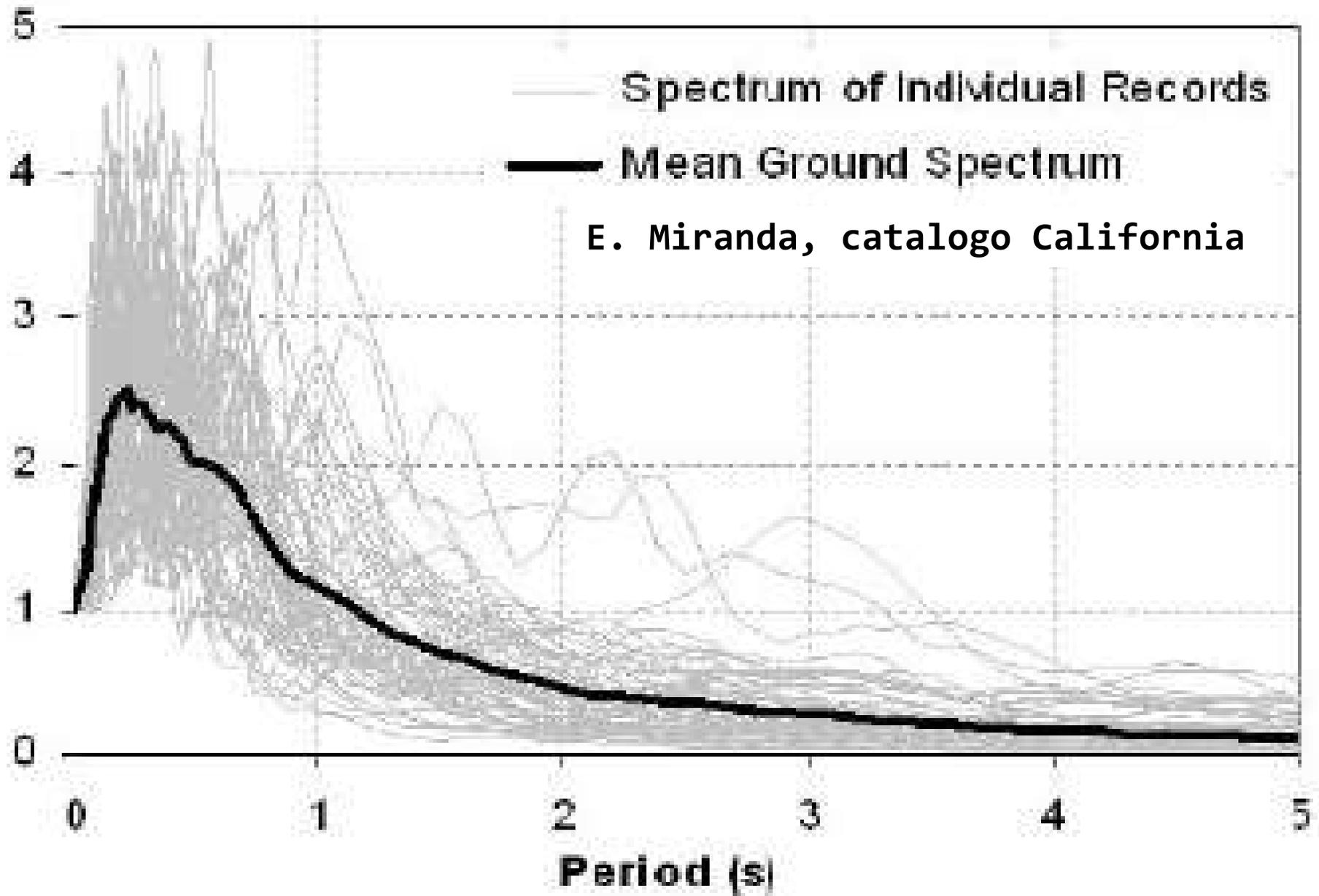
SPETTRI ACCELERAZIONE



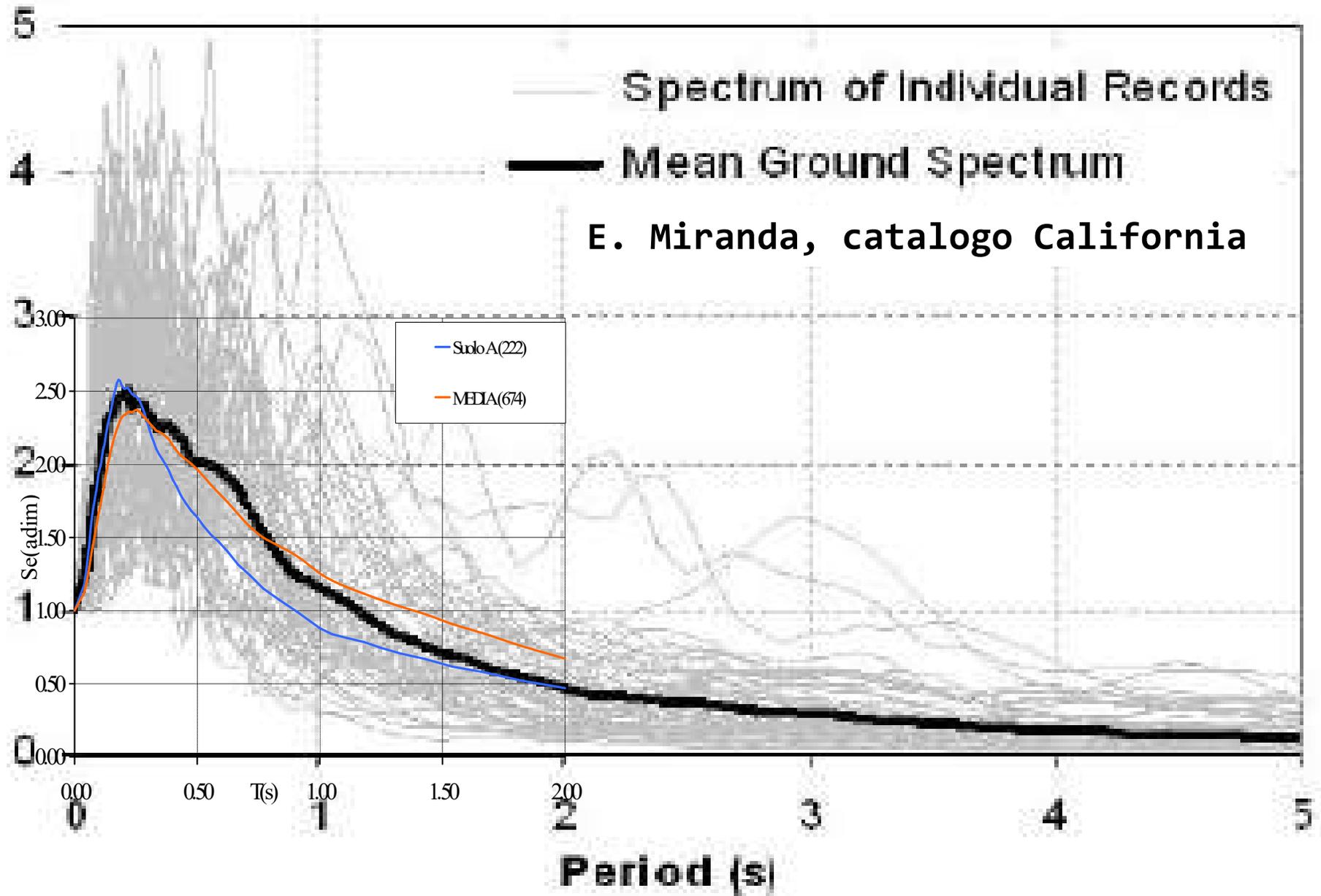
SPETTRI SPOSTAMENTI

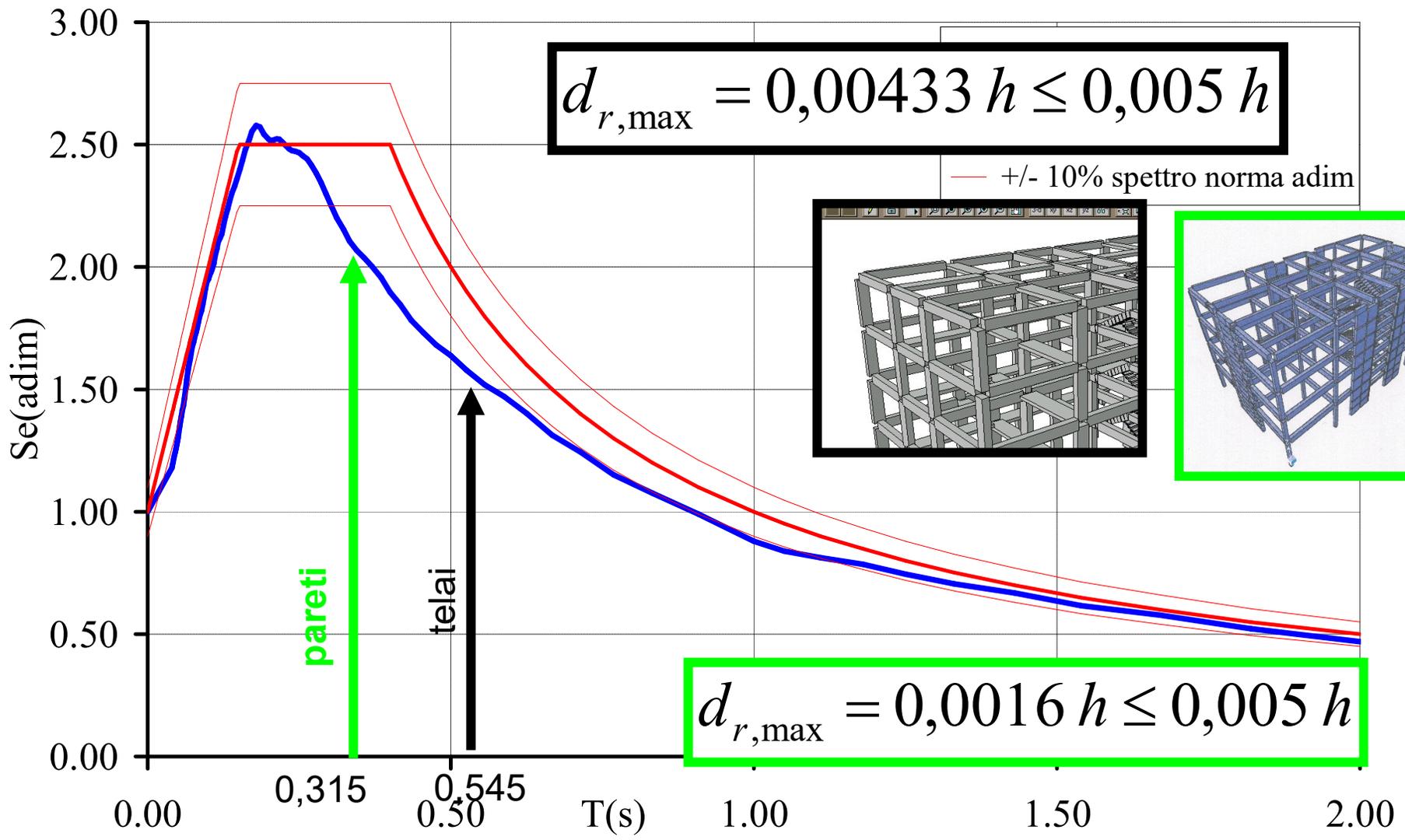


S_a /PGA



S_a PGA

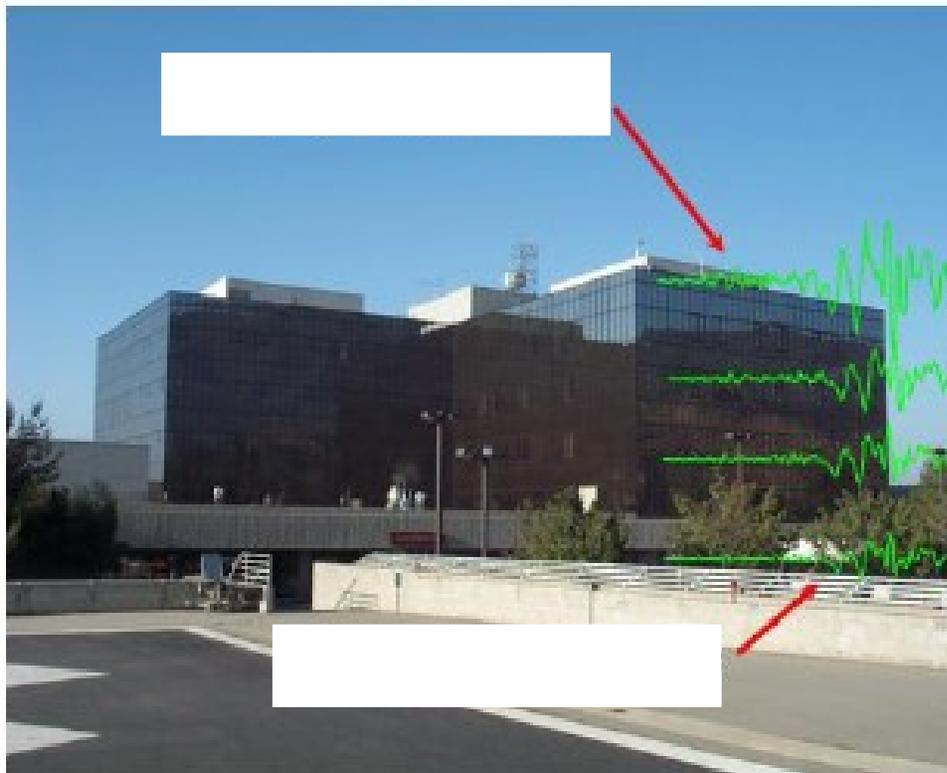




Suolo A

20 anni dopo ... 1994, Terremoto di Northridge

Olive View Medical Center in Sylmar, CA
1994 Northridge earthquake

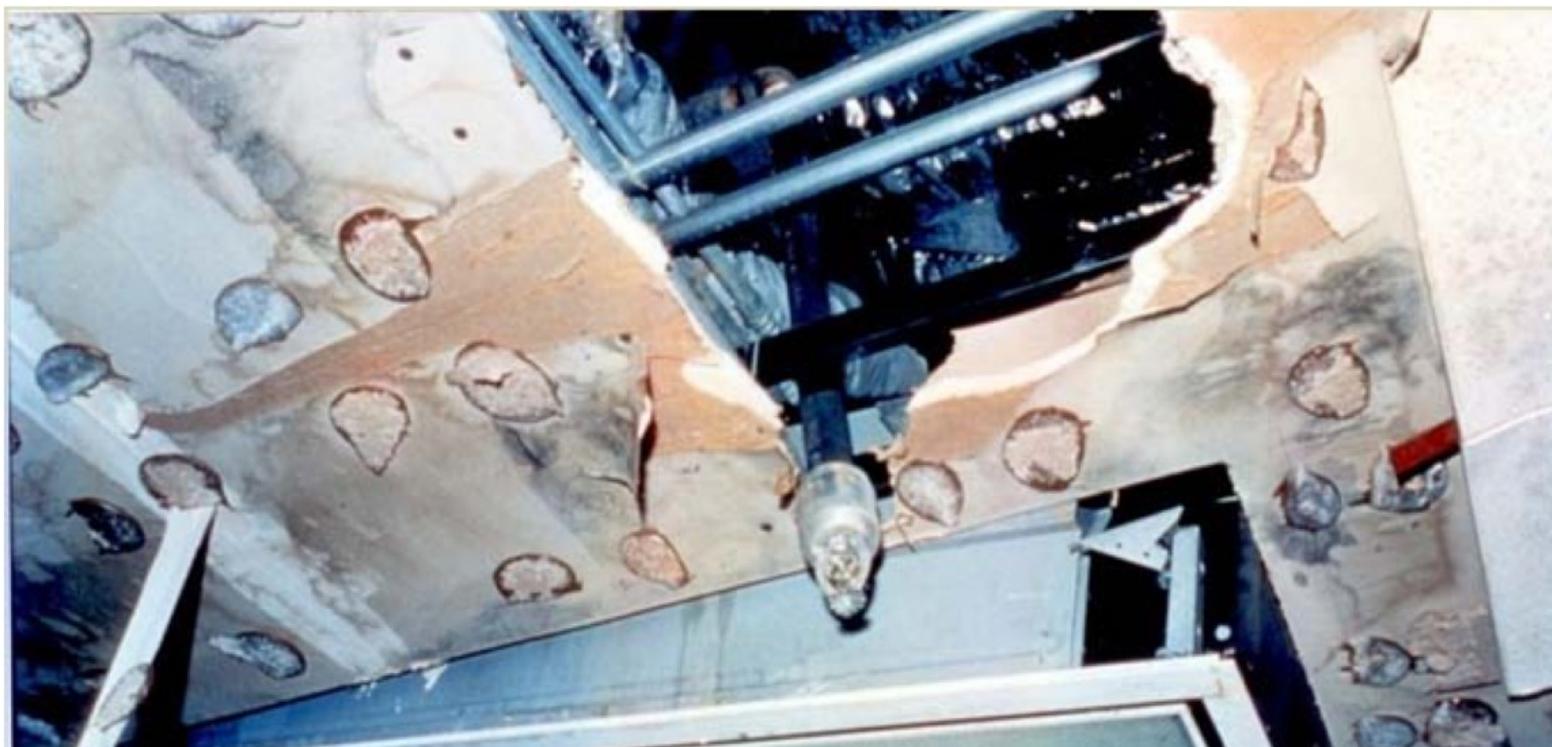


Olive View Hospital

(Instrumentation by CSMIP-CGS)
(Photo by E. Miranda)

Eduardo Miranda, Stanford University, USA

Available at: <http://www.fema.gov/p>

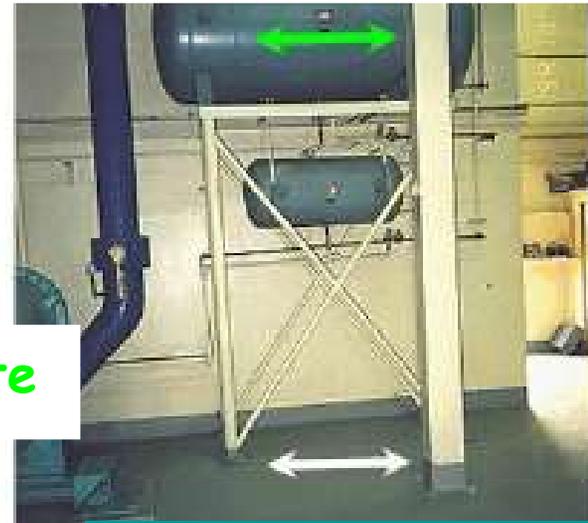


Eduardo Miranda, Stanford University, USA

Accelerazione al piano

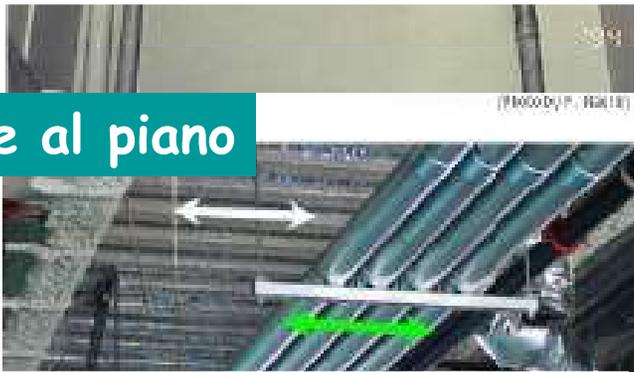


Accelerazione nel componente



Accelerazione nel componente

Accelerazione al piano



Accelerazione al piano



Accelerazione nel componente

Accelerazione nel componente

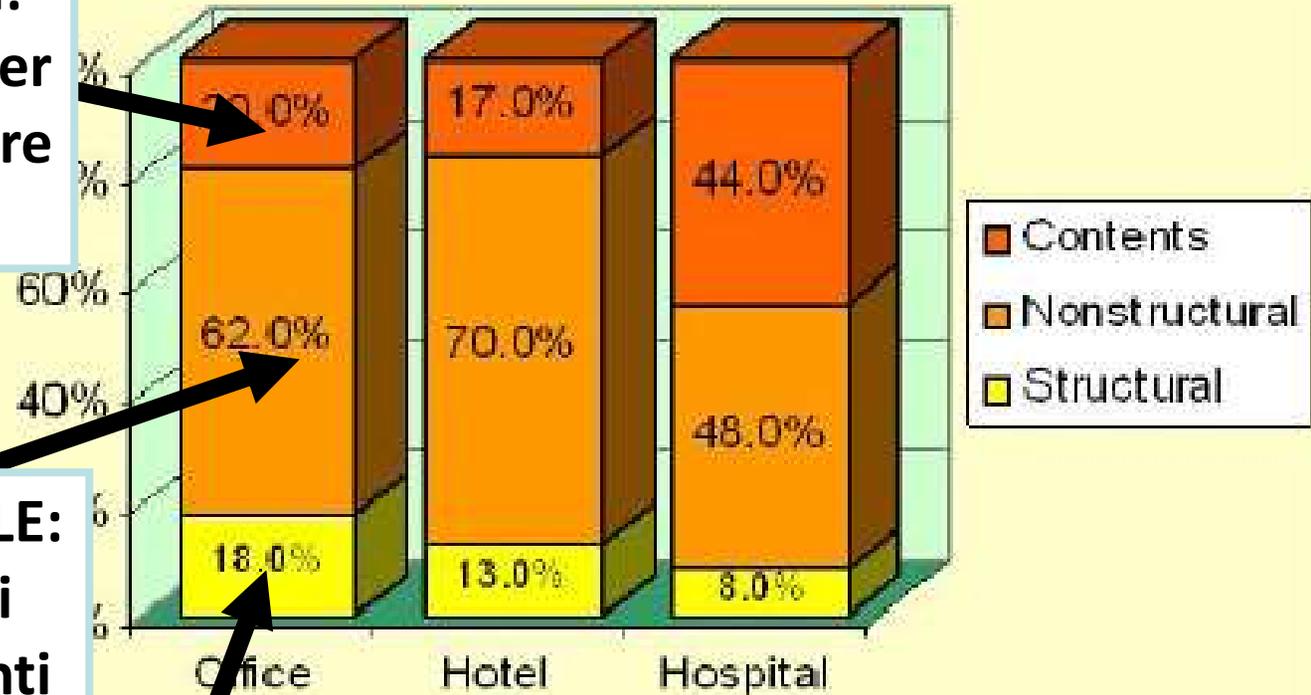
Accelerazione al piano + dinamica componente



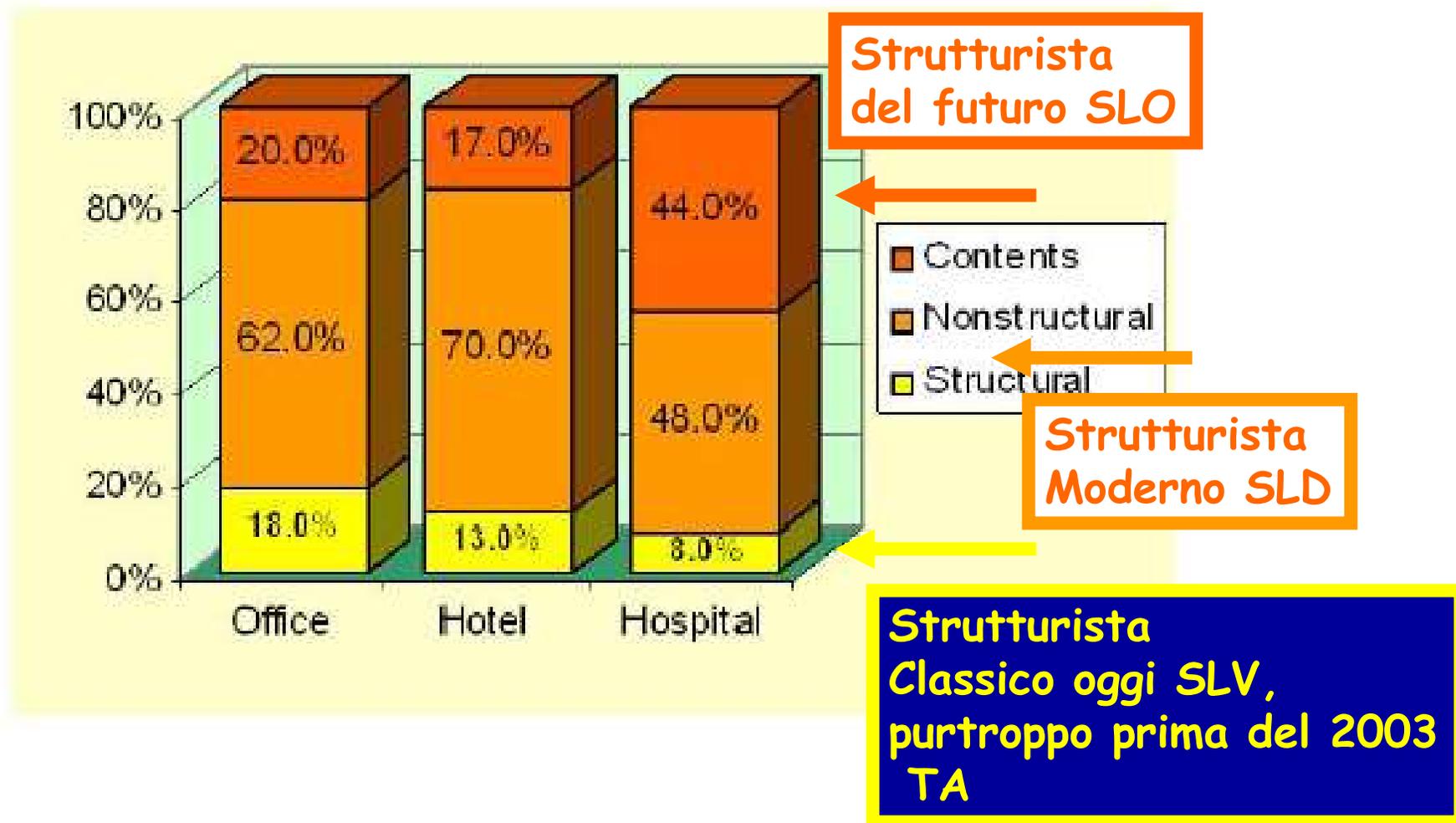
COSTI COMPLESSIVI

OGGETTI INTERNI:
bacheche, computer
, contenuti in genere

NON STRUTTURALE:
Edilizia, Impianti
meccanici, Impianti
elettrici



STRUTTURE



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

SLD = Stato Limite di DANNO

Controllare

Con un calcolo ELASTICO LINEARE

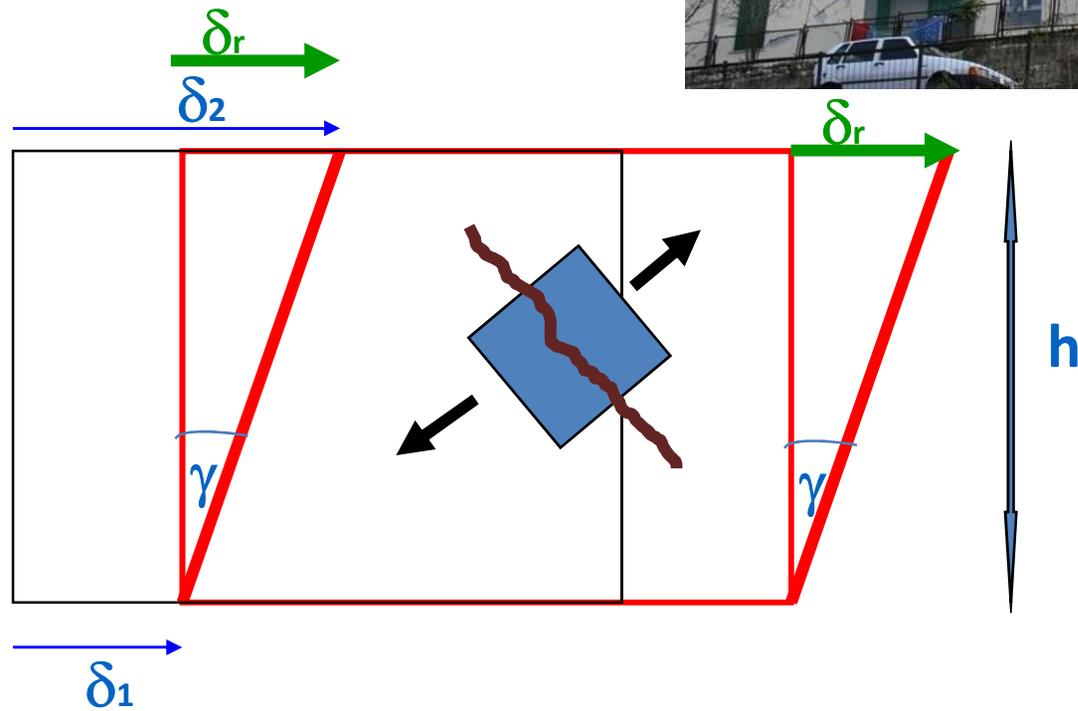
se

SPOSTAMENTI RELATIVI DI

PIANO attesi

PER IL SISMA DELLO SLD

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



Parametro critico: distorsione angolare media di piano $\gamma = \delta_r / h < 0,005$



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

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

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

(**) Nei casi esplicitamente indicati nelle presenti norme

Novità NTC 2017

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

7.3.6.1 ELEMENTI STRUTTURALI (ST)

VERIFICHE DI RIGIDEZZA (RIG)

La condizione in termini di rigidezza sulla struttura si ritiene soddisfatta qualora la struttura non produca sugli elementi non strutturali danni tali da rendere la costruzione inagibile. Nel caso delle costruzioni civili e industriali, qualora la temporanea inagibilità sia dovuta

SISMABONUS



LG, formula approssimata:

$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C / PGA_D)^{1/0,41}$$

Mappe di pericolosità

INGV _ DPC _ NTC

*30y, 50y, 72y, 101y, 140y, 201y,
475y, 975y, 2475y*

LG: per riferirsi più puntualmente all'intensità sismica di appartenenza si possono utilizzare le seguenti formule per valutare l'esponente del rapporto fra le PGA, con riferimento all'accelerazione massima su roccia a_g : $1/0,49$ per $a_g \geq 0,25g$; $1/0,43$ per $0,25g \geq a_g \geq 0,15g$; $1/0,356$ per $0,15g \geq a_g \geq 0,05g$; $1/0,34$ per $0,05g \geq a_g$



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



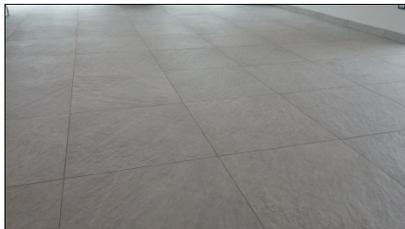
Tamponature



Servizi/
Impianti

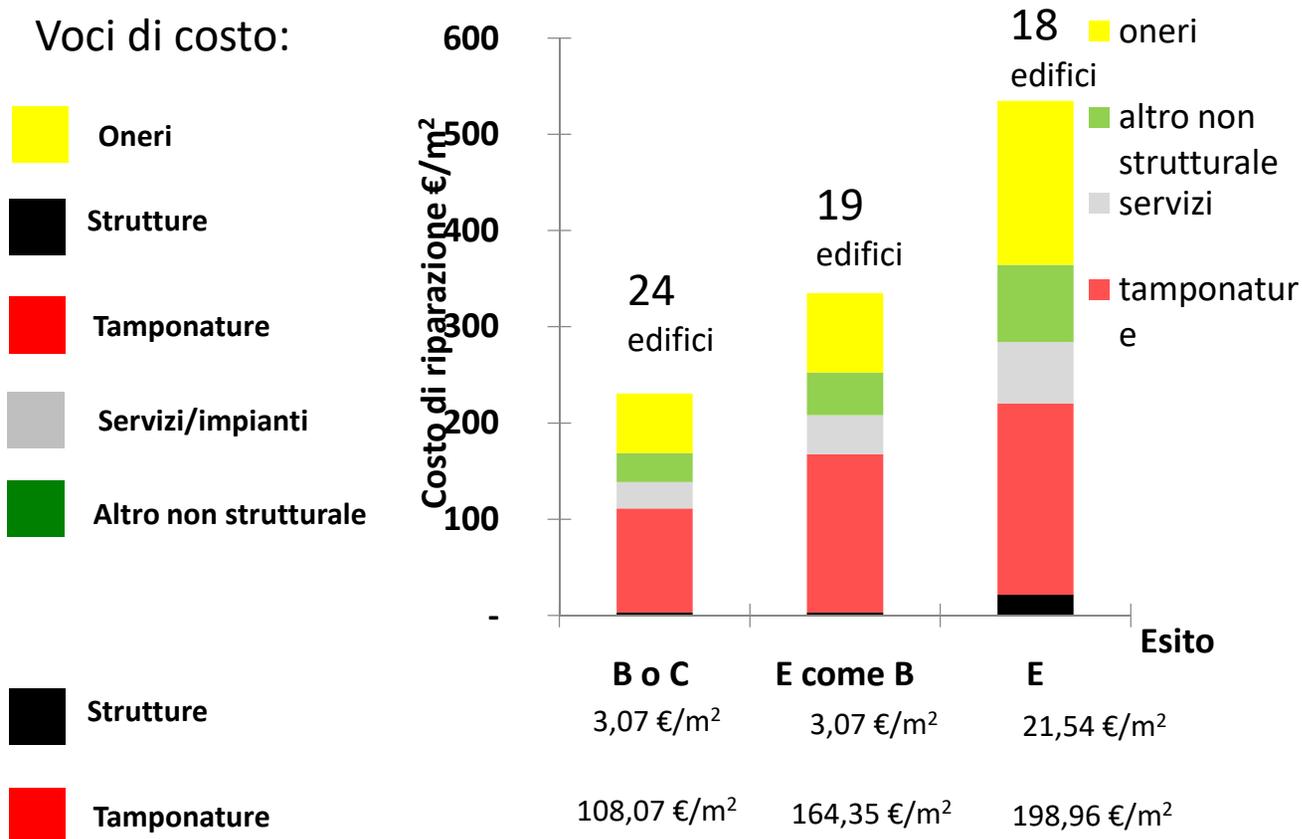


Altro non strutturale: pavim/massetto, canne fumarie, rivest.scale, tegole e comignoli



L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

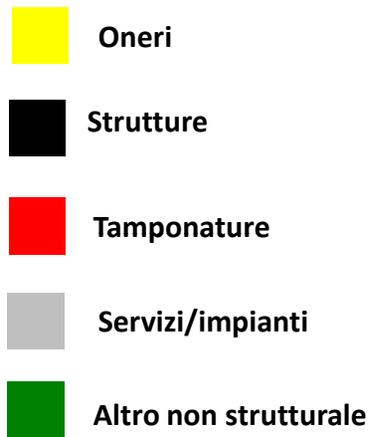
➤ Costi di riparazione edifici in c.a. Campione dati: 63 edifici



L'AQUILA: LA RICOSTRUZIONE

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

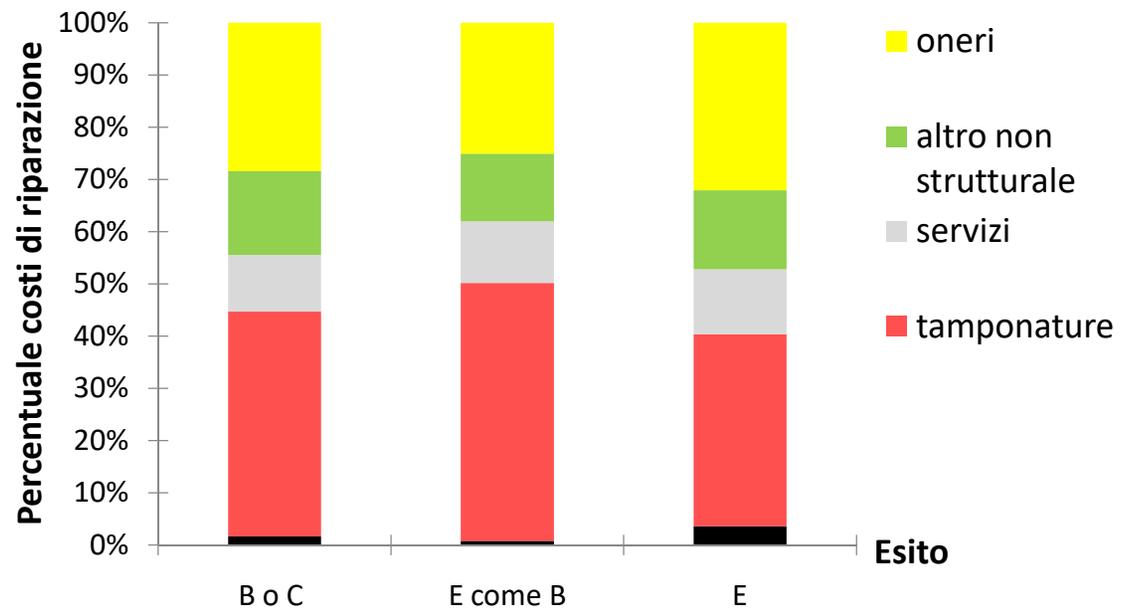
Voci di costo:



24
edifici

19
edifici

18
edifici



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%



Danno Minimo

Danno Medio

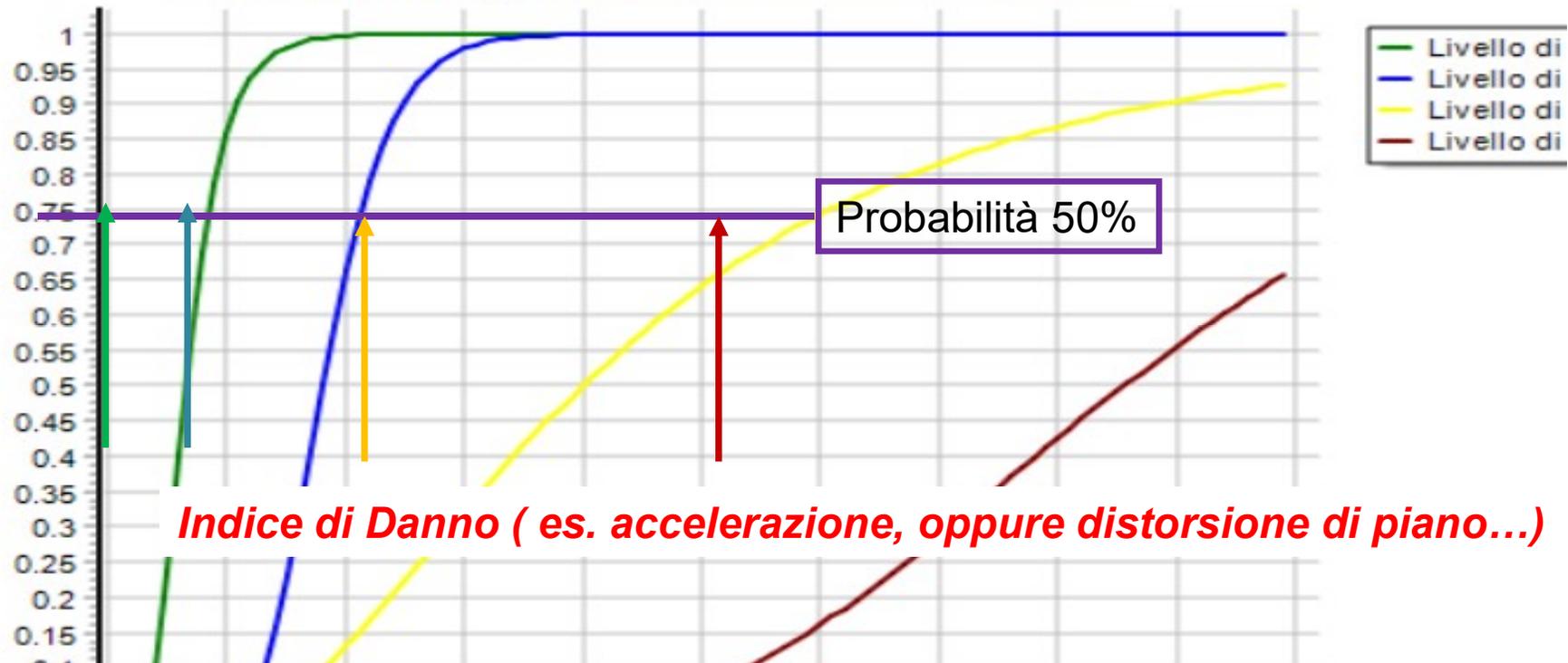
Danno Elevato

Collasso

Curve di fragilità

Probabilità di superamento

Curve di fragilità per livello di danno



**Minimo coerente con le Norme:
Due Livelli di Danno, FUNzionalità e STAbilità**

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%

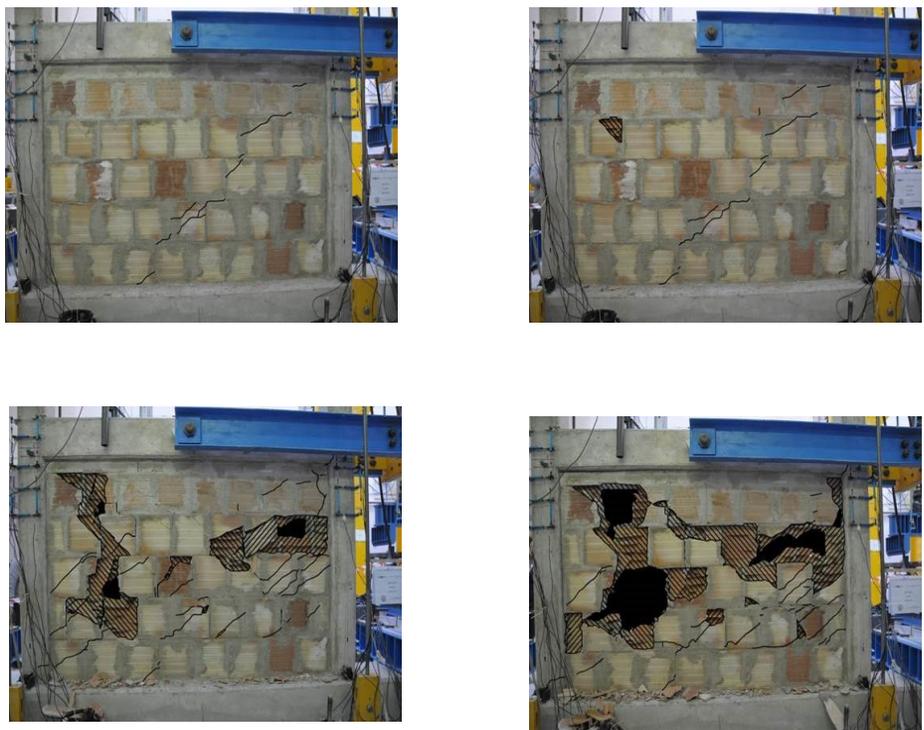
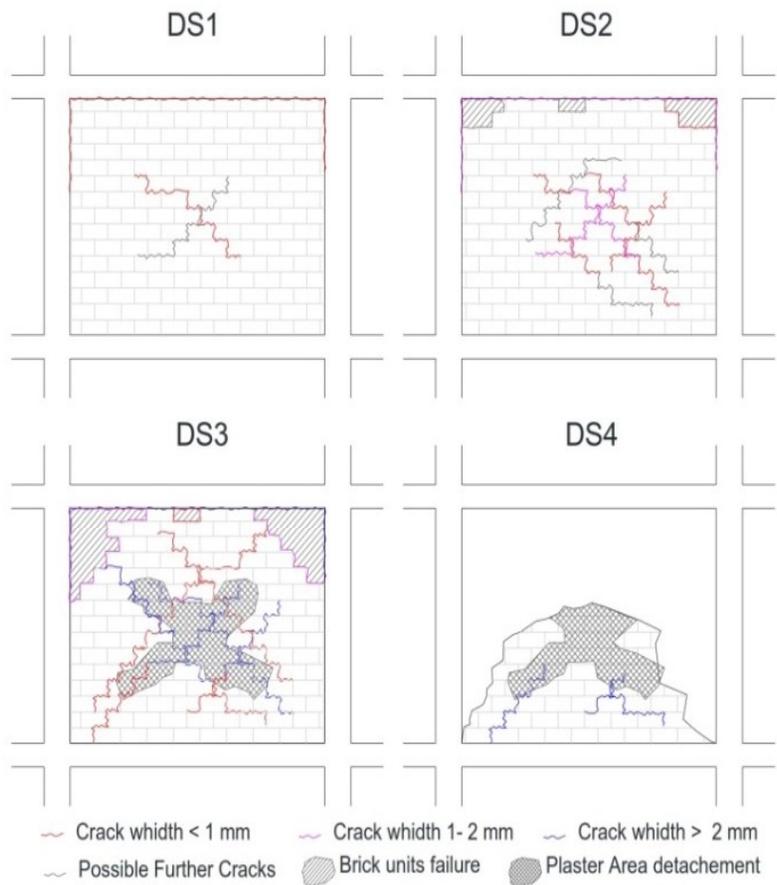
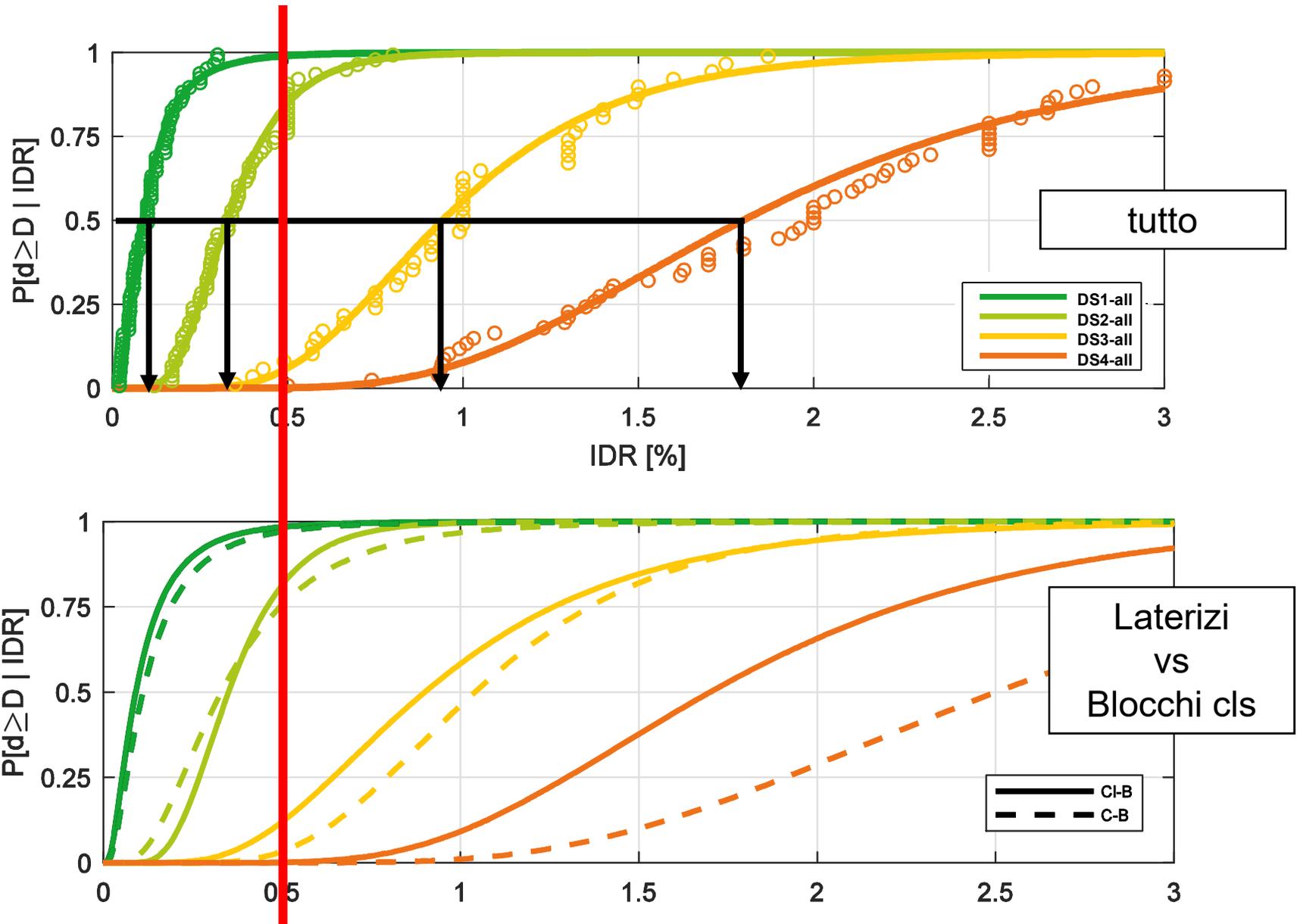


Figure 9. Damage states of masonry infills without openings (a);
 Damage states interpretation for test #49 (DIST Unina) (b)

G. Verderame et al



VALUTAZIONE DELLA CAPACITA' DI SPOSTAMENTO



EDIFICI ESISTENTI

CAP 8

8.1. OGGETTO

Il presente capitolo stabilisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti

Si definisce costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione d'intervento, la struttura completamente realizzata.

8.2. CRITERI GENERALI

Le disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della presente norma e anche per le costruzioni esistenti, ad esclusione di quanto indicato nella presente norma e nei suoi allegati, prescrizioni sulla geometria e sui particolari costruttivi e fatto salvo quanto specificato nei paragrafi successivi.

Nel caso di interventi che non prevedano modifiche strutturali (impiantistici, di distribuzione, ecc.) si deve valutare la loro possibile interazione con gli SLU ed SLE della struttura o di parte di essa.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi devono tenere conto dei

- essa riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- in essa possono essere insiti, ma non palesi, difetti di impostazione e di realizzazione;
- essa può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano con-

COSTRUZIONI ESISTENTI

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica si effettua solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità ; condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di tagli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche.

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alle norme di progetto. Si ometterà di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato, il tipo di terreno sia di tipo significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per la valutazione della sicurezza.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti si effettuerà ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche verifiche di resistenza. In quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.

Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di limitazione dello spostamento (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato nelle norme di progetto.

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quello richiesto dalle norme di progetto.

8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dal livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale.

La valutazione della sicurezza, argomentata con apposita relazione, deve permettere di

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione);
- sia necessario aumentare la sicurezza strutturale, mediante interventi.

La valutazione della sicurezza deve effettuarsi quando ricorra anche una sola delle seguenti

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune parti;
 - decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative;
 - danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura, esplosioni) o da situazioni di funzionamento ed uso anomali;
 - provati gravi errori di progetto o di costruzione;
 - cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione sostanziale della classe d'uso superiore;
 - esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano con la funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino l'uso.
- con i quali si eseguono gli interventi strutturali di cui al § 8.4.

COSTRUZIONI ESISTENTI

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica si effettua solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità e a condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto di variazioni di volumi, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche.

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alle norme vigenti. Si ometterà di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato, il tipo di terreno sia di tipo significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti si effettuerà ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche verifiche agli SLS. In quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti.

Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di servizio (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato nelle norme di riferimento.

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quello richiesto dalle norme di riferimento.



8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *interventi di riparazione o locali*: interventi che interessino singoli elementi strutturali in condizioni di sicurezza preesistenti;
- *interventi di miglioramento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale per raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- *interventi di adeguamento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente fissati al § 8.4.3.

Solo gli interventi di miglioramento ed adeguamento sono sottoposti a collaudo statico.

Per gli interventi di miglioramento e di adeguamento l'esclusione di provvedimenti in favore di una soluzione alternativa è consentita esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di f



8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Emente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più del

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali;
- migliorare le caratteristiche di resistenza e/o di duttilità di elementi o parti, anche non danneggiati;
- impedire meccanismi di collasso locale;
- modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura che non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno che non si tratti di beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe I e II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore $\Delta\zeta_E$.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica sismica deve essere assunto almeno $\zeta_E = 1,0$.

8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

L'intervento di adeguamento della costruzione è obbligatorio quando si intenda:

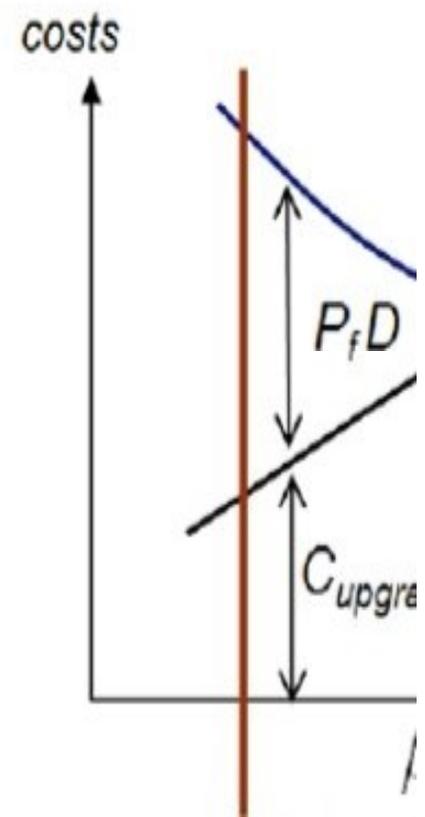
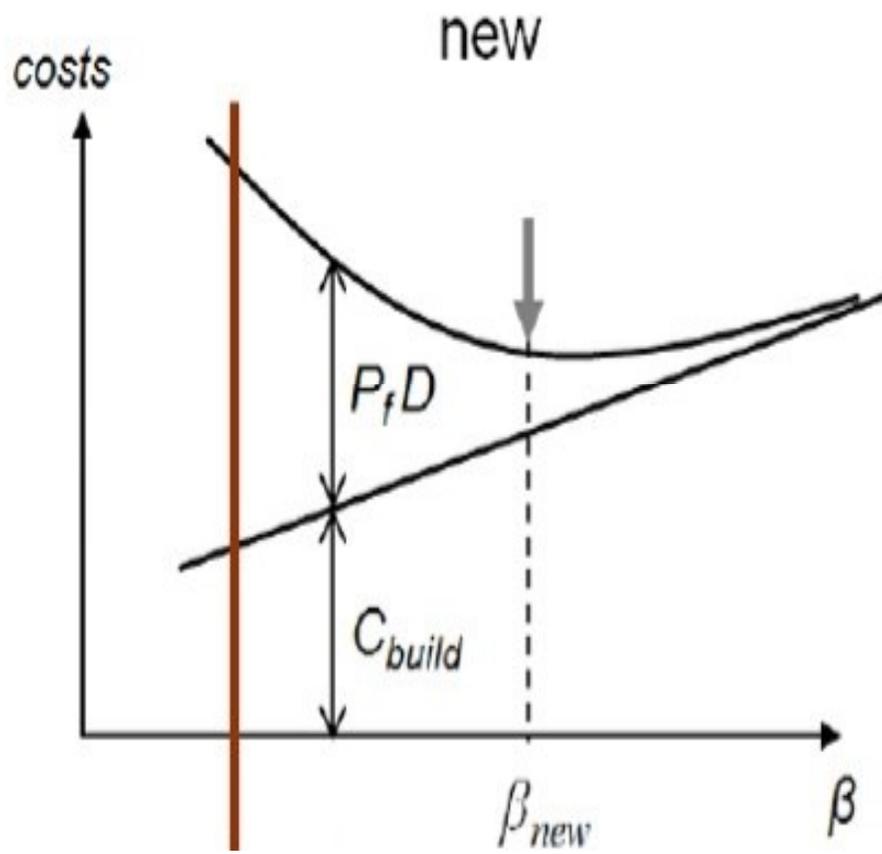
- sopraelevare la costruzione;
- ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da modificare il comportamento globale della stessa;
- apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi caratteristici superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.1.1.1. Restano comunque fermi l'obbligo di procedere alla verifica sismica della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un intervento di tipo "globalizzante" ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare



$$T_{rC} = T_{rD} (PGA_C / PGA_D)^{1/0,41}$$

$$T_{rC} = T_{rD} (0,8)^{1/0,41} = 475 * 0,58 = 275 \text{ y}$$

$$T_{rC} = T_{rD} (0,6)^{1/0,41} = 475 * 0,29 = 137 \text{ y}$$

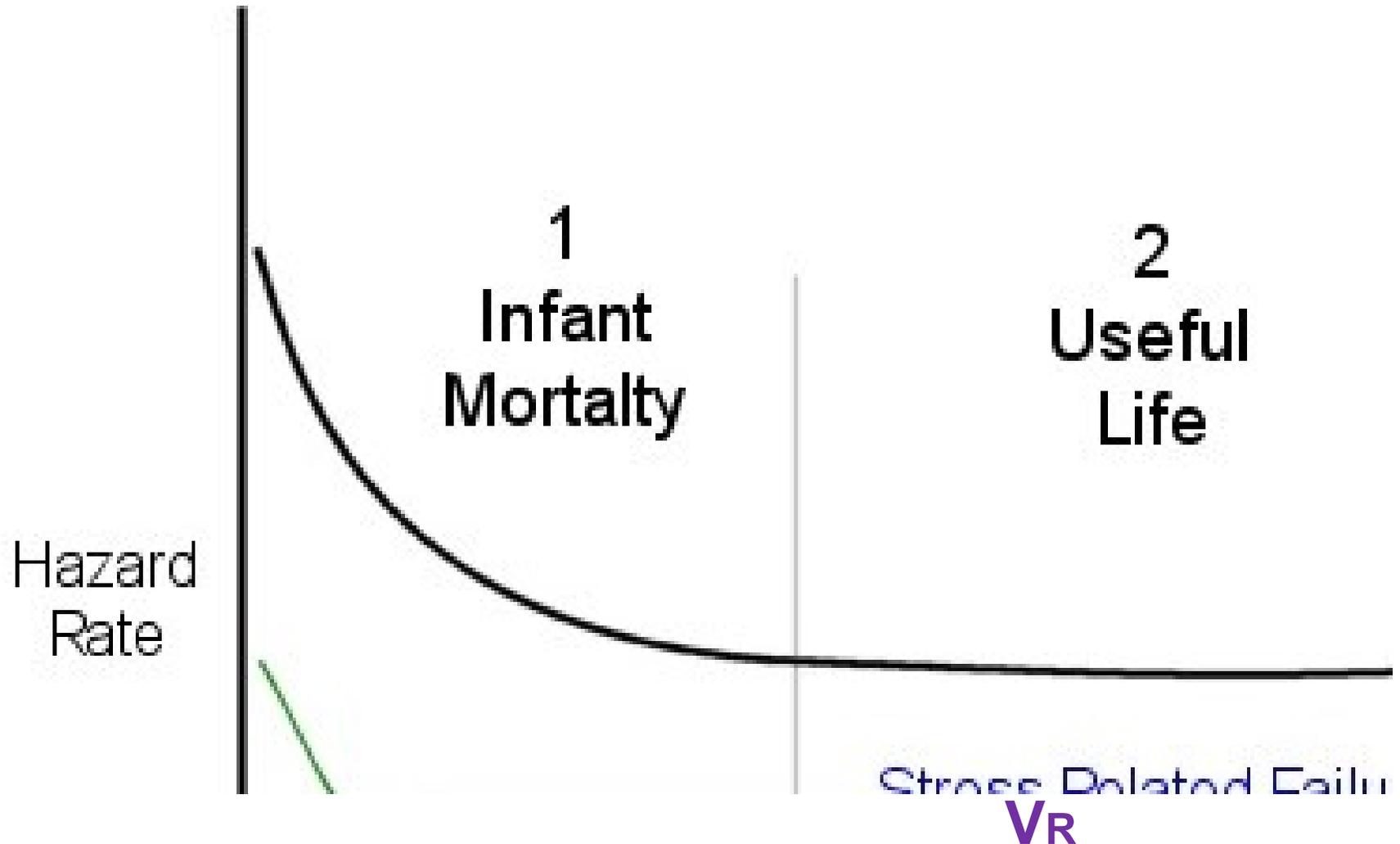




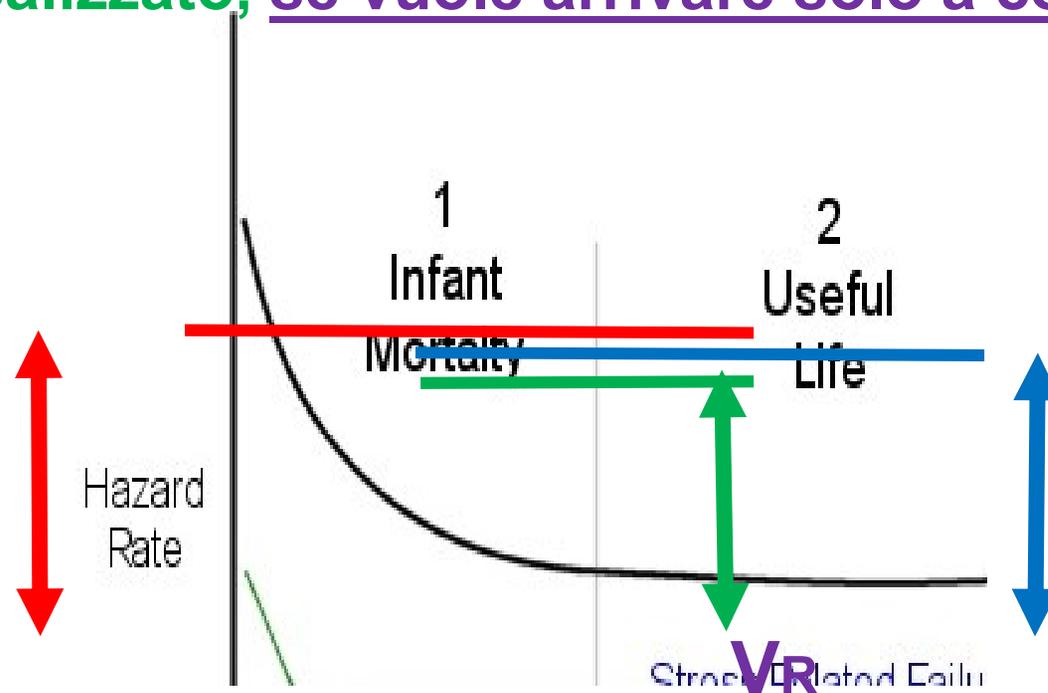
Tasso di Rischio connesso alle azioni esterne: traffico, sisma, neve, vento.

Tasso di Rischio connesso alla vita iniziale (errori progettazione, errori realizzazione, gravi carenze materiali, sorprese ...)

Tasso di Rischio connesso al degrado dei materiali.



La probabilità di collasso di un elemento che abbia già superato il periodo della «mortalità infantile» è più piccola di quella dell'elemento appena realizzato, se vuole arrivare solo a completare V_R



La valutazione della probabilità di collasso di un elemento che vuole nuovamente arrivare ad una vita di riferimento V_R , va trattata come per un elemento nuovo, ma facendo considerazioni



CLASSE EFFETTIVA: MINIMO FRA LE DUE CLASSI PAM e IS-V

Perdita Media Annua attesa (PAM)	Classe PAM	Indice di Sicurezza	Classe IS-V	
$PAM \leq 0,50\%$	A+	$100\% < IS-V$	A+	A+
$0,5\% < PAM \leq 1,0\%$	A	$80\% < IS-V \leq 100\%$	A	A
$1,0\% < PAM \leq 1,5\%$	B	$60\% < IS-V \leq 80\%$	B	B
$1,5\% < PAM \leq 2,5\%$	C	$45\% < IS-V \leq 60\%$	C	C
$2,5\% < PAM \leq 3,5\%$	D	$30\% < IS-V \leq 45\%$	D	D
$3,5\% < PAM \leq 4,5\%$	E	$15\% < IS-V \leq 30\%$	E	E
$4,5\% < PAM \leq 7,5\%$	F	$IS-V \leq 15\%$	F	F
$7,5\% < PAM$	G			G

**NON NUMERI SECCHI,
MA FASCE CON INTERVALLI**



CURVA DI RIFERIMENTO, EDIFICIO ESATTAMENTE A NORMA

SLID

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

SLO



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

CR=7%

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%

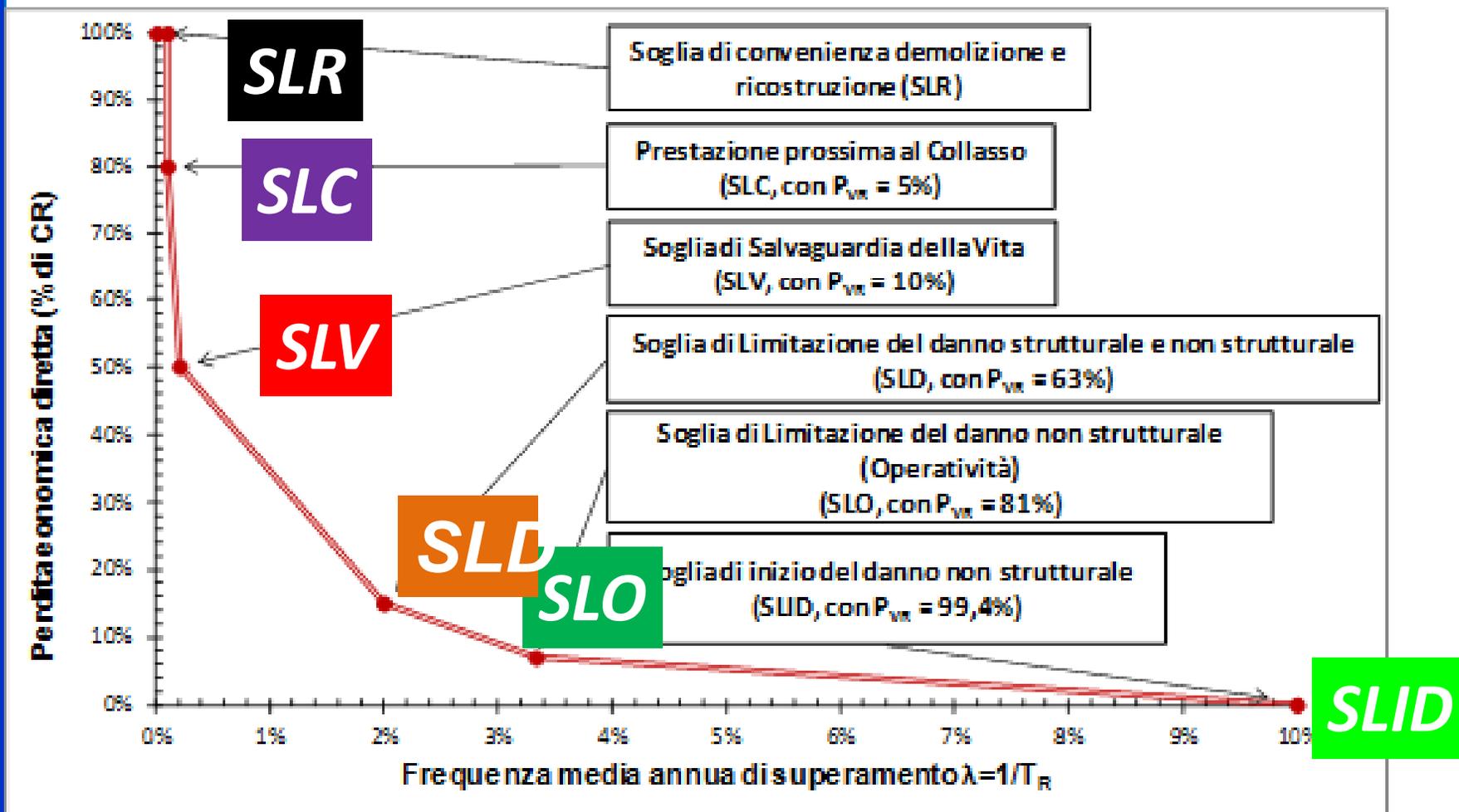
SLR

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



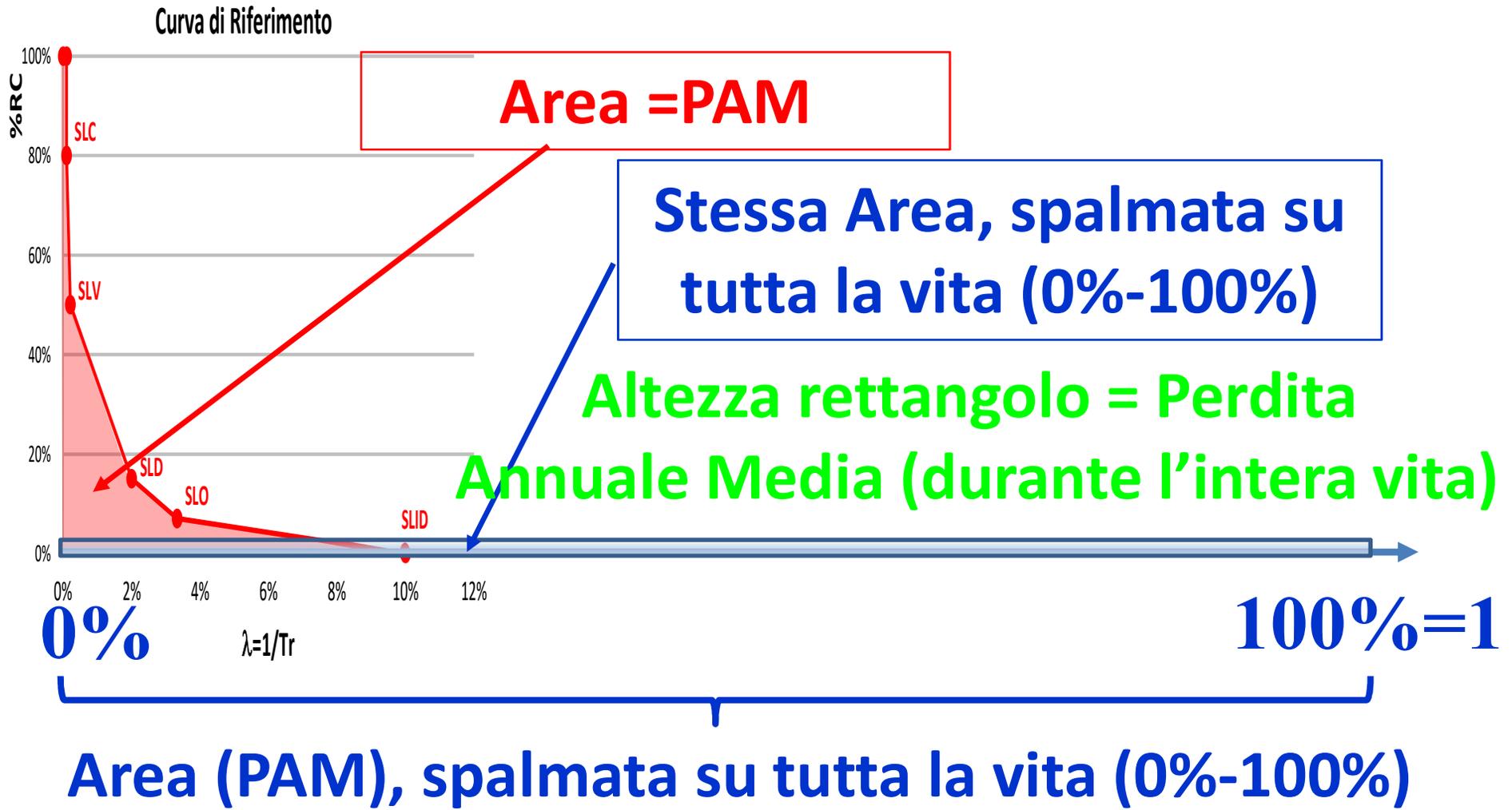
NOVITA' ASSOLUTA NEL PANORAMA TECNICO MONDIAL LA NORMA ASSOCIA I DANNI AI COSTI E QUINDI AI POTENZIALI RISPARMI DELLO STATO IN CASO DI INTERVENTO STRUTTURALE

% Costo di Ricostruzione (Perdita economica diretta)



ASCISSA: Frequenza media annua di superamento

COSTRUZIONE CURVE DI RIFERIMENTO

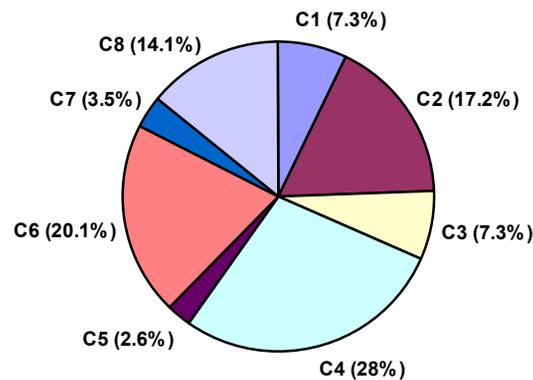


Selezione dell'intervento di adeguamento sismico Un problema decisionale Multi-Criterio

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



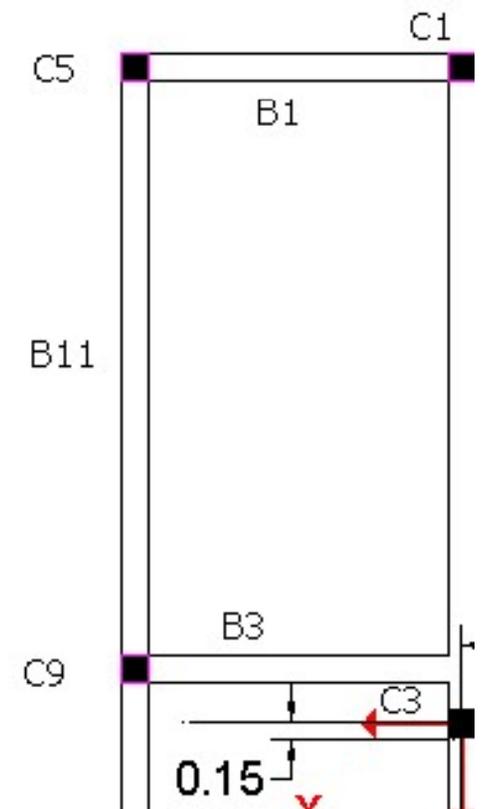
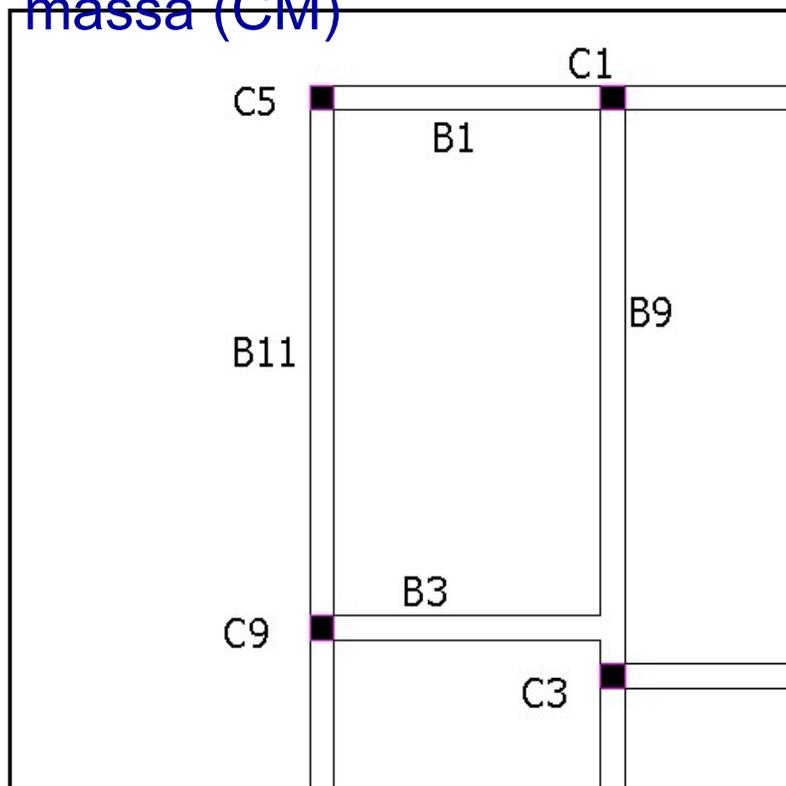
La Struttura SPEAR



- 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:

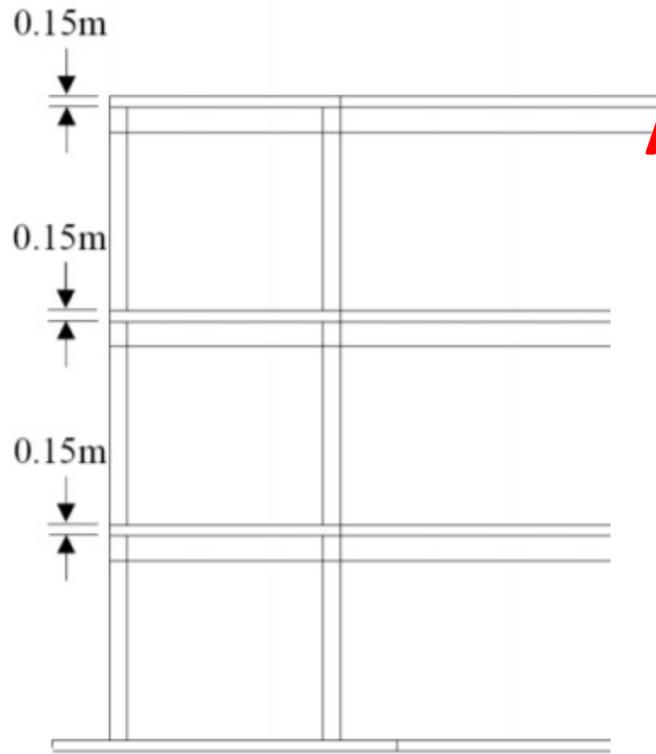
➤ La struttura progettata per soli carichi verticali – nessuna attenzione alla gerarchia delle resistenze

➤ 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



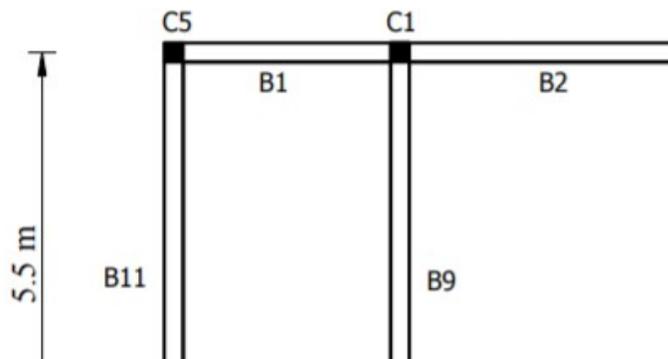


A0. Soluzione originaria $T= 0,52$ s

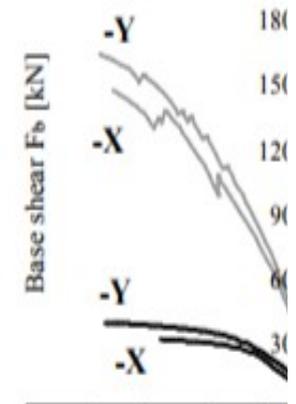
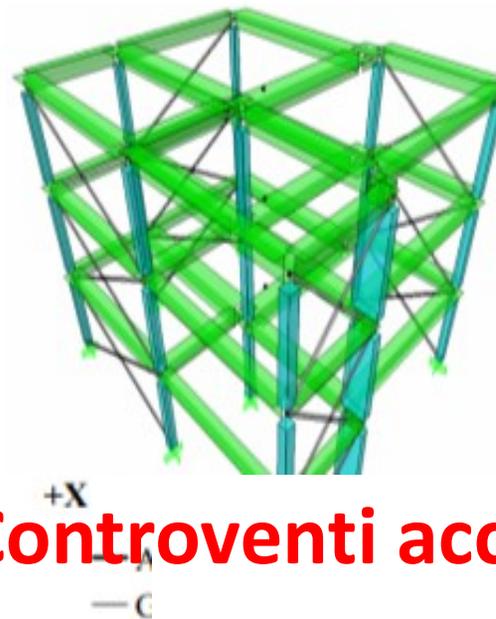
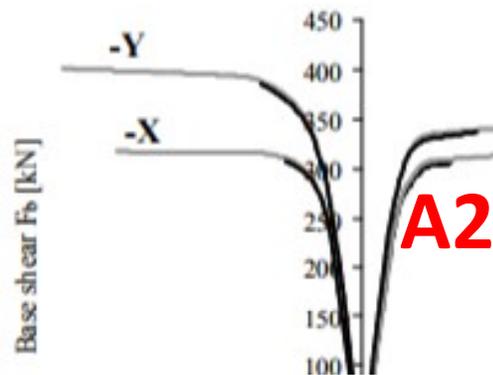
Table 3. Evaluation criteria

C_1	Installation cost
C_2	Installation cost NET of tax
C_3	GROSS of expected losses
C_4	Number of risk classes of installation
	Cost for maintenance

Figure 3. Front view of the case-study



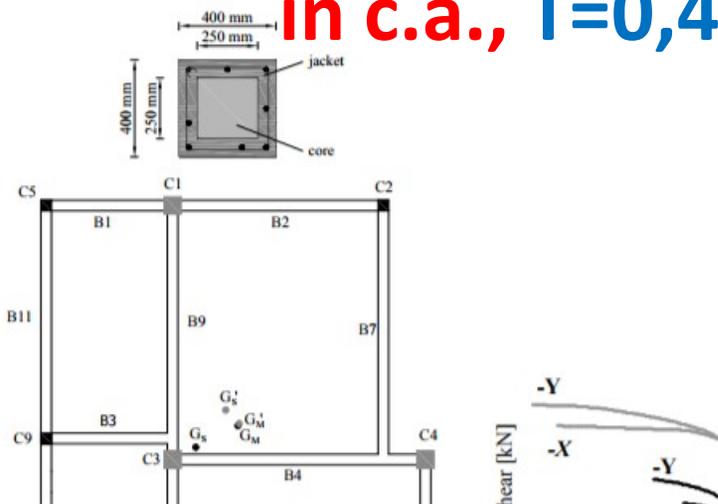
A1. FRP Stesso T



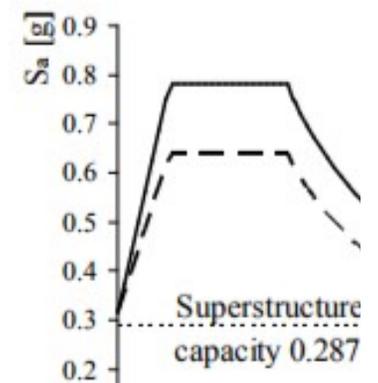
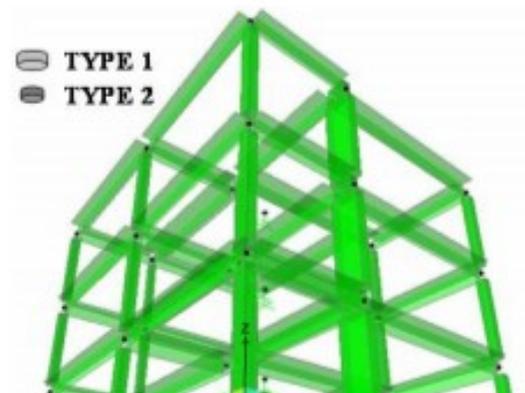
A2. Controventi acciaio T=0,27 s

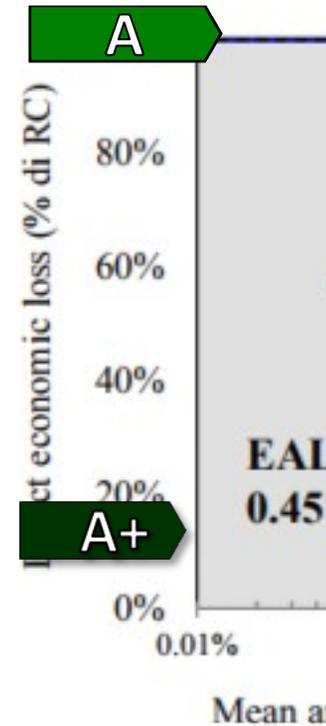
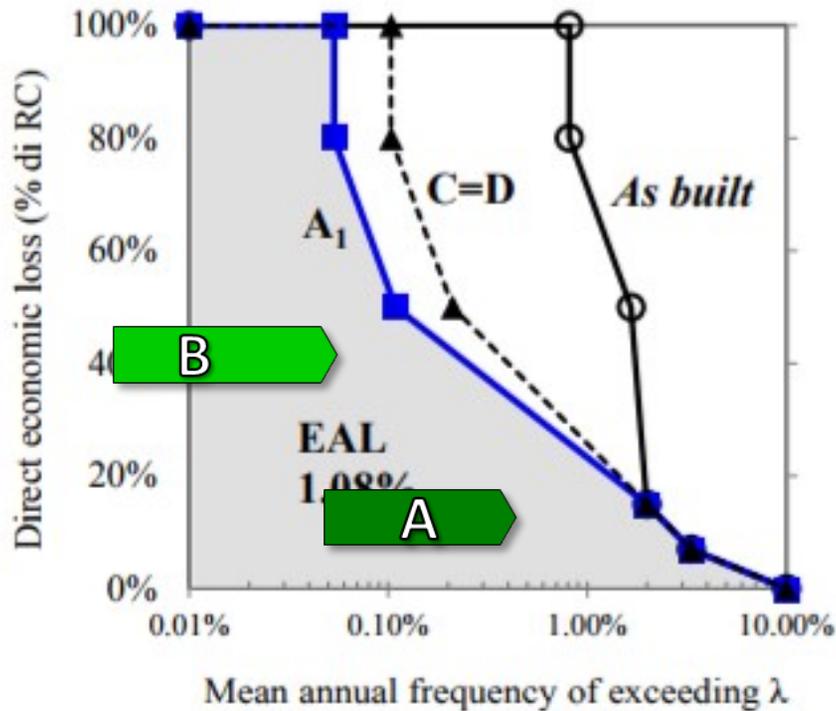
A3. Incamiciatura in c.a., T=0,42 s

structures.



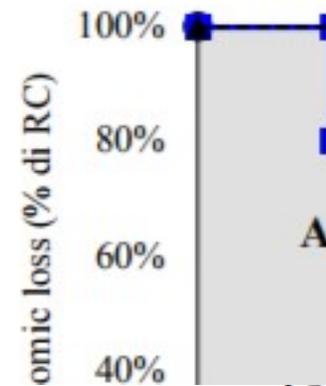
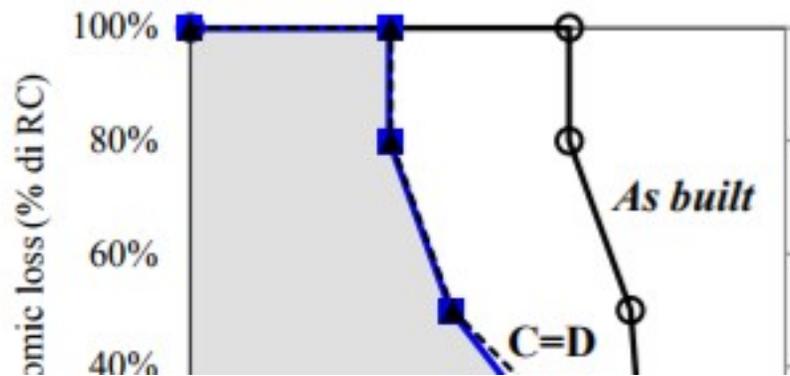
A4. Isolamento sismico alla base T=1,39 s





As Built
PAM=1,85%

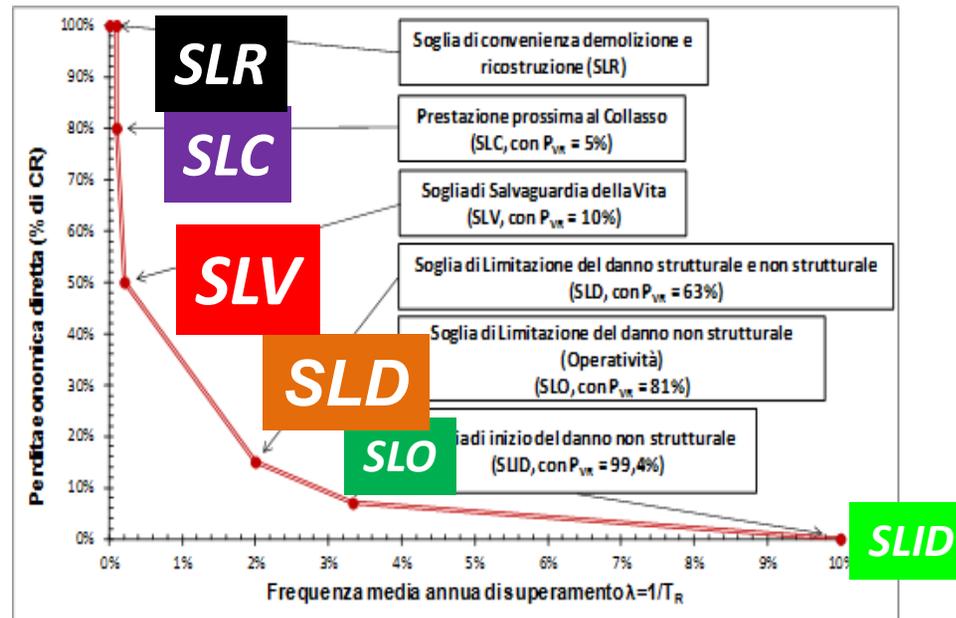
C



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

Table 13. Ranking of alternatives for

	Decision maker 1				D
	S_{i^*}	S_{i^-}	C_{i^*}	Rank	
A ₁	0.03	0.29	0.90	I	0.11
A ₂	0.29	0.05	0.16	IV	0.21



$$PAM = 0,4965 * \lambda_{SLV} + 0,34025 * \lambda_{SLD} + 0,0035$$

Esempio struttura esattamente a norma:

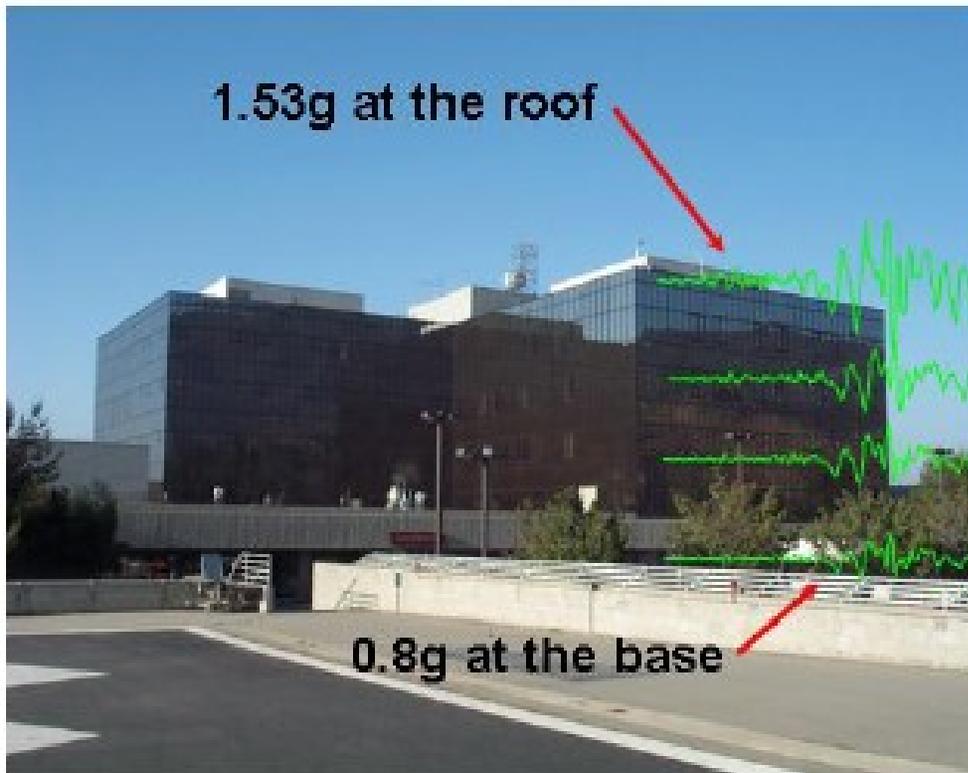
$$PAM = 0,4965 * 1/475 + 0,34025 * 1/50 + 0,0035 = 0,104\% + 0,6805\% + 0,35\% = 1,1345\%$$

PESI PERCENTUALI

$$PAM \leftrightarrow 9\% _ 60\% _ 31\%$$

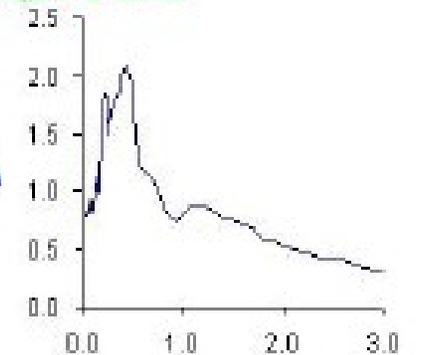
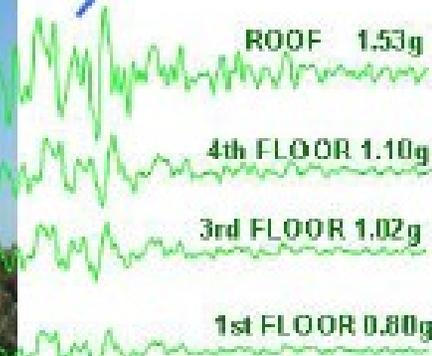
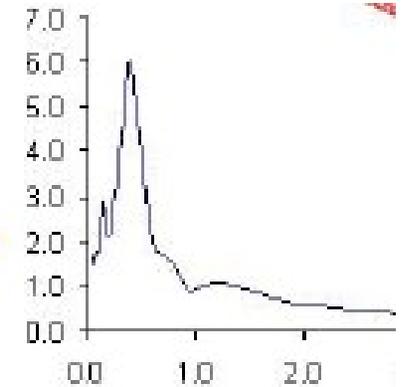
20 anni dopo ... 1994, Terremoto di Northridge

Olive View Medical Center in Sylmar, CA
1994 Northridge earthquake



Olive View Hospital

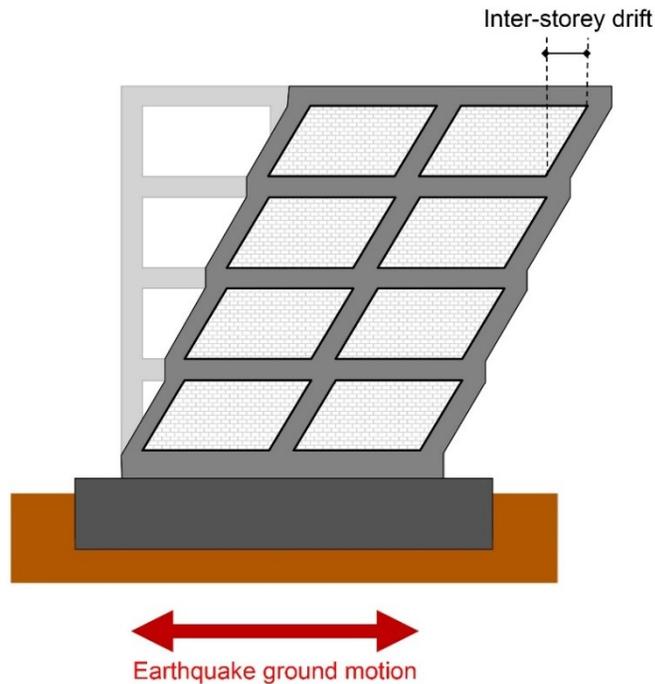
(Instrumentation by CSMIP-CGS)
(Photo by E. Miranda)



Eduardo Miranda, Stanford University, USA



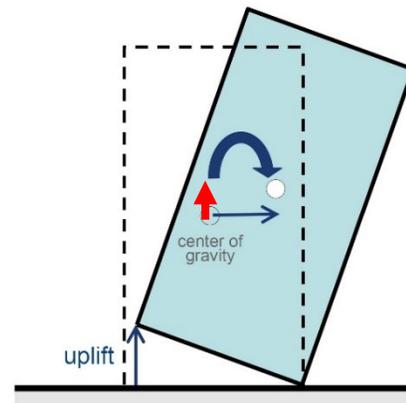
GLI INDICI DI DANNO



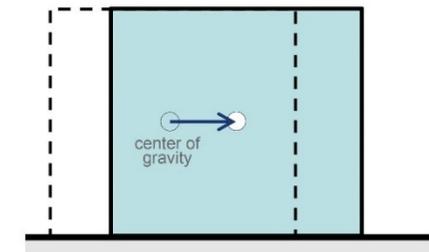
SLD

**Spostamenti relativi di piano /
RIGIDEZZA**

Overturning of slender objects



Sliding of stocky objects



Earthquake ground motion

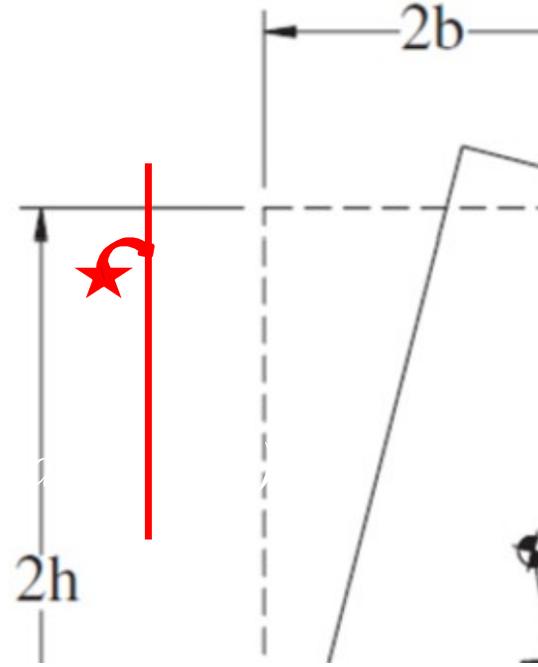
SLO

- 1) Rottura sostegni apparecchiature:
Accelerazioni/Spostamenti
- 2) inizio Rocking e Sliding:
accelerazione
- 3) Ribaltamento: **velocità angolare**

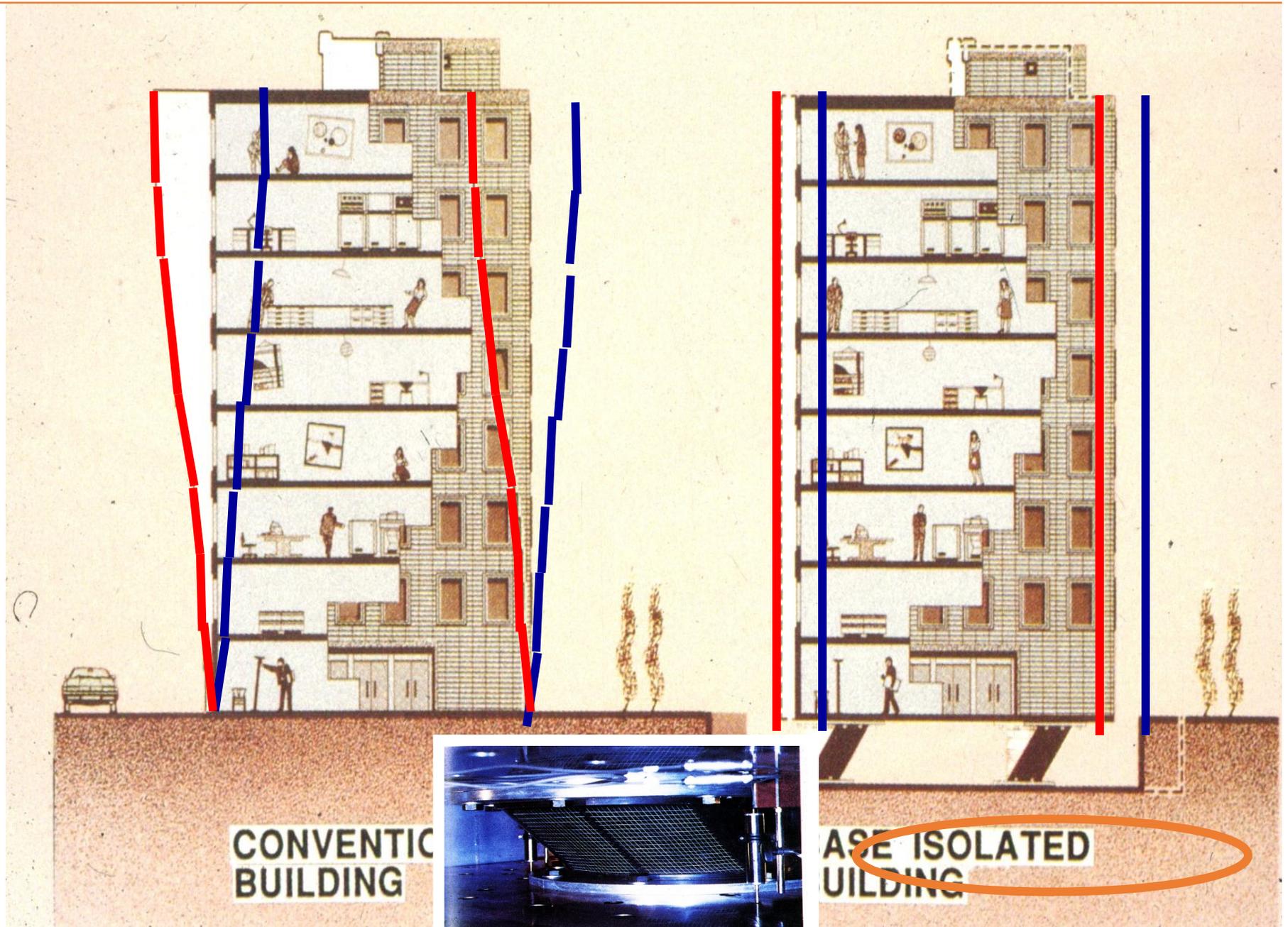
Modello

POST-ROCKING

Technology Council, 20

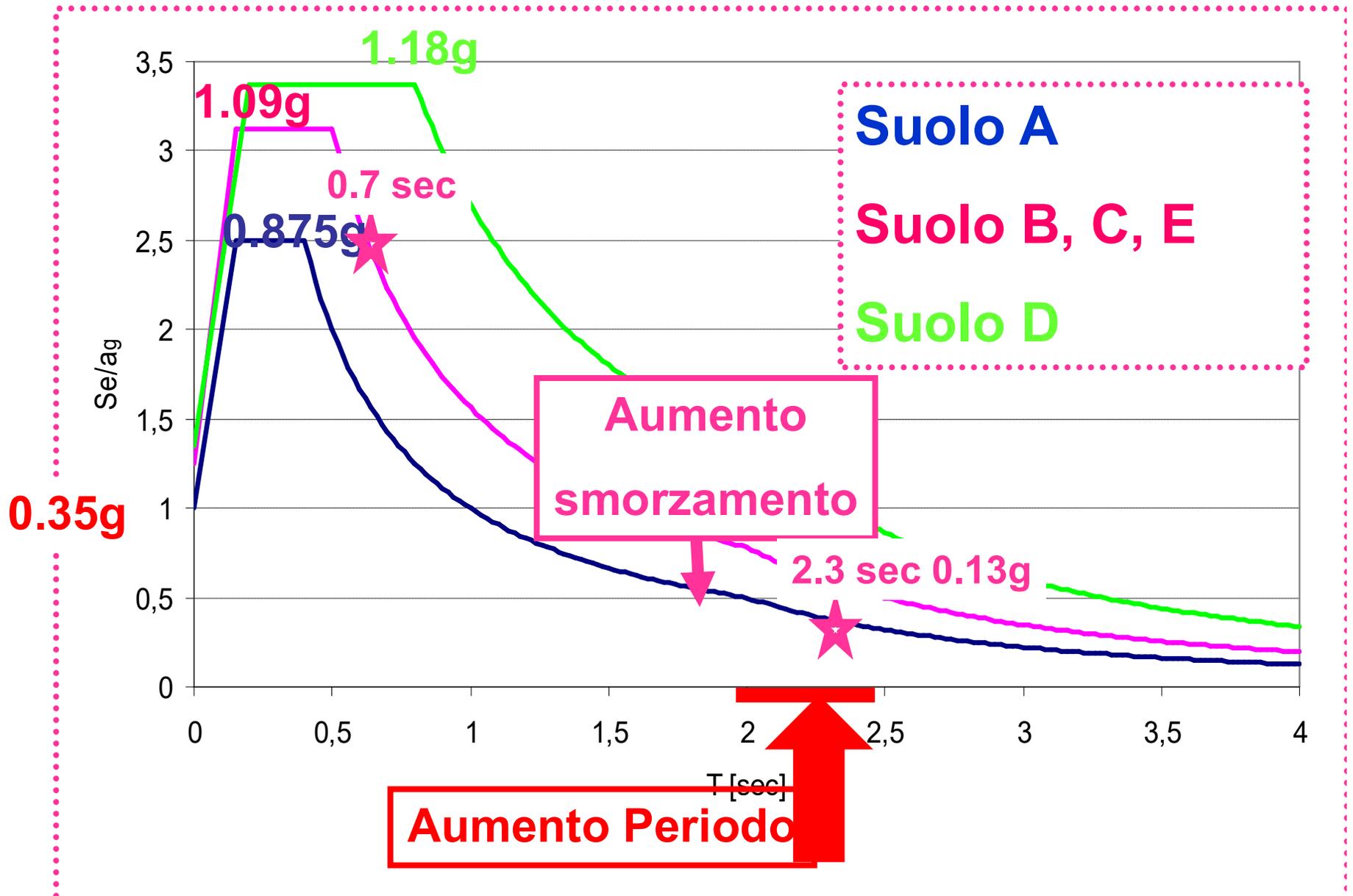


NUOVE TECNOLOGIE: ISOLAMENTO alla Base



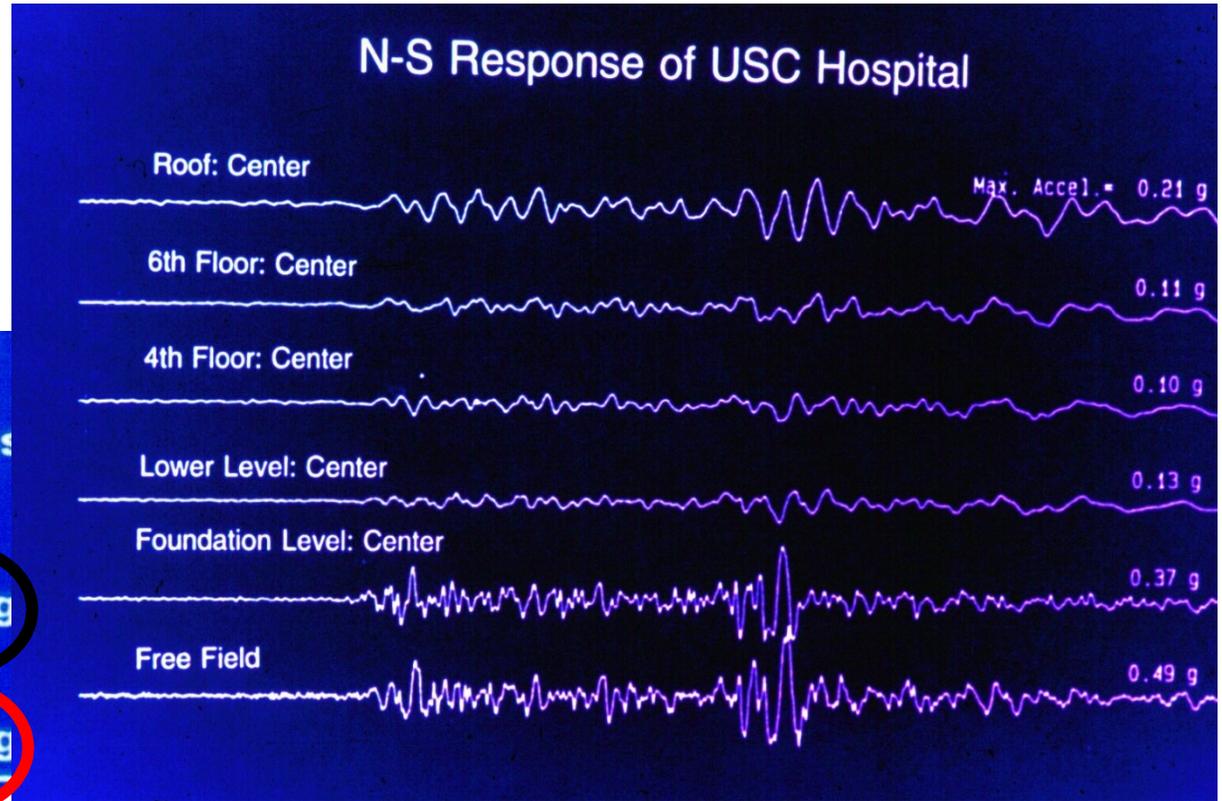
Spettri elastici

zona 1

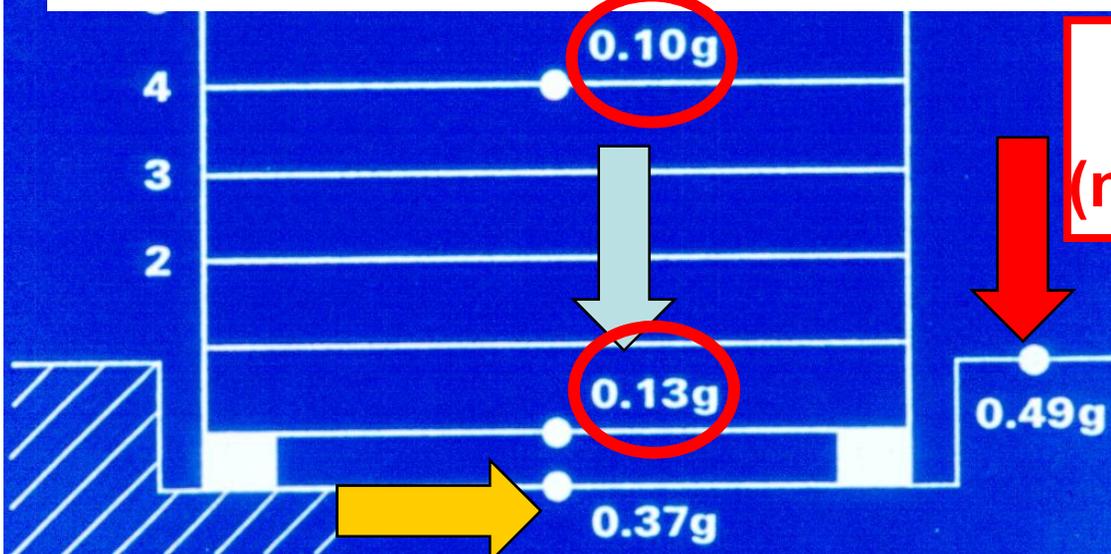


**Verifica “sperimentale”:
Il terremoto di Northridge**

**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

**Progettazione
antisismica per
strutture nuove
ed esistenti e
riferimenti
normativi**

02 Marzo 2020

ore 14:30

Sala Milone della BPER
Banca Crotona
Piazza Antonio Gramsci, 2



Salt

Ing. A

Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Prov