



ORDINE  
INGEGNERI della PROVINCIA  
BARLETTA  
ANDRIA  
TRANI

con il contributo di



ORGANIZZA  
SEMINARIO FORMATIVO

# VULNERABILITÀ SISMICA DELLE COSTRUZIONI ESISTENTI E LORO MIGLIORAMENTO

Le novità della Circolare applicativa delle NTC 2018

**17 FEBBRAIO 2020**

**Palazzo San Giorgio - via S. Giorgio, 26 - Trani (BT)**

ore 14.30 Registrazione dei partecipanti

ore 15.00 Saluti iniziali: Ing. Sebastiano Manta

ore 15.15 Intervento: Prof. Ing. Edoardo Cosenza, Università di Napoli  
Federico II, Presidente Ordine Ingegneri della provincia di  
Napoli

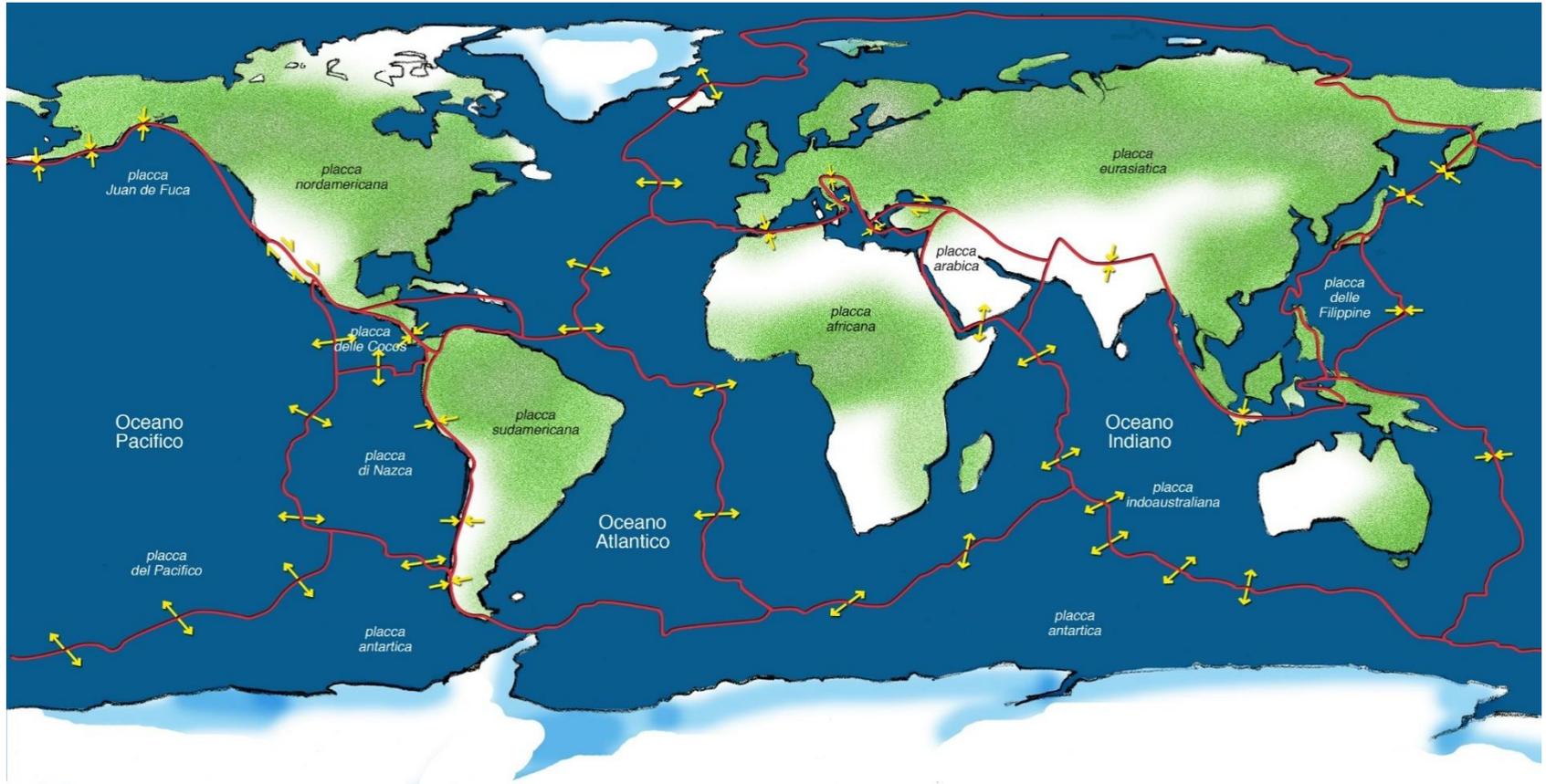
ore 16.30 Intervento: Prof. Ing. Marco Di Ludovico, Università di Napoli  
Federico II

Ore 17.45 Dibattito e Conclusioni

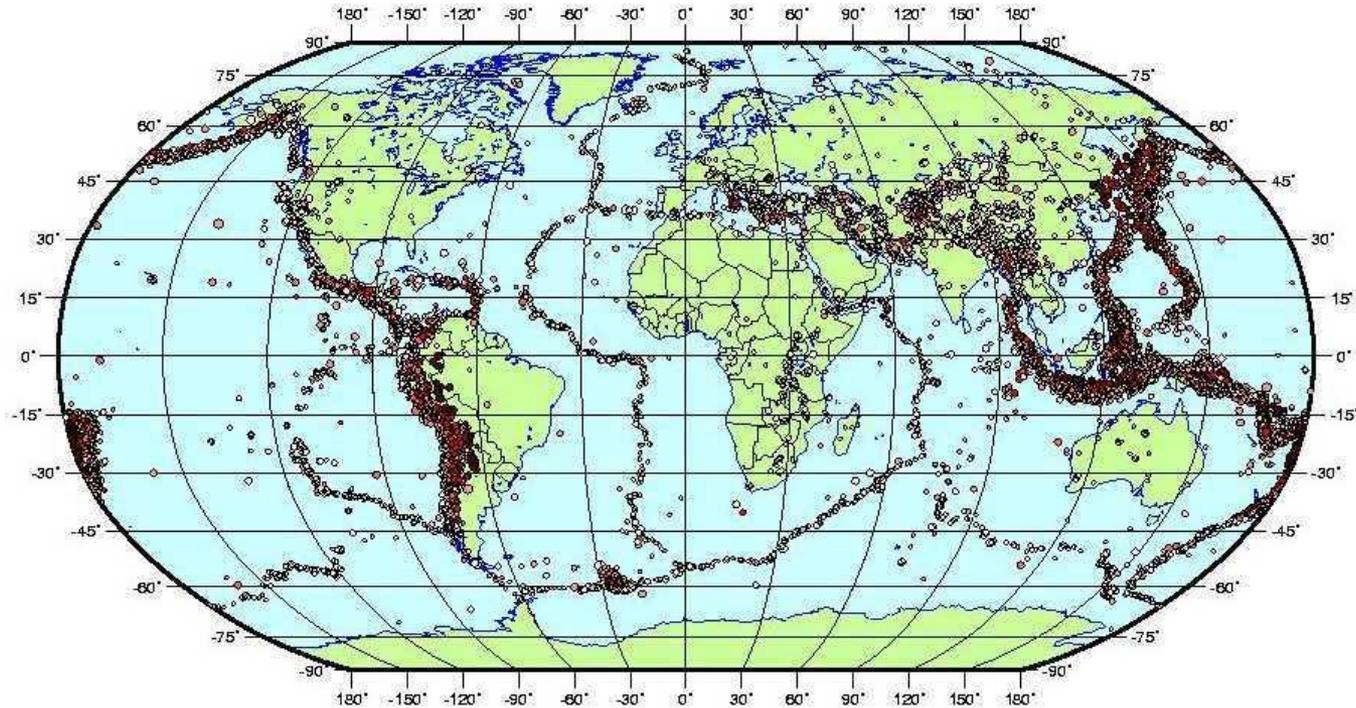
Ore 18.30 Fine lavori

Il seminario è gratuito e dà diritto al riconoscimento di 4 CFP

Per info ed iscrizioni: <https://bat.ordinequadrocloud.it/ISFormazione-BAT/index.xhtml>



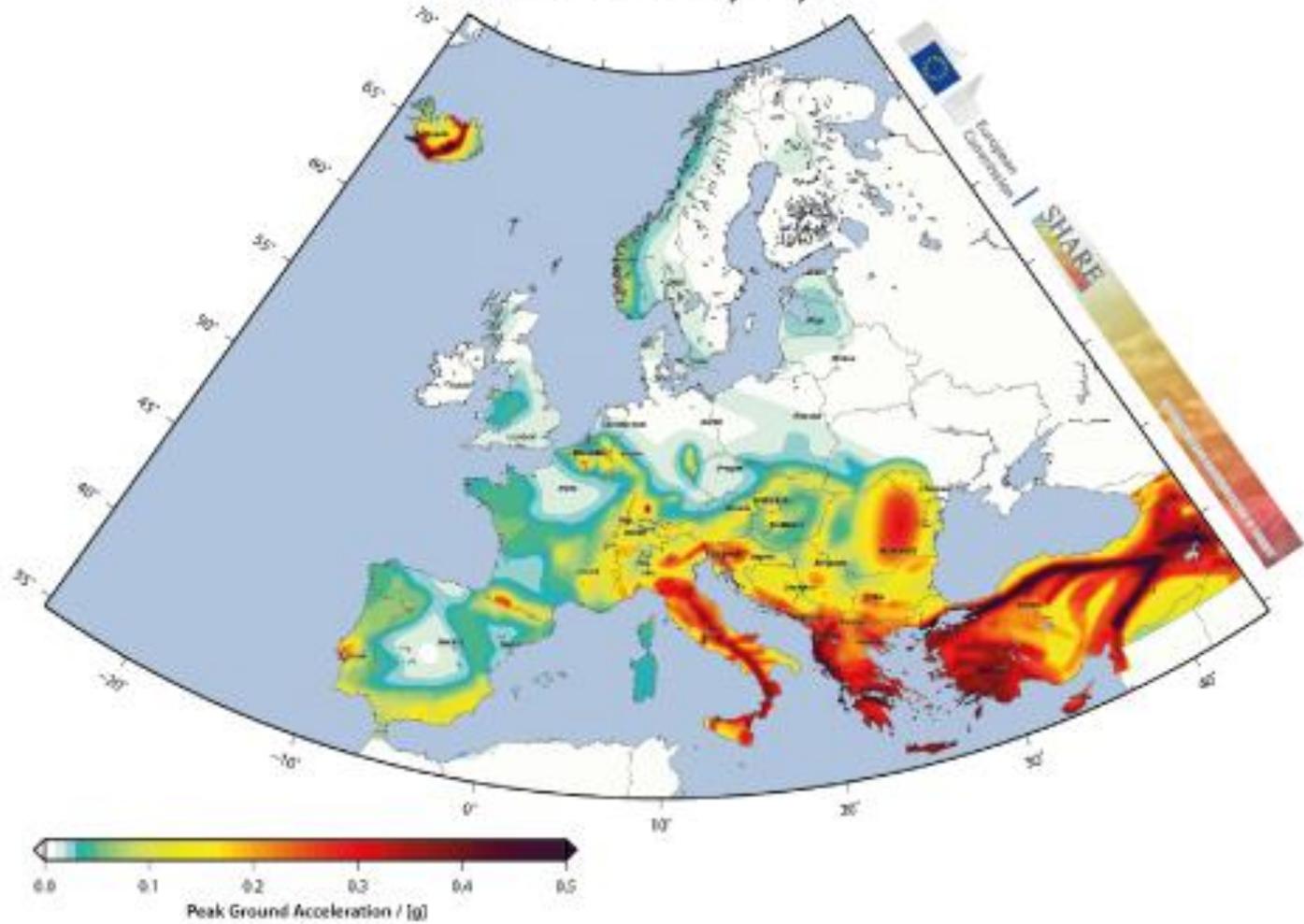
## Distribuzione terremoti nel mondo / placche tettoniche

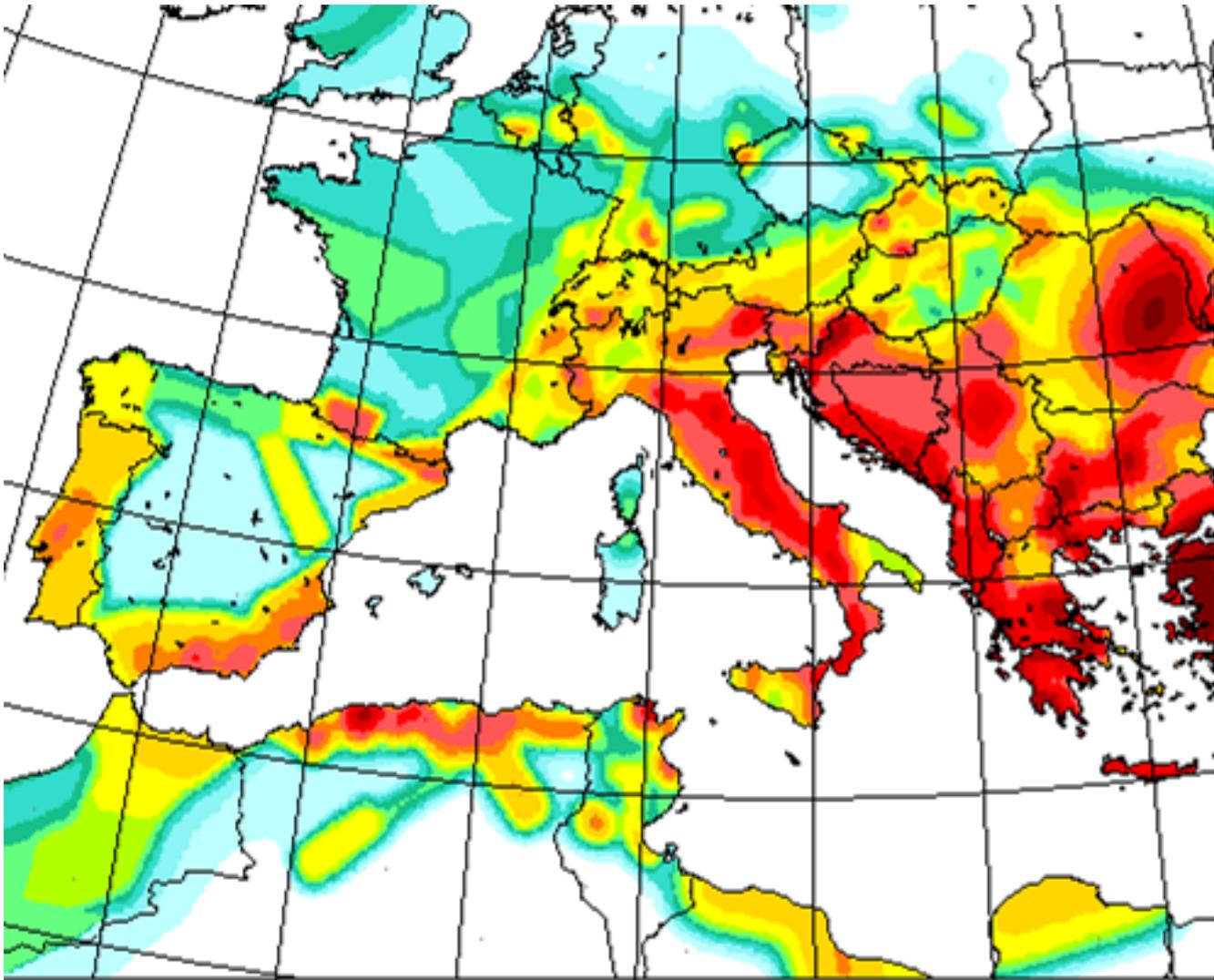


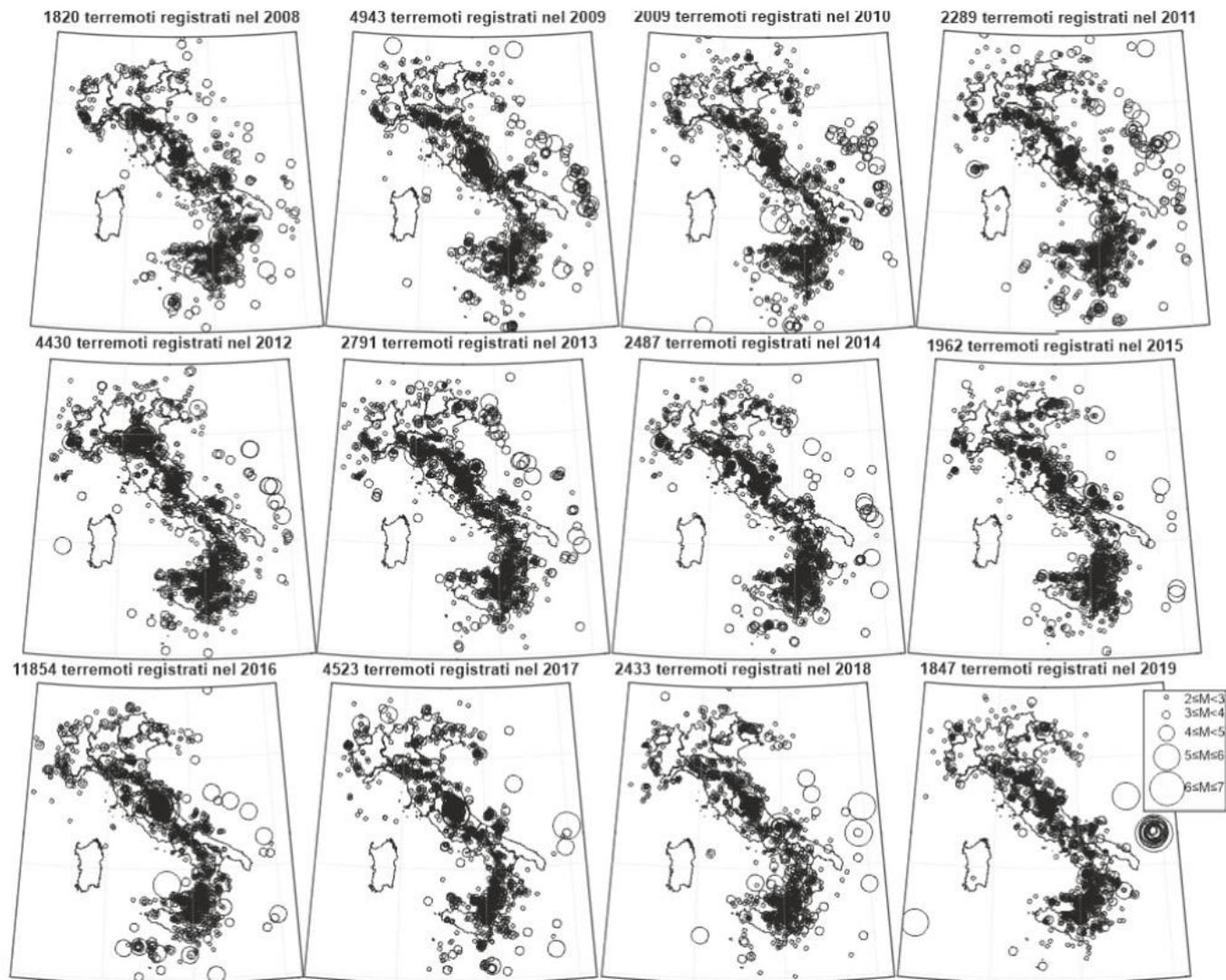
**I lenti movimenti delle placche fanno avvenire i terremoti, principalmente al confine fra le placche stesse**



### 10% Exceedance Probability in 50 years



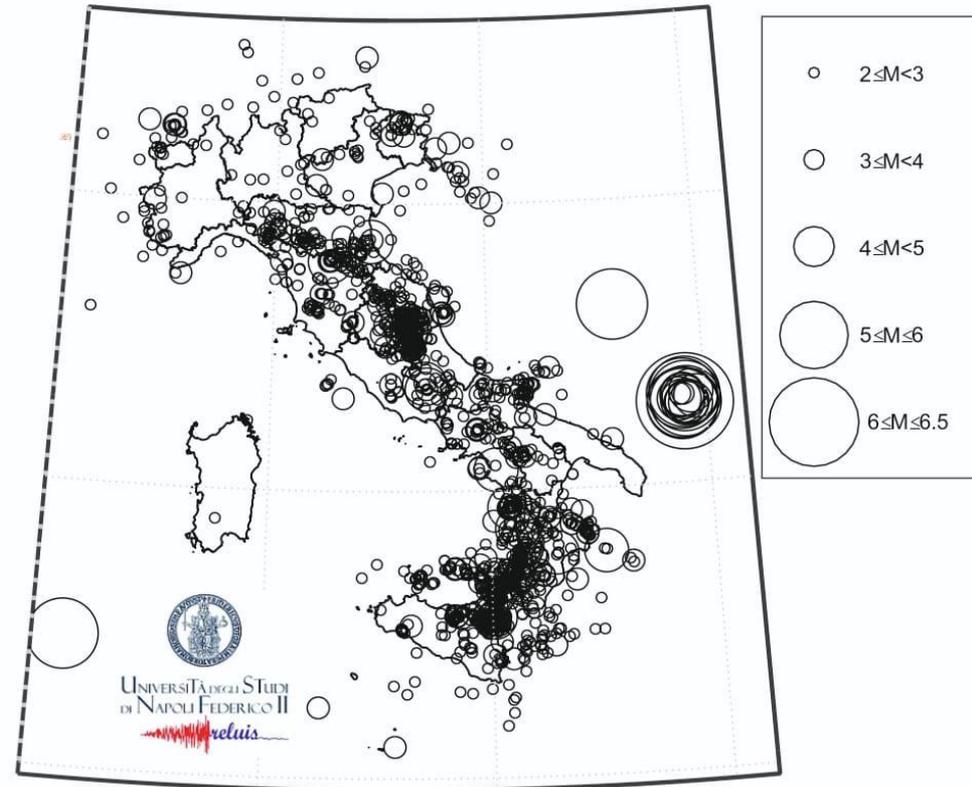
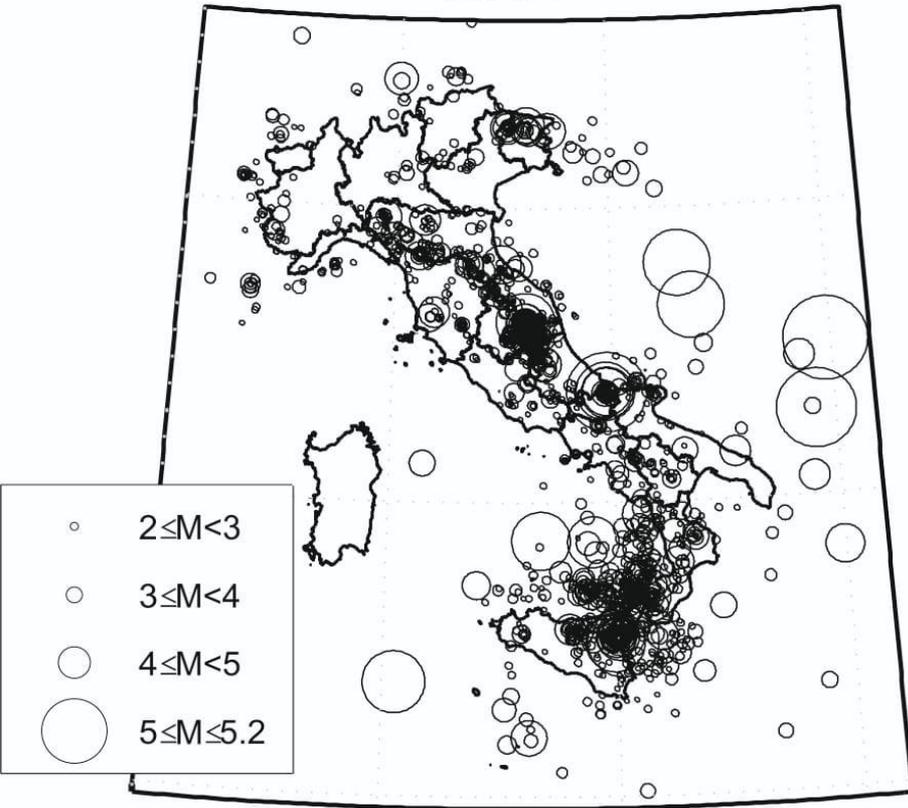


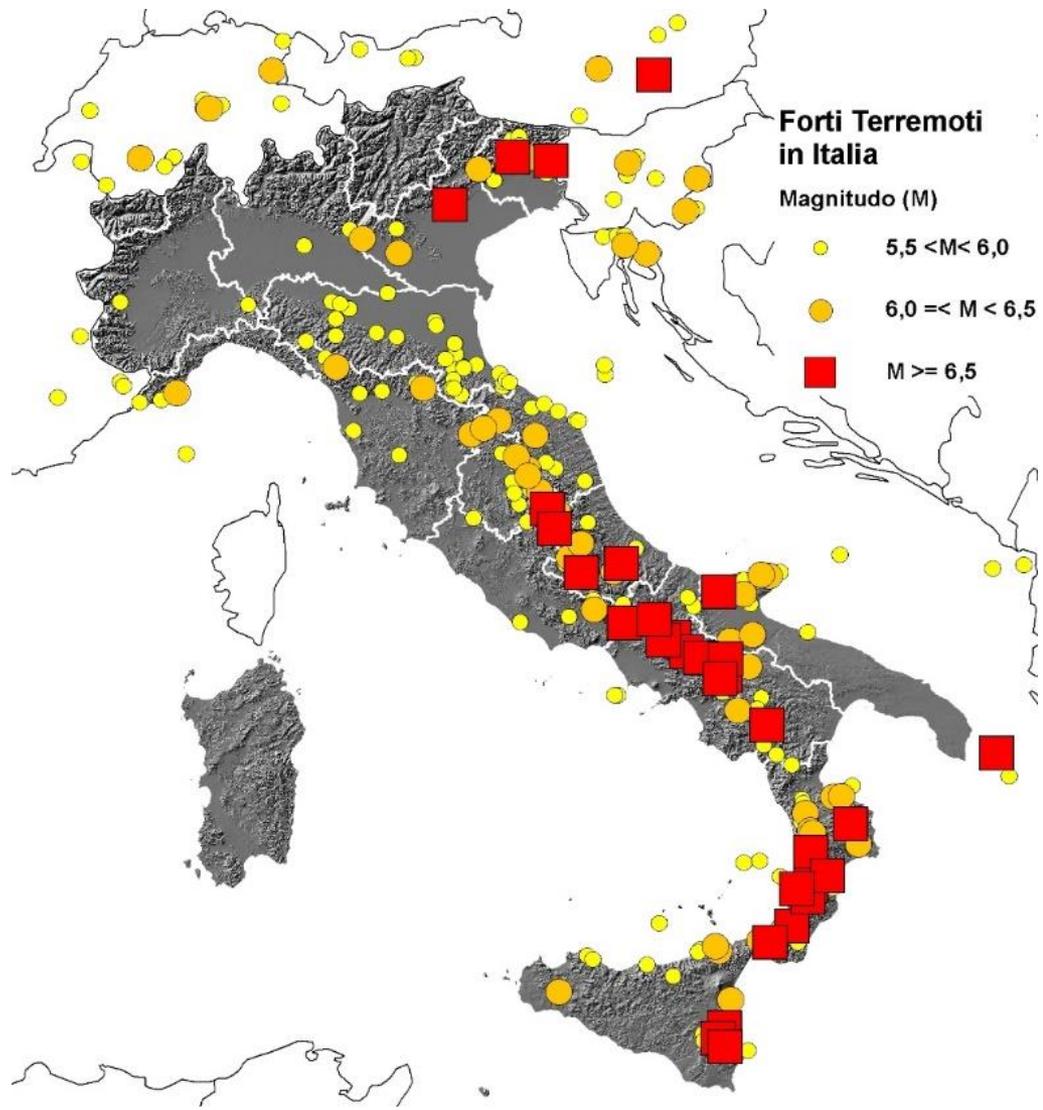


**Figura 2. Distribuzione spaziale dei terremoti in Italia negli ultimi dodici anni.**

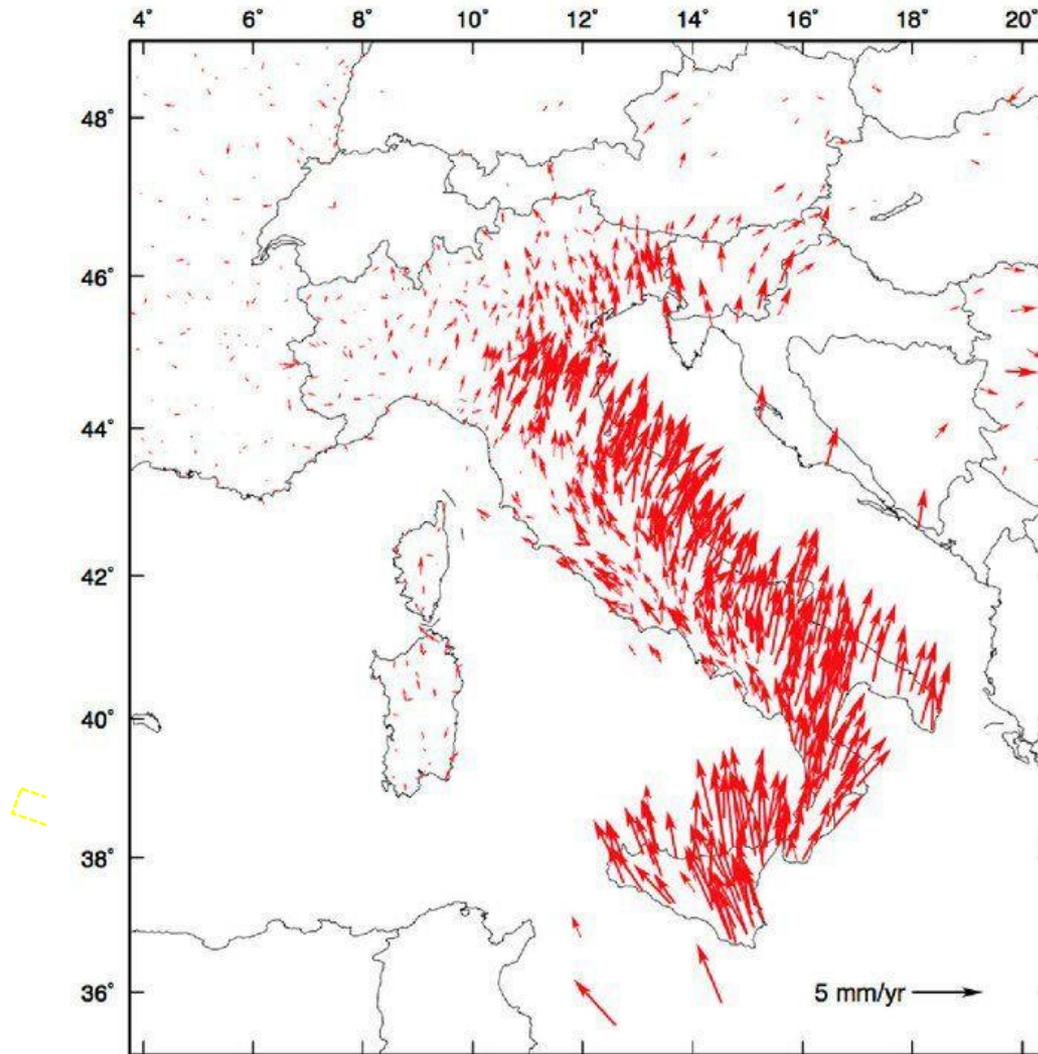
2018

2019





## CAMPO DI VELOCITA', INGV\_CNT



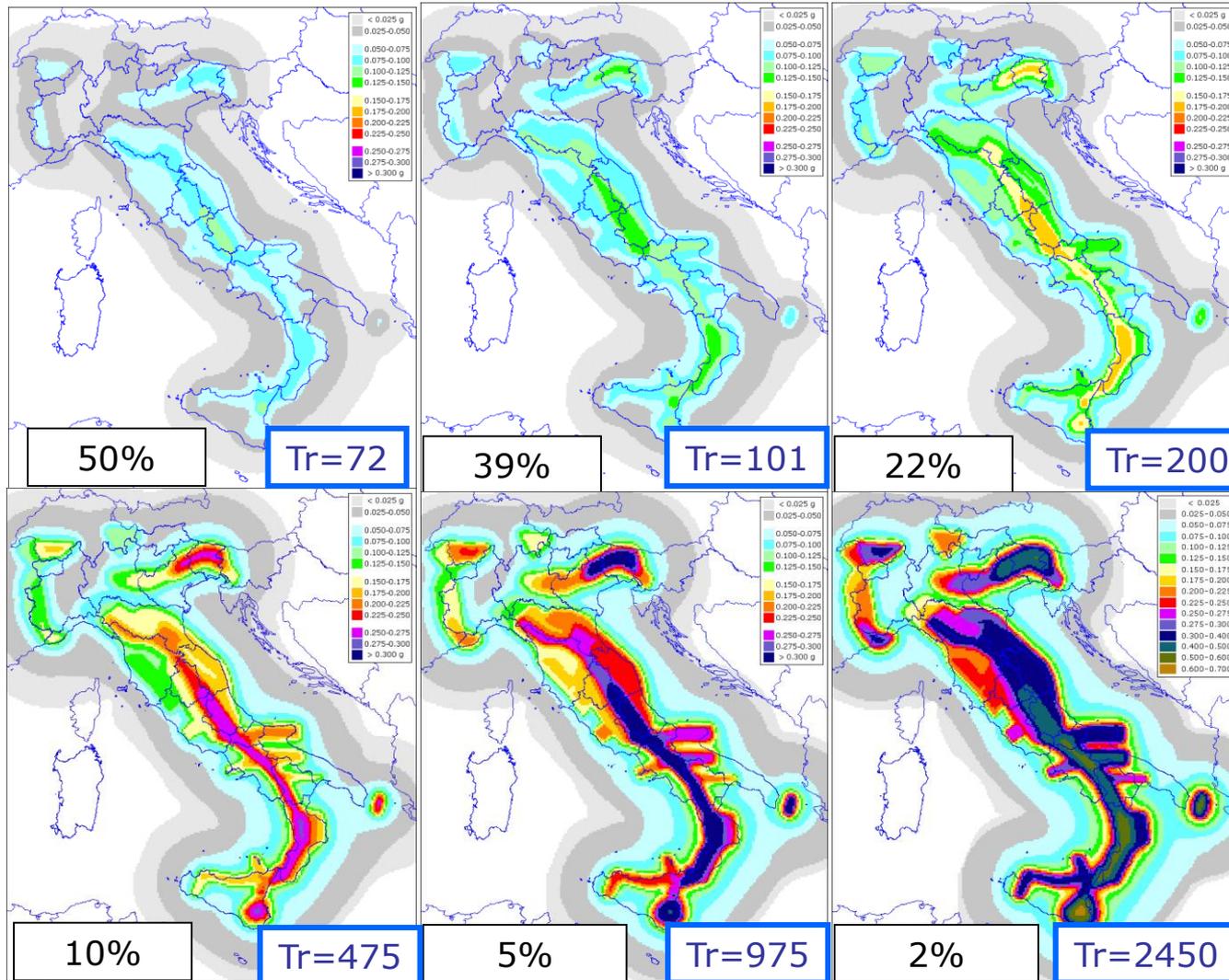
### GPS data

- GPS velocity field from CNT-Geodetic Analysis Working Group (Devoti et al., 2016)
- 934 continuous CGPS
- Min. obs. interval 3.5 yrs
- 84 stations excluded (volcanic areas, discrepant with regional velocity)

# 9 Mappe di pericolosità INGV \_ DPC \_ NTC

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

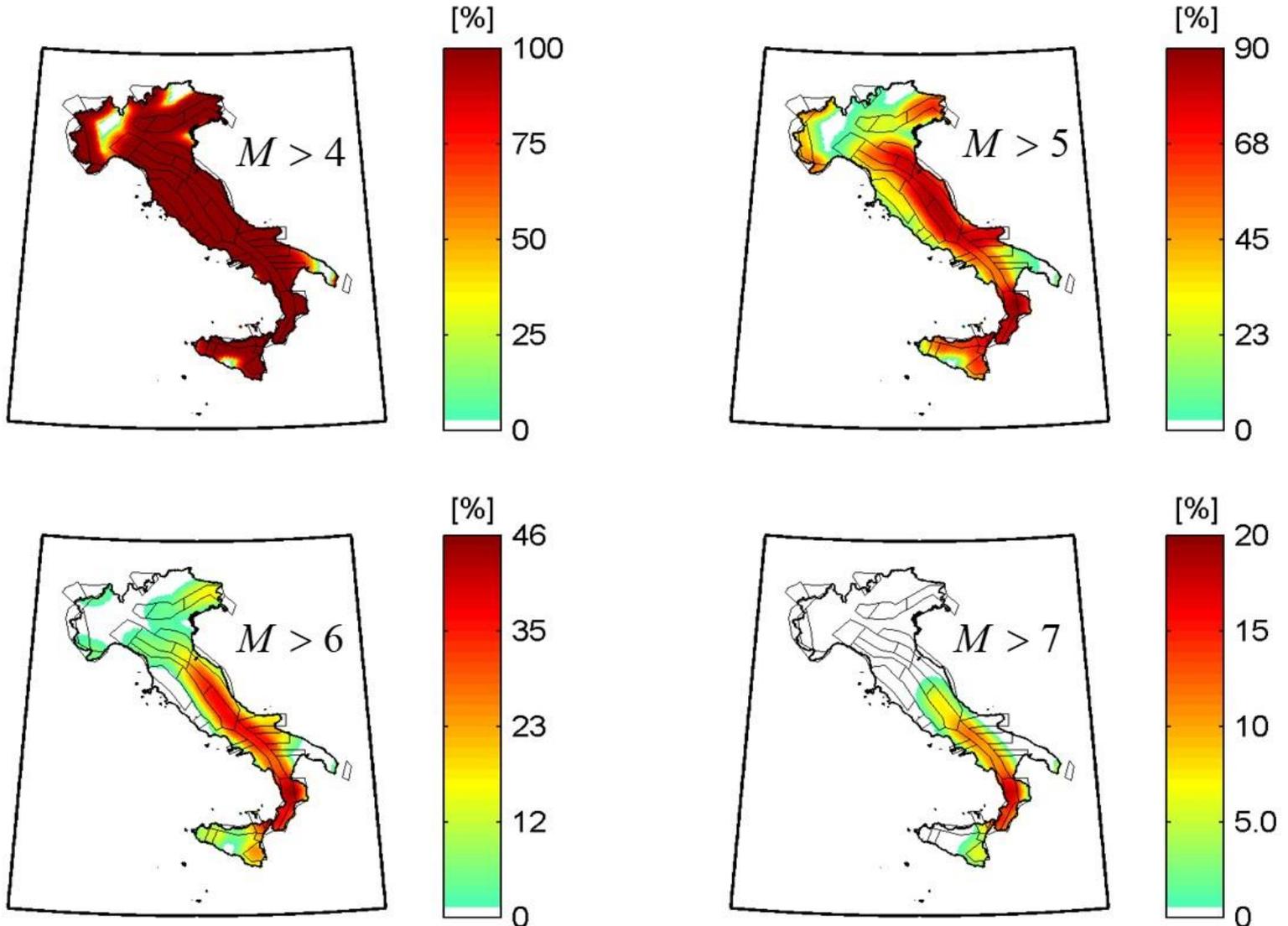
Probabilità superamento in 50y: 81%, 63%, 50%, 39%, 30%, 22%, 10%, 5%, 2%



## 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

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





## 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**
- ...

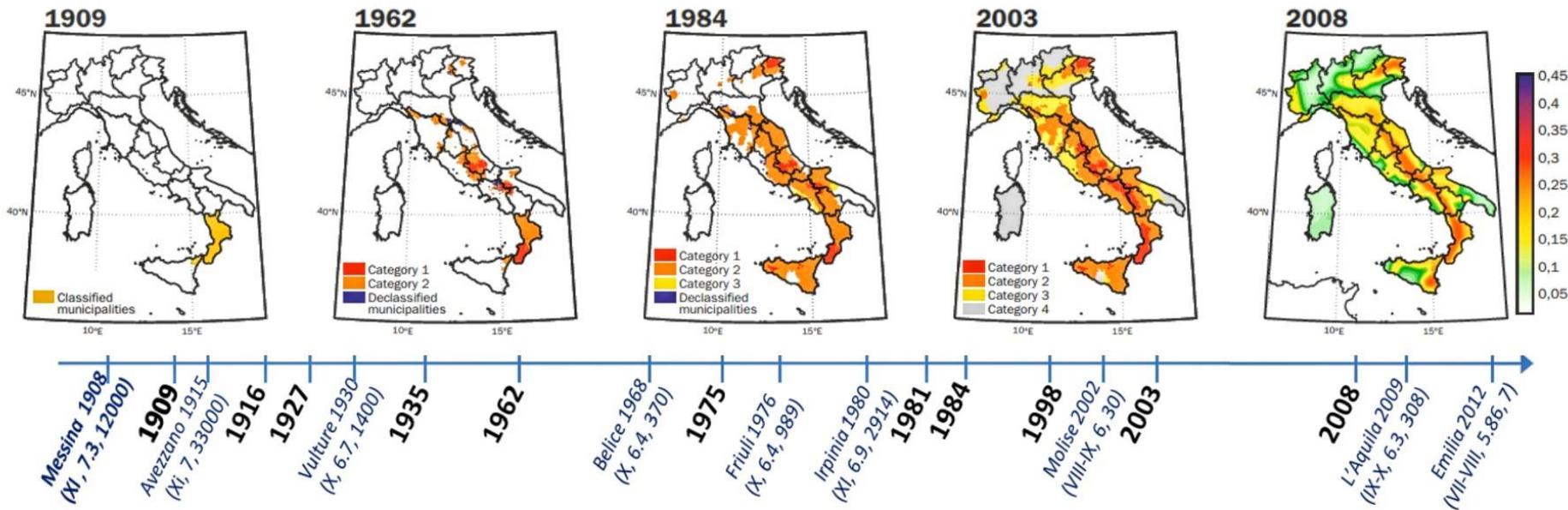


Figure from: Iervolino, I., Petruzzelli, F. (2011) NODE v.1.0 beta: attempting to prioritize large-scale seismic risk of engineering structures on the basis of nominal deficit, atti di XIV Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", ANIDIS. [http://wpage.unina.it/iuniervo/papers/Petruzzelli\\_Iervolino\\_ANIDIS\\_2011.pdf](http://wpage.unina.it/iuniervo/papers/Petruzzelli_Iervolino_ANIDIS_2011.pdf)

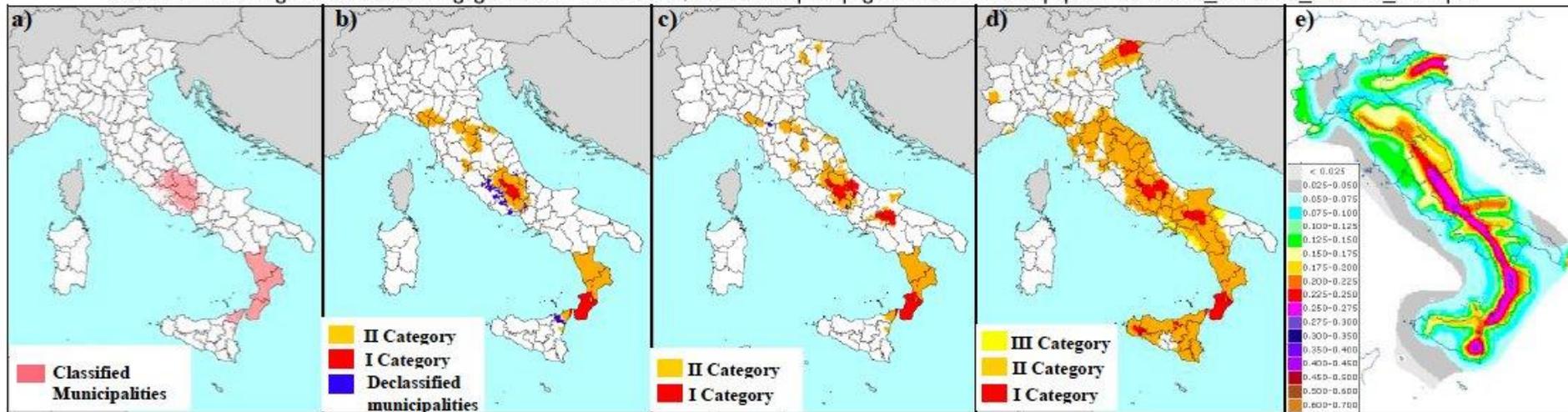


Figure 2. Italian seismicity map after year 1915 (a), 1927 (b), 1962 (c), 1984 (d) and 2009 (e) codes. The latter is based on PGA on rock with 10% exceedance probability in 50 yr .

# 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 $V_R$ <b>= 50 anni</b>		
Stati limite di esercizio	SLO	$\lambda = 3,33\%$	81%	<b>Tr= 30 anni</b>
	SLD	$\lambda = 2\%$	63%	<b>Tr= 50 anni</b>
Stati limite ultimi	SLV	$\lambda = 0,21\%$	10%	<b>Tr= 475 anni</b>
	SLC	$\lambda = 0,1025\%$	5%	<b>Tr= 975 anni</b>

**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 <sup>(*)</sup>
SLE	SLO							
	SLD	RIG	RIG			RIG		FUN
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT <sup>(**)</sup>			DUT <sup>(**)</sup>		

(\*) 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



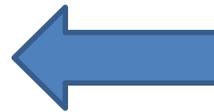


## VERIFICHE DI RESISTENZA E VERIFICHE DI DUTTILITA'

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;

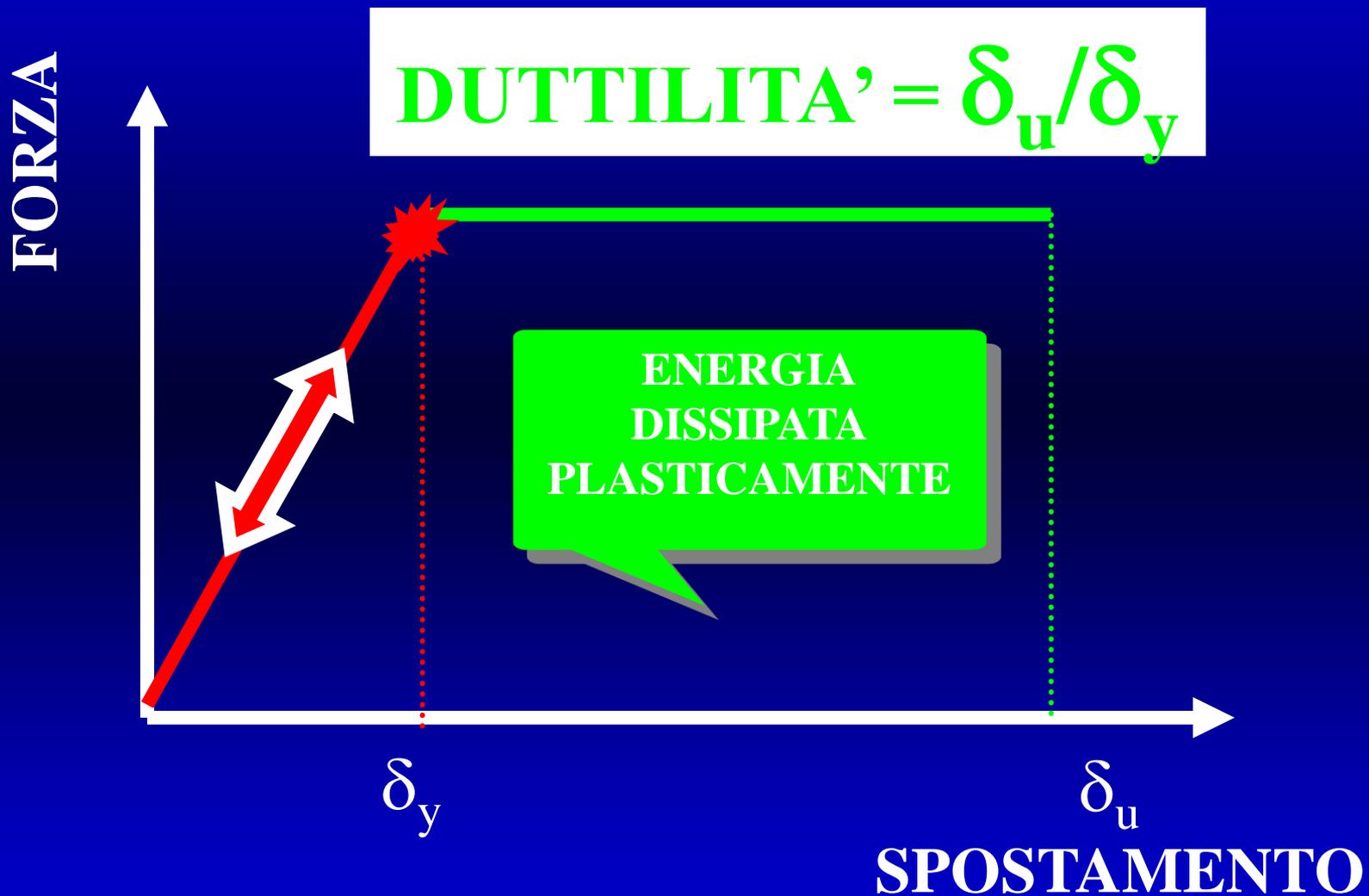
$M_{Ed}$  è il valore di progetto del momento di domanda;

$\mu_{\phi}$  è il valore di progetto della duttilità di curvatura corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

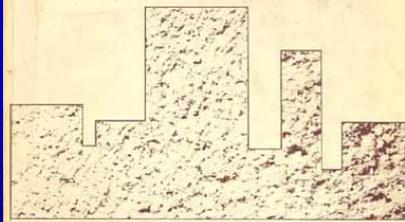
$\mu_{Ed}$  è la domanda in termini di duttilità di curvatura.

**Comportamento elastico-lineare (FRAGILE !!)**

**Comportamento elastico-plastico ( duttile)**



R. Park and T. Paulay

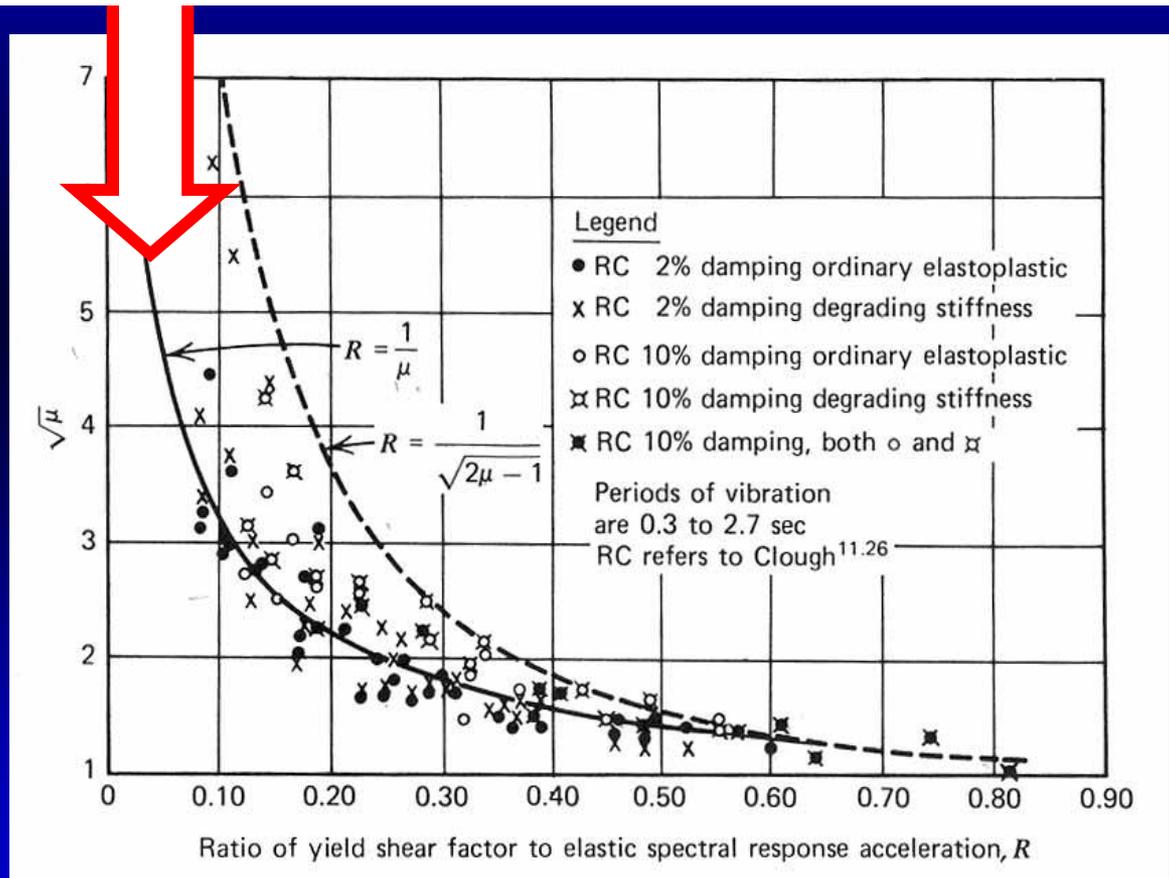


# REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

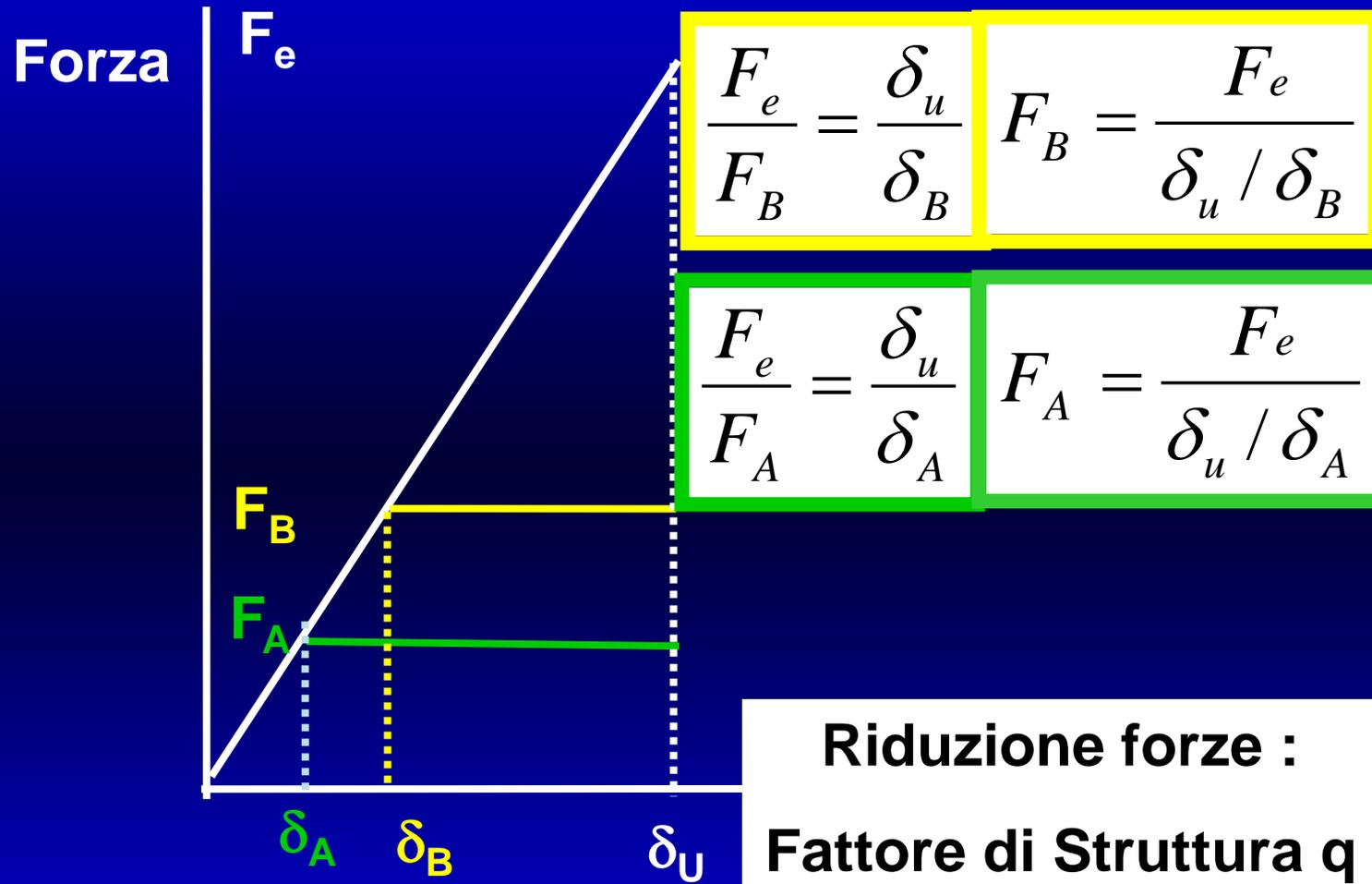
Park & Paulay

1975

## CRITERIO DELLO STESSO SPOSTAMENTO



# Comportamenti sismicamente equivalenti (criterio max spostamento)

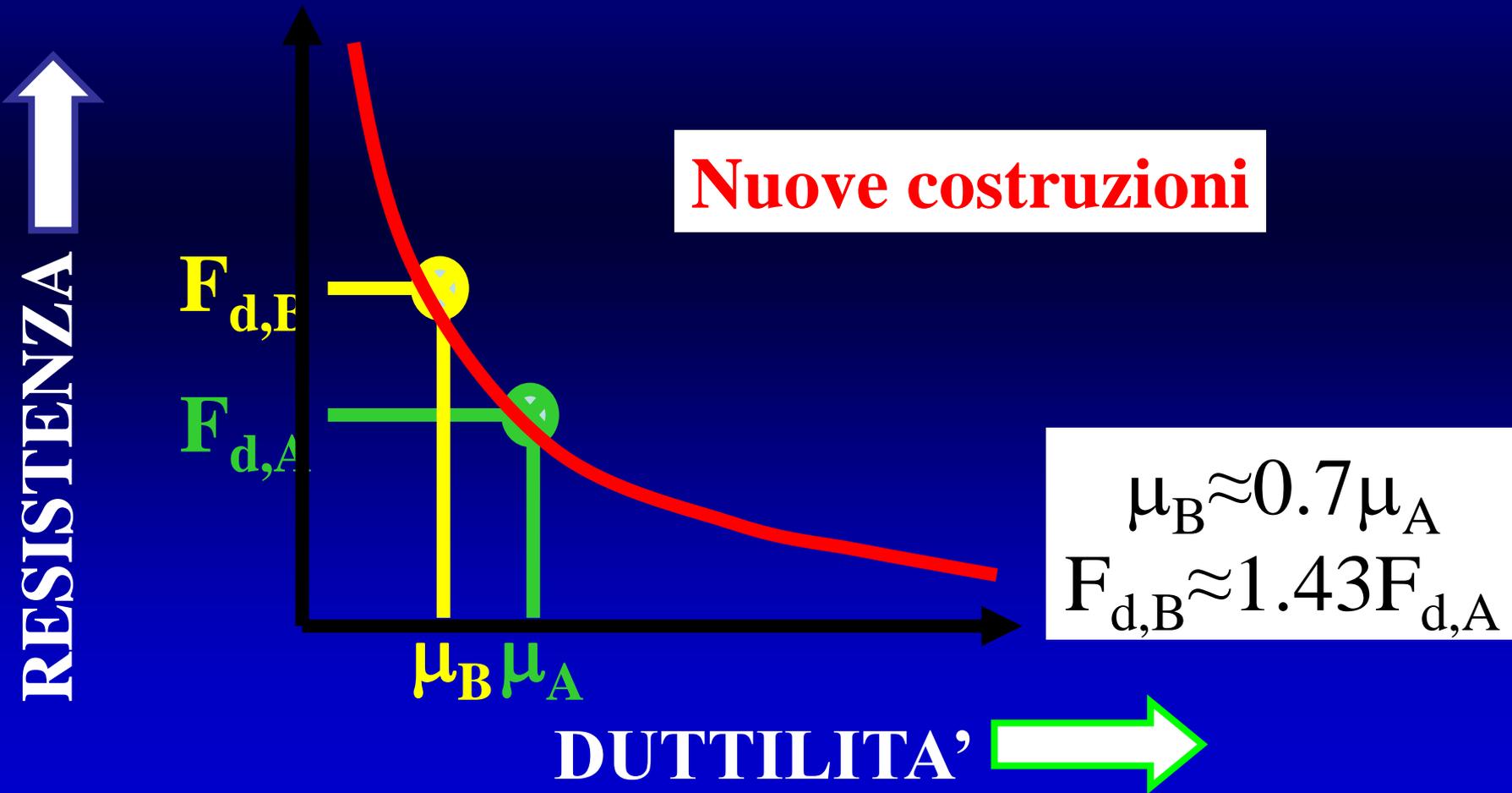


**Riduzione forze :**  
**Fattore di Struttura q**  
 =  
**Duttilità**

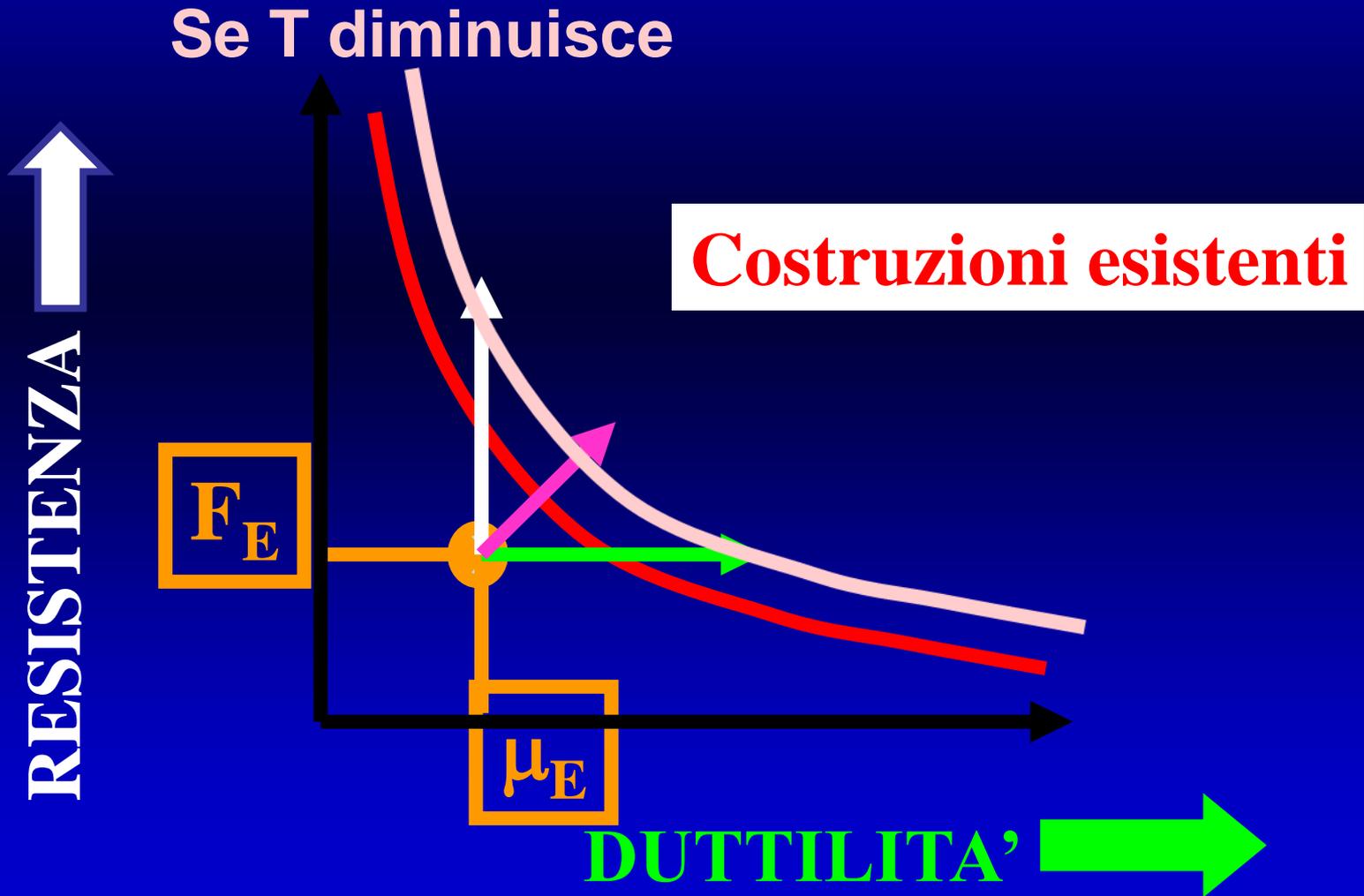
$$F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m$$

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

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



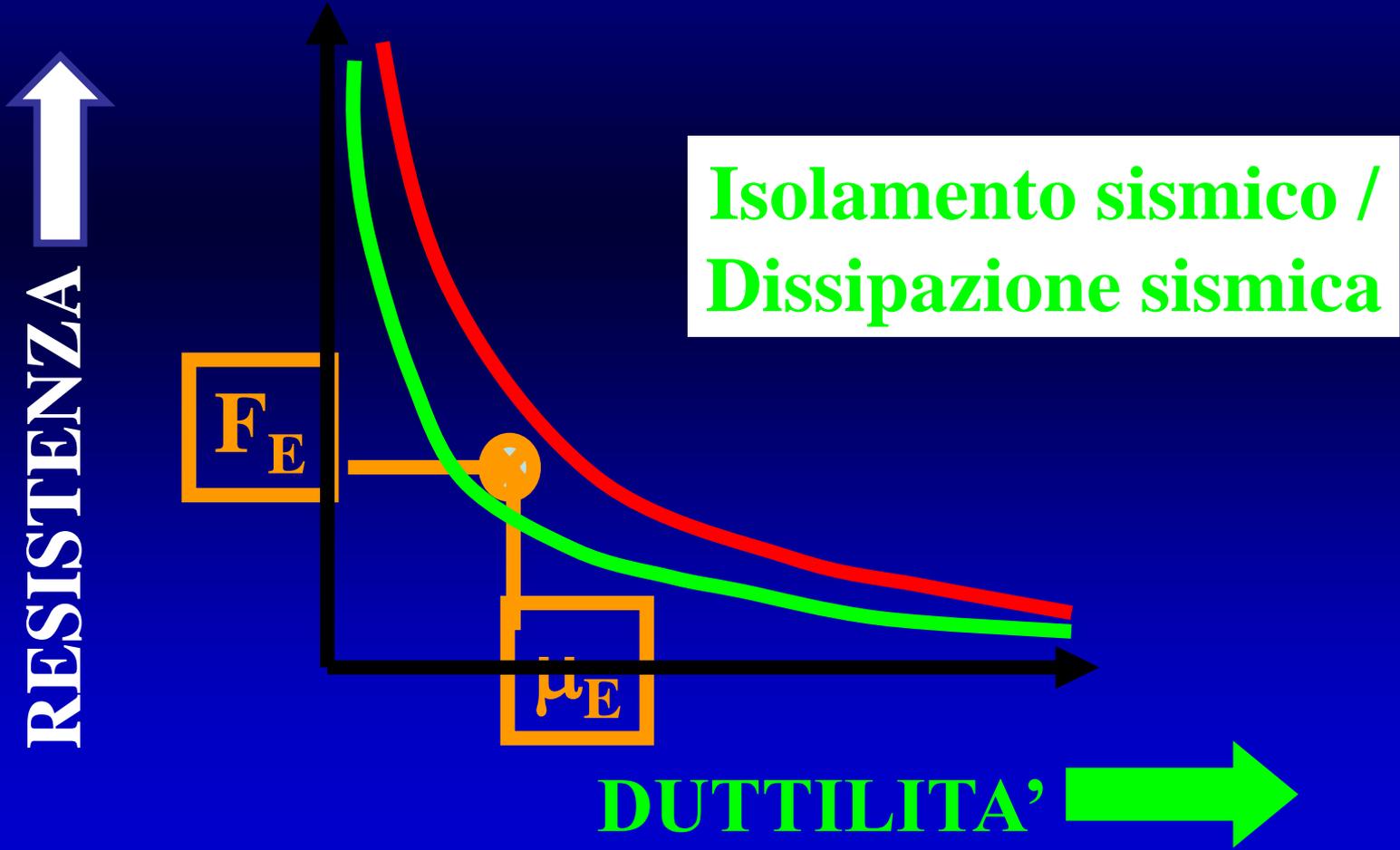
$$F_d \cdot \mu = F_e = a_g \cdot S \cdot S_e(T) \cdot m = \text{costante}$$



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

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

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



# Heavy reconstruction – Repair & Strength. Costs

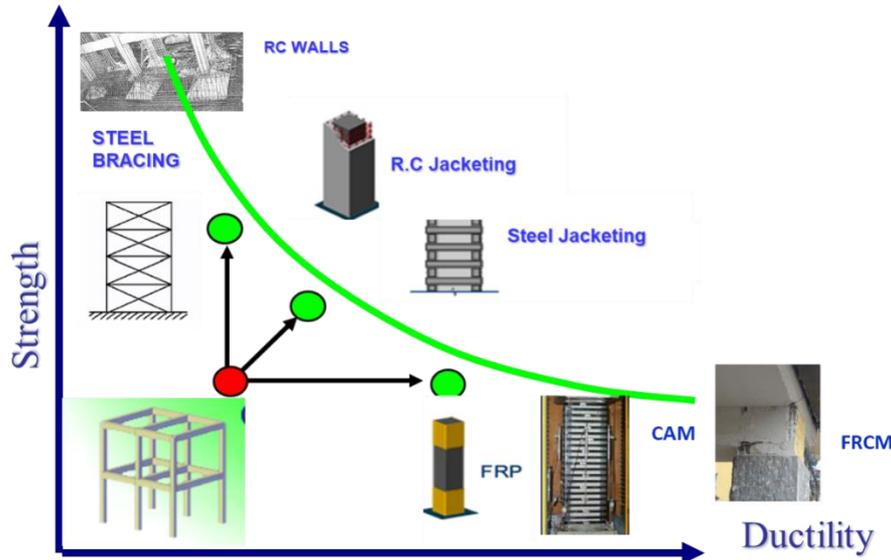
- R.C. Private buildings

**Buildings E :** • RC Buildings

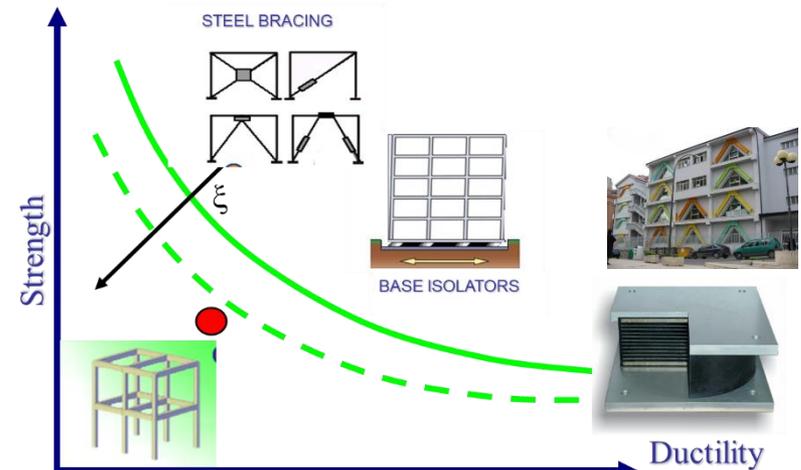
- Repair mean costs: 533 €/m<sup>2</sup>
- Seismic strengthening mean costs: 309 €/m<sup>2</sup>

✓ 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

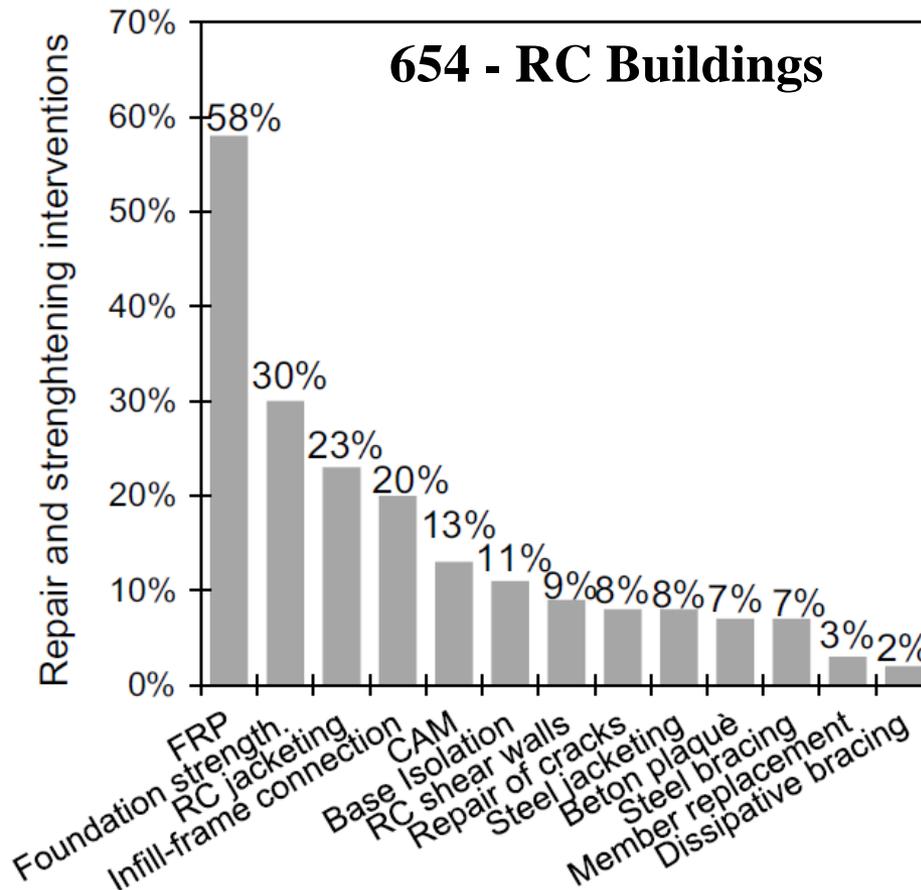


# Heavy reconstruction – Repair & Strength. Costs

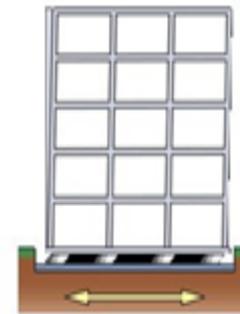
- R.C. Private buildings

## Buildings E :

- Repair mean costs: 533 €/m<sup>2</sup>
- Seismic strengthening mean costs: 309 €/m<sup>2</sup>



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

# 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

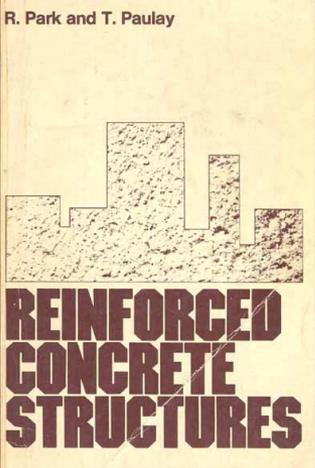
**DA REGOLA: IS-V POST INTERVENTO > 60%**

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

**Costo medio aggiuntivo 4,4 euro/mq**

# Olive View Hospital San Fernando earthquake 1971





1975

## Meccanismo di piano

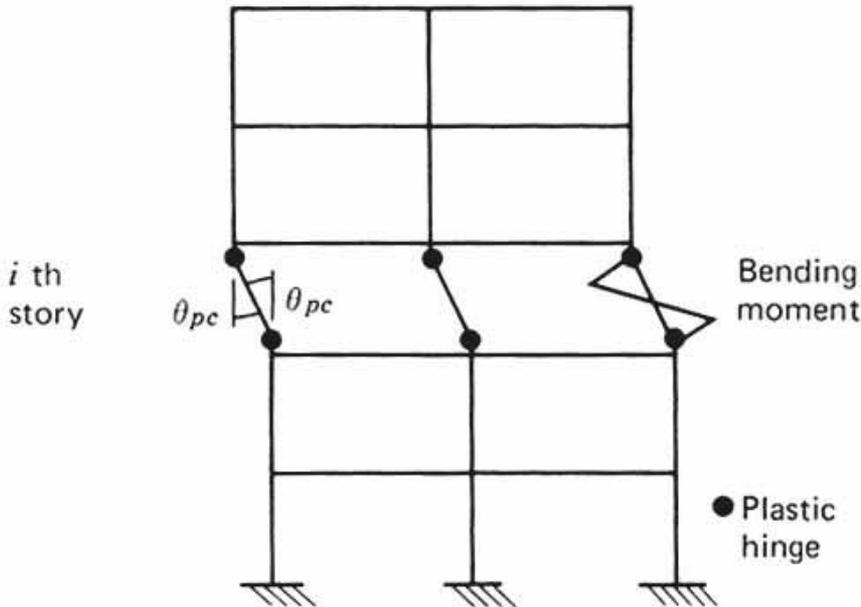


Fig. 11.29. Column sidesway mechanism in *i*th story

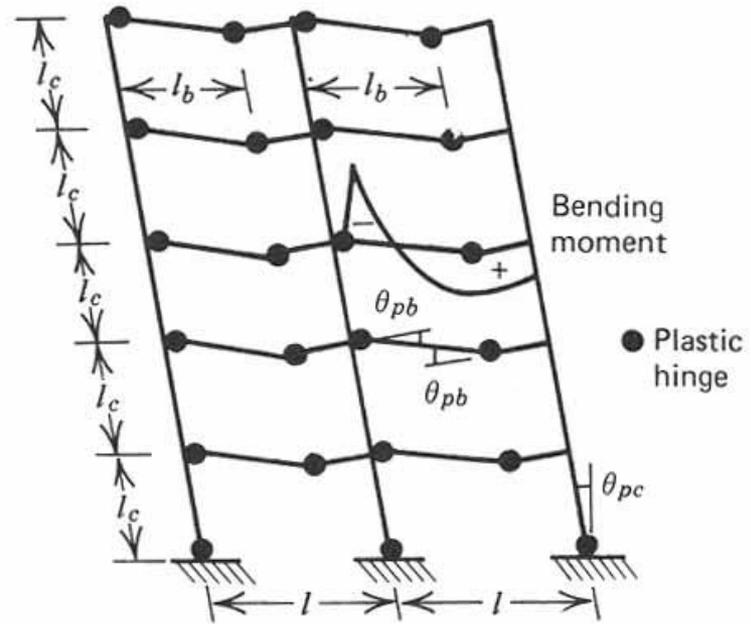


Fig. 11.31. Beam sidesway mechanism.

## Meccanismo globale

### Meccanismo globale:

20 cerniere plastiche duttili

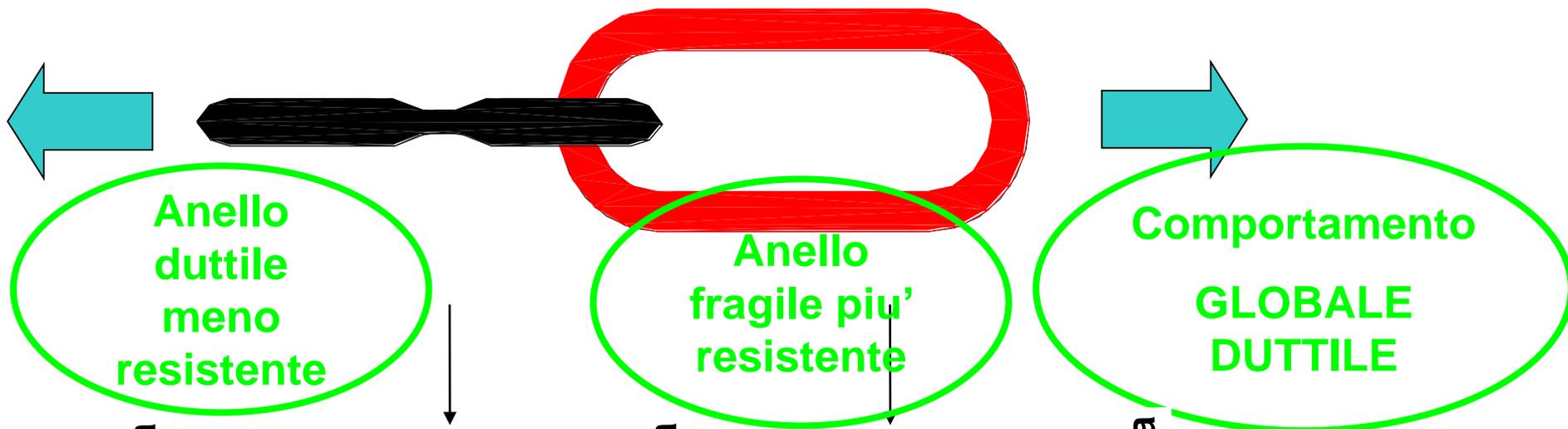
Poi 3 cerniere plastiche fragili

### Meccanismo di piano:

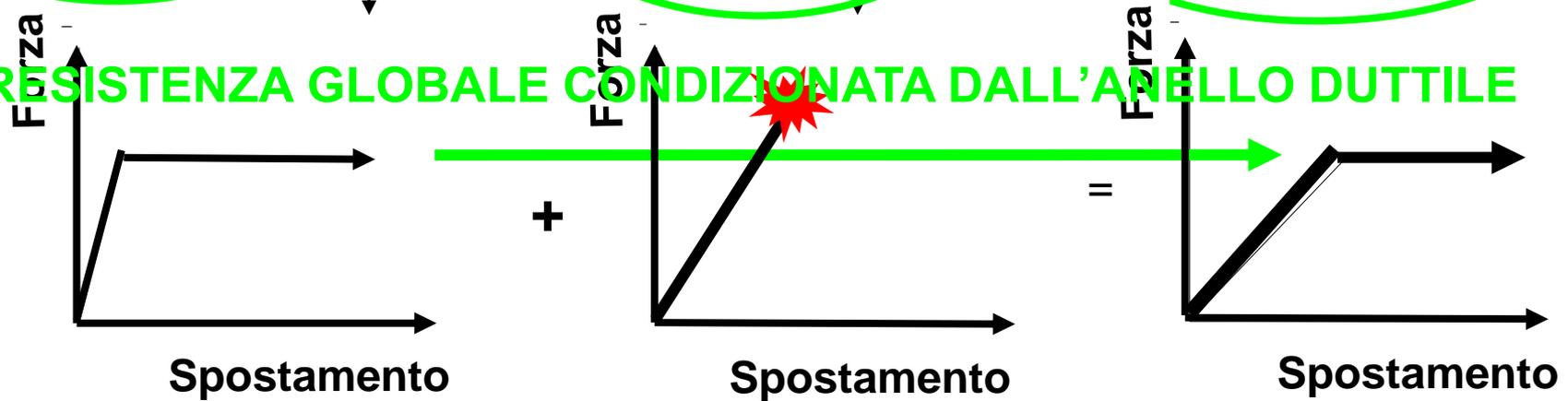
6 cerniere plastiche fragili

- Gerarchia  
delle  
resistenze
- Capacity  
Design

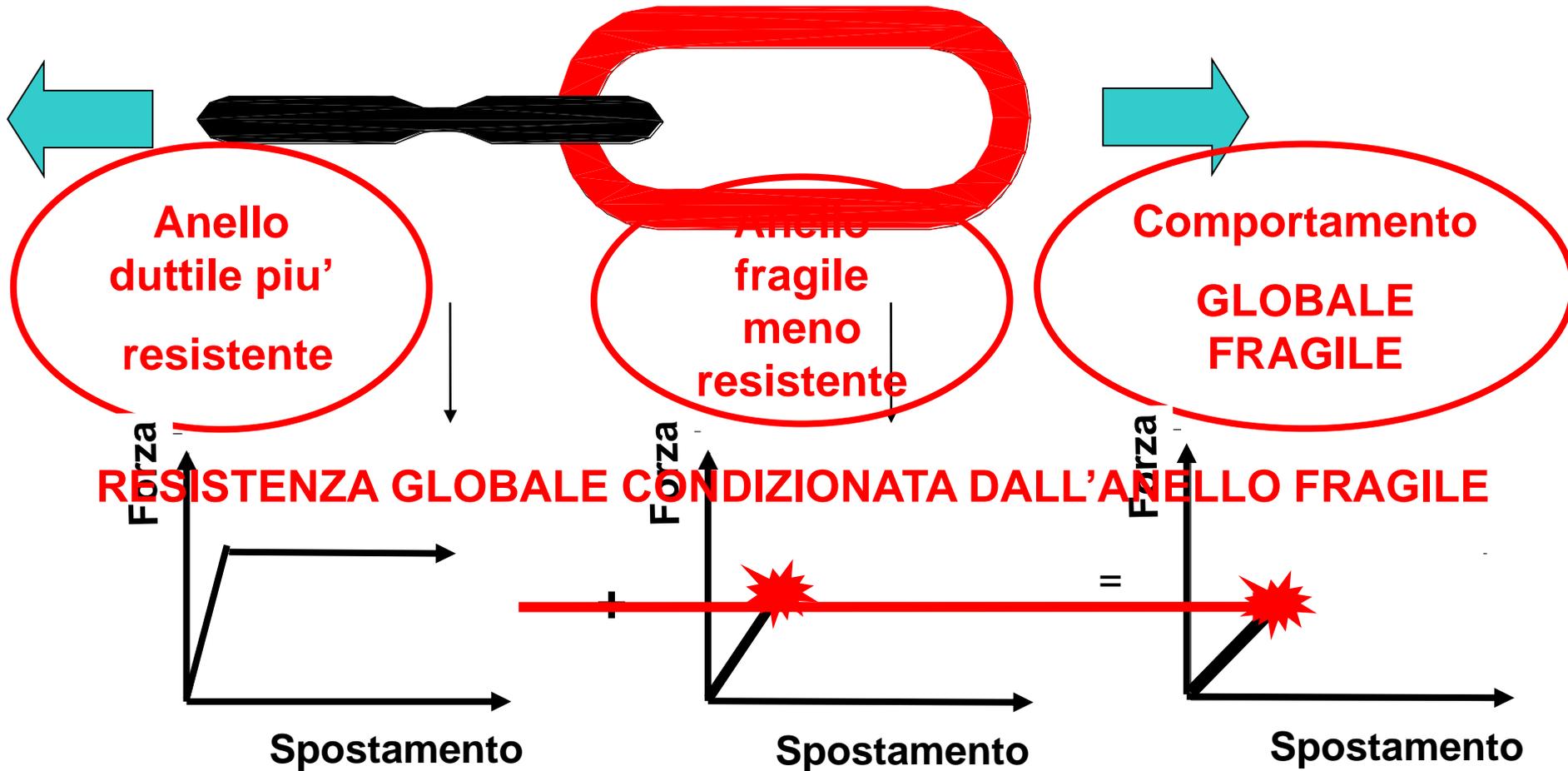
# GERARCHIA DELLE RESISTENZE (CORRETTA !)

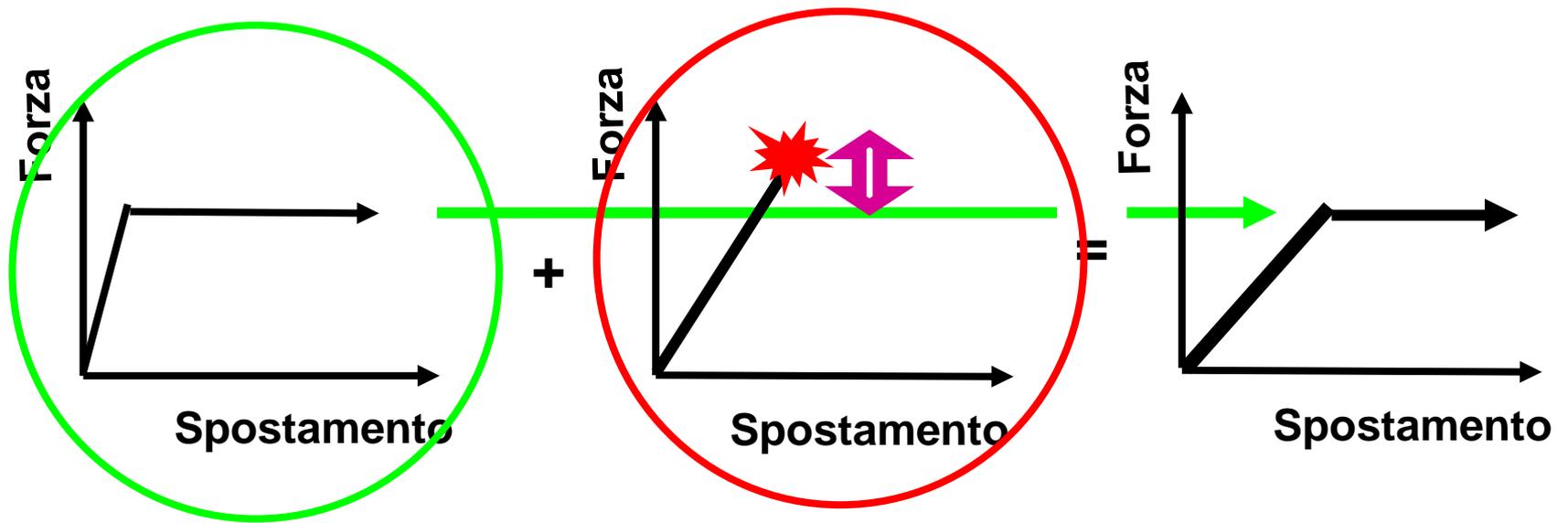


RESISTENZA GLOBALE CONDIZIONATA DALL'ANELLO DUTTILE



# GERARCHIA DELLE RESISTENZE (ERRATA!)





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

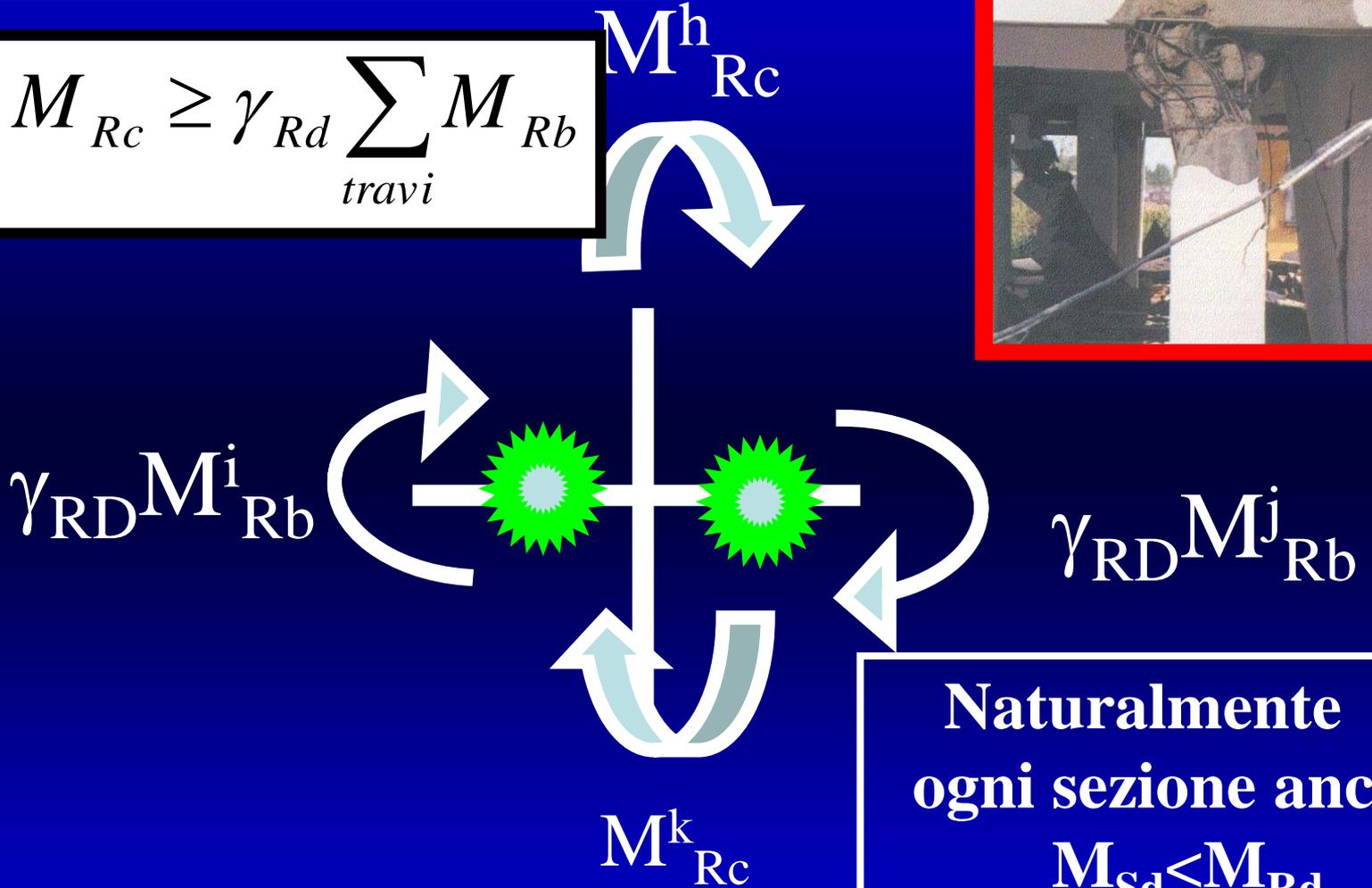
$\gamma_{Rd}$  = coefficiente di sovraresistenza che tiene conto delle incertezze sui materiali e di modello

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

7.4.3.2 Pilastri

7.4.3.2.1 Sollecitazioni di calcolo

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



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



## *Collassi strutturali – L'Aquila*



**Gli edifici di Pettino**



# HOTEL ROMA, AMATRICE





# GERARCHIA DELLE RESISTENZE

## SEZIONI

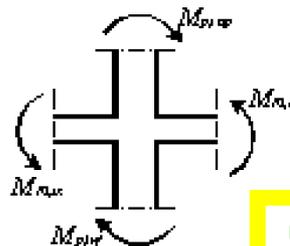
Struttura verticale - Impalcato **Acciaio - Calcestruzzo**

**NODI non  
confinati**

**Trave**

**Pilastro**

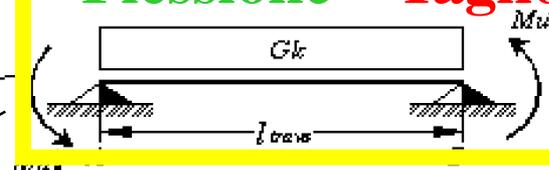
**PANNELLO**



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

**Trave - Pilastro**

**Flessione - Taglio**



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

**Struttura - Fondazione**

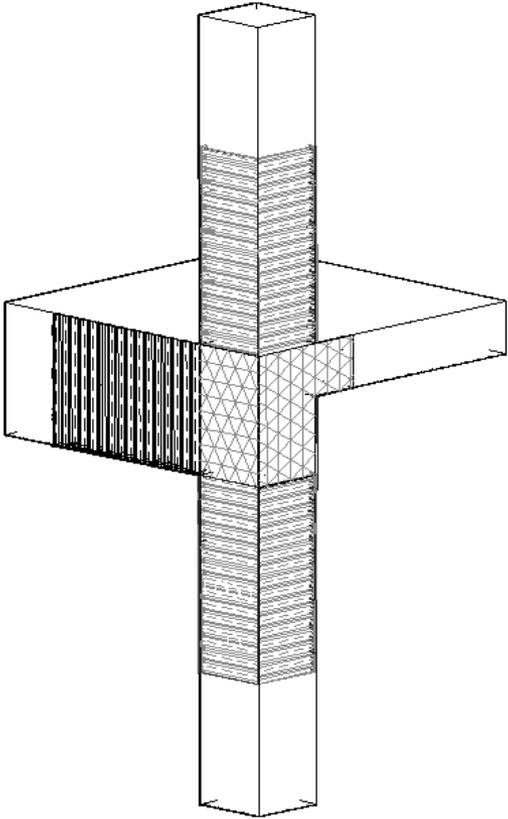
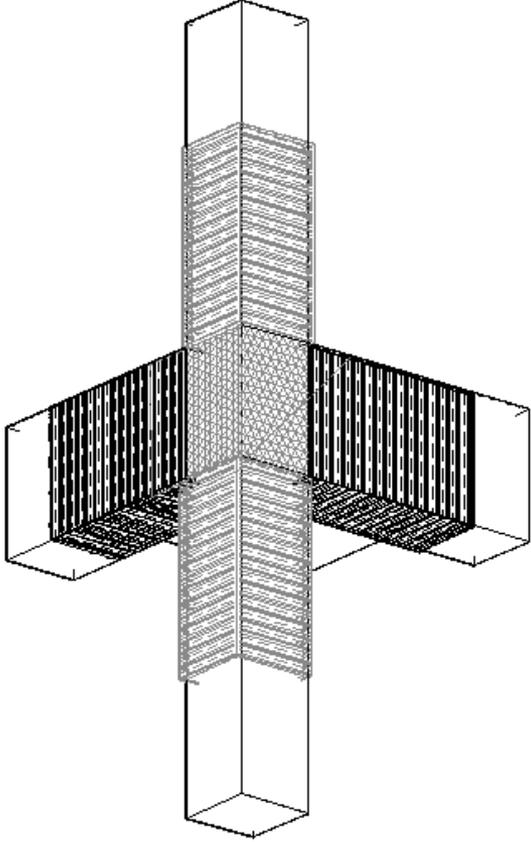


**Tab. 7.2.I - Fattori di sovreresistenza  $\gamma_{Rd}$  (fra parentesi quadre è indicato il numero dell'equazione corrispondente)**

Tipologia strutturale	Elementi strutturali	Progettazione in capacità	$\gamma_{Rd}$	
			CD "A"	CD "B"
C.a. gettata in opera	Travi (§ 7.4.4.1.1)	Taglio	1,20	1,10
	Pilastri (§ 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 pilastri 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 $\gamma_{ov}$ 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 $\gamma_{ov}$ 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 calamita naturali

compositi



# EDIFICI ESISTENTI

## CAP 8

## 8.1. OGGETTO

Il presente capitolo stabilisce i criteri generali per la valutazione della sicurezza e per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi sulle costruzioni esistenti

Si definisce costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto d'intervento, la struttura completamente realizzata.

## 8.2. CRITERI GENERALI

Le disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della presente norma costituiscono, ove applicabili, riferimento anche per le costruzioni esistenti, ad esclusione di quanto indicato nella presente norma in merito a limitazioni di altezza, regole generali, prescrizioni sulla geometria e sui particolari costruttivi e fatto salvo quanto specificato nel seguito.

Nel caso di interventi che non prevedano modifiche strutturali (impiantistici, di distribuzione degli spazi, etc.) il progettista 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 seguenti aspetti della costruzione:

- 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 completamente manifesti;
- le sue strutture possono presentare degrado e/o modifiche significative, rispetto alla situazione originaria.

Nella definizione dei modelli strutturali si dovrà considerare che sono conoscibili, con un livello di approfondimento che dipende dalla documentazione disponibile e dalla qualità ed estensione delle indagini che vengono svolte, le seguenti caratteristiche:

- la geometria e i particolari costruttivi;
- le proprietà meccaniche dei materiali e dei terreni;
- i carichi permanenti.

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso di coefficienti legati ai "fattori di confidenza" che, nelle verifiche di sicurezza, modifichino i parametri di capacità in funzione del livello di conoscenza (v. §8.5.4) delle caratteristiche sopra elencate.

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

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

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; 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 salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto  $\zeta_E$  tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l'*i*-esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto  $\zeta_{v,i}$  tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.

### **8.3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA**

La valutazione della sicurezza di una struttura esistente è un procedimento quantitativo, volto a determinare l'entità delle azioni che la struttura è in grado di sostenere con il livello di sicurezza minimo richiesto dalla presente normativa. L'incremento del livello di sicurezza si persegue, essenzialmente, operando sulla concezione strutturale globale con interventi, anche locali.

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

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

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

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta a: significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, deformazioni significative conseguenti anche a problemi in fondazione; danneggiamenti prodotti da azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), da azioni eccezionali (urti, incendi, 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 significativa dei carichi variabili e/o passaggio ad una classe d'uso superiore;
- esecuzione di interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità e/o ne modifichino la rigidità;
- ogni qualvolta si eseguano gli interventi strutturali di cui al § 8.4 ;
- opere realizzate in assenza o difformità dal titolo abitativo, ove necessario al momento della costruzione, o in difformità alle norme tecniche per le costruzioni vigenti al momento della costruzione.

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere effettuata anche solo sugli elementi interessati e su quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale, posto che le mutate condizioni locali non incidano sostanzialmente sul comportamento globale della struttura.

Nella valutazione della sicurezza, da effettuarsi ogni qual volta si eseguano interventi strutturali di miglioramento o adeguamento di cui al § 8.4, il progettista dovrà esplicitare in un'apposita relazione, esprimendoli in termini di rapporto fra capacità e domanda, i livelli di sicurezza precedenti all'intervento e quelli raggiunti con esso.

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

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

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6; 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 salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC), secondo quanto specificato al § 7.3.6

Nelle verifiche rispetto alle azioni sismiche il livello di sicurezza della costruzione è quantificato attraverso il rapporto  $\zeta_E$  tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione; l'entità delle altre azioni contemporaneamente presenti è la stessa assunta per le nuove costruzioni, salvo quanto emerso riguardo ai carichi verticali permanenti a seguito delle indagini condotte (di cui al § 8.5.5) e salvo l'eventuale adozione di appositi provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e, conseguentemente, sui carichi verticali variabili.

La restrizione dell'uso può mutare da porzione a porzione della costruzione e, per l' $i$ -esima porzione, è quantificata attraverso il rapporto  $\zeta_{v,i}$  tra il valore massimo del sovraccarico variabile verticale sopportabile da quella parte della costruzione e il valore del sovraccarico verticale variabile che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

È necessario adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione e/o procedere ad interventi di miglioramento o adeguamento nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio.



## 8.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

Si individuano le seguenti categorie di intervento:

- *interventi di riparazione o locali*: interventi che interessino singoli elementi strutturali e che, comunque, non riducano le condizioni di sicurezza preesistenti;
- *interventi di miglioramento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, senza necessariamente raggiungere i livelli di sicurezza fissati al § 8.4.3;
- *interventi di adeguamento*: interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo i livelli di sicurezza 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 fondazione dovrà essere in tutti i casi motivata esplicitamente dal progettista, attraverso una verifica di idoneità del sistema di fondazione in base ai criteri indicati nel §8.3.

Qualora l'intervento preveda l'inserimento di nuovi elementi che richiedano apposite fondazioni, queste ultime dovranno essere verificate con i criteri generali di cui ai precedenti Capitoli 6 e 7, così come richiesto per le nuove costruzioni.

Per i beni di interesse culturale ricadenti in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del DLgs 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei beni culturali e del paesaggio", è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.



#### **8.4.1. RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE**

Gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura. Essi non debbono cambiare significativamente il comportamento globale della costruzione e sono volti a conseguire una o più delle seguenti finalità:

- ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali di elementi o parti danneggiate;
- 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 interessati, documentando le carenze strutturali riscontrate e dimostrando che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi non comportino una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti.

La relazione di cui al § 8.3 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento e a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, ed indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione.

Nel caso di interventi di rafforzamento locale, volti a migliorare le caratteristiche meccaniche di elementi strutturali o a limitare la possibilità di meccanismi di collasso locale, è necessario valutare l'incremento del livello di sicurezza locale.

### 8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

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

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di  $\zeta_E$  può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di  $\zeta_E$ , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di  $\zeta_E$ , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno  $\zeta_E = 1,0$ .

### 8.4.3. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO

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

- a) sopraelevare la costruzione;
- b) ampliare la costruzione mediante opere ad essa strutturalmente connesse e tali da alterarne significativamente la risposta;
- c) apportare variazioni di destinazione d'uso che comportino incrementi dei carichi globali verticali in fondazione superiori al 10%, valutati secondo la combinazione caratteristica di cui alla equazione 2.5.2 del § 2.5.3, includendo i soli carichi gravitazionali. Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione;
- d) effettuare interventi strutturali volti a trasformare la costruzione mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un sistema strutturale diverso dal precedente; nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani.
- e) apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV.

In ogni caso, il progetto dovrà essere riferito all'intera costruzione e dovrà riportare le verifiche dell'intera struttura post-intervento, secondo le indicazioni del presente capitolo.

Nei casi a), b) e d), per la verifica della struttura, si deve avere  $\zeta_E \geq 1,0$ . Nei casi c) ed e) si può assumere  $\zeta_E \geq 0,80$ .

Resta comunque fermo l'obbligo di procedere alla verifica locale delle singole parti e/o elementi della struttura, anche se interessano porzioni limitate della costruzione.

Una variazione dell'altezza dell'edificio dovuta alla realizzazione di cordoli sommitali o a variazioni della copertura che non comportino incrementi di superficie abitabile, non è considerato ampliamento, ai sensi della condizione a). In tal caso non è necessario procedere all'adeguamento, salvo che non ricorrano una o più delle condizioni di cui agli altri precedenti punti.

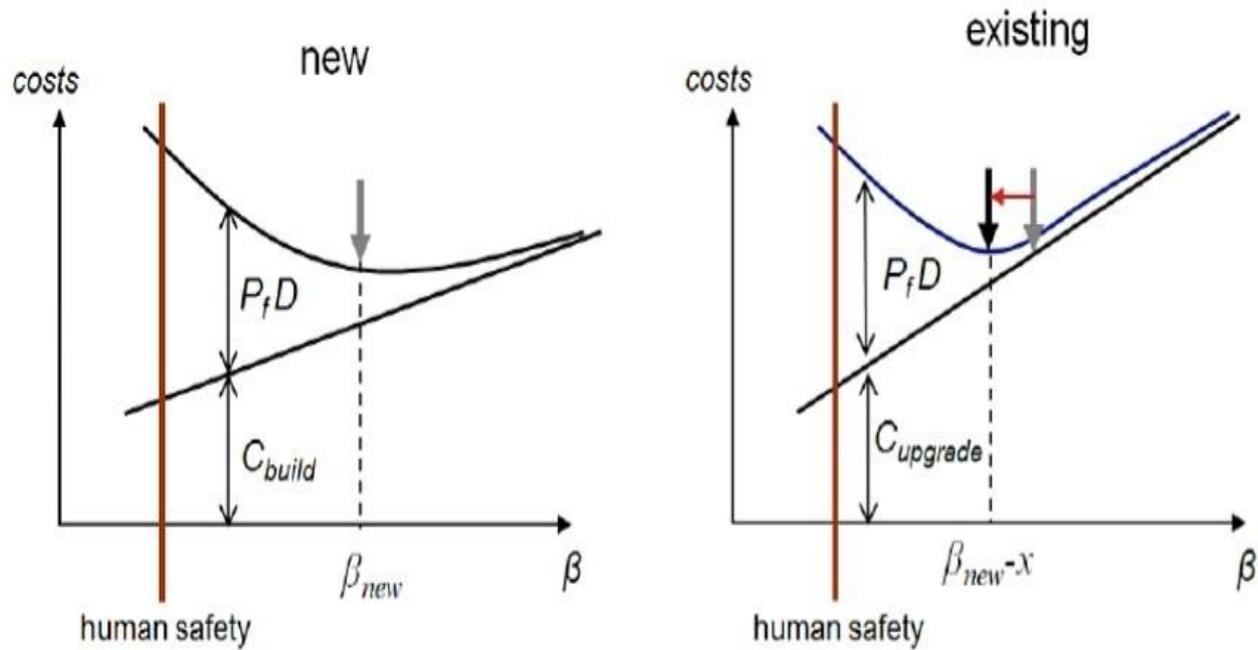
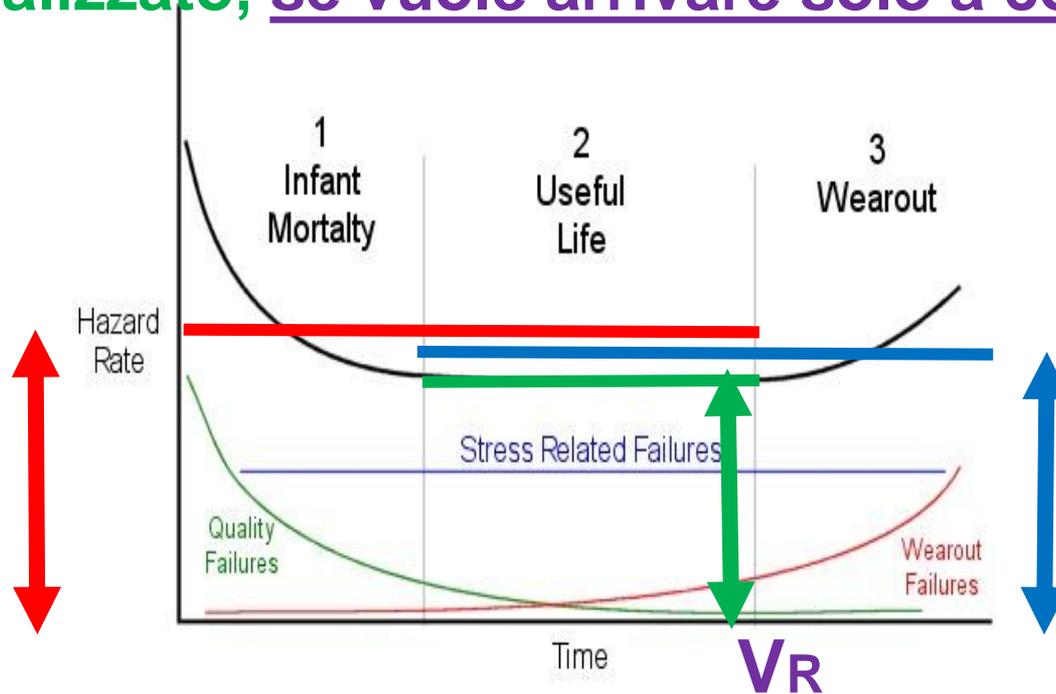


Fig 3.1-1: Illustration of the difference in cost optimisation for the design of new structures versus upgrading of existing structures.  $P_f D$  is the expected failure costs related to the working life.



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