

**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Ingegneria civile e ambientale:
innovazione e sostenibilità di costruzioni e infrastrutture:
moderne strategie di protezione sismica delle costruzioni

Prof. Natalino Gattesco
Ordinario di Ingegneria Strutturale

PREMESSA

Il corso di studi di Ingegneria Civile affronta tematiche fortemente legate alla **Sostenibilità** attraverso una continua **Innovazione**

SOSTENIBILITA'

Sviluppo di criteri prestazionali non solo negli ambiti del *risparmio energetico*, del *comfort abitativo*, dell'*impatto ambientale* dei materiali impiegati, ma anche per

- **la sicurezza strutturale estesa alle varie fasi di vita di un edificio (*life cycle thinking*)**

INNOVAZIONE

La ricerca scientifica sviluppa *saperi, materiali e tecniche* che consentono **grandi innovazioni** tecnologiche riguardanti le costruzioni e infrastrutture con importanti ricadute sul **benessere del cittadino**



Prof. Ing. Natalino Gattesco



PREMESSA



INTRODUZIONE

I numerosi eventi sismici che si sono verificati negli ultimi decenni hanno comportato per la collettività enormi costi sociali, in termini di vittime e di costi economici.

Negli ultimi 50 anni si valutano:

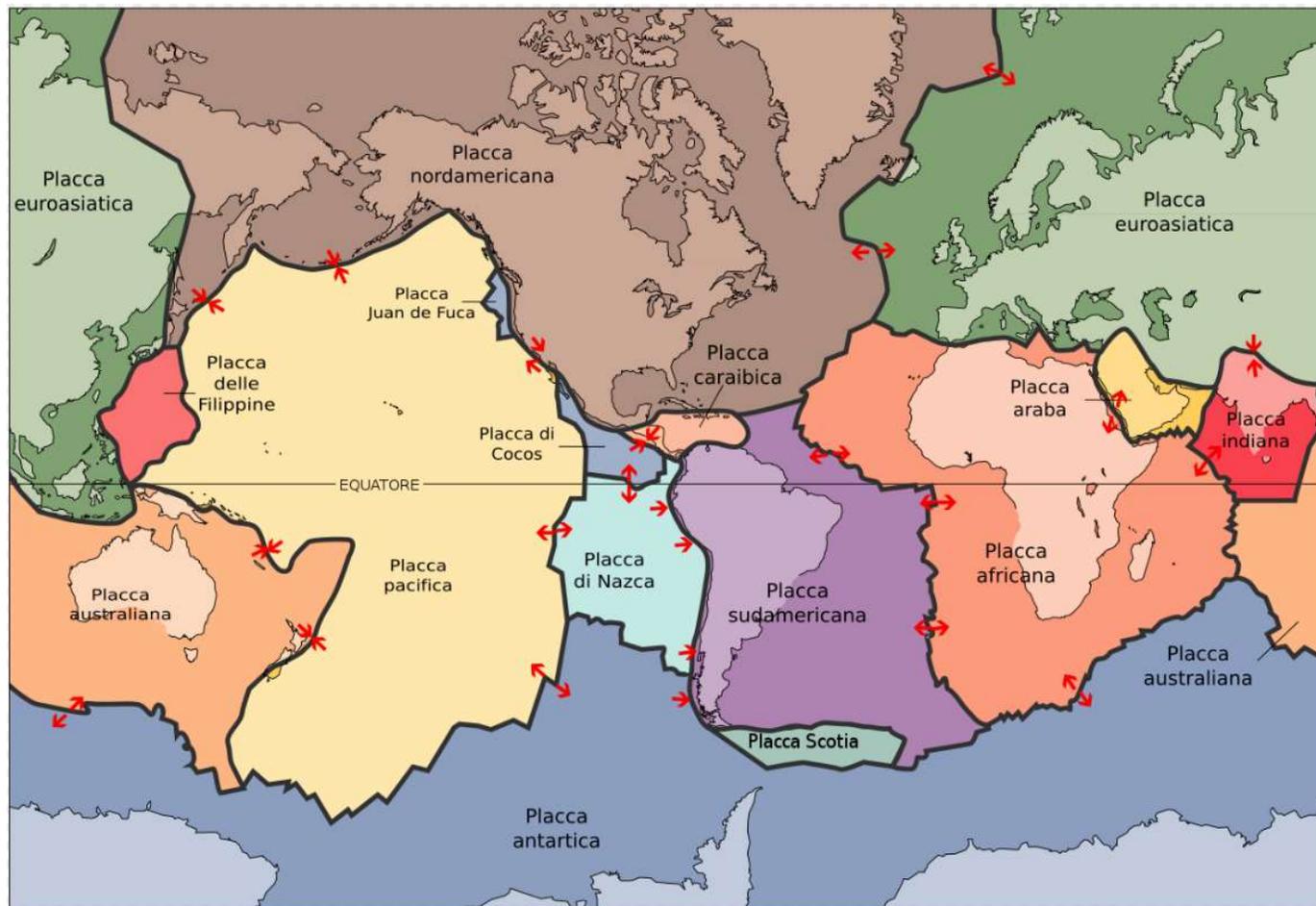
- Circa 5000 vittime
- Spesa media annua di circa 3 miliardi di euro per emergenza e ricostruzione

Questo è dovuto alla elevata vulnerabilità sismica delle costruzioni.

Necessario adottare tecniche per il miglioramento delle prestazioni sismiche delle costruzioni.

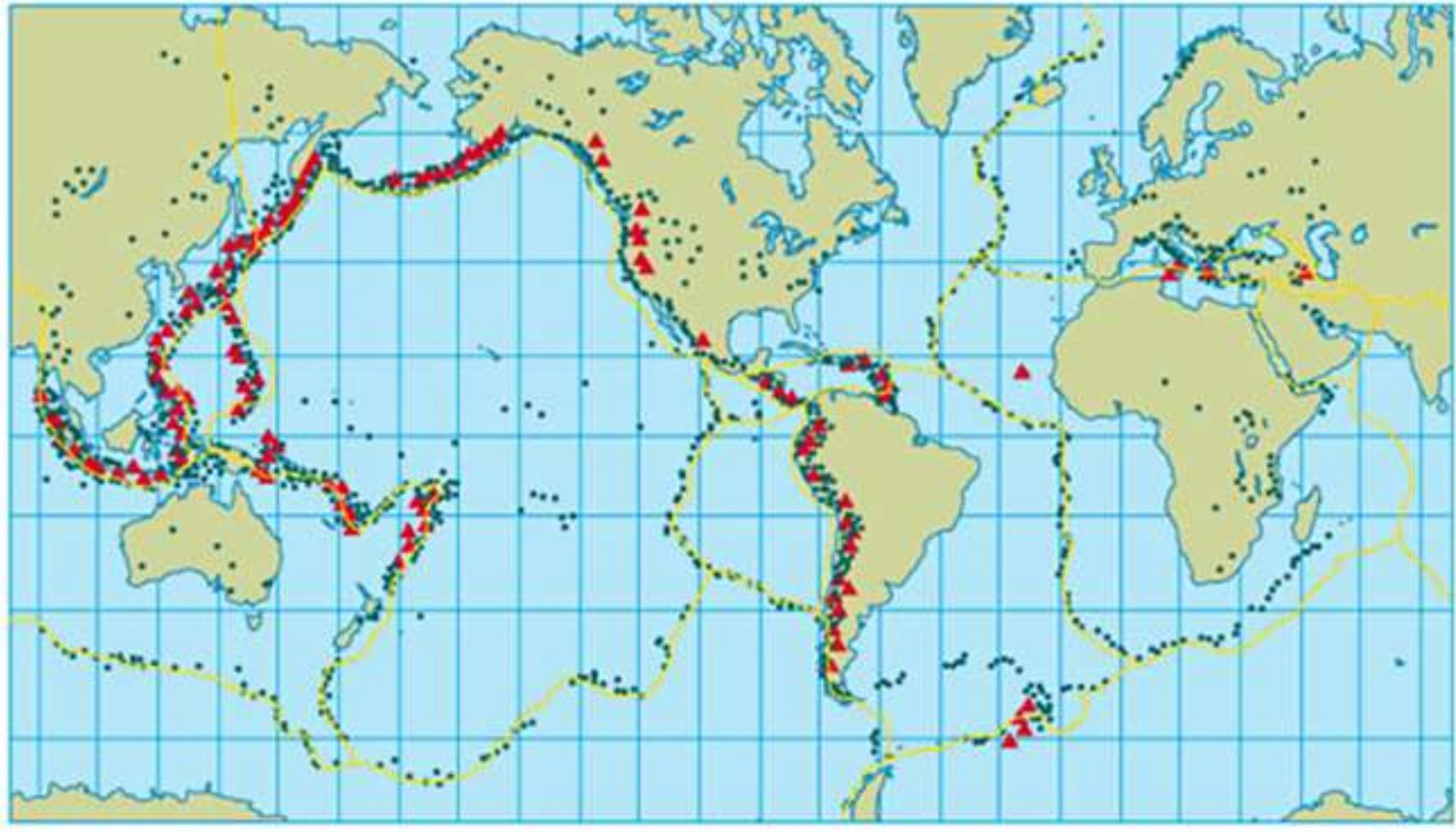
TERREMOTI

La superficie del globo è suddivisa in grandi placche litosferiche che si muovono sopra il mantello (deriva dei continenti).



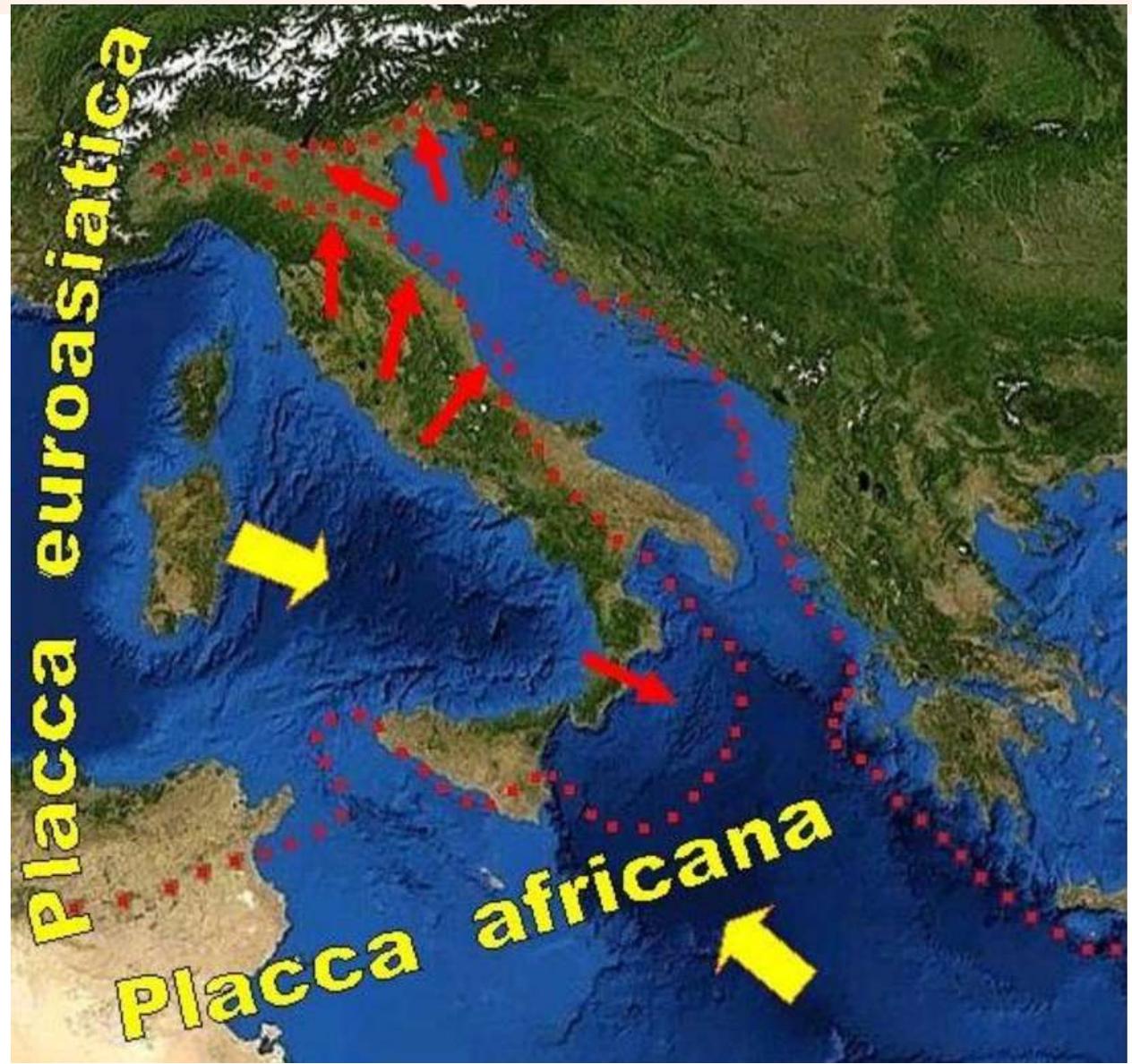
TERREMOTI

I terremoti si verificano lungo i margini di queste placche.



TERREMOTI

L'Italia è interessata dallo spostamento relativo della placca eurasiatica rispetto alla placca Africana, che ha un appendice nell'Adriatico (microplacca Adriatica).



TERREMOTI

La placca Africana preme verso nord contro la placca Eurasiatica spingendo la placca Adriatica a scendere sotto le Alpi.

La frizione fra le placche genera i fenomeni sismici che interessano il nostro paese.



MAGNITUDO ED ENERGIA

La magnitudo sismica è una misura dell'energia rilasciata durante un terremoto (*Richter 1935*)

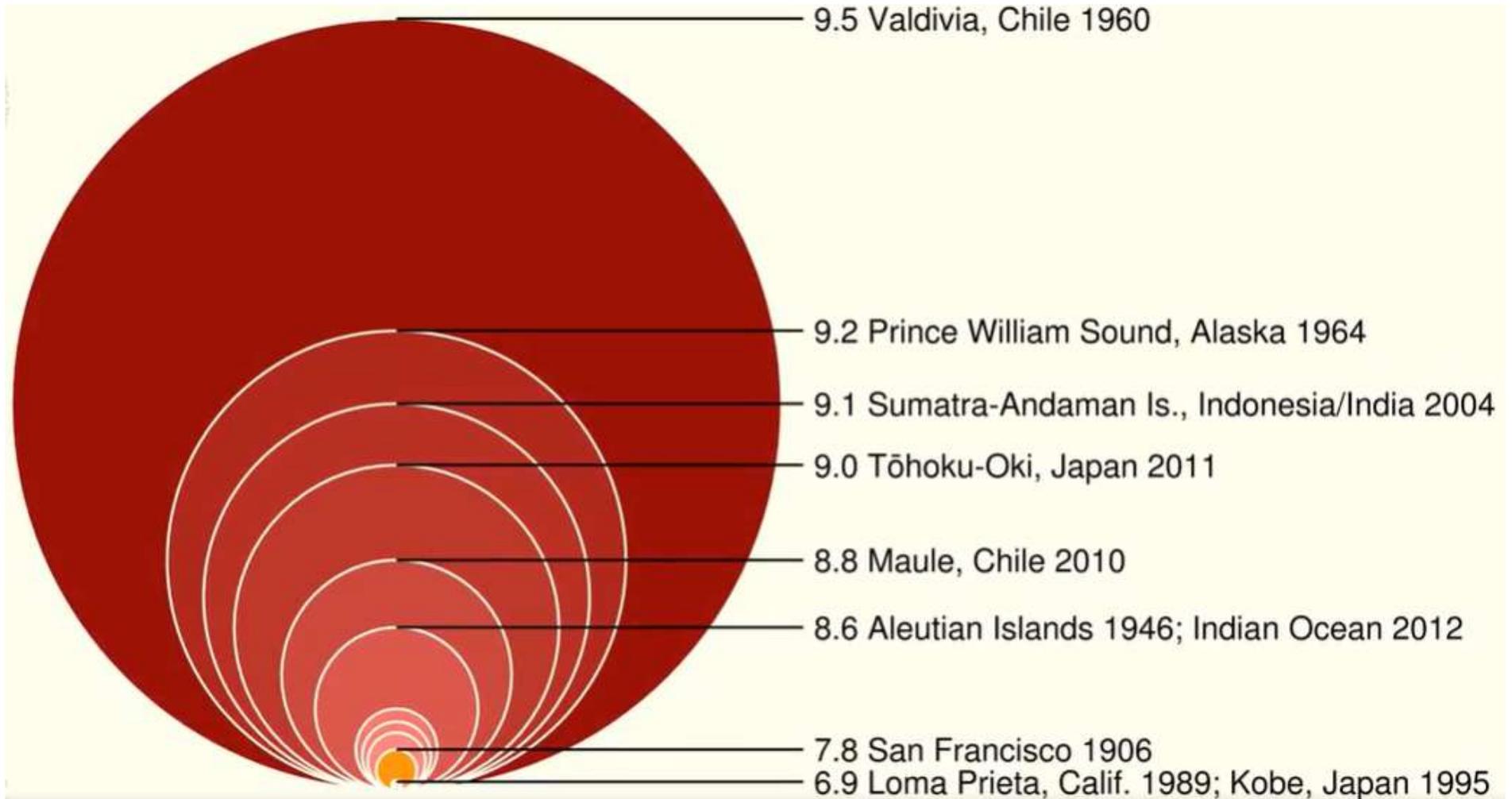
La magnitudo è legata al massimo valore di spostamento rilevato dal sismografo a una distanza di 100 km dall'epicentro.

Una relazione accettata tra energia rilasciata E per generare onde sismiche e magnitudine M è la seguente

$$\log E = 11.8 + 1.5M \quad (E \text{ in erg})$$

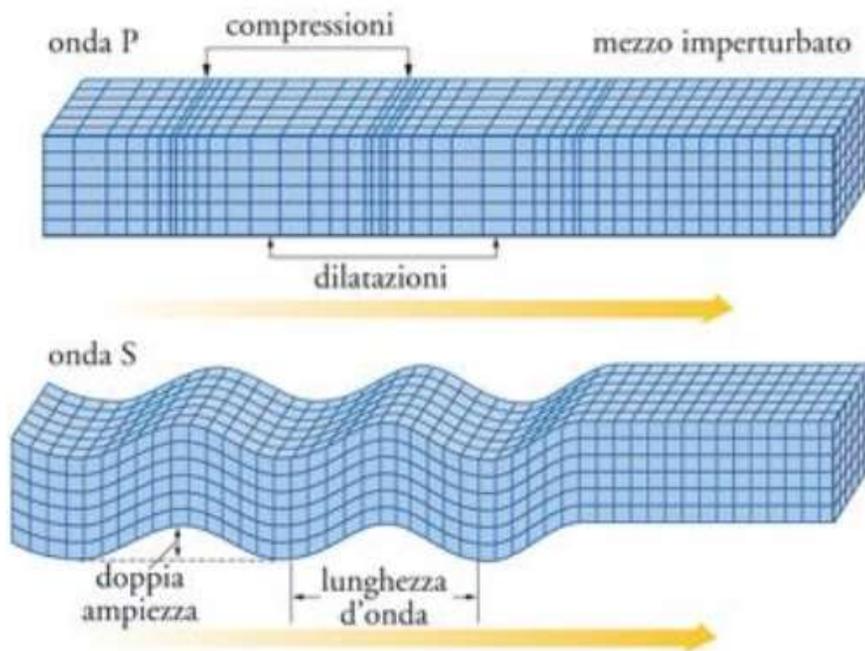
La relazione evidenzia che l'energia aumenta 32 volte se M aumenta di 1 e di 1000 volte se M aumenta di 2.

MAGNITUDO ED ENERGIA



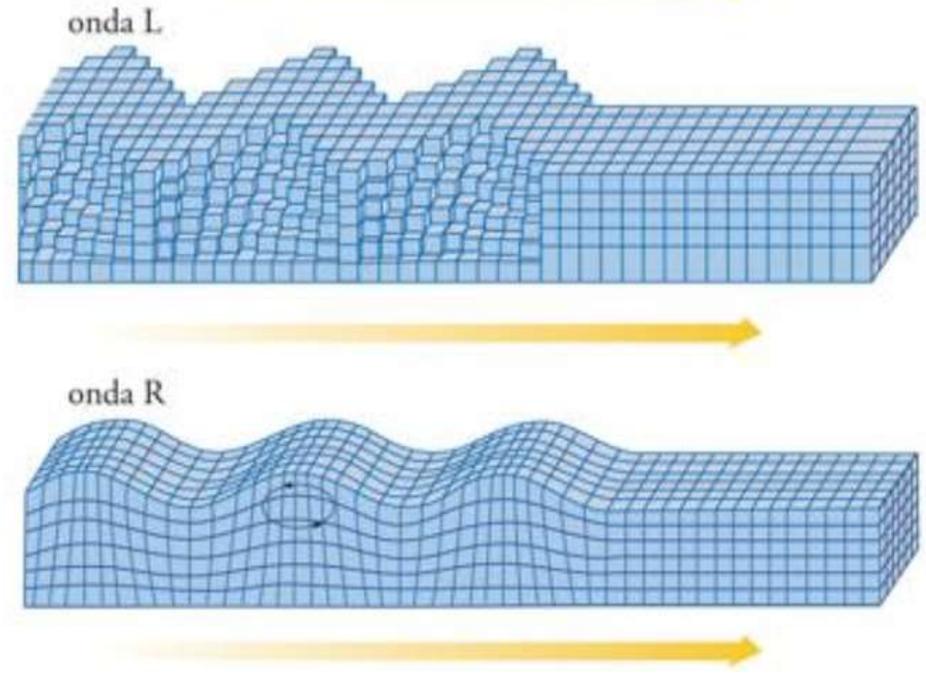
ONDE SISMICHE

Onde di volume



Le onde di volume Principali (di compressione) e Secondarie (di taglio) si muovono dall'ipocentro alla superficie in tutte le direzioni

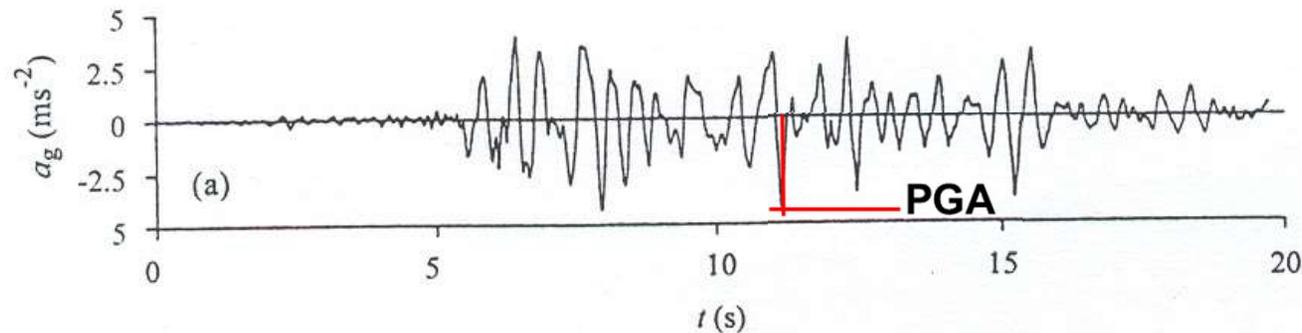
Onde di superficie



Le onde di volume quando raggiungono la superficie, in parte si riflettono e in parte originano le onde di superficie di Rayleigh (simili alle onde del mare) e di Love (trasversali rispetto alla direzione di propagazione).

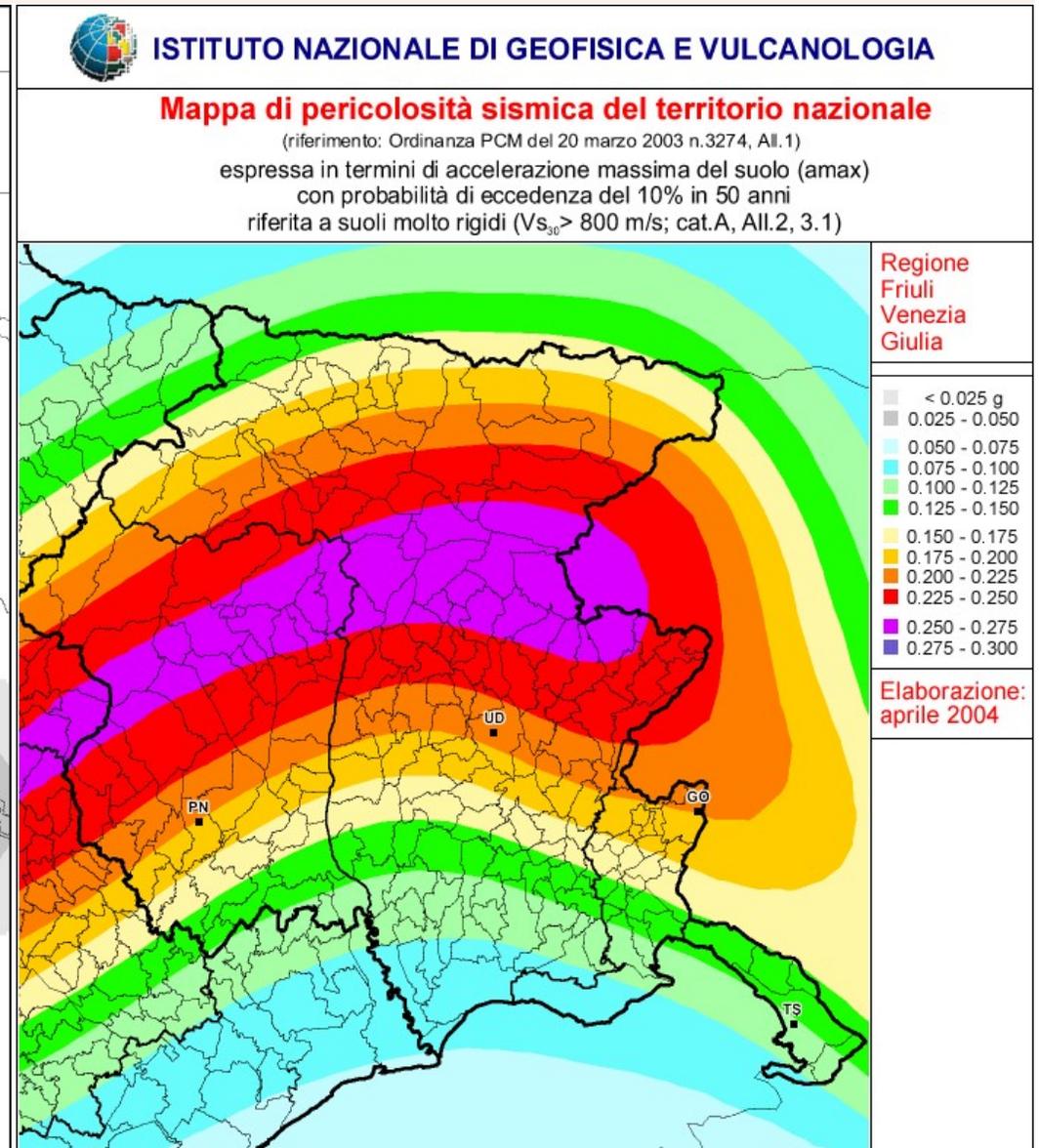
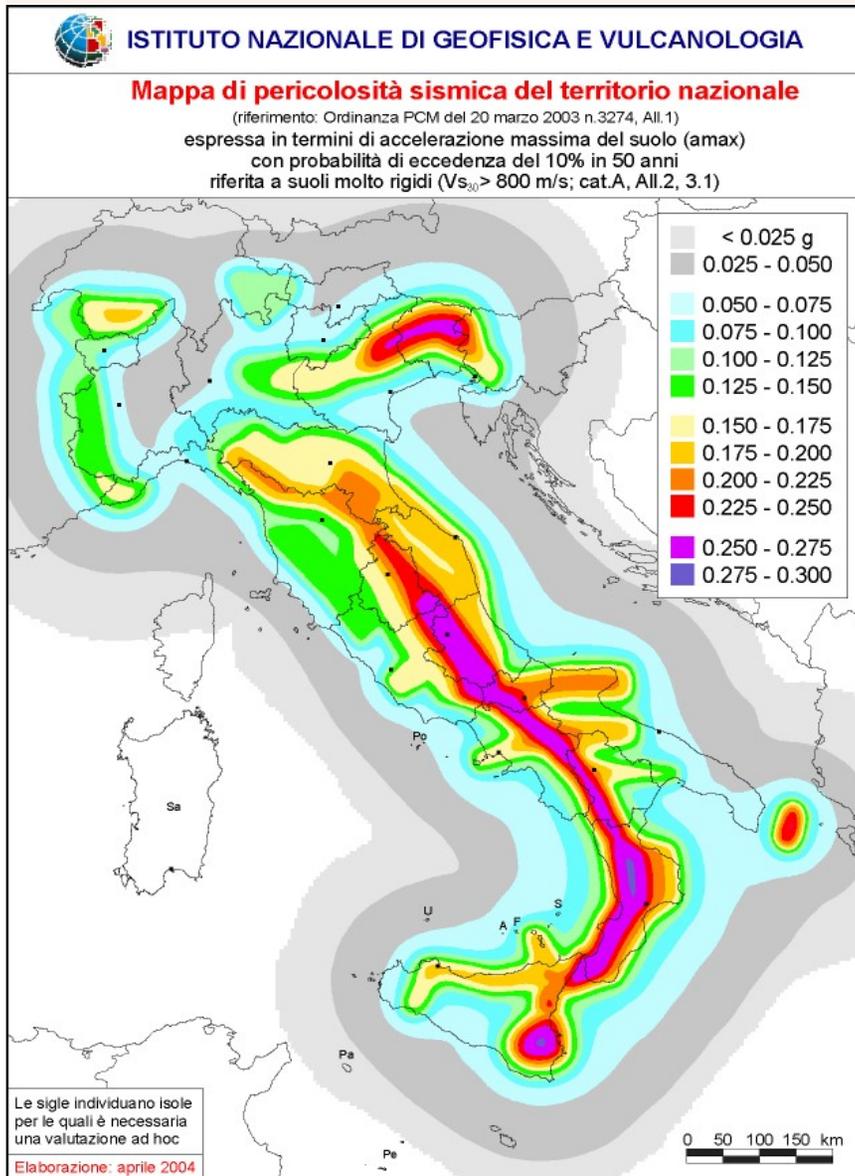
ACCELEROGRAMMI

Nella progettazione è necessario fare riferimento a quantità fisiche come l'accelerazione del terreno (accelerogrammi).



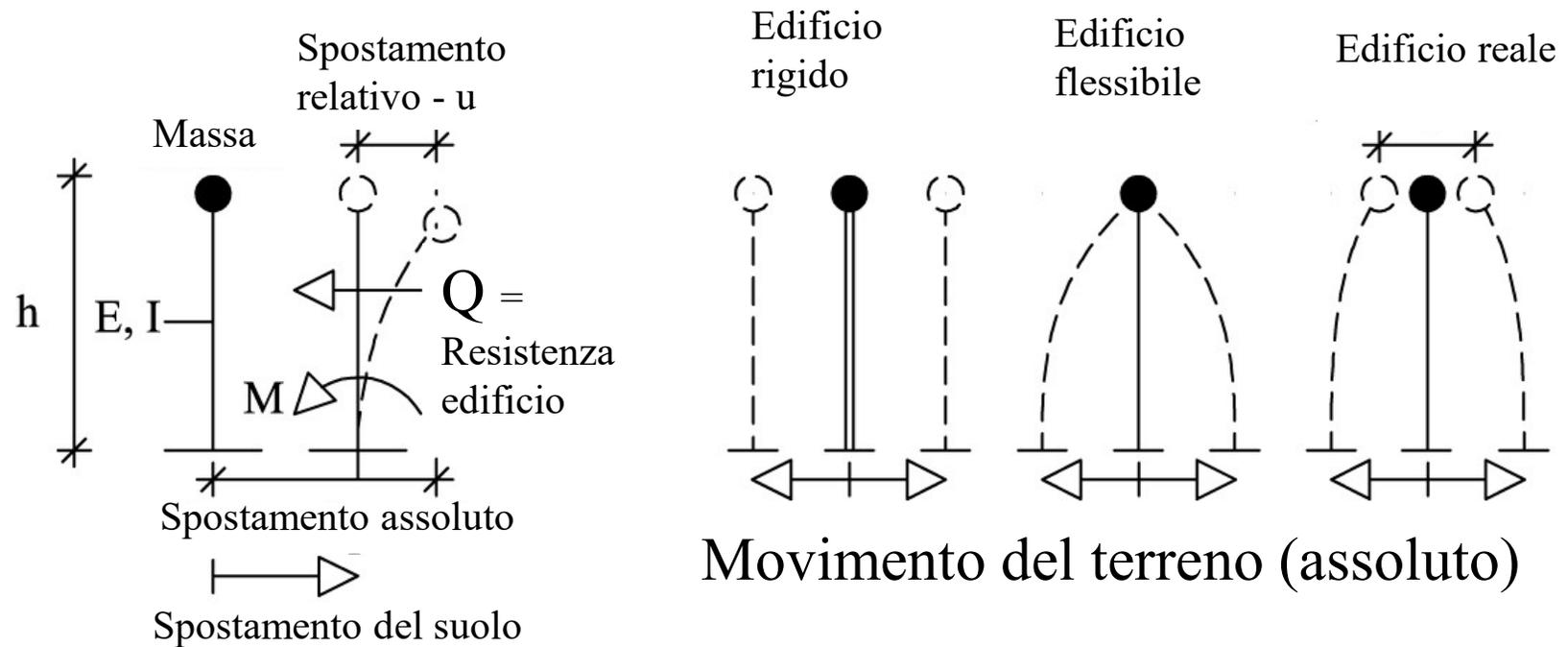
In realtà il principale parametro considerato nella progettazione per quantificare l'intensità di un terremoto è il Peak Ground Acceleration PGA.

VALORI PGA ITALIA E FVG



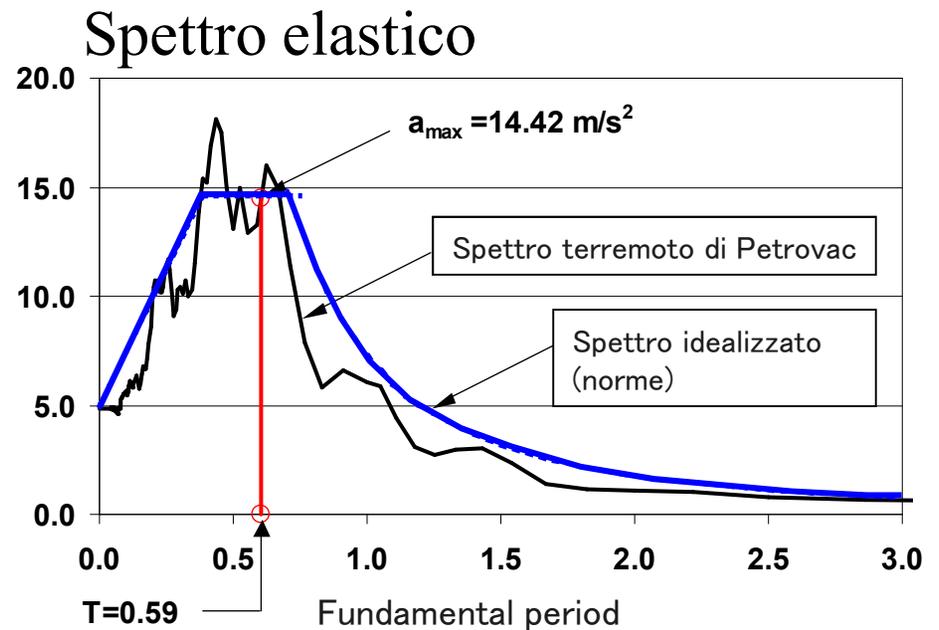
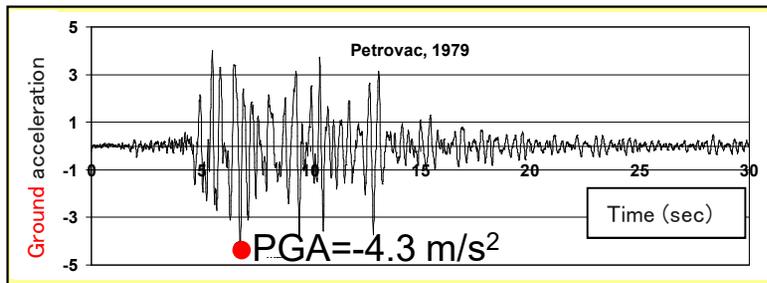
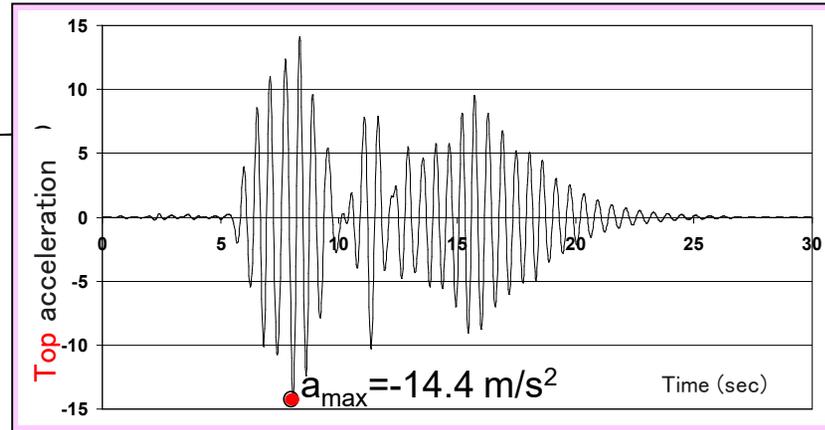
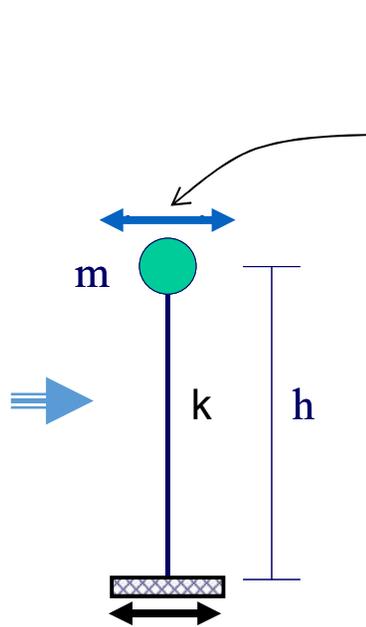
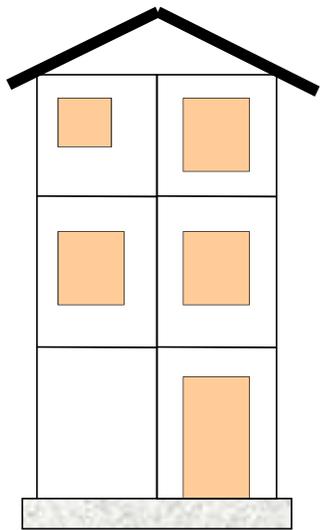
RISPOSTA ALL'ECCITAZIONE SISMICA

Effetto della rigidità del sistema



SPETTRO ELASTICO

Il valore di accelerazione della massa dipende dalla frequenza propria



$$T = 2\pi \sqrt{m/k} = 0.59 \text{ s}$$

$$k = \frac{3EI}{h^3}$$

CRITICITA' SISMICHE

Hotel Duca degli Abruzzi – L'Aquila



Prima del terremoto 2009



Dopo il terremoto 2009

CRITICITA' SISMICHE

Il danno si concentra in prossimità delle zone nodali della struttura.



Cernierizzazione estremità pilastri

CRITICITA' SISMICHE

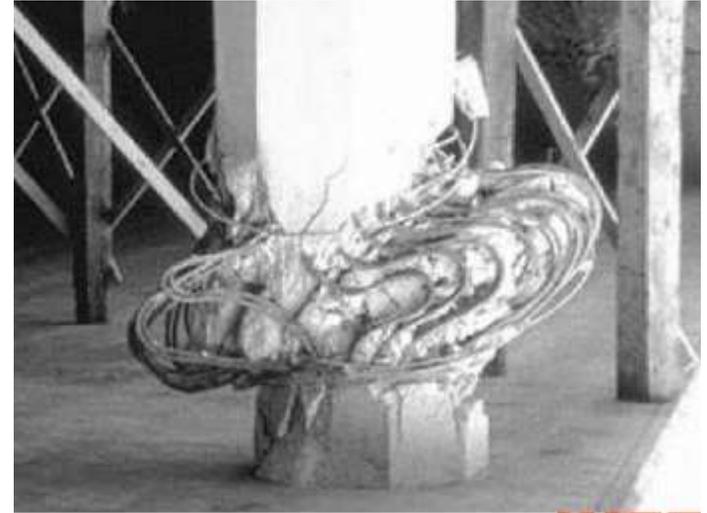
Il danno si concentra in prossimità delle zone nodali della struttura.



Cernierizzazione estremità pilastri

CRITICITA' SISMICHE

Il danno si concentra in prossimità delle zone nodali della struttura.

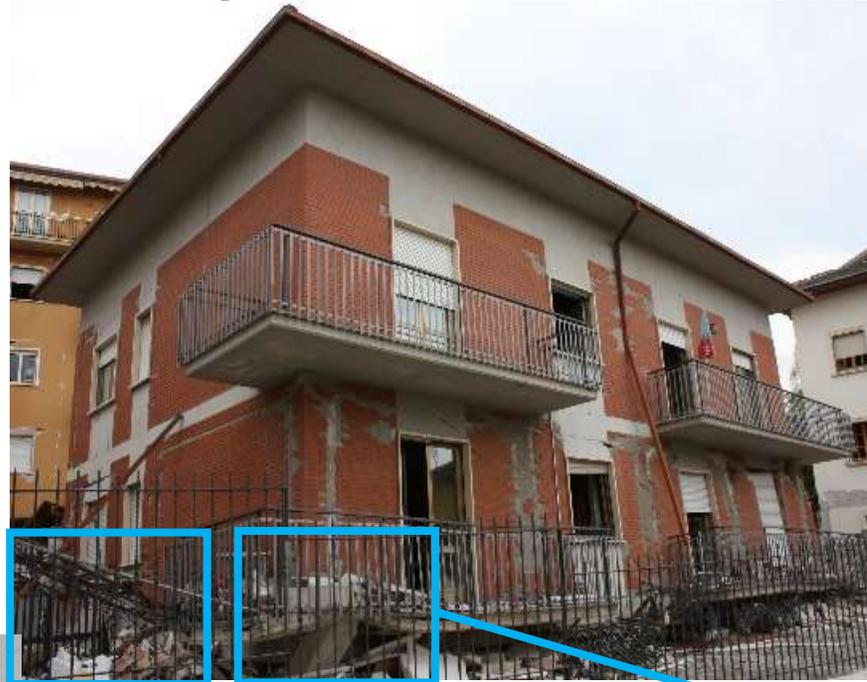


Cernierizzazione estremità pilastri



CRITICITA' SISMICHE

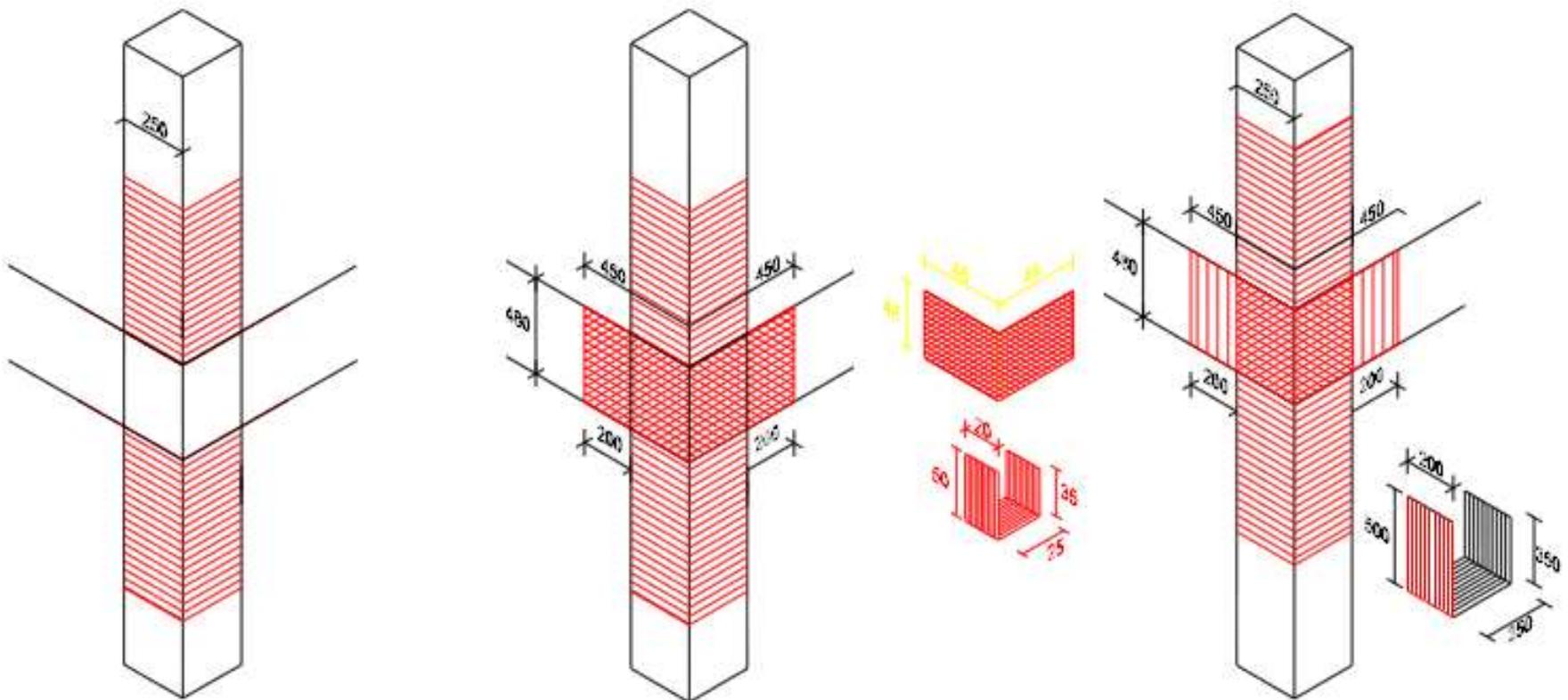
Il danno si concentra in prossimità delle zone nodali della struttura.



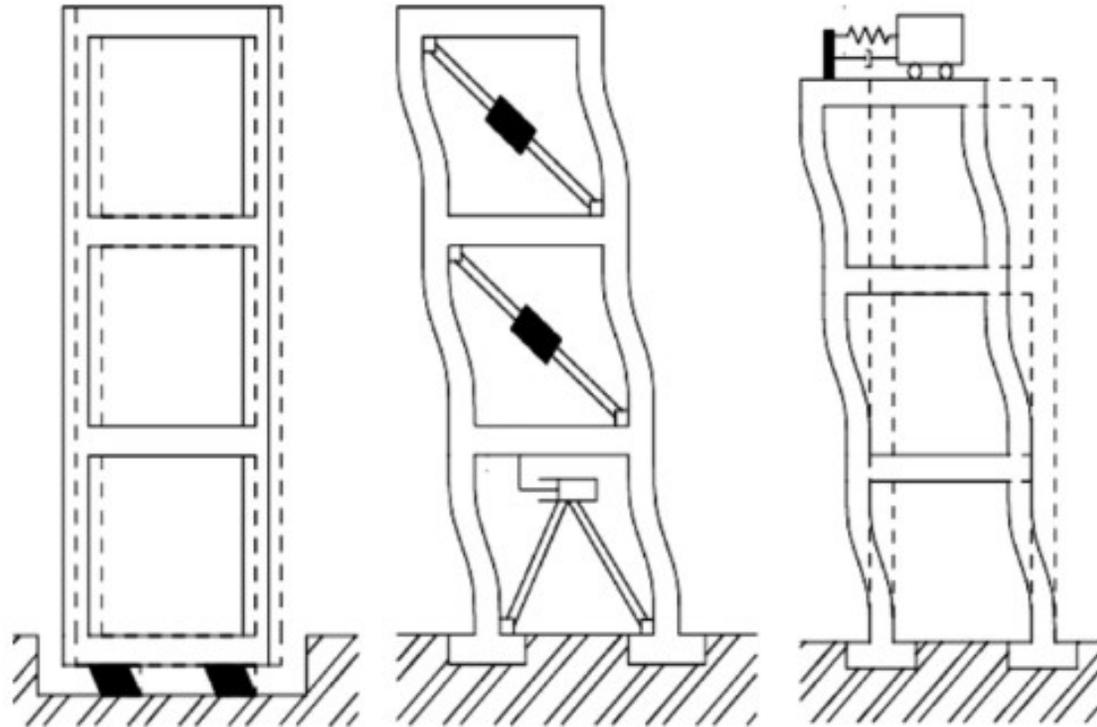
Perdita di un piano

RINFORZO CON MATERIALI COMPOSITI

Si applicano tessuti in fibre di vetro/carbonio per migliorare le prestazioni delle zone nodali delle strutture in calcestruzzo armato.



STRATEGIE MODERNE DI PROTEZIONE SISMICA



**Isolamento
alla base**

**Uso di
dissipatori
energetici**

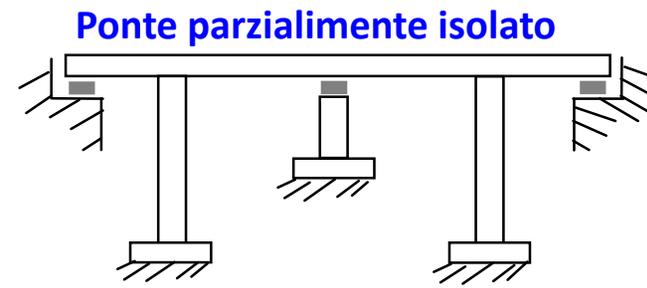
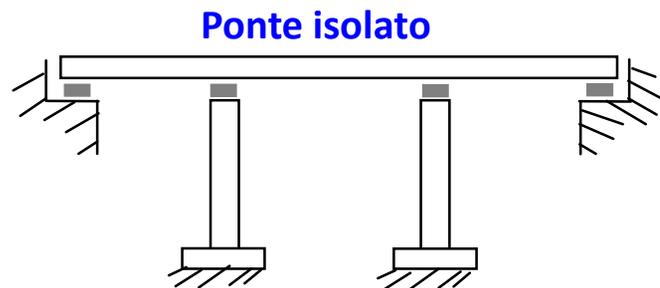
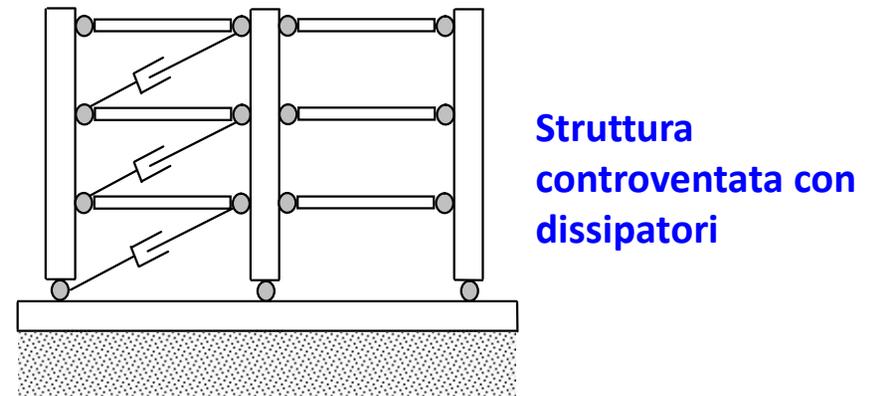
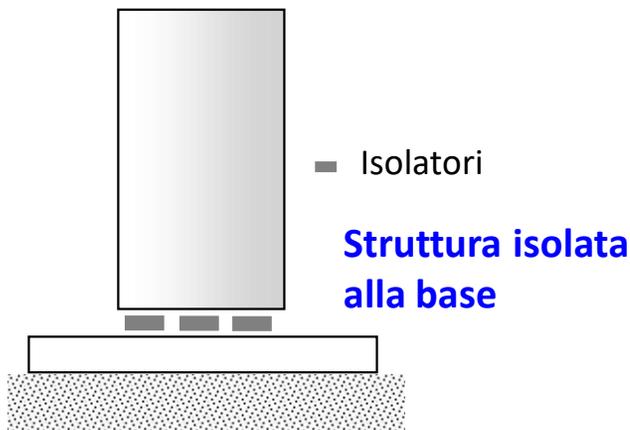
**Smorzamento
con masse
accordate**

Edifici alti

STRATEGIE MODERNE DI PROTEZIONE SISMICA

Le strategie moderne per migliorare le prestazioni sismiche delle costruzioni consistono nell'impiego di:

- Isolatori alla base
- Dissipatori distribuiti all'interno della struttura



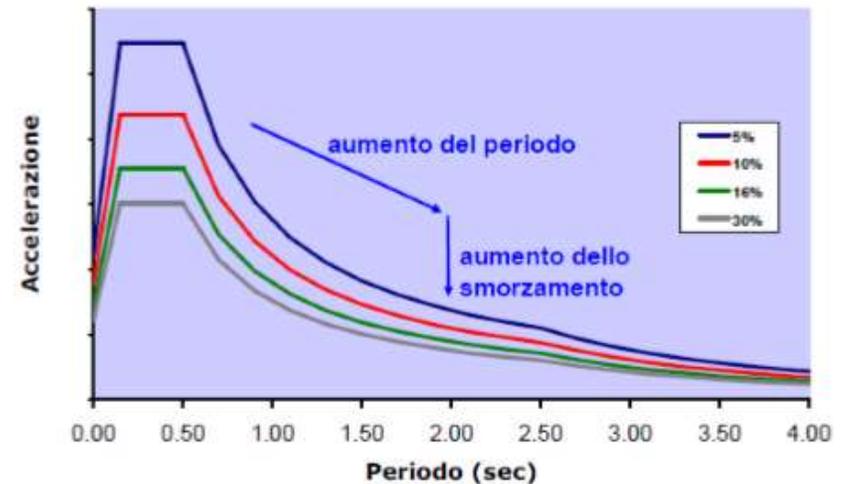
SISTEMI DI ISOLAMENTO

Per migliorare le prestazioni sismiche delle costruzioni, si possono utilizzare opportuni dispositivi:

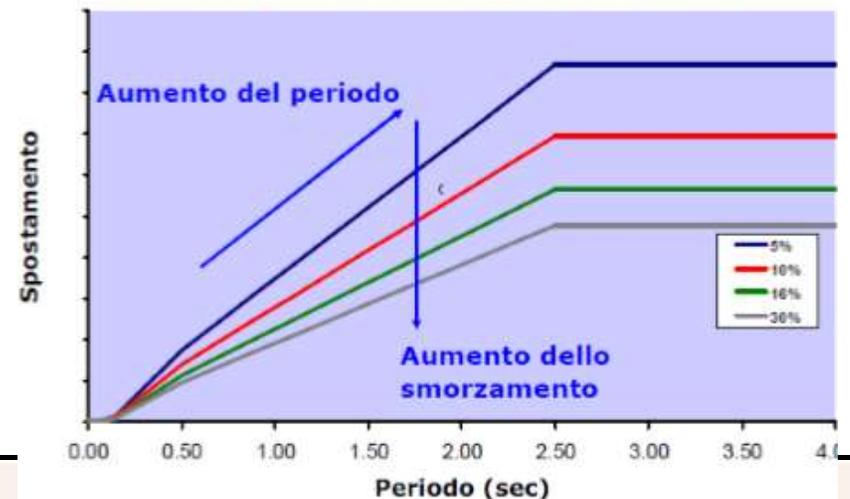
Isolatori sismici

- *Isolatori in gomma naturale armata*
- *Isolatori a pendolo scorrevole*

Spettro d'accelerazione di progetto



Spettro dello spostamento di progetto



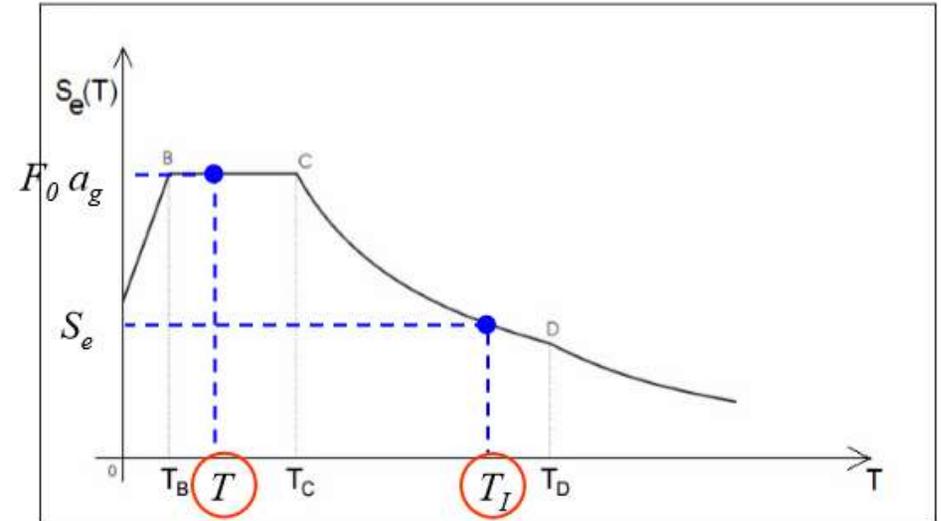
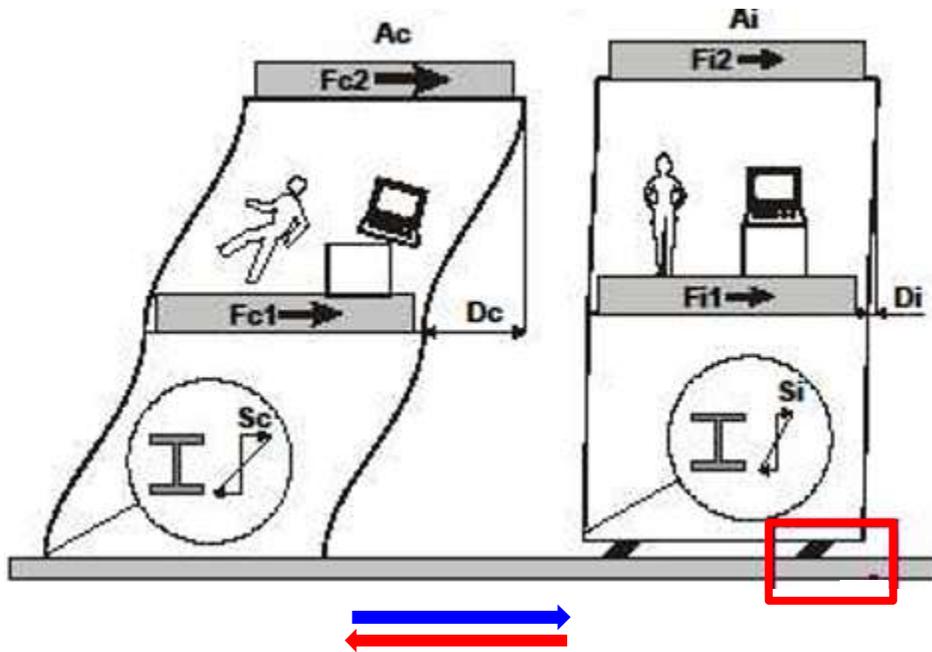
ISOLATORI IN GOMMA ARMATA

Edificio
convenzionale

$$F_{c2} \gg F_{c1}$$

Edificio
isolato

$$F_{i2} \cong F_{i1}$$



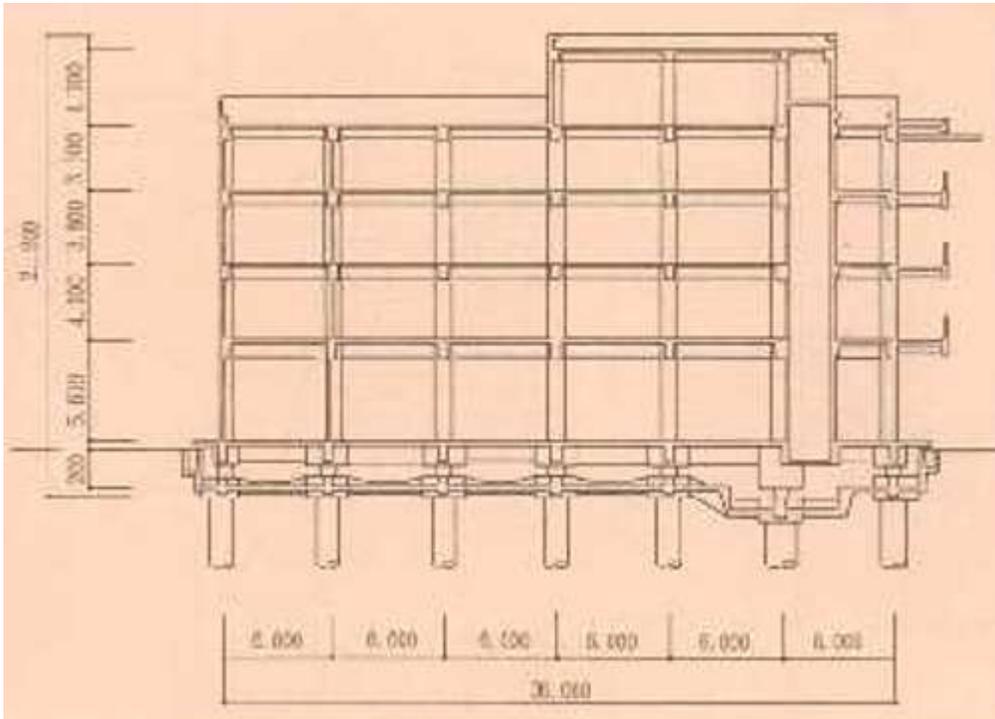
$$S_{a,c} \gg S_{a,i} \quad S_{d,c} \ll S_{d,i}$$

$$F_c \gg F_i \quad D_c \gg D_i$$



ISOLATORI IN GOMMA ARMATA

Isolamento edificio della Oiles GRP, Fujisawa, Giappone.



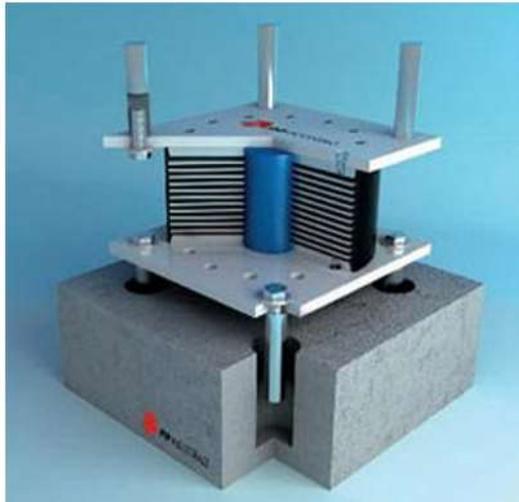
Devono essere facilitate:

- *Ispezionabilità, manutenzione, protezione, sostituzione*

ISOLATORI IN GOMMA ARMATA



Isolatore in gomma
HDRB (High Damping Rubber Bearings)



Isolatore in gomma e piombo
LRB (Lead core Rubber Bearing)



ISOLATORI IN GOMMA ARMATA

	LRB Lead core Rubber Bearings	HDRB High Damping Rubber Bearings	MLRB Multi layer Low damping Rubber Bearings
			
Coeff. di smorzamento viscoso equivalente	25 – 30%	10 – 16%	4%
Rigidezza orizzontale	Alta	Medio – Bassa	Medio - Bassa
Carico verticale	Alta	Alta	Alta
Oscillazione orizzontale	Medio - Alta	Alta	Media
Capacità di ricentraggio	Media	Alta	Alta

INTERVENTI CON ISOLATORI IN GOMMA

Nuova scuola "Jovine" San Giuliano di Puglia

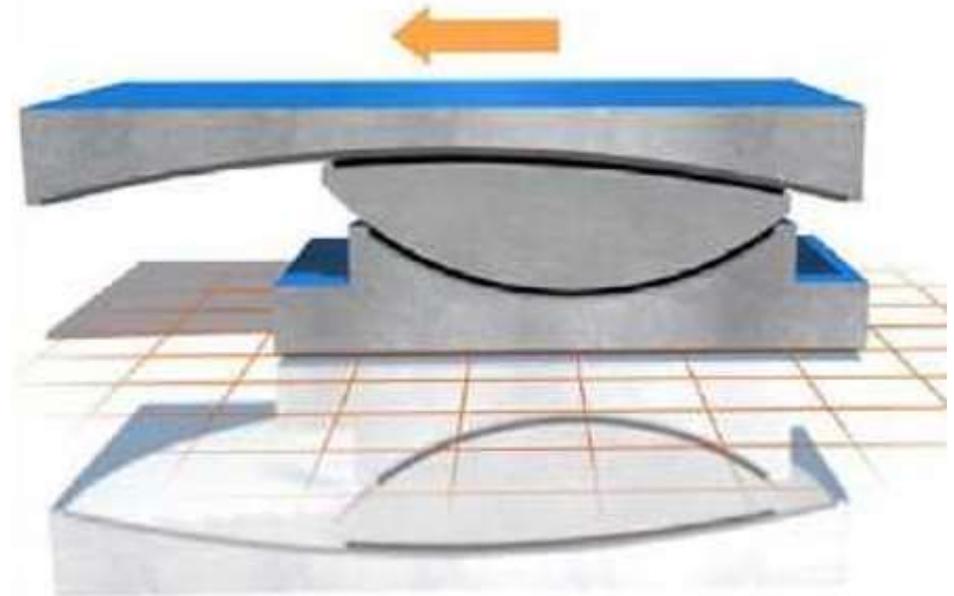


Nuova scuola ricostruita con isolamento alla base.

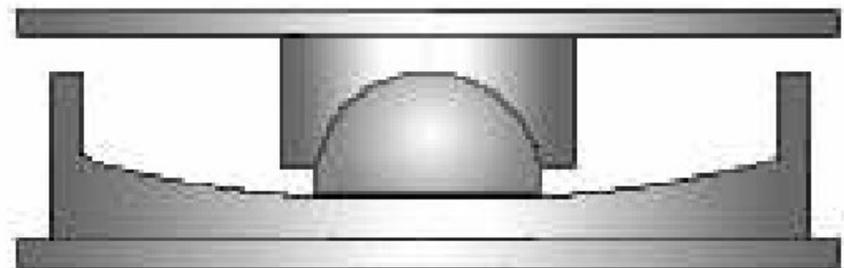
Utilizzati 61 HDRB (diametri 600-700 mm)

ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

L'attrito si oppone allo scorrimento e la gravità favorisce il ricentraggio, oltre a contribuire a contrastare lo slittamento.

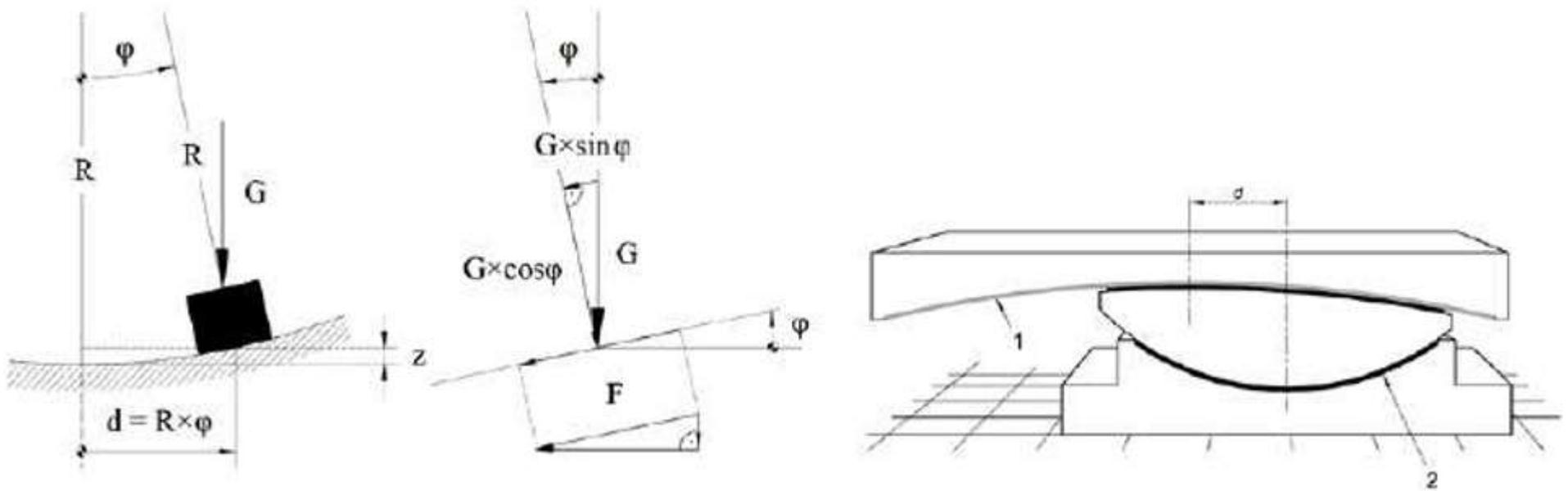


Isolatore a curvatura semplice



ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

Per slittare è necessario il sollevamento dell'edificio. La forza di richiamo dipende dall'angolo di rotazione φ .



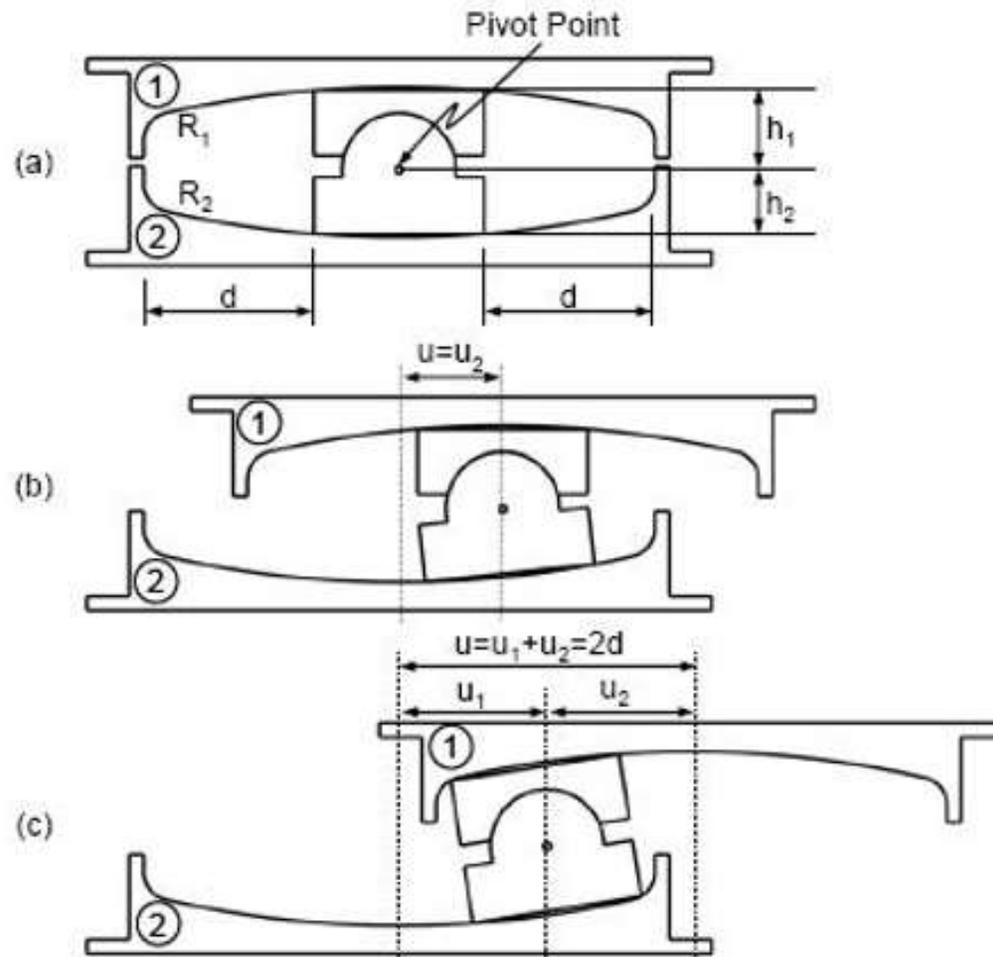
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

Periodo di vibrazione edificio isolato

ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE



ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE



Isolatore a doppia curvatura

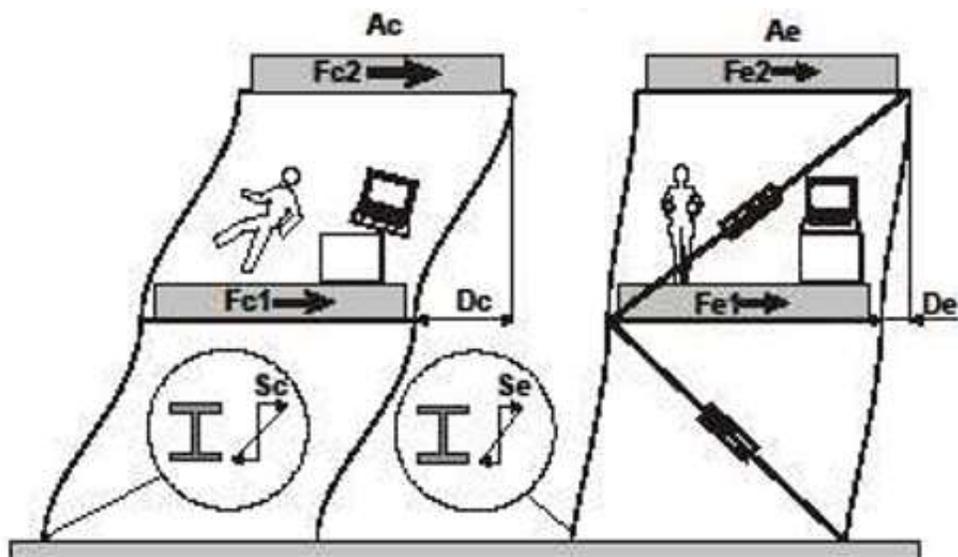
DISSIPAZIONE DI ENERGIA

Edificio
convenzionale

$$F_{c2} \gg F_{c1}$$

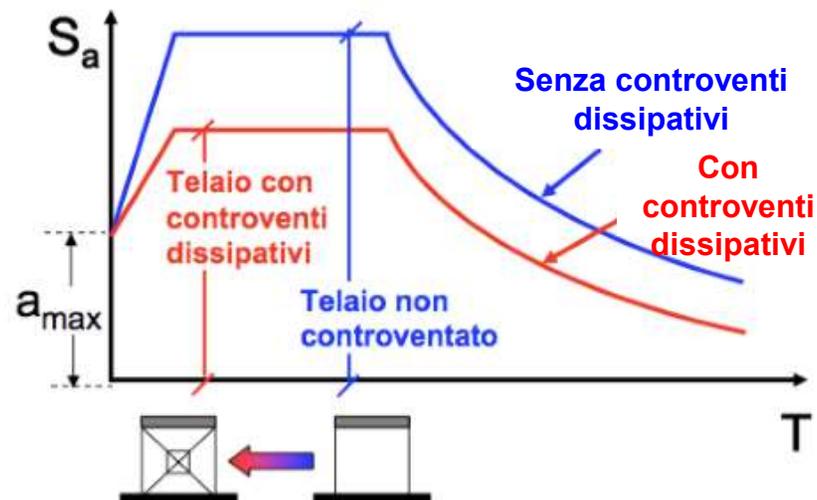
Edificio con
dissipatori

$$F_{e2} > F_{e1}$$

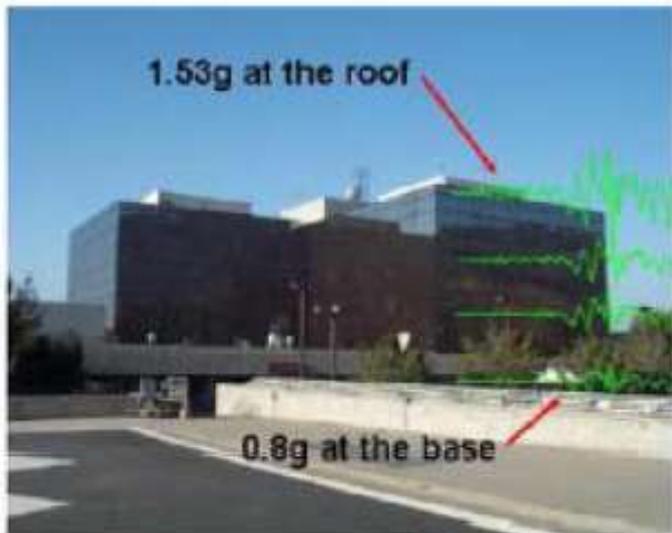


$$S_{a,c} > S_{a,e} \quad S_{d,c} > S_{d,e}$$

$$F_c > F_e \quad D_c > D_e$$

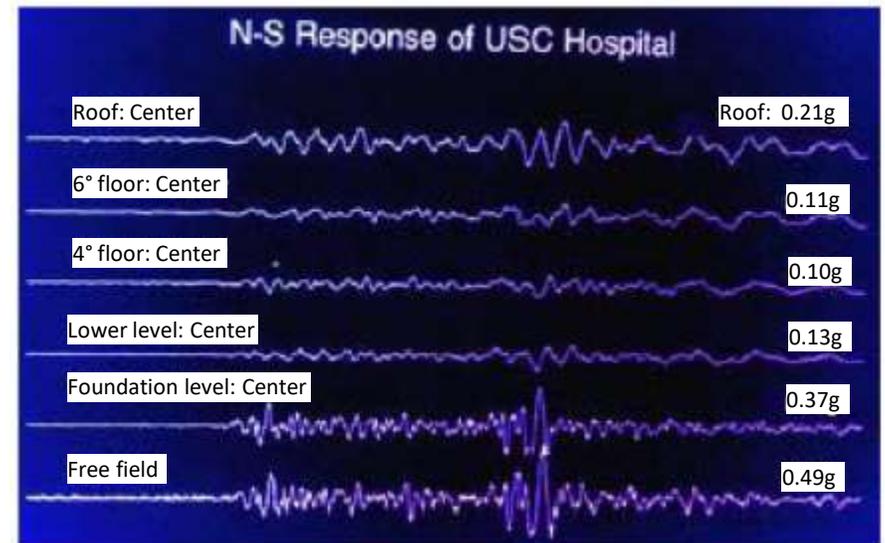


VANTAGGI ISOLAMENTO



Roof: 1.53g
4th Floor: 1.30g
3th Floor: 1.07g
1th Floor: 0.80g

Effetti del terremoto di Northridge CA sull'Olive View Hospital, Sylmar



Risposta sperimentale su struttura isolata del terremoto di Northridge

Confronto tra accelerazioni su struttura a base fissa e a base isolata nel caso del terremoto di Northridge, California (1994).

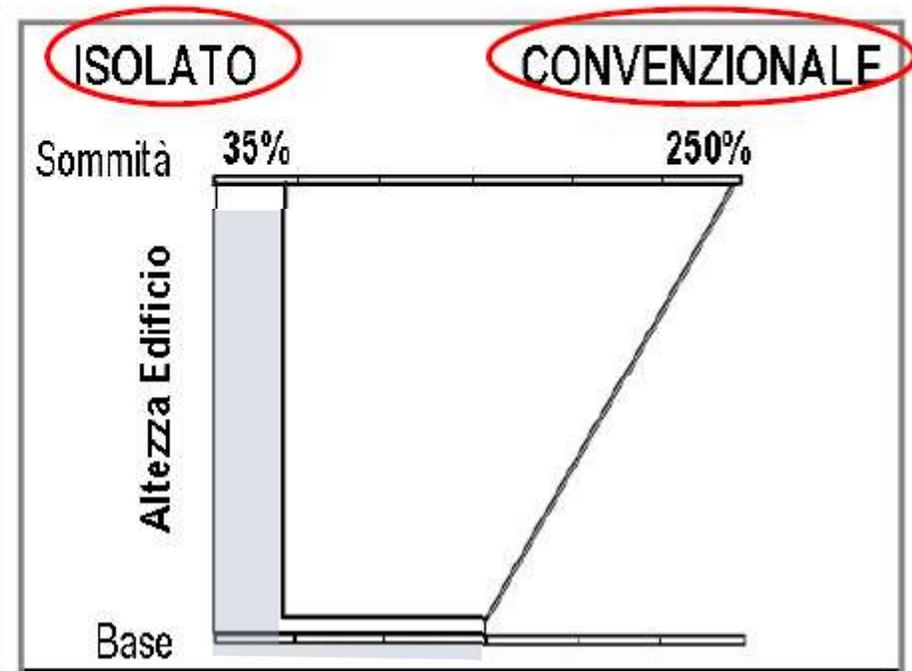
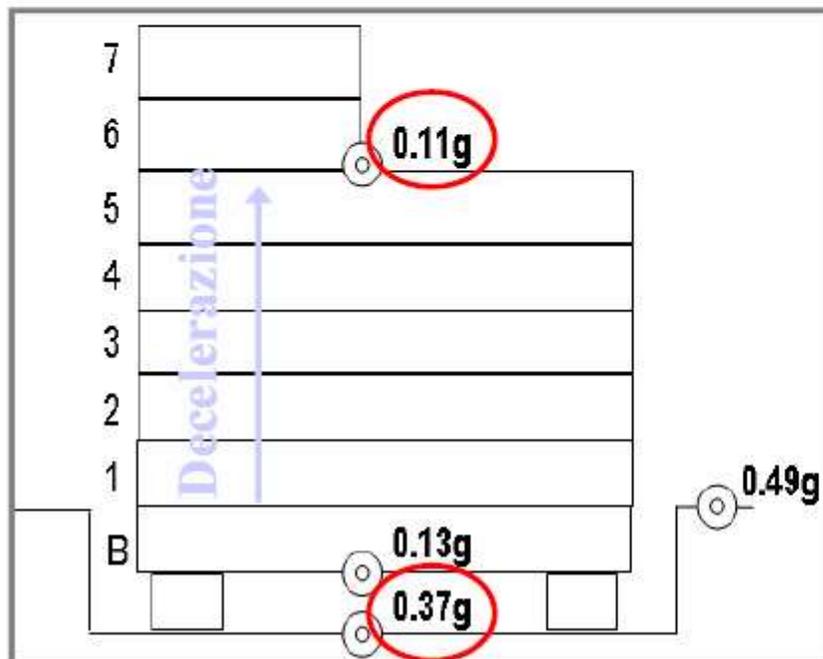
VANTAGGI ISOLAMENTO



Edificio Keck Medicine USC Hospital, L.A., California.

Riduzione dell'amplificazione dinamica dell'azione sismica alla base

($A_{is}/A_{bf} = 1/3$, posizionato a ca. 30km dall'epicentro)



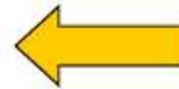
Terremoto di Northridge, California (1994).

APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO

Esempi di nuove costruzioni in Europa



Da Luz, Lisbona,
Portogallo



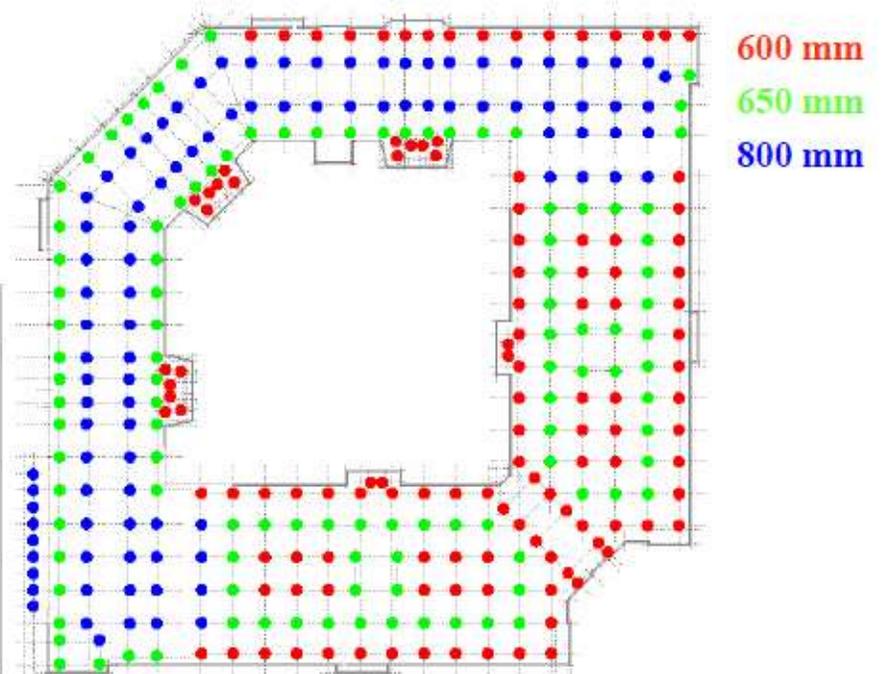
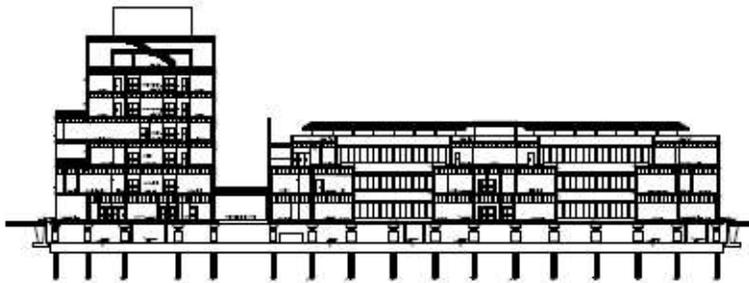
Gervasutta, Udine,
Italia



Identificativo Ospedale	Numero isolatori	Periodo struttura	Spostamento massimo	Smorzamento viscoso
Gervasutta	52	2.0 sec	180 mm	10%
Da Luz	315	2.5 sec	180 mm	10-15%
Napoli	327	2.4 sec	243 mm	15%

APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO

Nuovo complesso ospedaliero OS.MAR. a Napoli

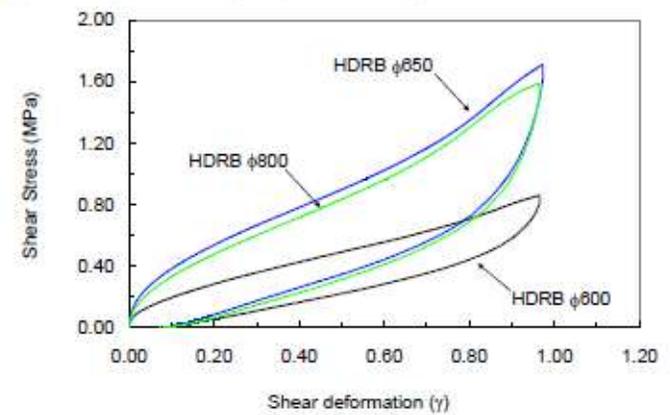


600 mm
650 mm
800 mm



Proprietà meccaniche	Miscela normale	Miscela dura
Resistenza a compressione (N/mm ²)	15.5	15.5
Deformazione ultima (%)	350	300
Modulo di taglio (N/mm ²)	0.80±0.12	1.40±0.21
Smorzamento viscoso equivalente (%)	15	15

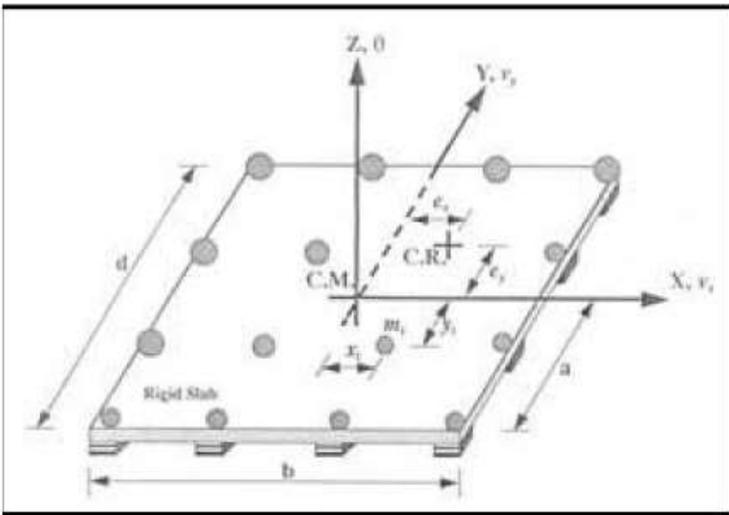
Diametro isolatore (mm)	Numero di isolatori	Rigidezza orizzontale K _h (kN/mm)	Rigidezza verticale K _v (kN/mm)	Rapporto di rigidezza K _v /K _h
600	122	1.51	1802	1195
650	108	2.98	2472	830
800	97	4.89	3949	808



APPLICAZIONI ISOLAMENTO SISMICO



Complesso ospedaliero AS.MAR. a Napoli

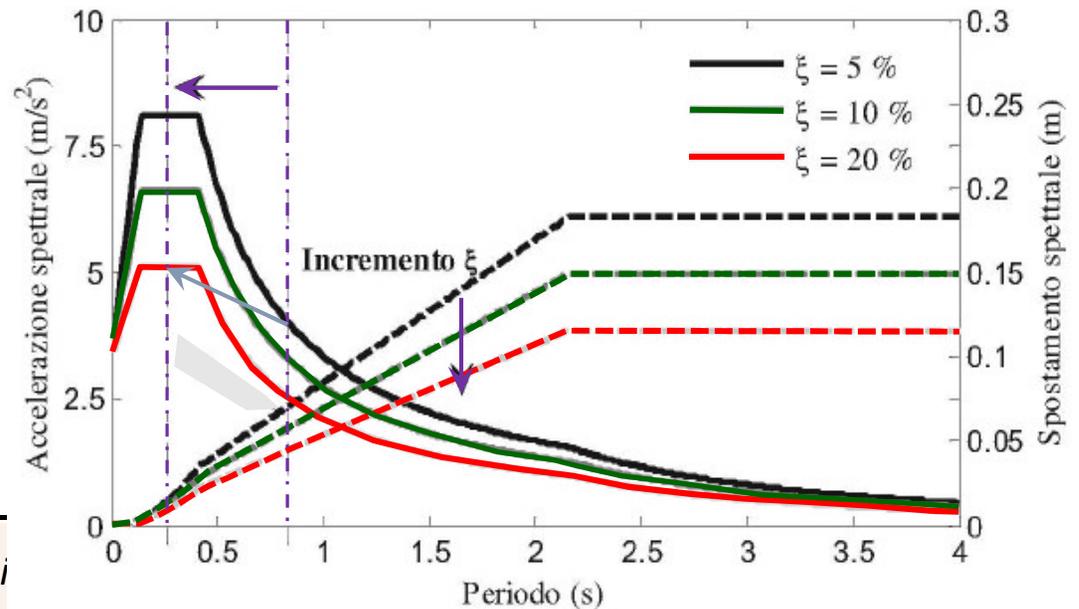
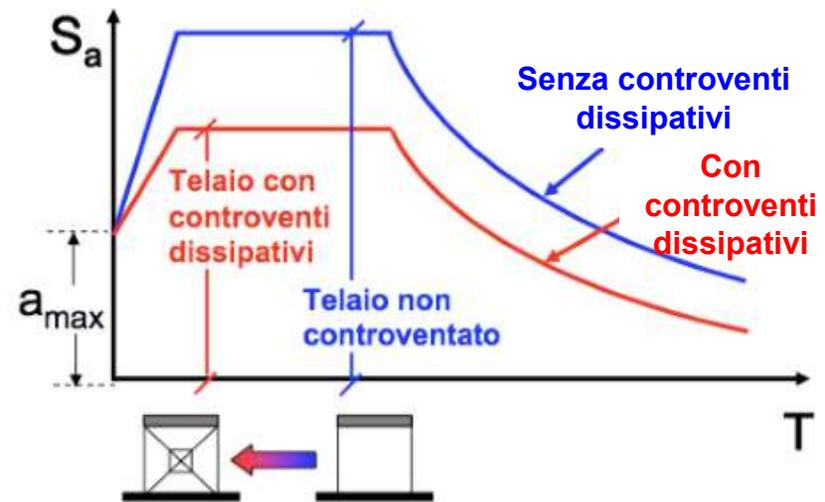


SISTEMI DI DISSIPAZIONE

Per migliorare le prestazioni sismiche delle costruzioni, si possono utilizzare opportuni dispositivi:

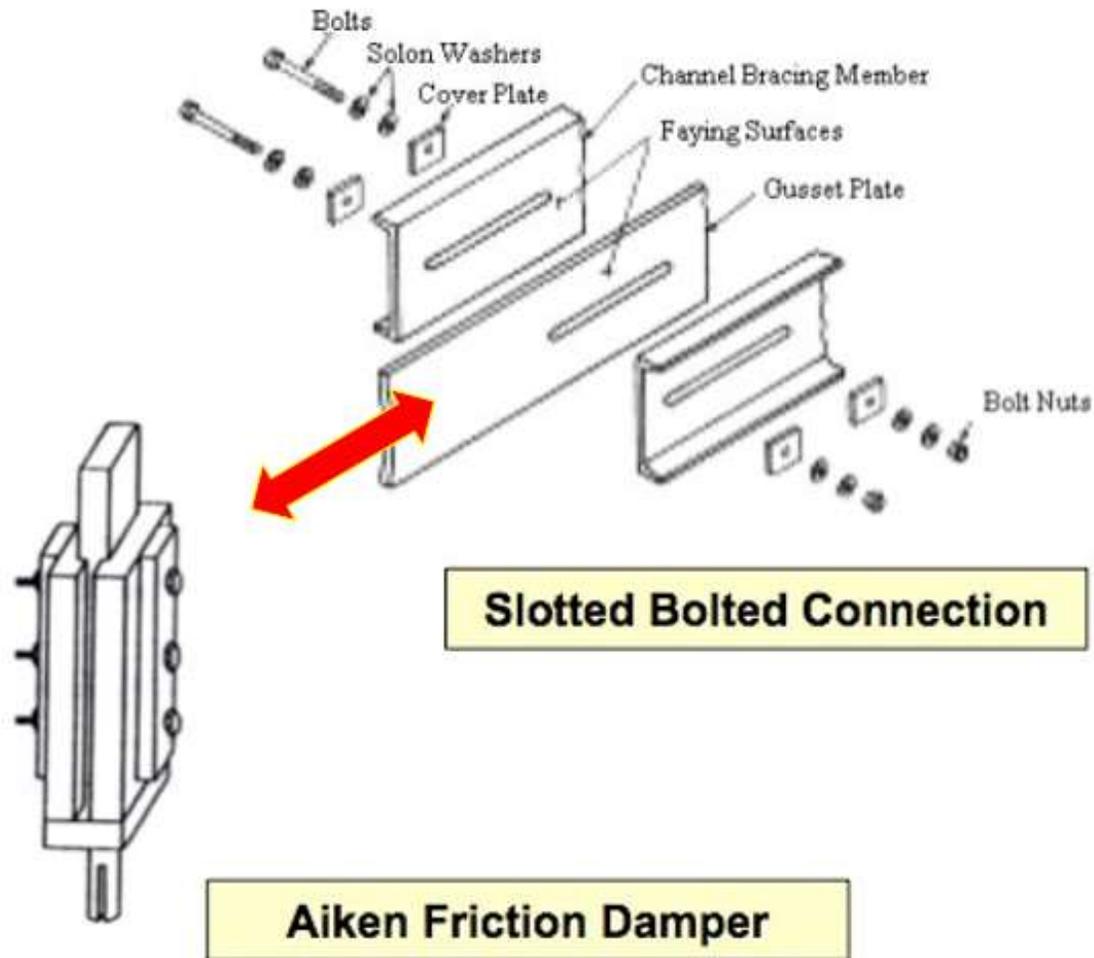
Dissipatori energetici

- *Ad attrito*
- *Viscoelastici*
- *Elasto-plastici*
- *Ricentranti*



INTERVENTO CON DISSIPATORI

Dissipatori ad attrito



INTERVENTO CON DISSIPATORI

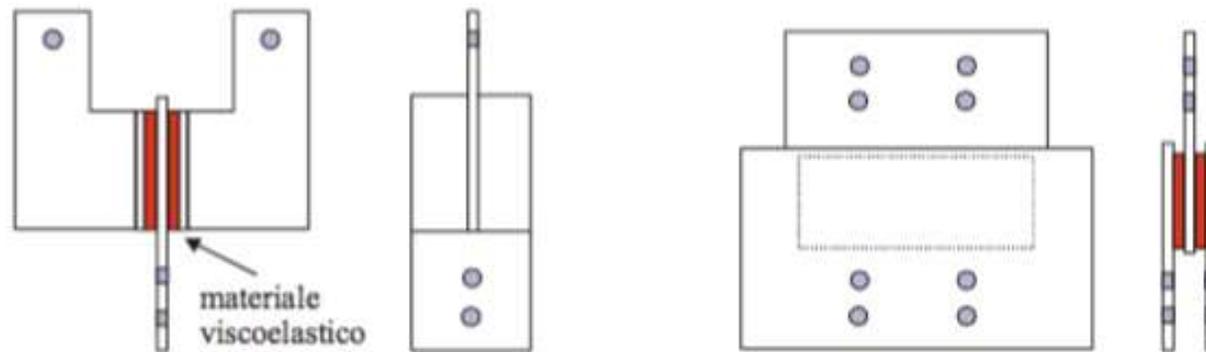
Dissipatori viscosi



INTERVENTO CON DISSIPATORI

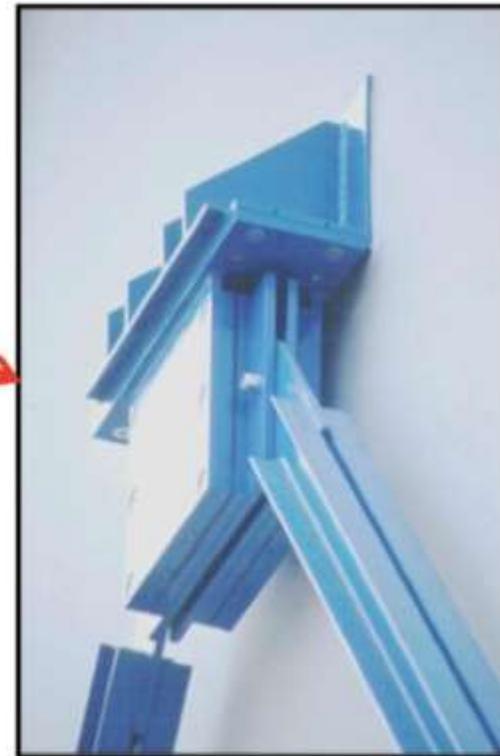
Dissipatori viscoelastici

- Dissipazione di energia per effetto della deformazione subita dagli strati di materiale viscoelastico



INTERVENTO CON DISSIPATORI

Scuola “Gentile Fermi” a Fabriano. Adeguamento con dissipatori.



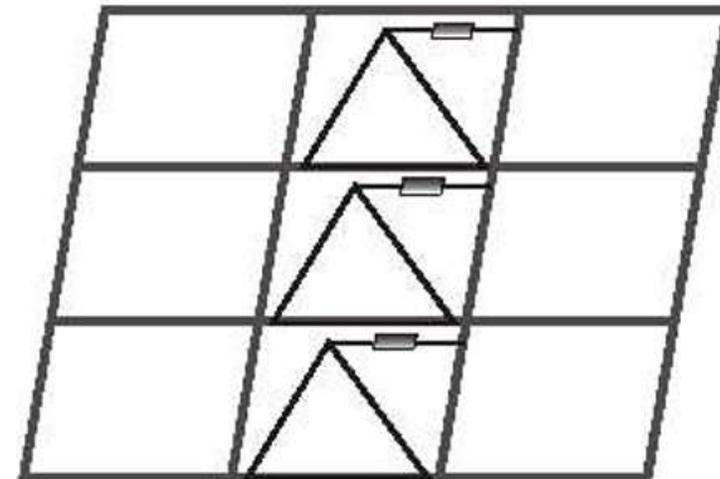
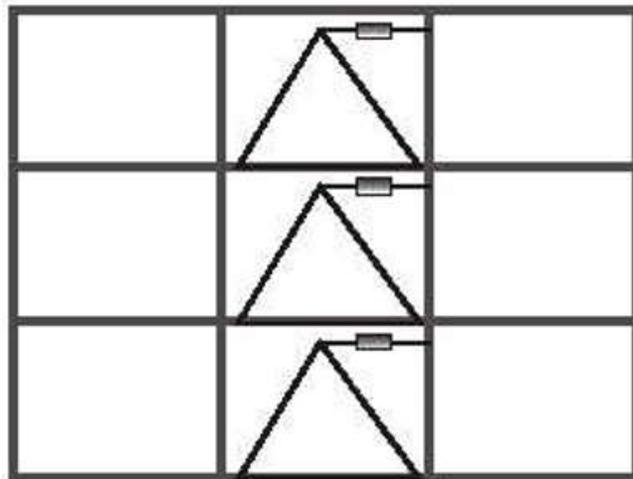
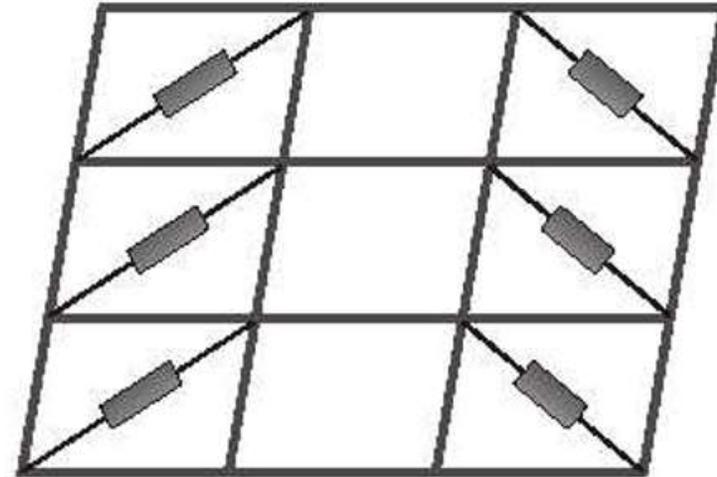
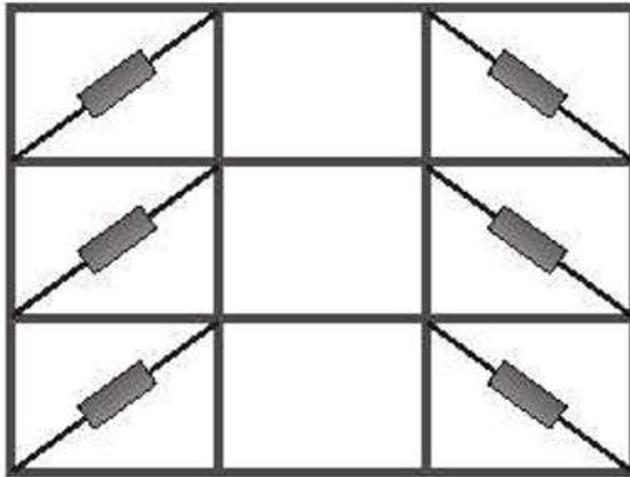
INTERVENTO CON DISSIPATORI

Dissipatori elasto-plastici.



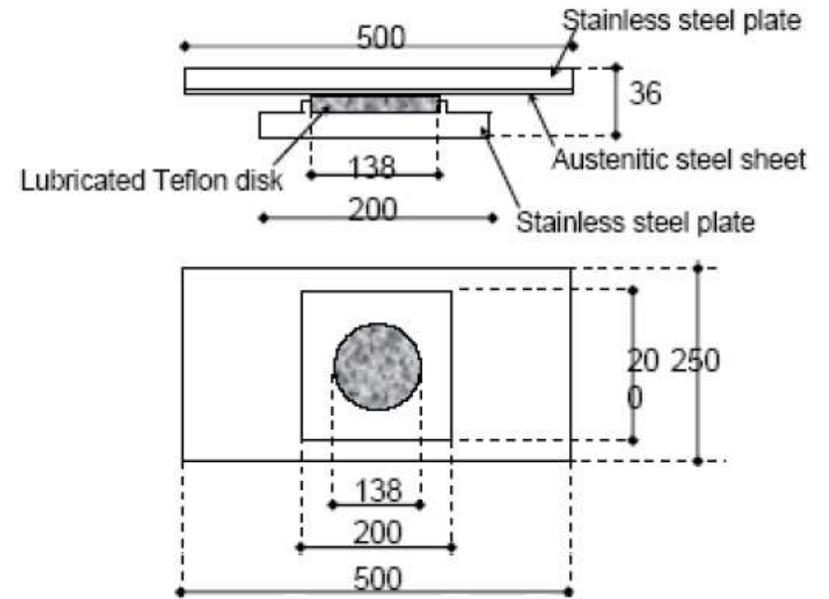
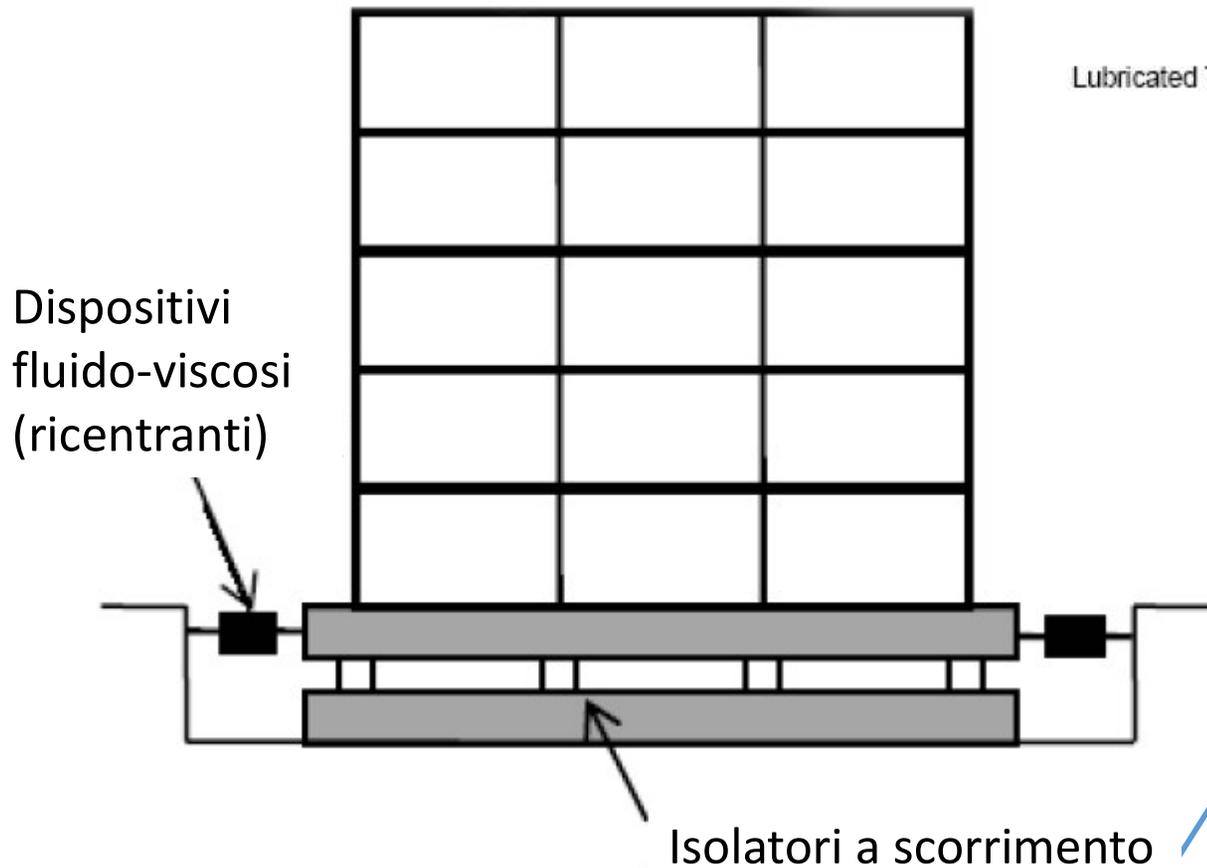
INTERVENTO CON DISSIPATORI

Dissipatori ad attrito, viscoelastici, ricentranti, ecc.



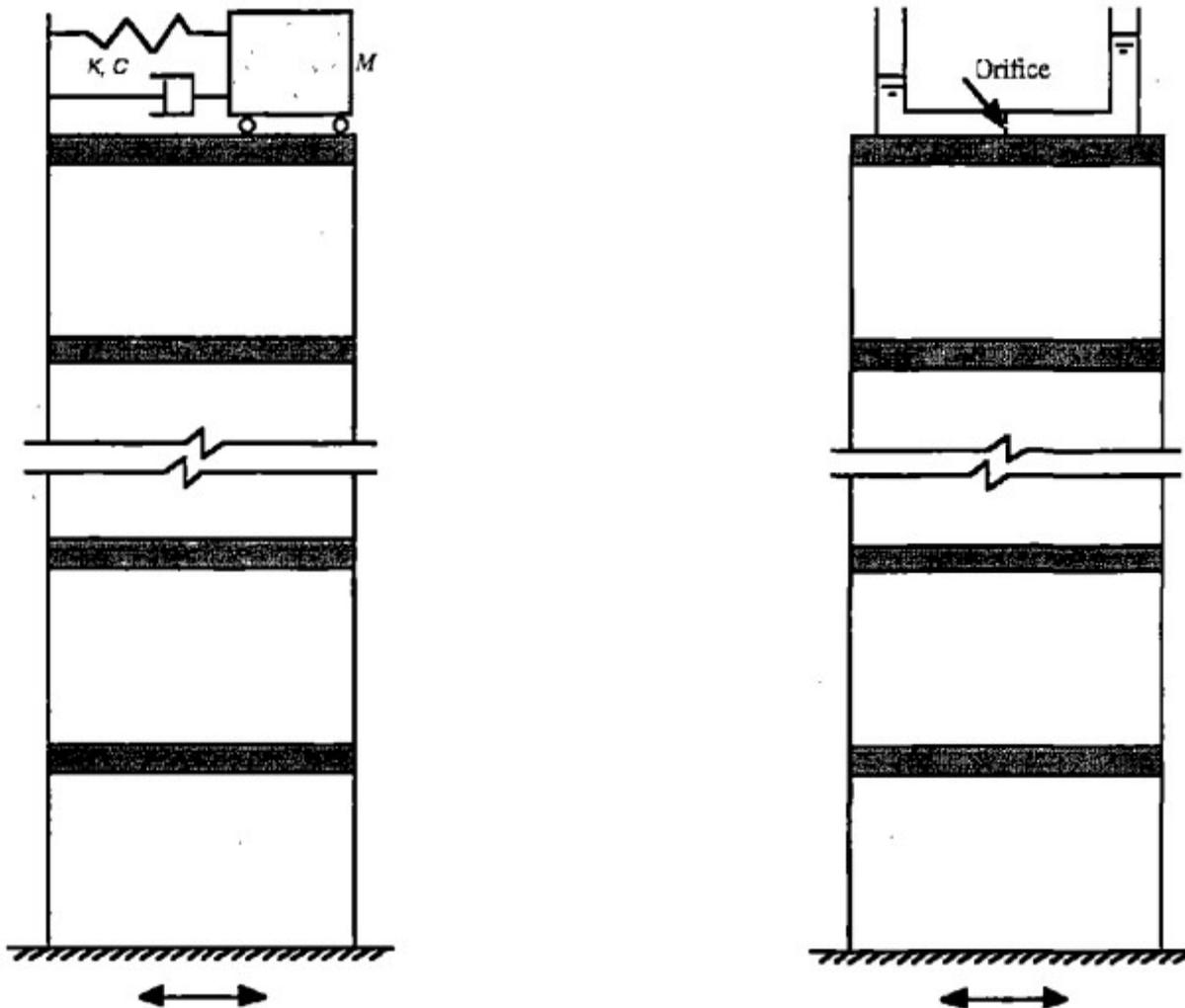
INTERVENTO CON DISSIPATORI

ISOLATORI A SCORRIMENTO

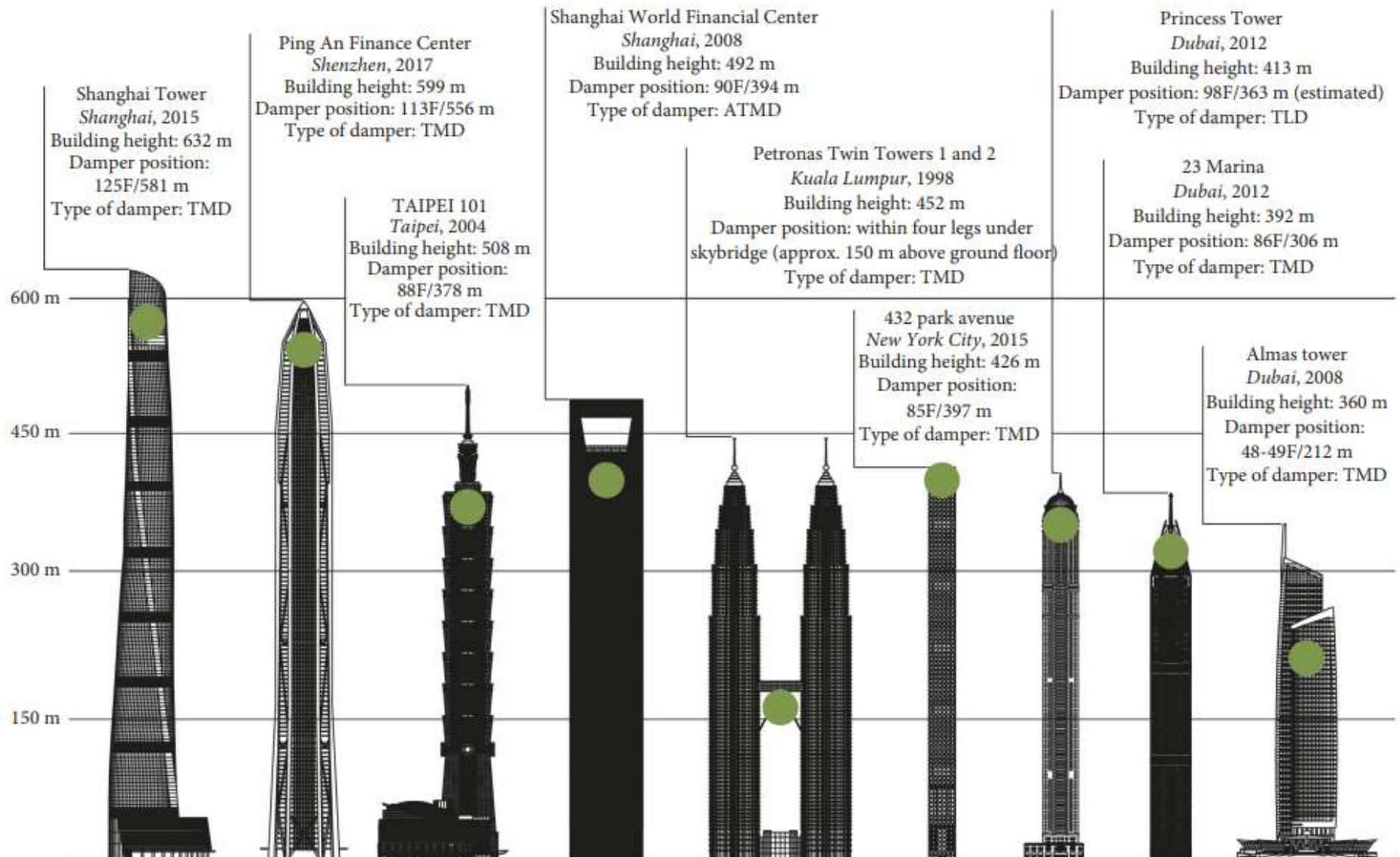


CONTROLLO SISMICO E A VENTO EDIFICI ALTI

Dispositivi a massa accordata TMD (*Tuned Mass Damper*)

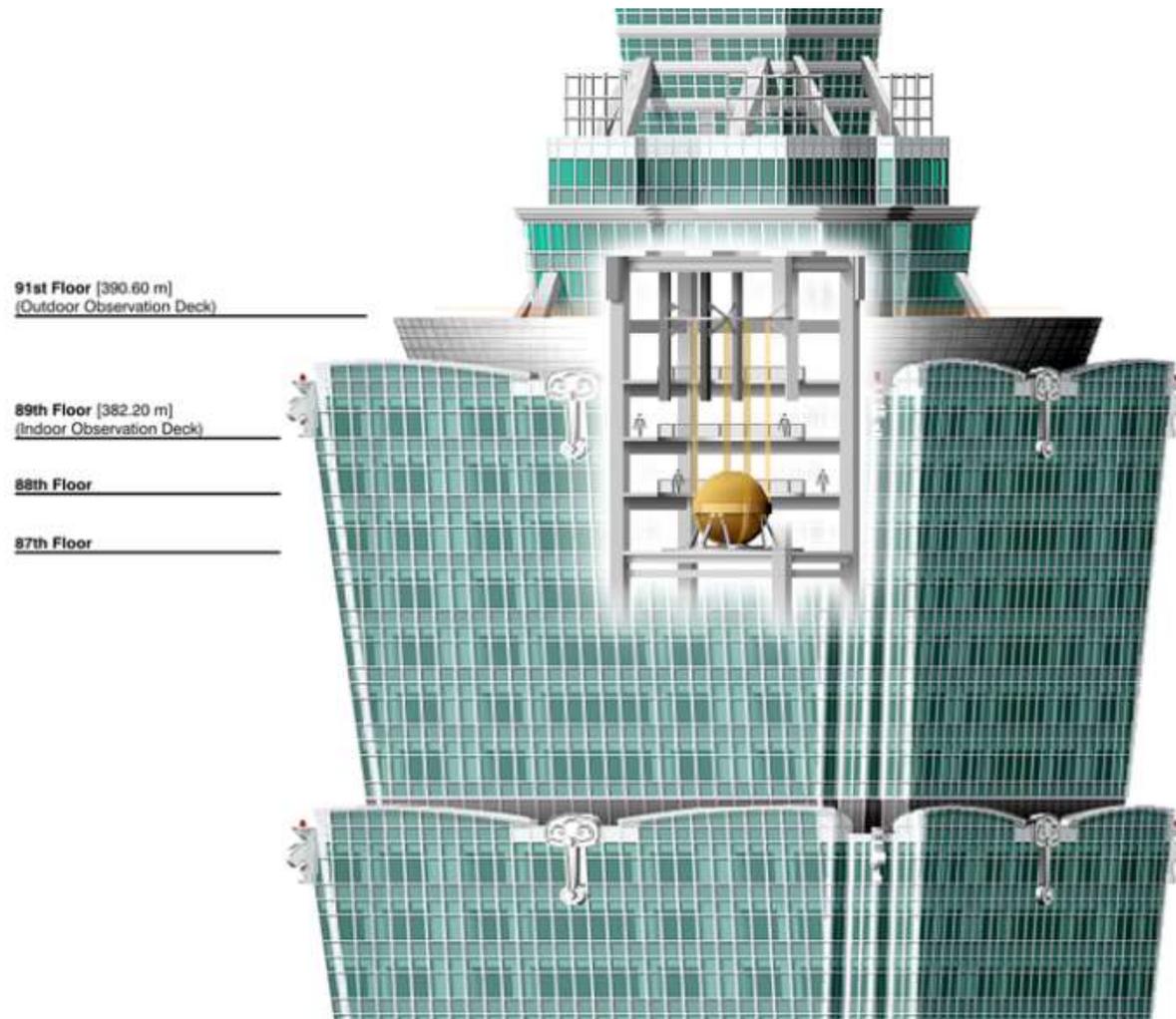


CONTROLLO SISMICO E A VENTO EDIFICI ALTI



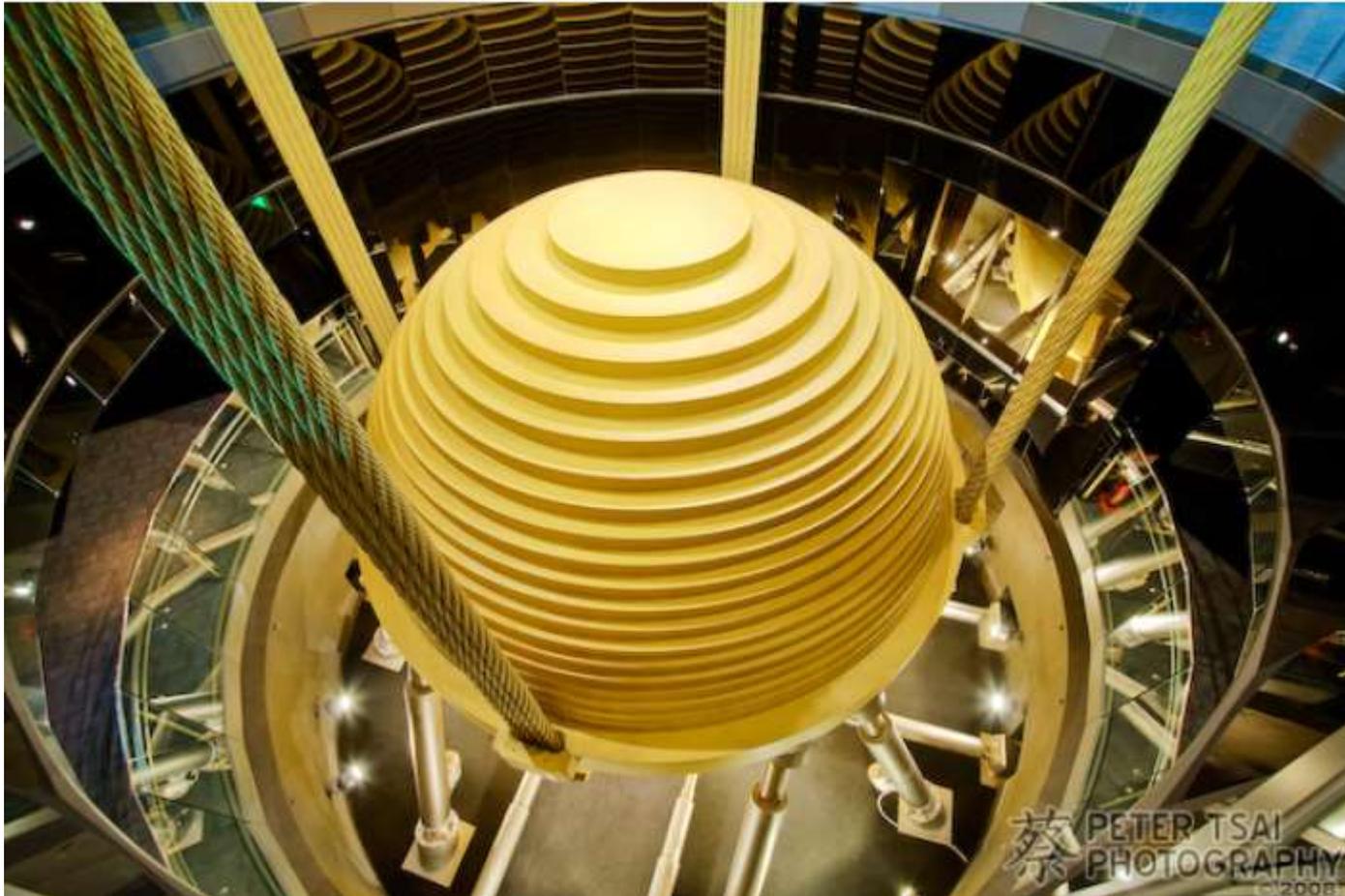
DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA

TMD (*Tuned Mass Damper*) del Taipei 101



DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA

TMD (*Tuned Mass Damper*) del Taipei 101



DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA

Video 1

Ing. Marco Pisapia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Prof. Ing. Natalino Gattesco



DISPOSITIVI A MASSA ACCORDATA

Video 2



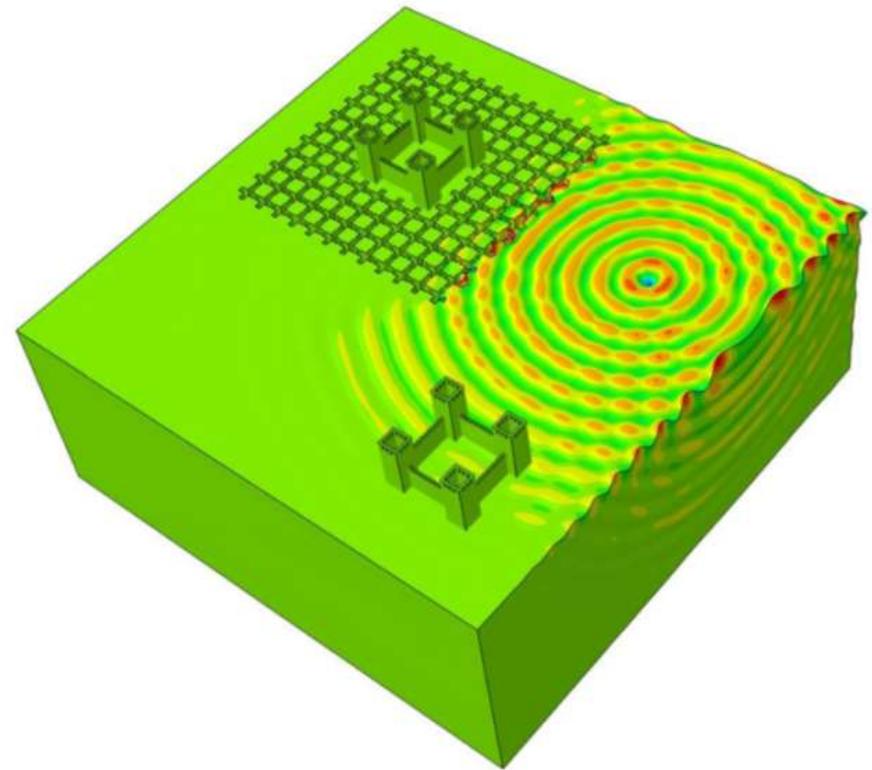
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Prof. Ing. Natalino Gattesco



SCUDI SISMICI - METAMATERIALI

- Impiego di metamateriali creati con strutture composite
- Inibiscono la propagazione delle onde sismiche attraverso effetti di interferenza
- Potrebbero essere impiegati come “schermatura” di edifici vulnerabili al sisma senza dover intervenire sugli stessi



Studi in corso: es. UNITN, INGV

Moderne strategie di protezione sismica delle costruzioni

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Prof. Ing. Natalino Gattesco

ia dipartimento
di ingegneria
e architettura