

Corso AICAP: Le nuove NTC-2008

Progettazione strutturale in zona sismica

Criteri generali per la protezione sismica

Andria, 5 giugno 2010

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
STRUTTURALE E GEOTECNICA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Giorgio Monti
Ordinario di Tecnica delle Costruzioni

CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

Criteri generali di progettazione

- Le costruzioni devono essere dotate di sistemi strutturali che garantiscano rigidezza e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali delle azioni sismiche
- Le costruzioni soggette all'azione sismica devono essere progettate in accordo con i seguenti comportamenti strutturali:
 - a) comportamento strutturale non-dissipativo
 - b) comportamento strutturale dissipativo.

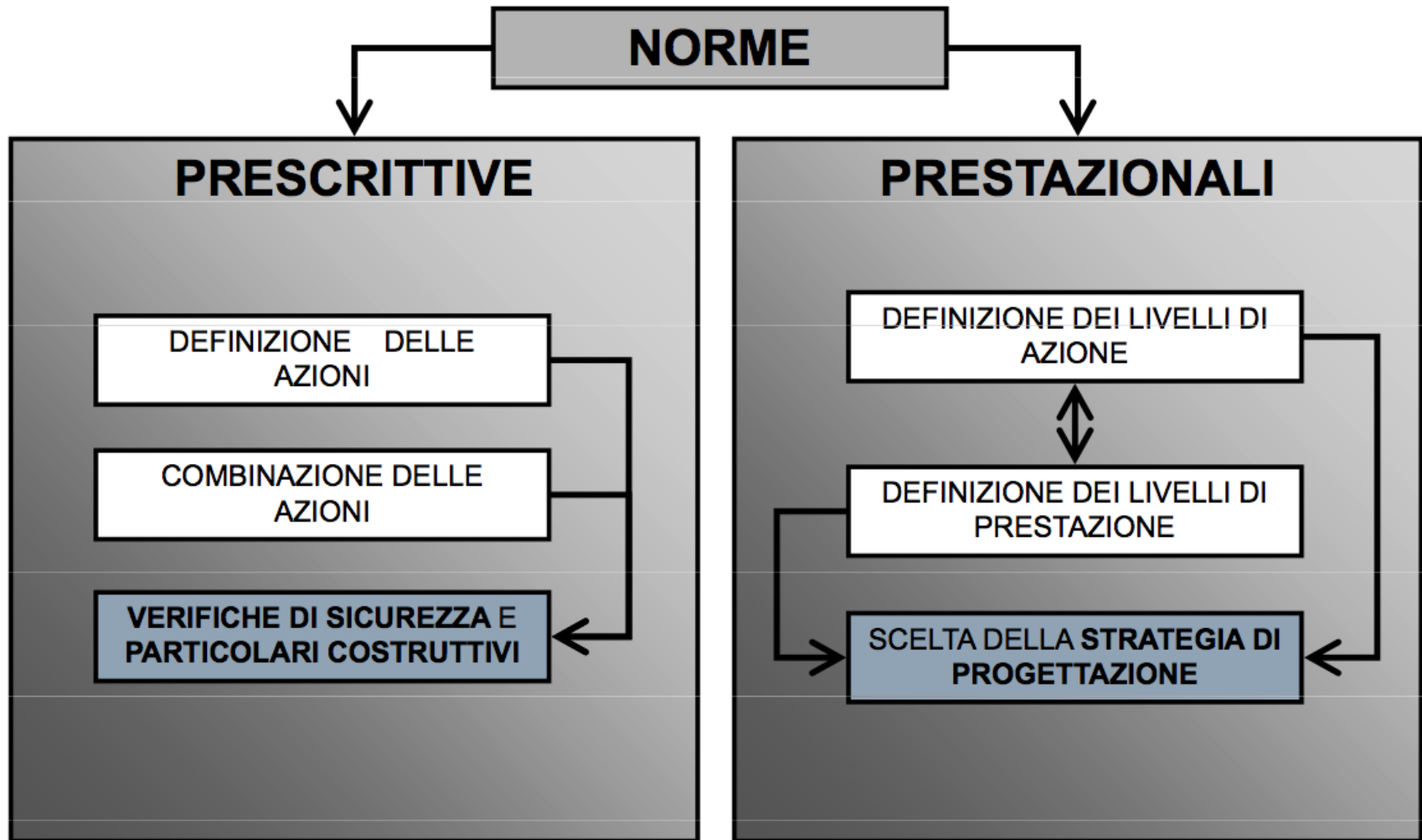
Comportamenti strutturali

- Non dissipativo → SLE
 - Gli effetti sono calcolati **senza tener conto delle non linearità** di comportamento (di materiale e geometriche)
- Dissipativo → SLU
 - Gli effetti sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, **tenendo conto delle non linearità** di comportamento (di materiale sempre, geometriche quando rilevanti e comunque sempre quando precisato).

Comportamenti strutturali

- **Gli elementi strutturali delle fondazioni**
 - devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante
 - devono avere comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di esse gravante.

Filosofia dei codici



Definizione dei livelli di prestazione (Stati Limite)

SLO (SL immediata Operatività)

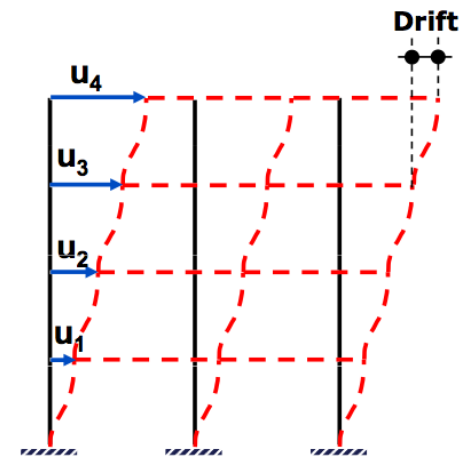
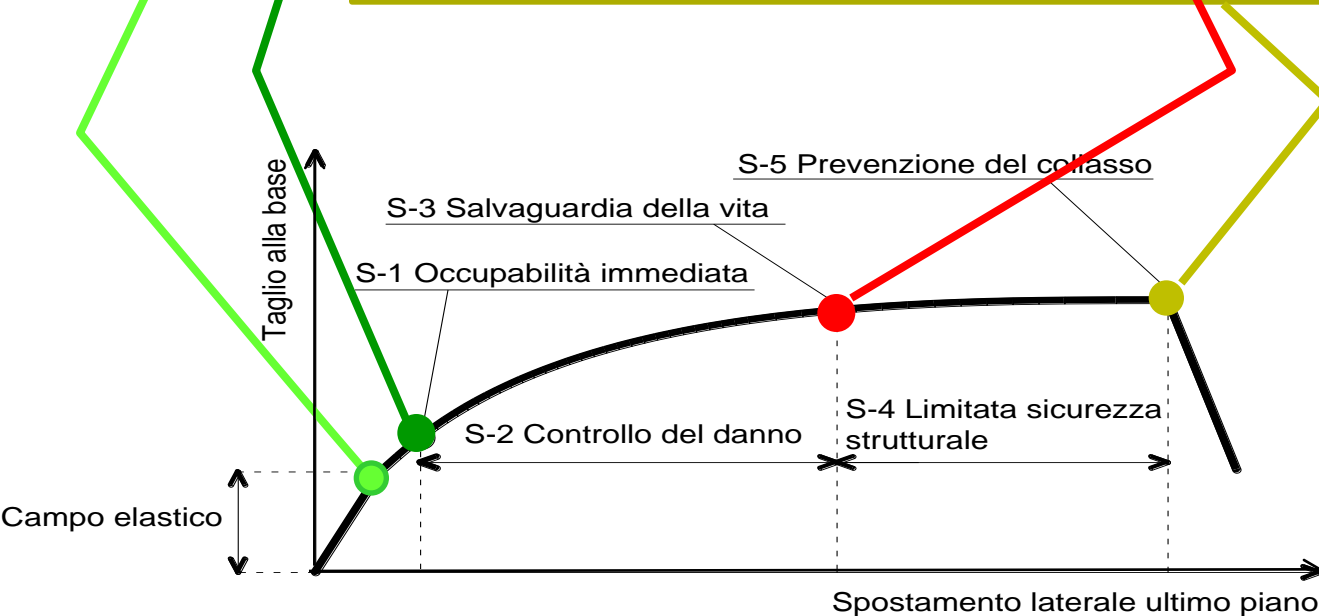
SLD (SLDanno/immediata occupazione)

SLV (SL salvaguardia della Vita)

SLC (SL prevenzione del Collasso)

2 Stati Limite di Esercizio (SLE)

2 Stati Limite Ultimi (SLU)



Comportamento strutturale dissipativo

- Si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttività (CD):
 - Classe di Duttività Alta (CD”A”)
 - Classe di Duttività Bassa (CD”B”)
- La differenza è nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione.

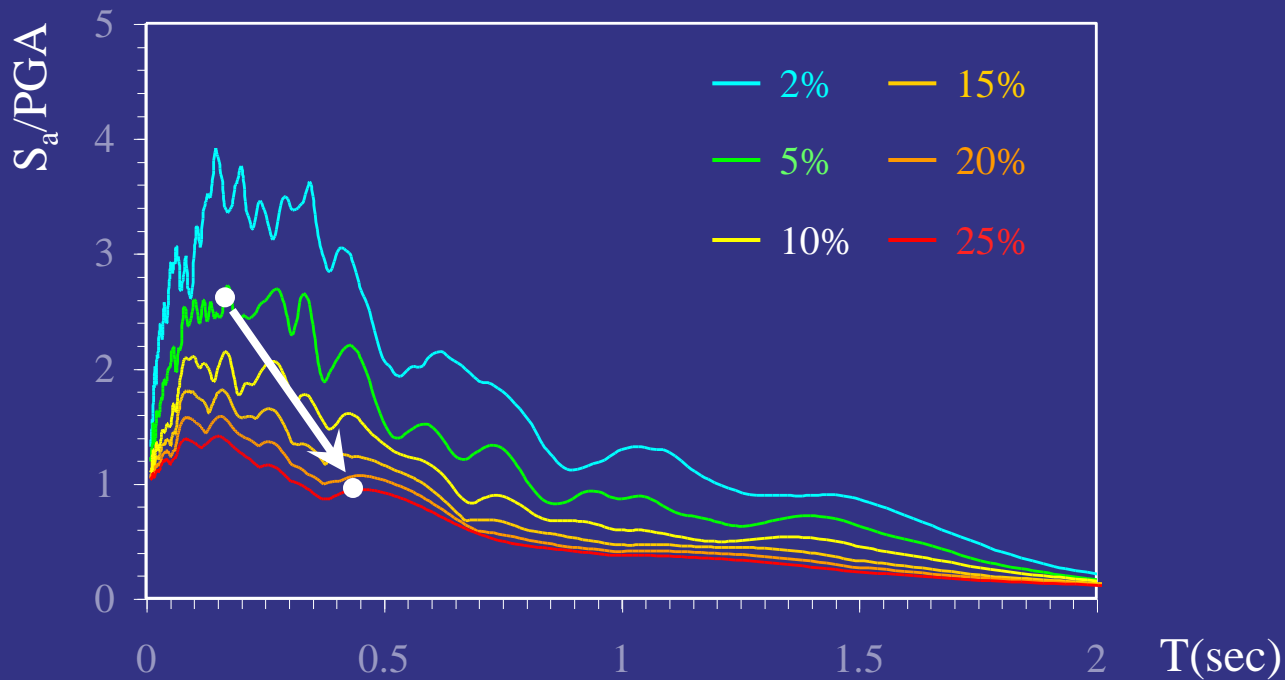
Comportamento strutturale dissipativo

- Per assicurare tale comportamento (dissipativo e duttile) evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della **gerarchia delle resistenze**.

Criteri generali di progettazione antisismica

- Dissipare energia durante il sisma, attraverso il comportamento isteretico dei materiali
- Aumentare il periodo di vibrazione della struttura riducendo così la risposta all'eccitazione sismica
- Evitare rotture fragili (improvvisi e catastrofici)
- Avere notevoli vantaggi economici
 - E' antieconomico progettare una struttura che rimanga elastica sotto l'azione di terremoti violenti, aventi ridotta probabilità di accadimento nella vita di riferimento della struttura.

La risposta di una struttura antisismica



Struttura elastica
(*sismi moderati*)

$$T_0 = N/12$$

$$\xi = 5\%$$

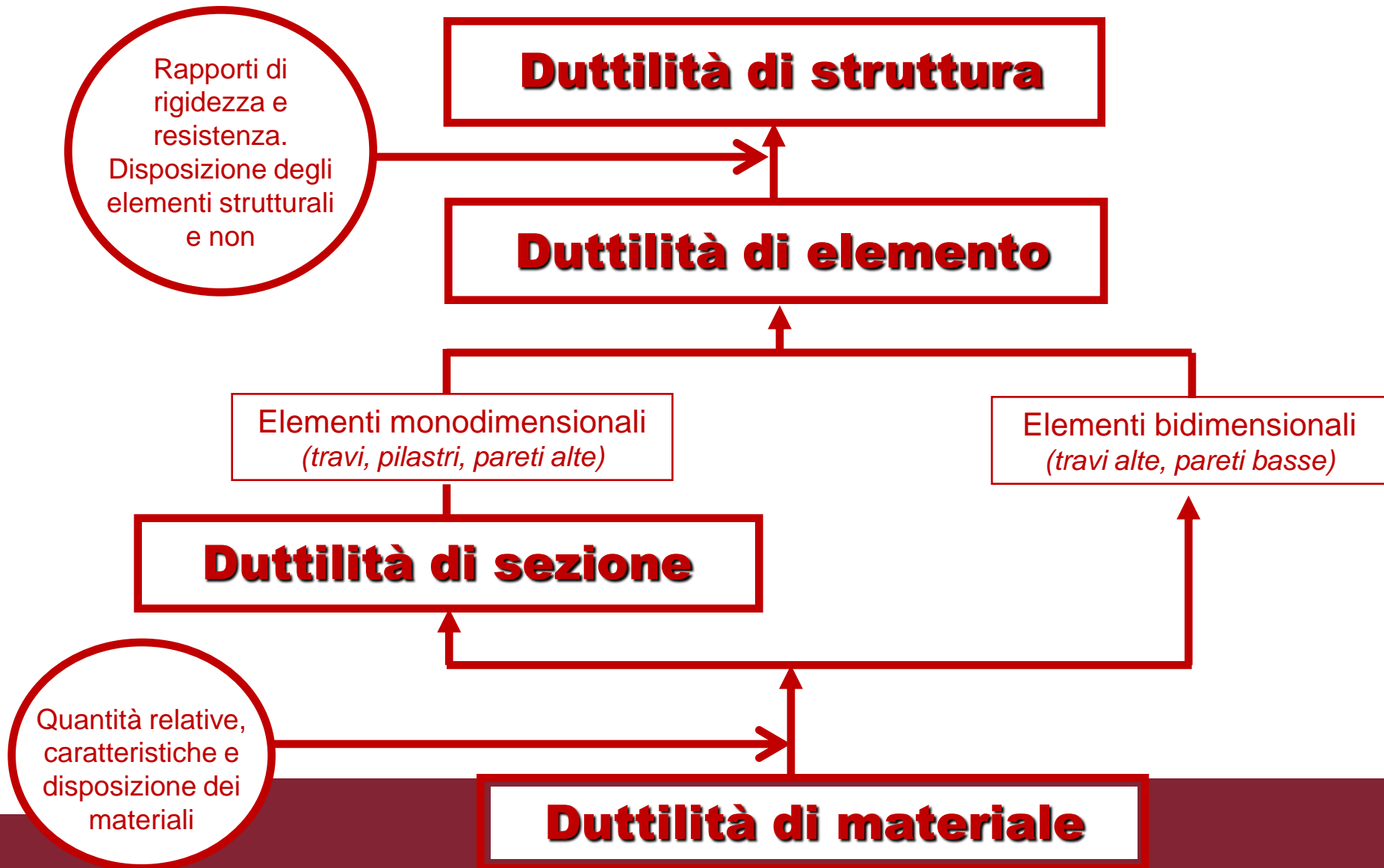


Struttura danneggiata
(*sismi violenti*)

$$T = (1.5 \div 2) T_0$$

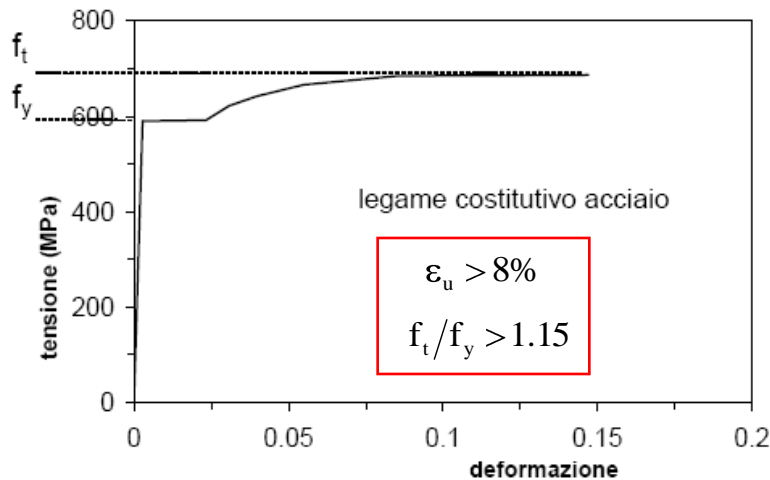
$$\xi = (25 \div 30) \%$$

Duttilità globale e duttilità locale

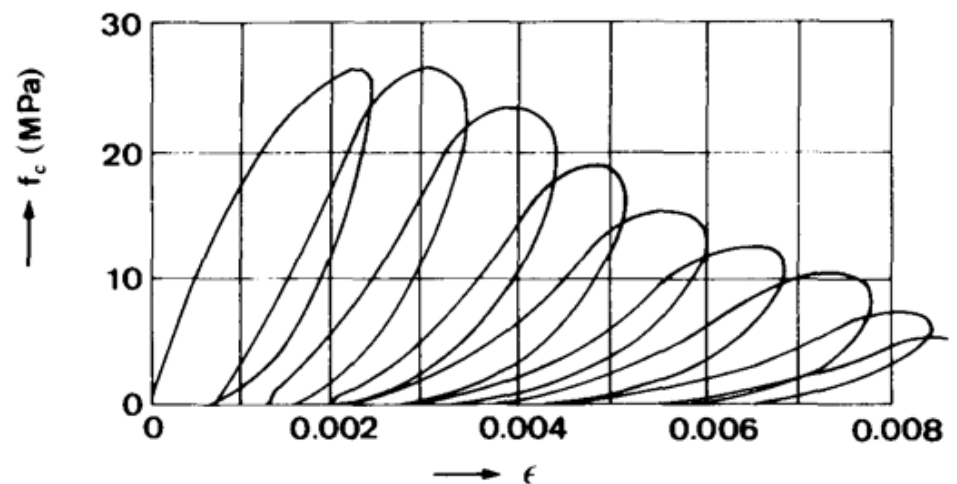


Duttilità di materiale

- L'**acciaio** da costruzione presenta tipicamente un'elevata duttilità
- Il **calcestruzzo** è un materiale fragile ed è necessario far ricorso al confinamento (staffe, spirali) per ottenere una buona duttilità.

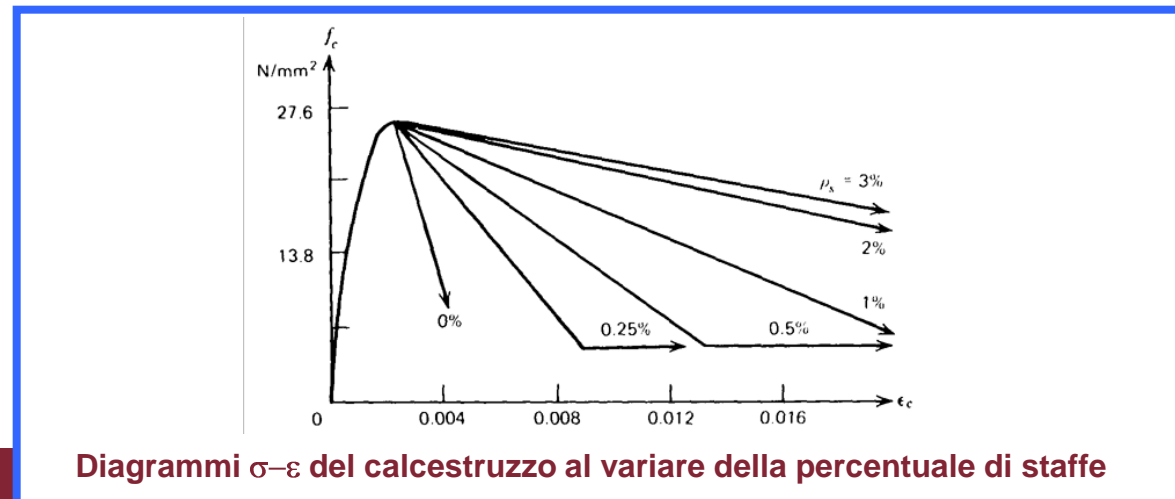
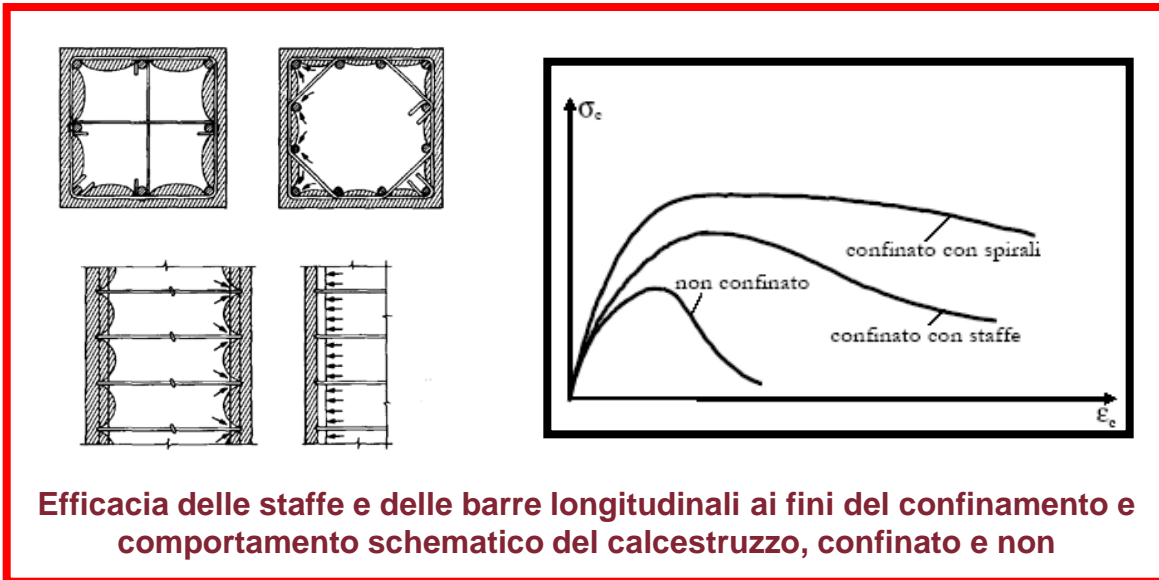


Tipico legame costitutivo dell'acciaio a trazione

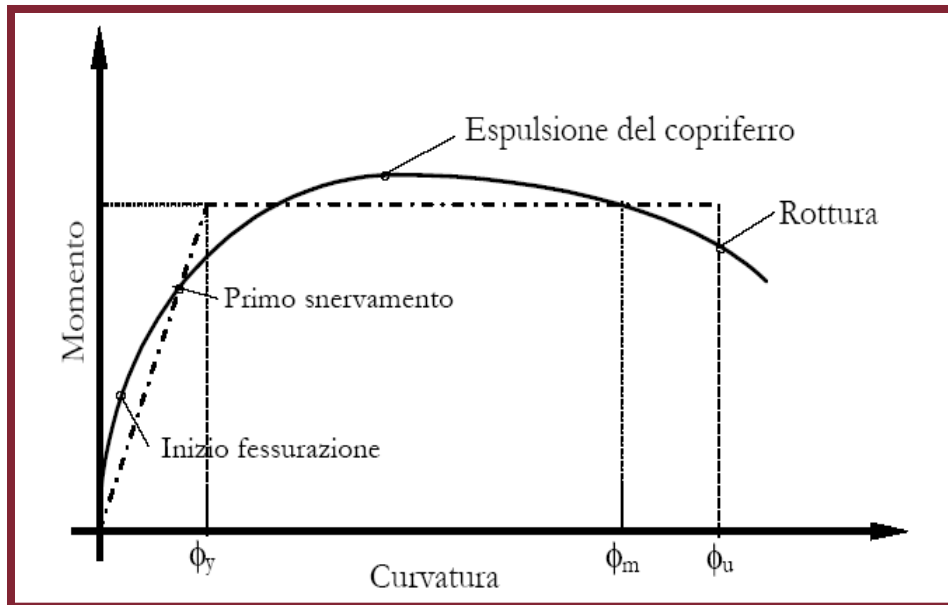


Test di compressione ciclica sul calcestruzzo: legame σ - ϵ

Duttilità conferita al calcestruzzo

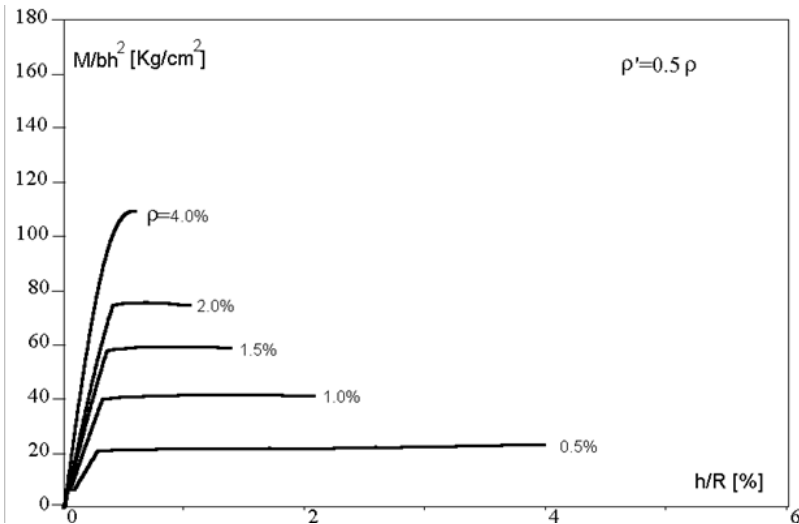


Duttilità di sezione

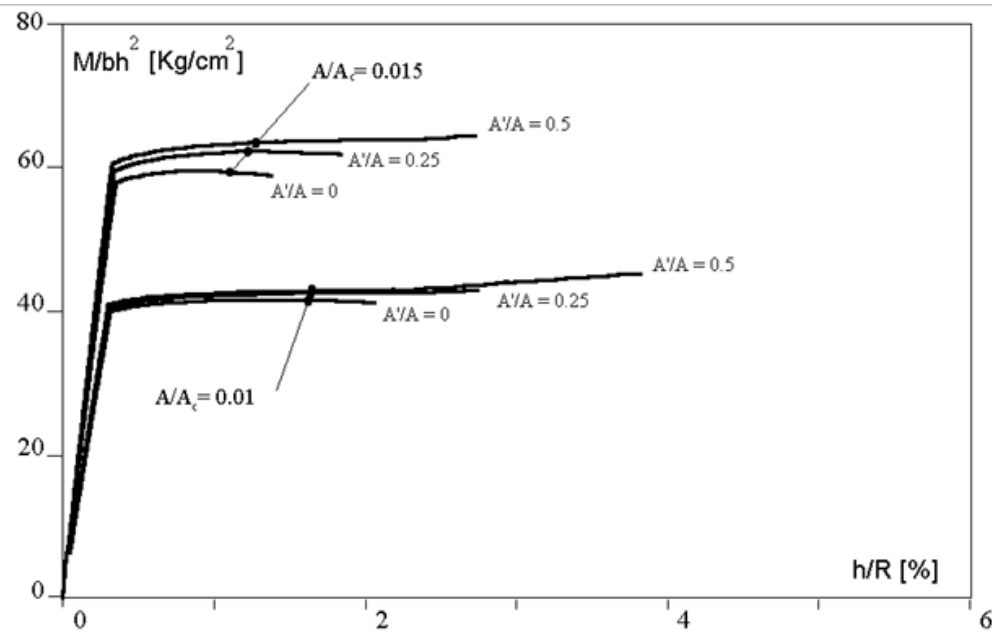


- La duttilità si riduce:
 - All'aumentare dello **sforzo di compressione**
 - All'aumentare della **armatura tesa**
- La duttilità aumenta:
 - All'aumentare della **armatura compressa**
 - All'aumentare della **armatura trasversale**
 - aumenta il confinamento del calcestruzzo.

Duttilità di sezione

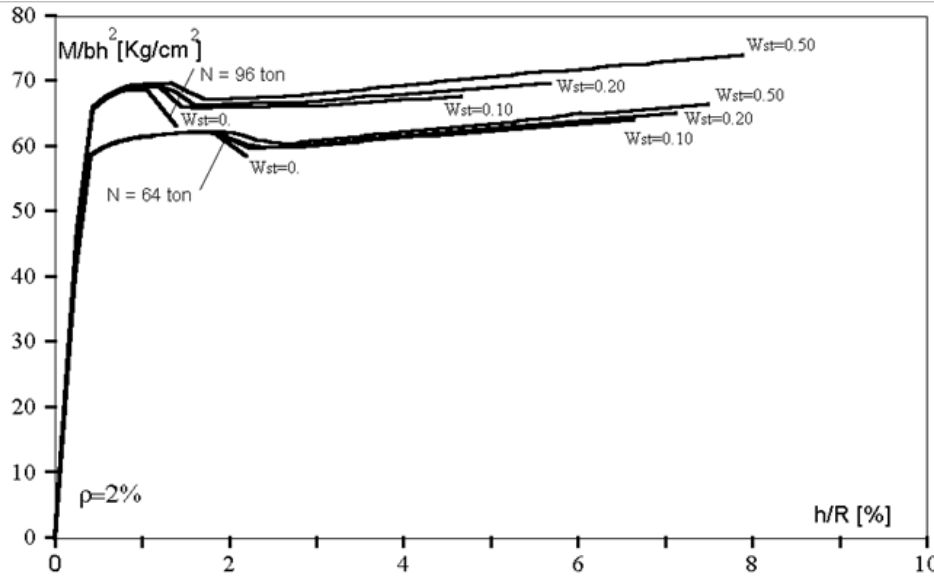


Diagrammi momento-curvatura al variare della percentuale di armatura tesa

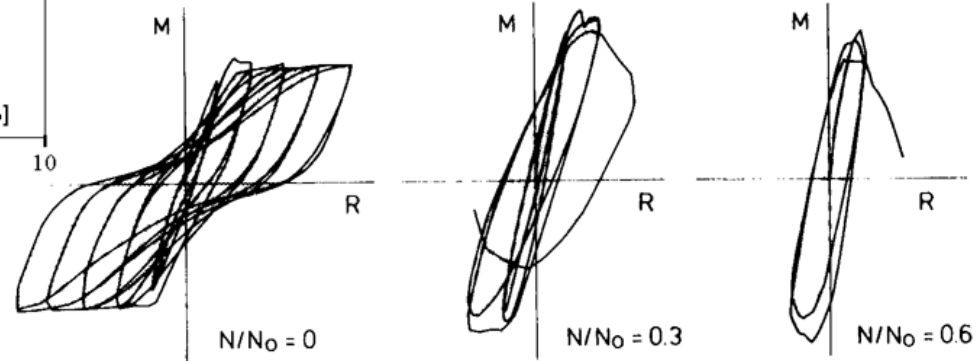


Influenza dell'armatura compressa sui diagrammi M- ϕ

Duttilità di sezione



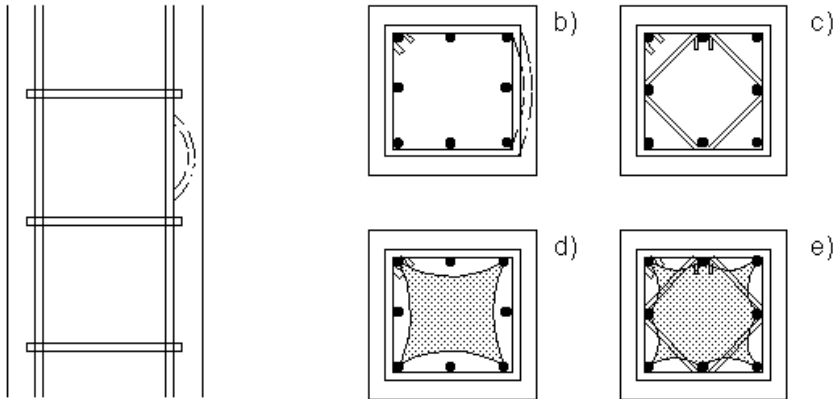
Influenza della percentuale di armatura trasversale sui diagrammi M- ϕ



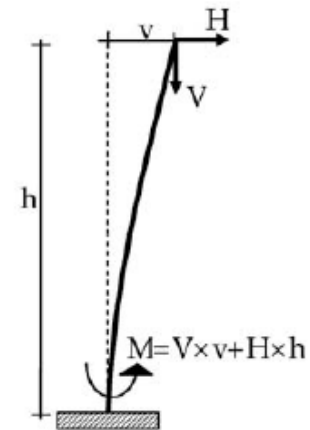
Influenza dello sforzo normale sui diagrammi M- ϕ

Duttilità di elemento

- La duttilità di elemento dipende fortemente:
 - Dall'armatura (staffe) nella cerniera plastica
 - Si riduce il rischio di instabilità delle barre longitudinali compresse
 - Dall'entità dello sforzo normale
 - Aumentano gli effetti del secondo ordine.



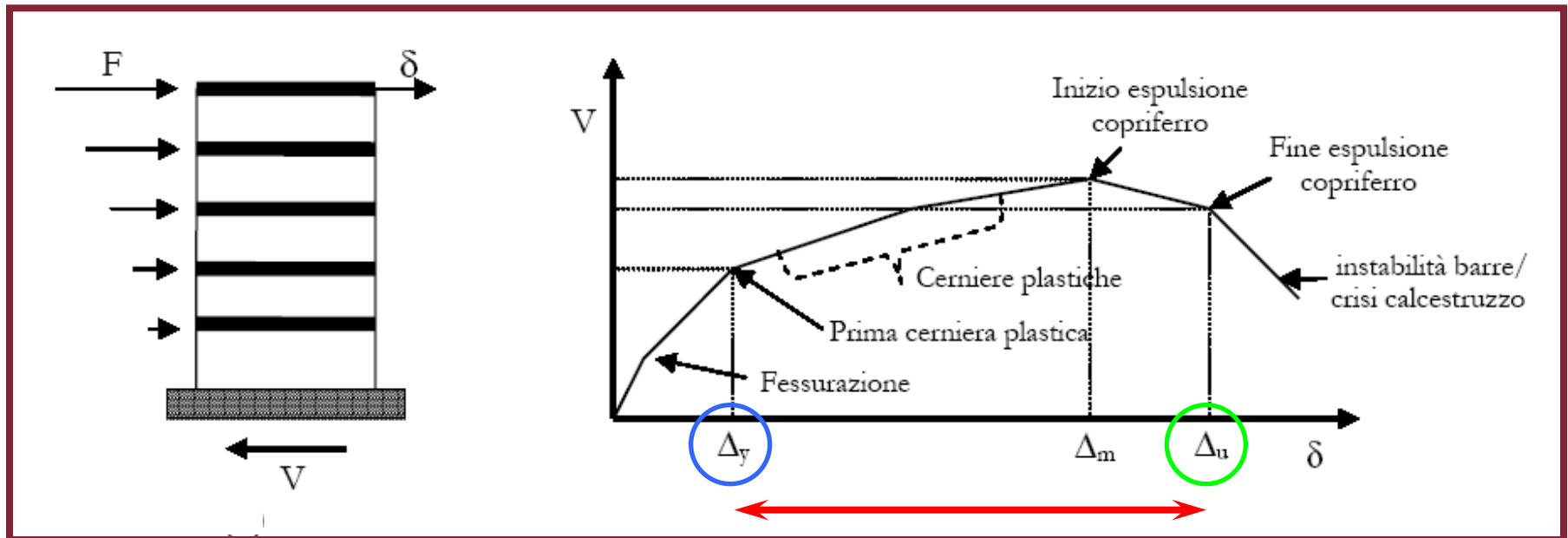
Instabilità dell'armatura longitudinale e contenimento delle staffe



Effetti del second'ordine

Duttilità di struttura

- Graficamente la duttilità di spostamento di un edificio può essere individuata sulla curva “taglio alla base – spostamento in sommità” (Curva di Capacità), ottenuta analiticamente applicando opportune distribuzioni di forze statiche equivalenti ai piani (metodo pushover).



La Progettazione Antisismica

(a) Adeguata concezione strutturale

(b) Cura nei dettagli costruttivi

Gerarchia Resist.

Regole pratiche

(1) $\mu_R < \mu_u$,

(2) comportamento ciclico isteretico globale stabile ed altamente dissipativo

**STRUTTURA
DUTTILE**

(i) Evitare rotture fragili (improvvisi e catastrofiche),

(ii) Dissipare energia limitando accelerazioni e spostamenti prodotti dal sisma,

(iii) Vantaggi economici.

Capacity Design

**Gerarchia
delle
resistenze**



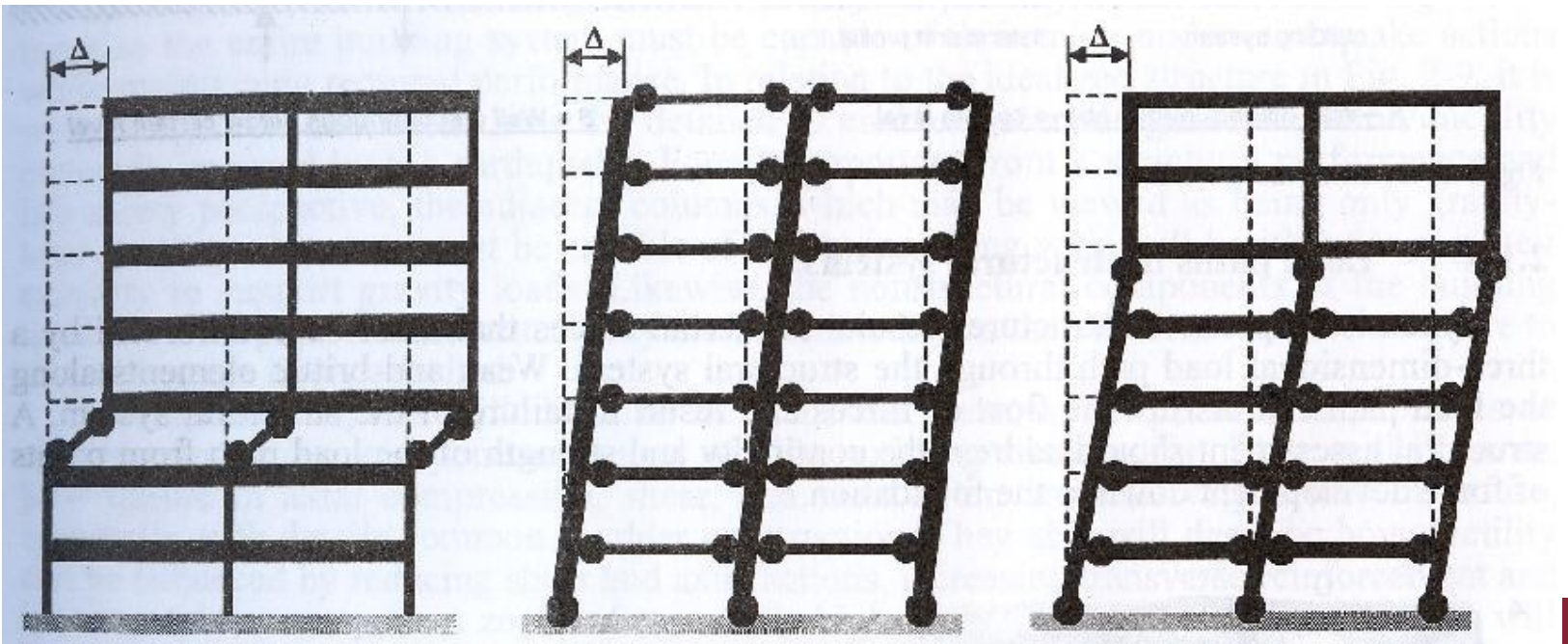
- ① **Flessione travi**
- ② **Flessione pilastri**
- ③ **Taglio travi**
- ④ **Taglio pilastri**
- ⑤ **Rottura nodi**

La gerarchia delle resistenze (GR)

- Le dissipazioni di energia per isteresi si localizzano in **zone “dissipative” o “critiche”**, dimensionando gli elementi non dissipativi secondo il criterio di gerarchia delle resistenze
- I **dettagli costruttivi** delle zone critiche devono ricevere una particolare attenzione ed essere esaurientemente specificati negli elaborati di progetto.

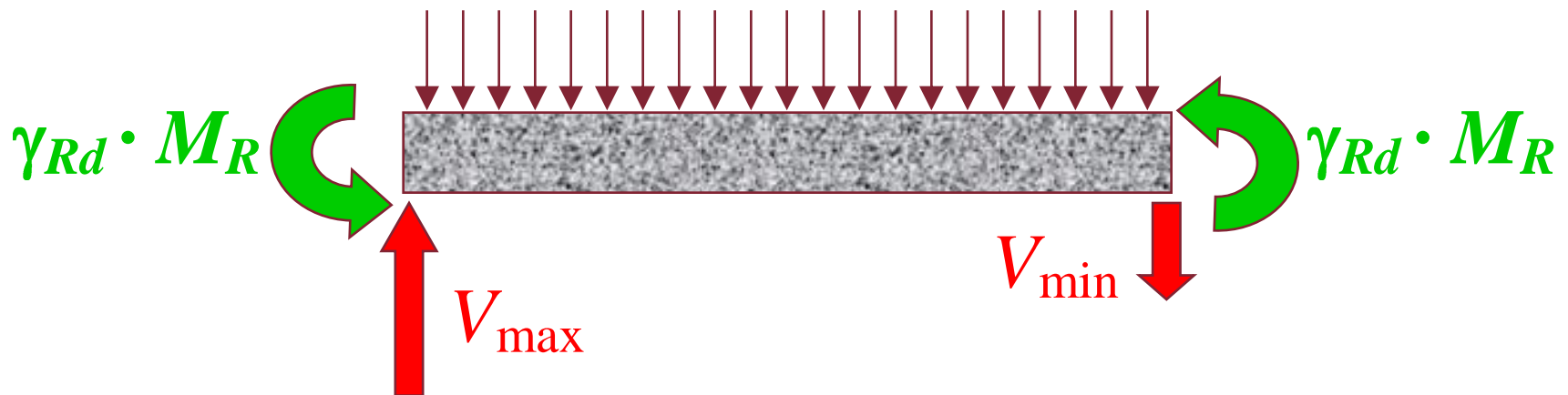
Meccanismi di collasso: schemi

- Plasticizzazione dei pilastri: meccanismo di “piano soffice”
- Plasticizzazione in tutte le travi
- Plasticizzazione parziale delle travi



Gerarchia delle resistenze nelle travi

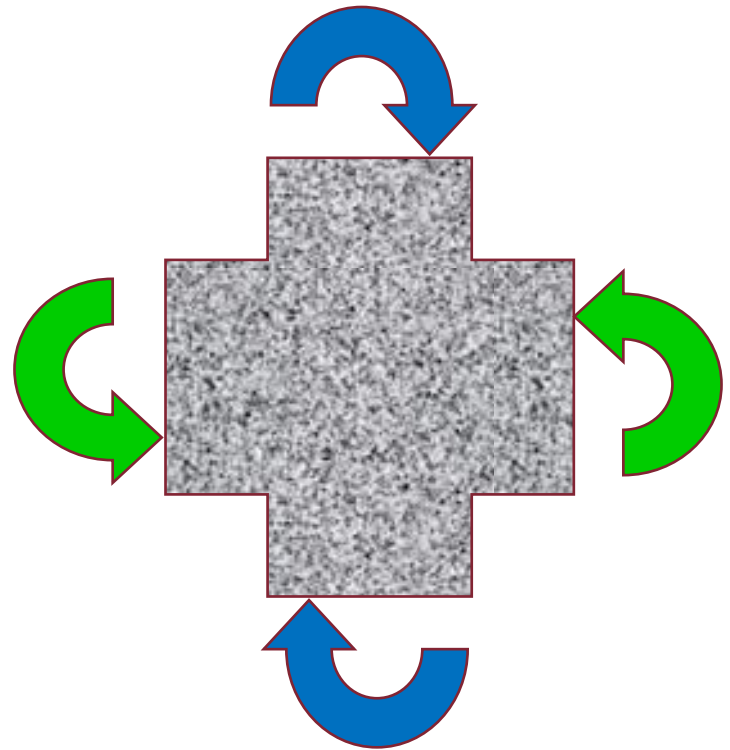
- Travi – Taglio
 - Tagli di calcolo V_{\max} e V_{\min} ottenuti dall'equilibrio col carico agente e con i momenti resistenti di estremità:
 - DC"A": **resistenti**, amplificati di $\gamma_{Rd} = 1.20$
 - DC"B": di calcolo



Gerarchia delle resistenze nei pilastri

- Pilastri – Momento di calcolo (CD“A”)
 - I momenti ottenuti **dall'analisi**, si moltiplicano per il fattore di amplificazione α

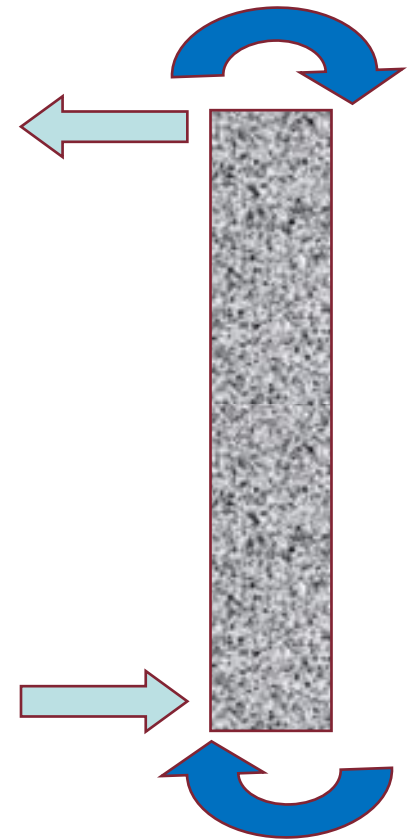
$$\alpha = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\sum M_{Rt}}{\sum M_p}$$



Gerarchia delle resistenze nei pilastri

- Pilastri – Taglio di calcolo (CD“A”)
 - Dall’equilibrio del pilastro sotto l’azione dei momenti **resistenti** alle estremità

$$V = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{Rp}^s + M_{Rp}^i}{l_p}$$



ALCUNI ESEMPI (SBAGLIATI ...)

Errata concezione strutturale

- Questo edificio ha pilastri di dimensioni fortemente differenti



Errata concezione strutturale

- Questo edificio ha pilastri di dimensioni fortemente differenti



Collasso di pilastri

- I due pilastri assorbono gran parte dell'azione sismica
- Il collasso in questo caso è avvenuto per taglio



Collasso di pilastri

- I due pilastri assorbono gran parte dell'azione sismica
- Il collasso in questo caso è avvenuto per taglio



Collasso di pilastri

- Le staffe, per quanto ben chiuse, sono comunque rade



Errata concezione strutturale



Meccanismo di “piano soffice”



Meccanismo di “piano soffice”



Meccanismo di “piano soffice”



Collasso per irregolarità

- Hotel Duca degli Abruzzi: l'edificio sul retro, regolare, è in piedi



Collasso per irregolarità

- Hotel Duca degli Abruzzi



Collasso per irregolarità

- Hotel Duca degli Abruzzi



Collasso per irregolarità

- Hotel Duca degli Abruzzi: collasso della hall a portico



Meccanismo di “piano soffice”





Meccanismi di collasso: esempi



Meccanismi di collasso: cerniere plastiche carenti



Meccanismi di collasso: cerniere plastiche carenti

- Questo è un caso dove le staffe sono disposte con passo 90 cm !!!



Meccanismi di collasso: pilastri fragili



Meccanismi di collasso: pilastri duttili (!)



Meccanismi di collasso: taglio nei pilastri



Meccanismi di collasso: taglio nei pilastri



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino, anch'esso con piano portico, ma ...



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino: tutti i pilastri del piano portico sono collassati per taglio



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino: tutti i pilastri del piano portico sono collassati per taglio



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino: calcestruzzo frantumato e barre svergolate



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino: interazione con il parapetto, che ha innescato la rottura per taglio



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino: interazione con il parapetto, che ha innescato la rottura per taglio



Collasso di pilastri

- Edificio a Pettino: interazione con il muro di sostegno che, riducendo l'altezza del pilastro, ha innescato la rottura per taglio



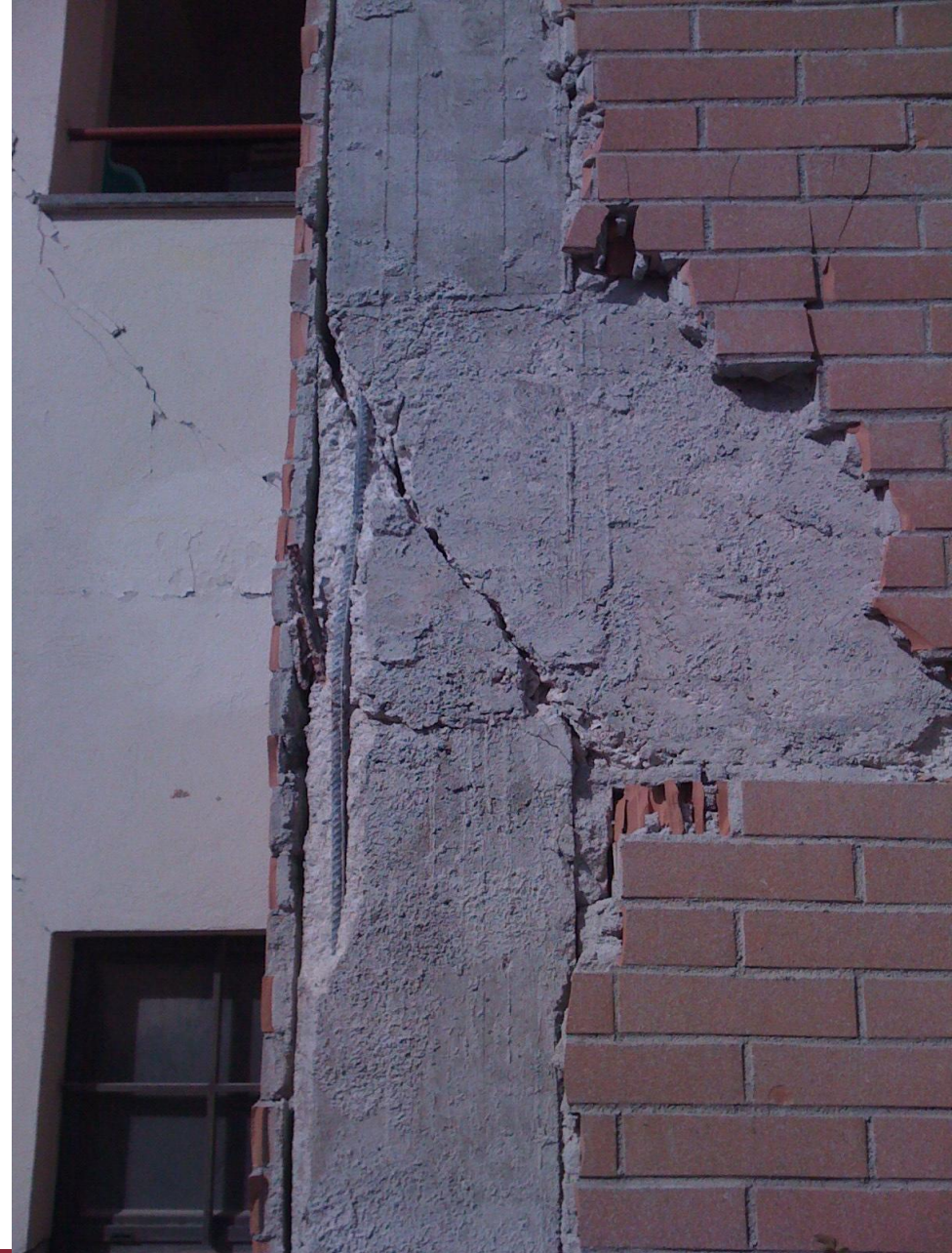
Meccanismi di collasso: nodi

- Inadeguata armatura trasversale nel nodo



I nodi

- Edificio di Pettino: nodo trave-pilastro privo di staffe, con collasso per taglio
- Si noti la barra verticale priva di ritegni su una lunghezza elevata



Meccanismi di collasso: nodi



L'ISOLAMENTO SISMICO

L'isolamento sismico nelle NTC-2008

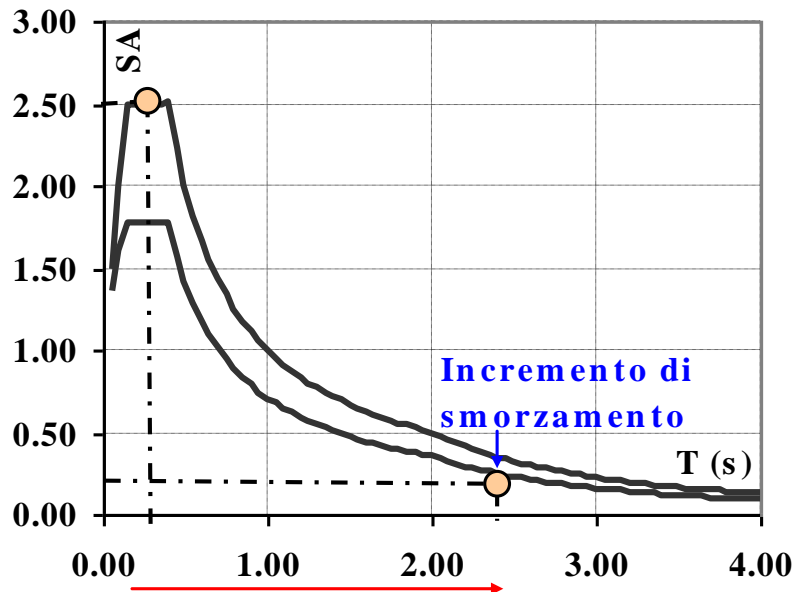
- La riduzione della risposta sismica orizzontale, qualunque siano la tipologia e i materiali strutturali della costruzione, può essere ottenuta mediante una delle seguenti strategie d'isolamento, o mediante una loro appropriata combinazione:
 - a) incrementando il periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta;
 - b) limitando la massima forza orizzontale trasmessa.

L'isolamento sismico nelle NTC-2008

- La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere sostanzialmente in campo elastico.
- Per questo la struttura può essere progettata:
 - con riferimento ai particolari costruttivi della zona 4,
 - con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto al § 7.4.6 (“Dettagli costruttivi”).

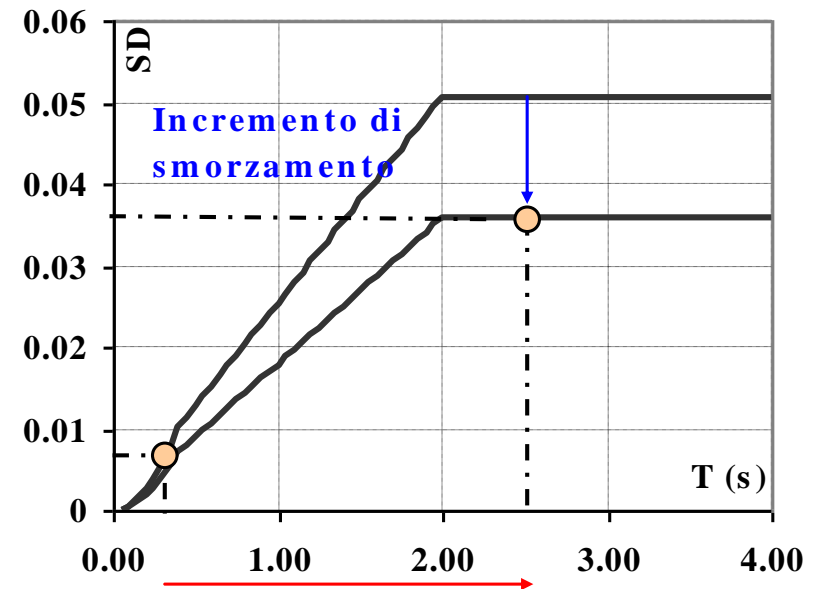
L'isolamento sismico

Spettro in accelerazione



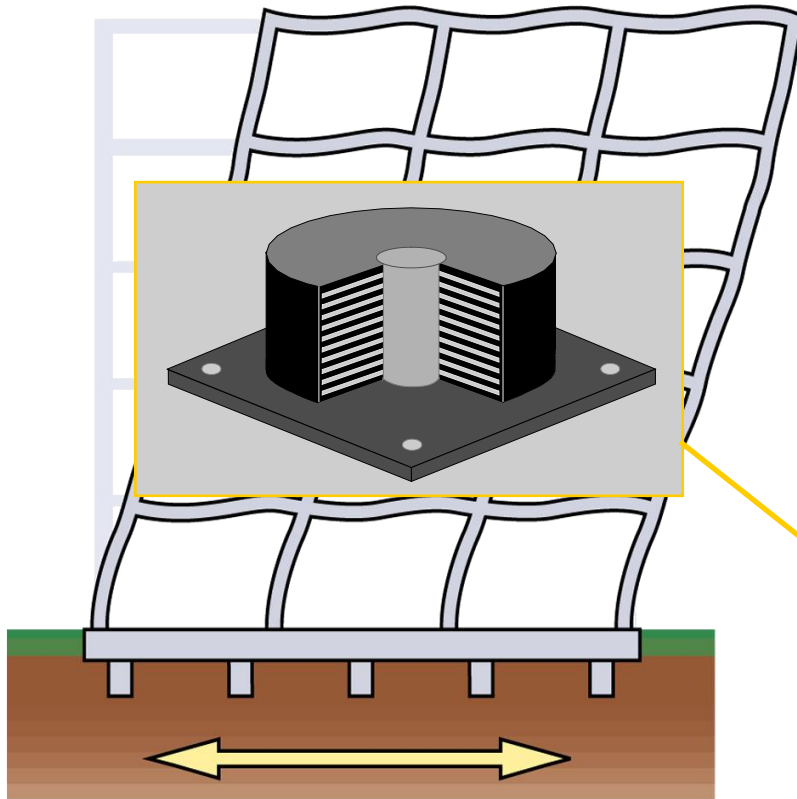
Aumento del periodo

Spettro in spostamento

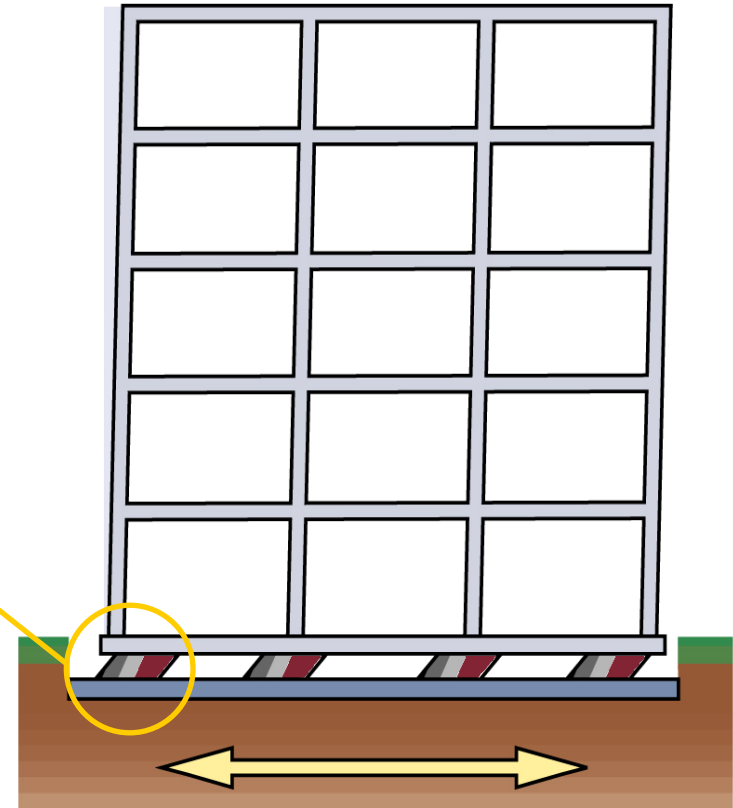


Aumento del periodo

L'isolamento sismico

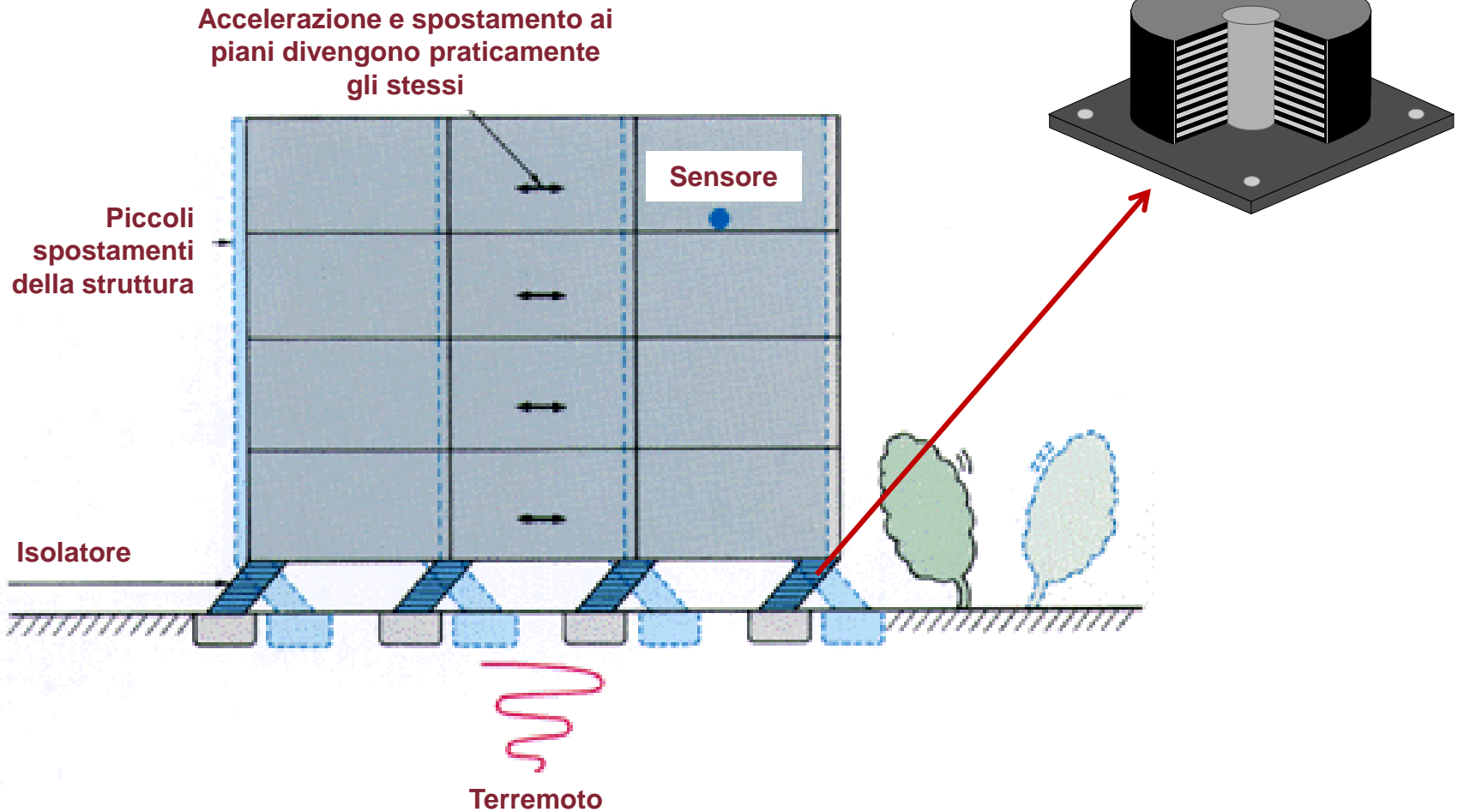


Struttura tradizionale

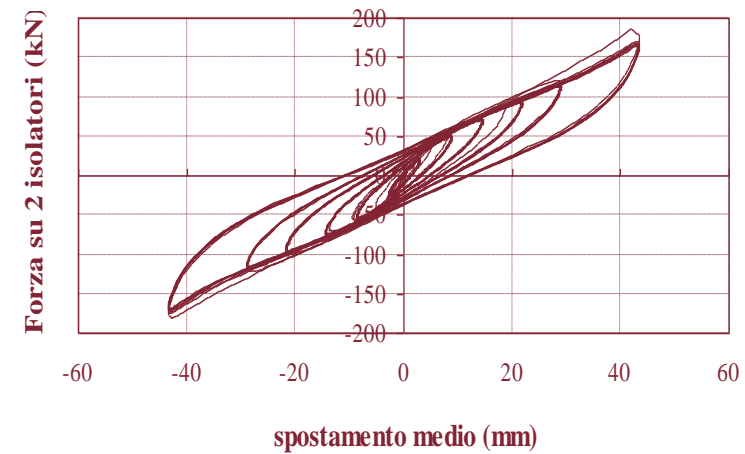


Struttura isolata alla base

L'isolamento sismico



Prove di accettazione e di qualificazione

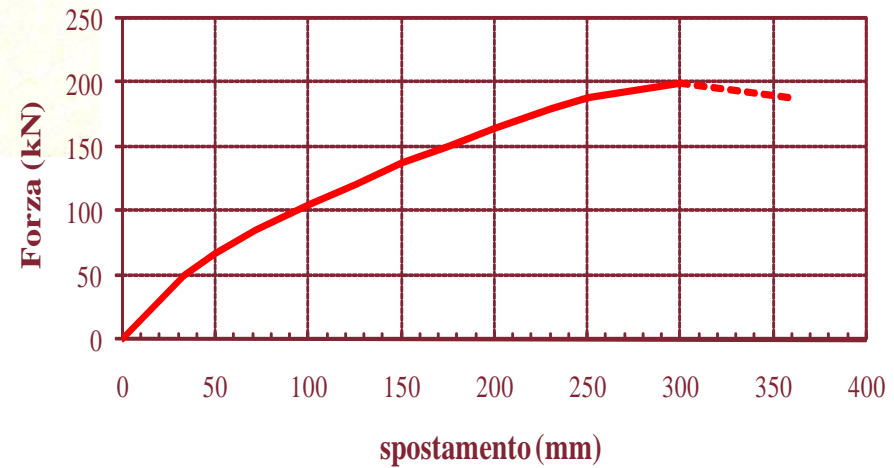
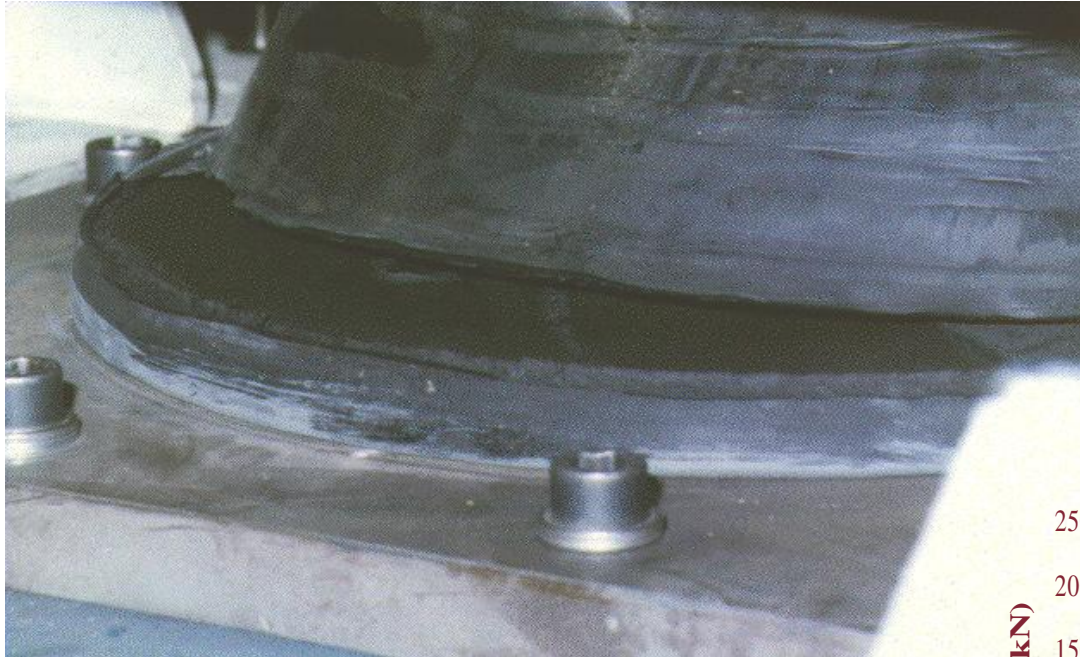


DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
STRUTTURALE E GEOTECNICA

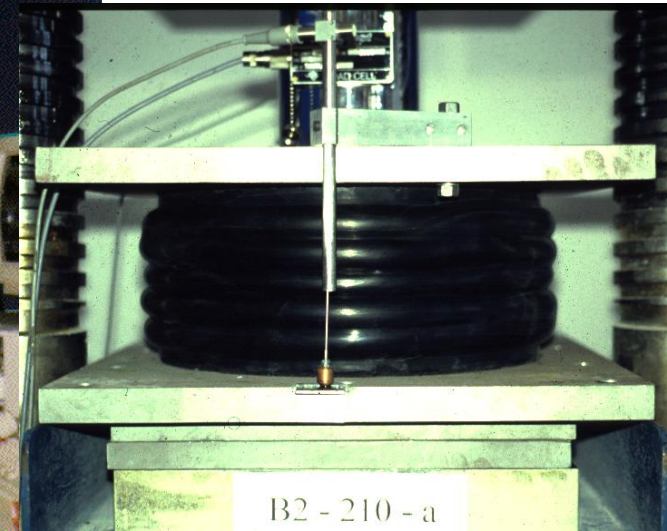
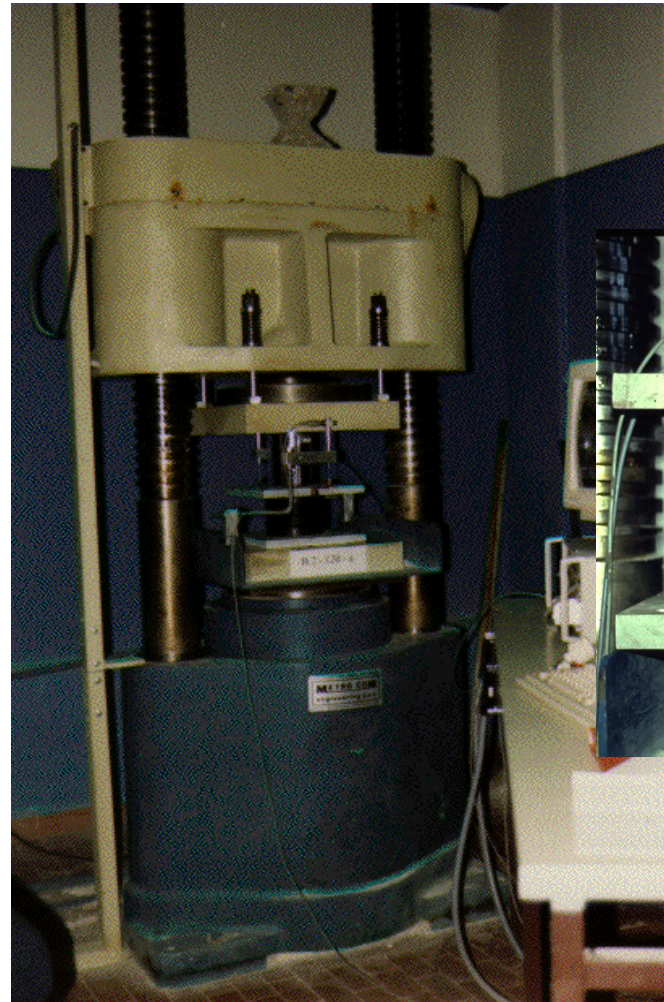
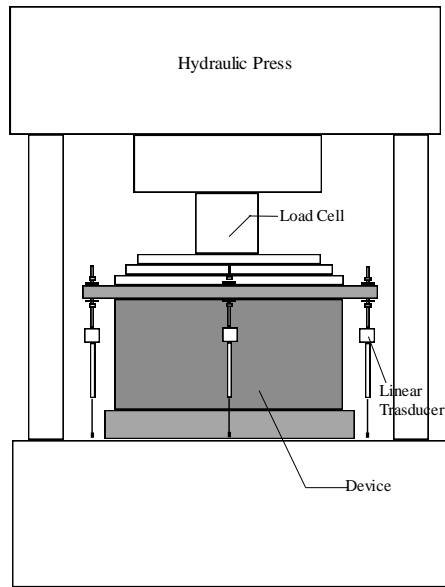


SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

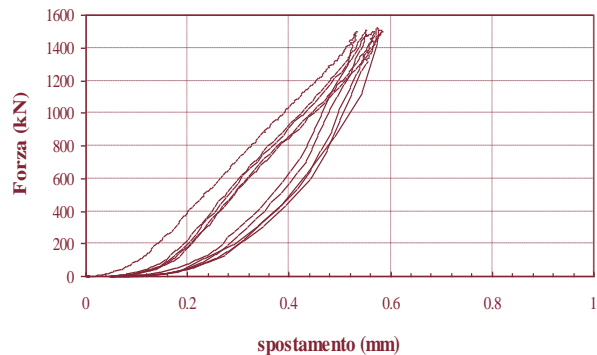
Prove di accettazione e di qualificazione



Prove di accettazione e di qualificazione



Prova di compressione



DUE APPLICAZIONI

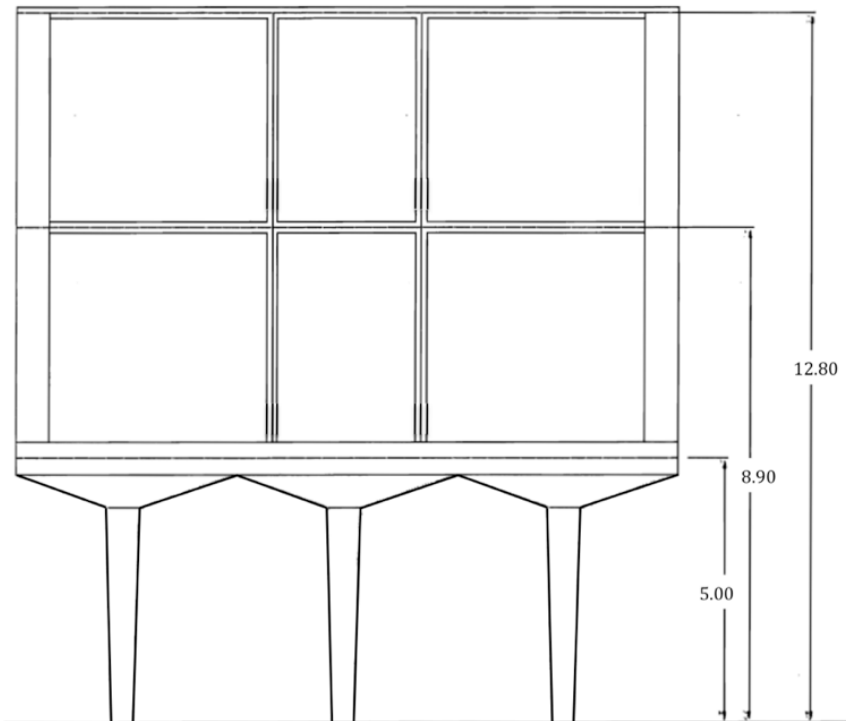
Isolamento alla base di un edificio strategico

- Realizzato all'inizio degli anni '60



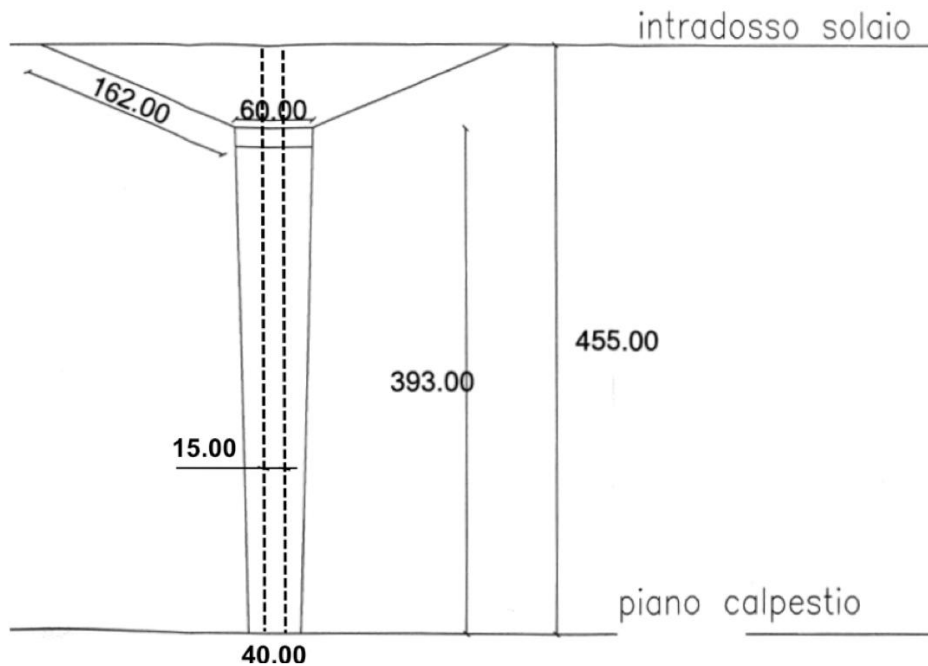
Sezione dell'edificio

- L'edificio è a piano pilotis e i pilastri alla base hanno una forma "a fungo"



Sezione dei pilastri “a fungo”

- All'interno dei pilastri scorre un tubo di scarico

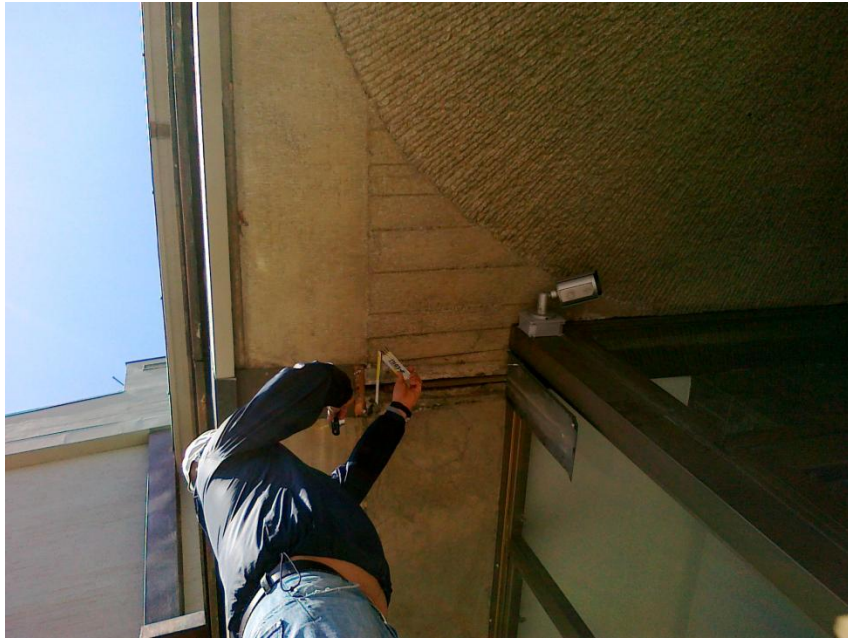


Situazione attuale

- L'edificio **non** è sismicamente adeguato
- Il livello di adeguatezza è pari al 45%
- Gli elementi più **vulnerabili** sono i pilastri “a fungo”
- Un intervento di rafforzamento dei pilastri avrebbe come **controindicazioni**:
 - La valenza formale sarebbe alterata
 - Si avrebbe il problema del martellamento con il corpo centrale
 - Si avrebbero danni anche per terremoti non intensi
- Un intervento possibile è quello dell'**isolamento** alla base
- Ma ...

Pianta dell'edificio

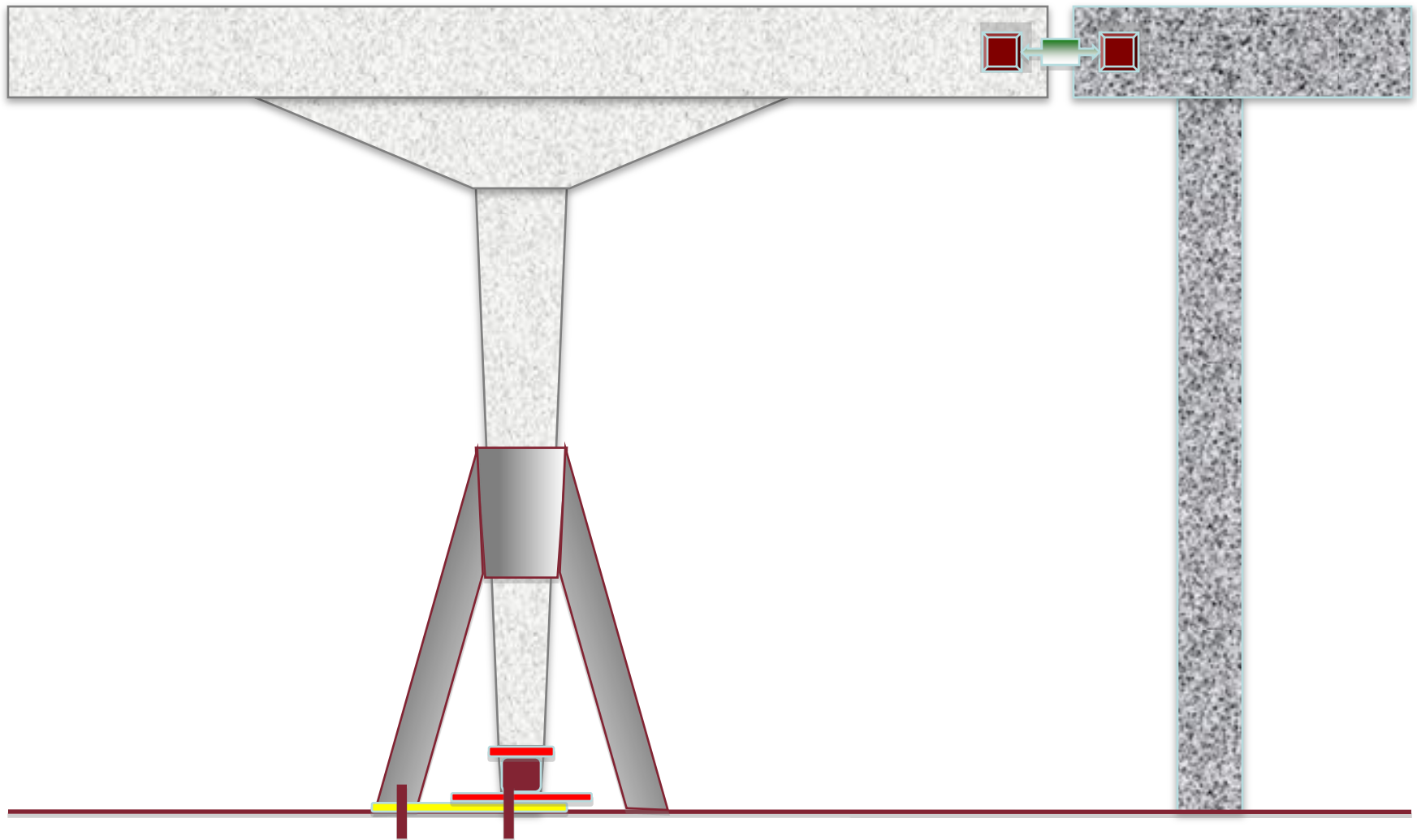
- Il giunto dall'edificio adiacente è **di ampiezza molto ridotta (4 cm)**
- **Quindi non è adeguato a consentire gli spostamenti della struttura isolata** (dell'ordine dei 20 cm)



Isolamento alla base con traslazione dell'edificio

- E' possibile aumentare l'ampiezza del giunto, **traslando l'edificio**
- Come eseguire lo spostamento degli edifici laterali, **senza interromperne l'operatività?**

Una possibile soluzione ...



Un edificio isolato alla base a Rapolla (PZ)



Test di rilascio (Braga e Laterza)

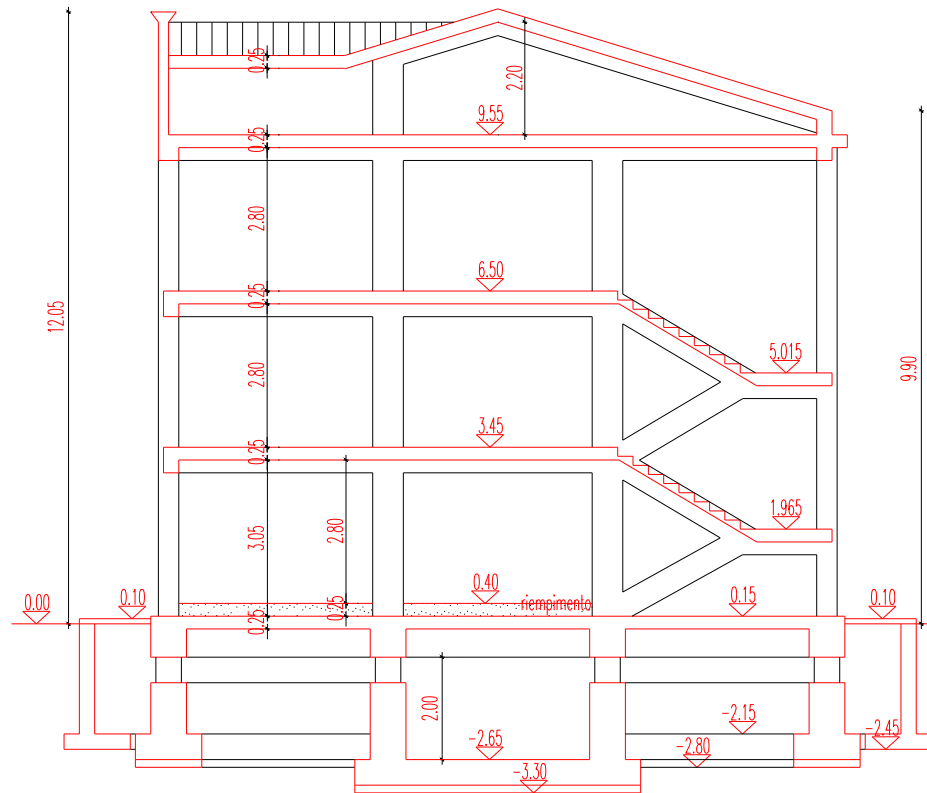
- L'edificio viene spostato allo spostamento di progetto (170 mm) e successivamente viene rilasciato per provare l'efficacia degli isolatori



Caratteristiche dell'edificio

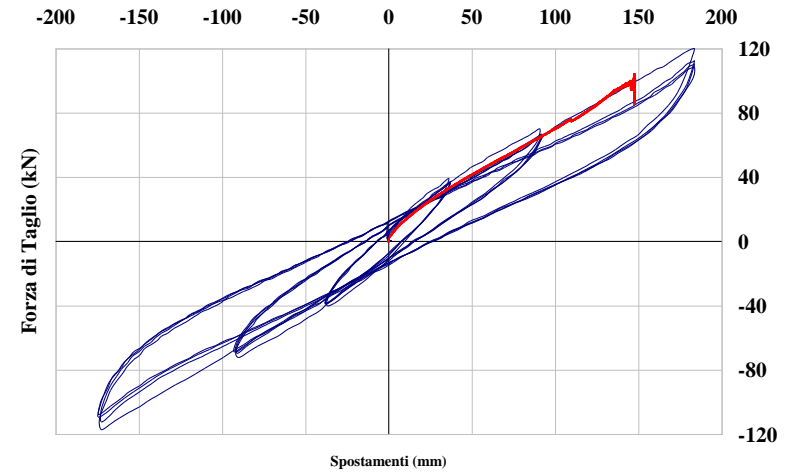


Piani	3 + tetto
Area	300 m ²
Massa totale	1000 t
Altezzainter piano	3.05 m
Altezza	12.05 m

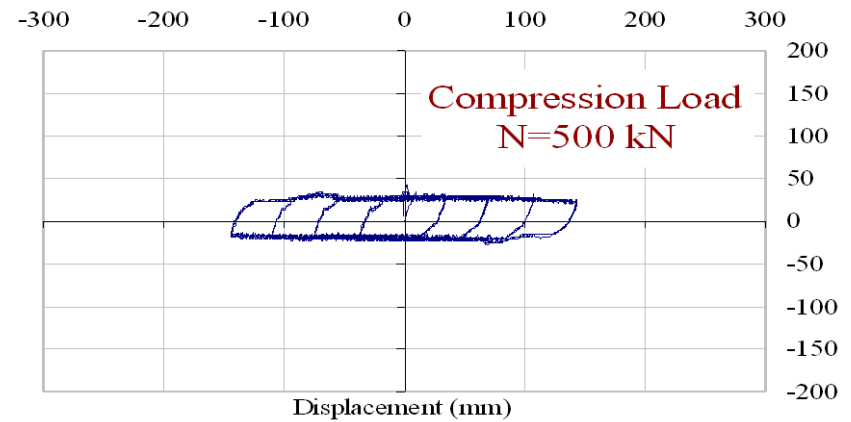


Il sistema di isolamento

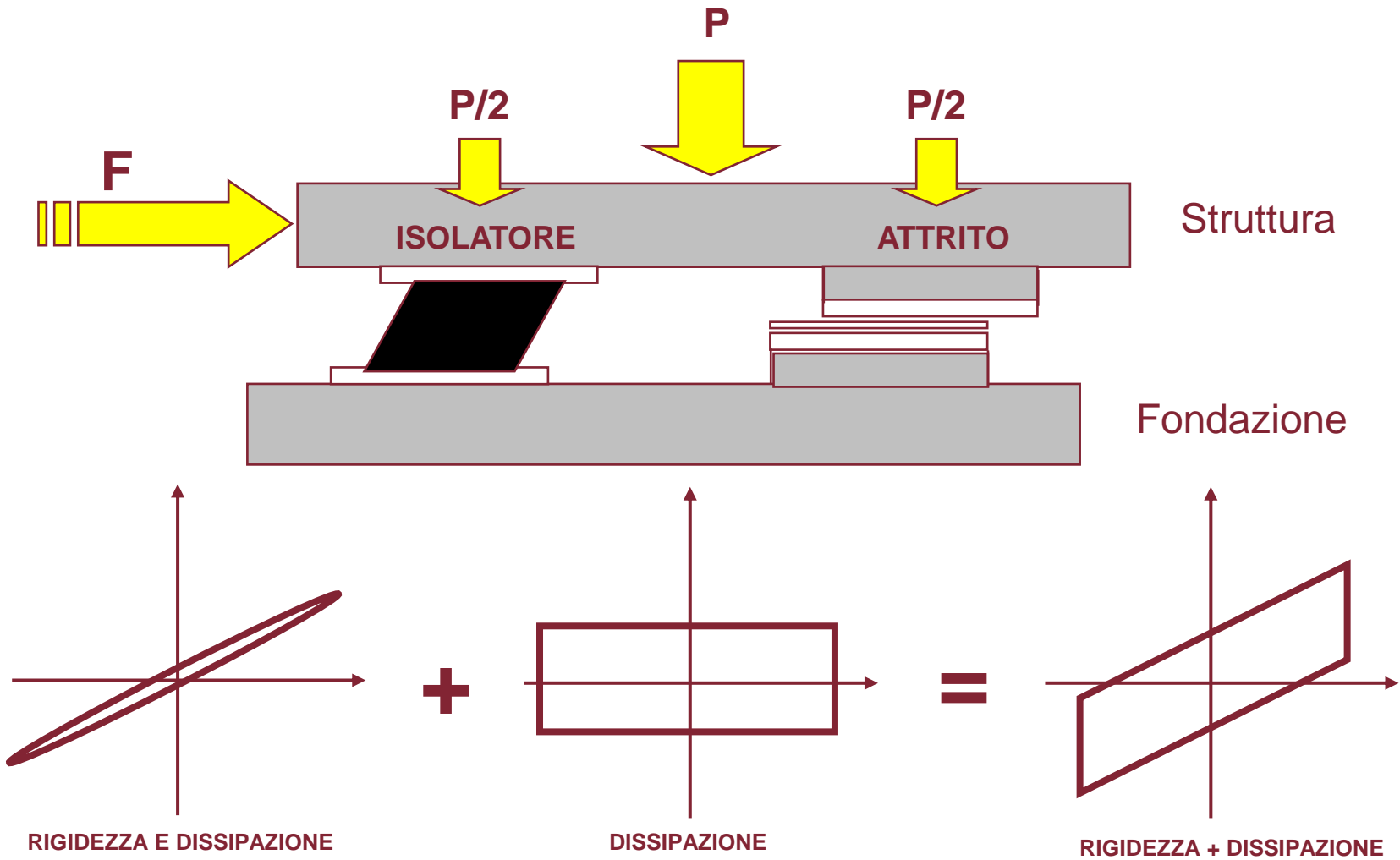
Isolatori



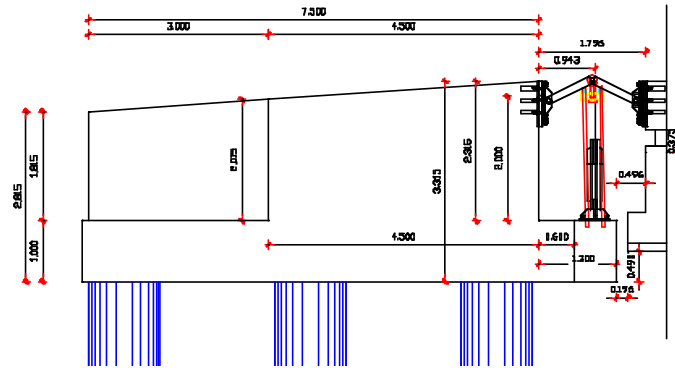
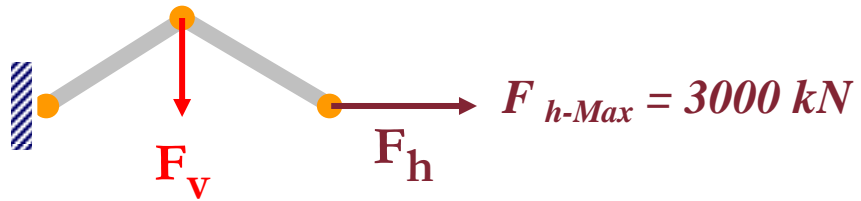
Scivoli



Il sistema di isolamento



Il dispositivo di rilascio



La prova



GRAZIE PER L'ATTENZIONE