

SAIE LAB

Laboratori itineranti del saper fare

5^a tappa : Ricostruzione in zona sismica

📍 Pescara, Auditorium Petruzzi c/o Museo delle Genti D'Abruzzo

📅 Giovedì 29 giugno 2023 – ore 09.30

In collaborazione con



ORDINE DEI GEOLOGI
Regione Abruzzo

Con il patrocinio di



MAIN SPONSOR



EVENT SPONSOR



Progetto e direzione



Prossima edizione



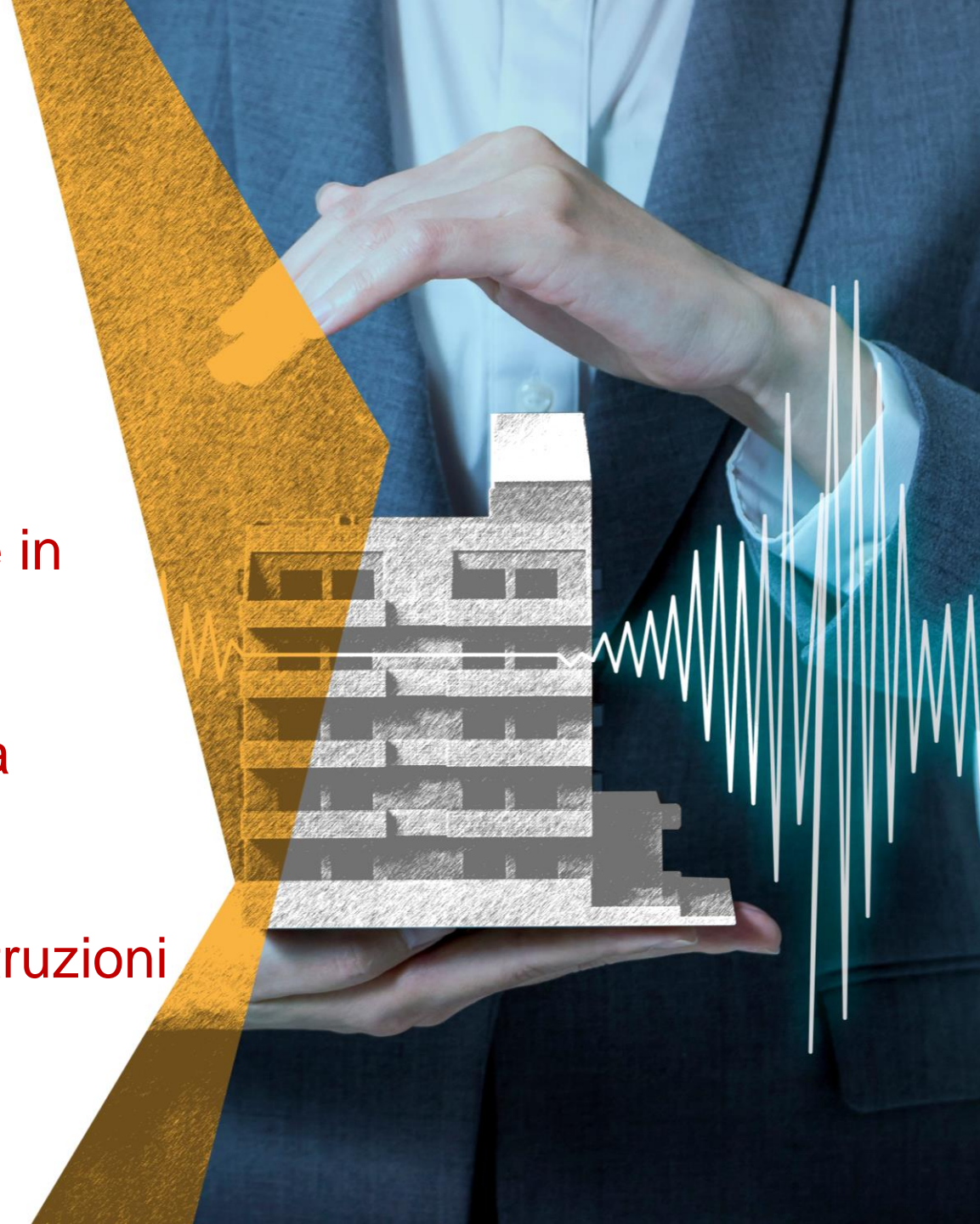
Titolo Intervento :

Quali sistemi strutturali per la ricostruzione in zona sismica?

Nome Relatore : Prof. Ing. Roberto Scotta

Qualifica Relatore:

Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni
Università degli Studi di Padova



QUADRO DELLE VERIFICHE IN NTC 2018

7.3. METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

Tabella Riassuntiva delle verifiche e degli SL, per le diverse classi

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

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

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

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

Le verifiche degli elementi strutturali primari (ST) si eseguono, come sintetizzato nella tabella 7.3.III, in dipendenza della Classe d'Uso (CU):

- nel caso di comportamento strutturale non dissipativo, in termini di rigidezza (RIG) e di resistenza (RES), senza applicare le regole specifiche dei dettagli costruttivi e della progettazione in capacità;
- nel caso di comportamento strutturale dissipativo, in termini di rigidezza (RIG), di resistenza (RES) e di duttilità (DUT) (quando richiesto), applicando le regole specifiche dei dettagli costruttivi e della progettazione in capacità.

Le verifiche degli elementi strutturali secondari si effettuano solo in termini di duttilità.

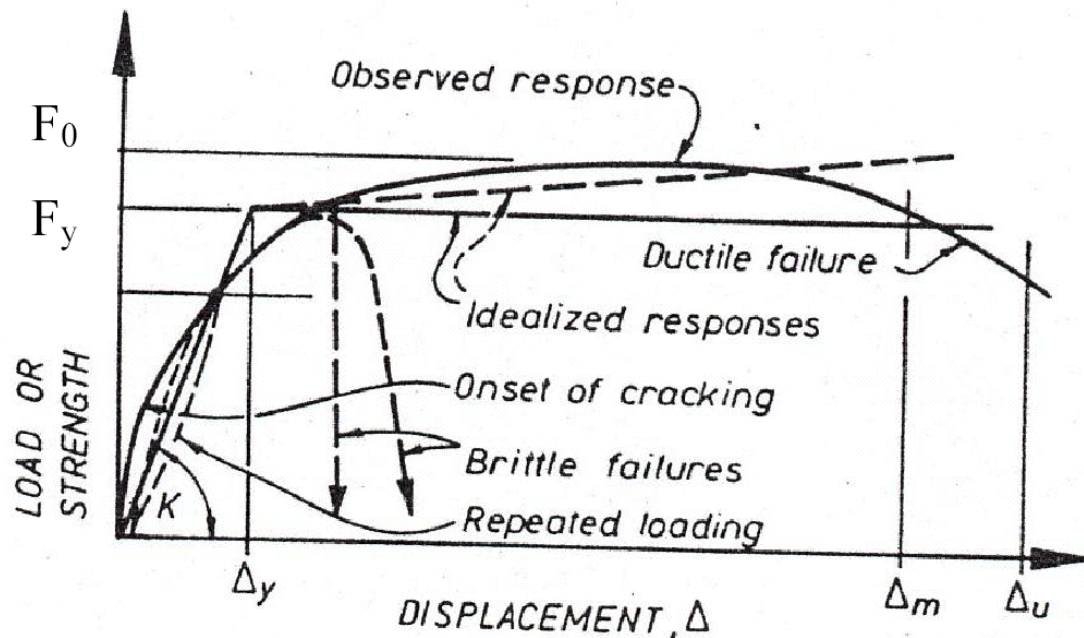
Le verifiche degli elementi non strutturali (NS) e degli impianti (IM) si effettuano in termini di funzionamento (FUN) e stabilità (STA), come sintetizzato nella tabella 7.3.III, in dipendenza della Classe d'Uso (CU).

LA DUTTILITA' NELLE STRUTTURE

La duttilità di una struttura si evidenzia nella fase inelastica o plastica della risposta strutturale, ovvero quando si esce dal comportamento elastico di materiali / sezioni / elementi / strutture.

E' quindi una **caratteristica fondamentale** per:

- Assicurare un collasso duttile delle strutture caricate staticamente
- Assicurare capacità di deformazione e dissipazione alle strutture soggette ad azioni sismiche



$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$$

PERCHE' SIAMO INTERESSATI ALLA DUTTILITA'?

La duttilità di una struttura è strettamente correlata al **Fattore di Comportamento** utilizzato per abbattere le forze sismiche in una progettazione sismica di tipo lineare (statica equivalente o spettrale)

$$d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$$

$$\mu_d = q \quad \text{se } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_d = 1 + (q - 1) \cdot \frac{T_C}{T_1} \quad \text{se } T_1 < T_C$$

Tab. 7.3.I – Limiti su q e modalità di modellazione dell'azione sismica

STATI LIMITE		Lineare (Dinamica e Statica)		Non Lineare	
		Dissipativo	Non Dissipativo	Dinamica	Statica
SLE	SLO	q = 1.0 § 3.2.3.4	q = 1.0 § 3.2.3.4	§ 7.3.4.1	§ 7.3.4.2
	SLD	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5		
SLU	SLV	q ≥ 1,5 § 3.2.3.5	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5		
	SLC	---	---		

Fattore di Comportamento per strutture in c.a. secondo NTC18

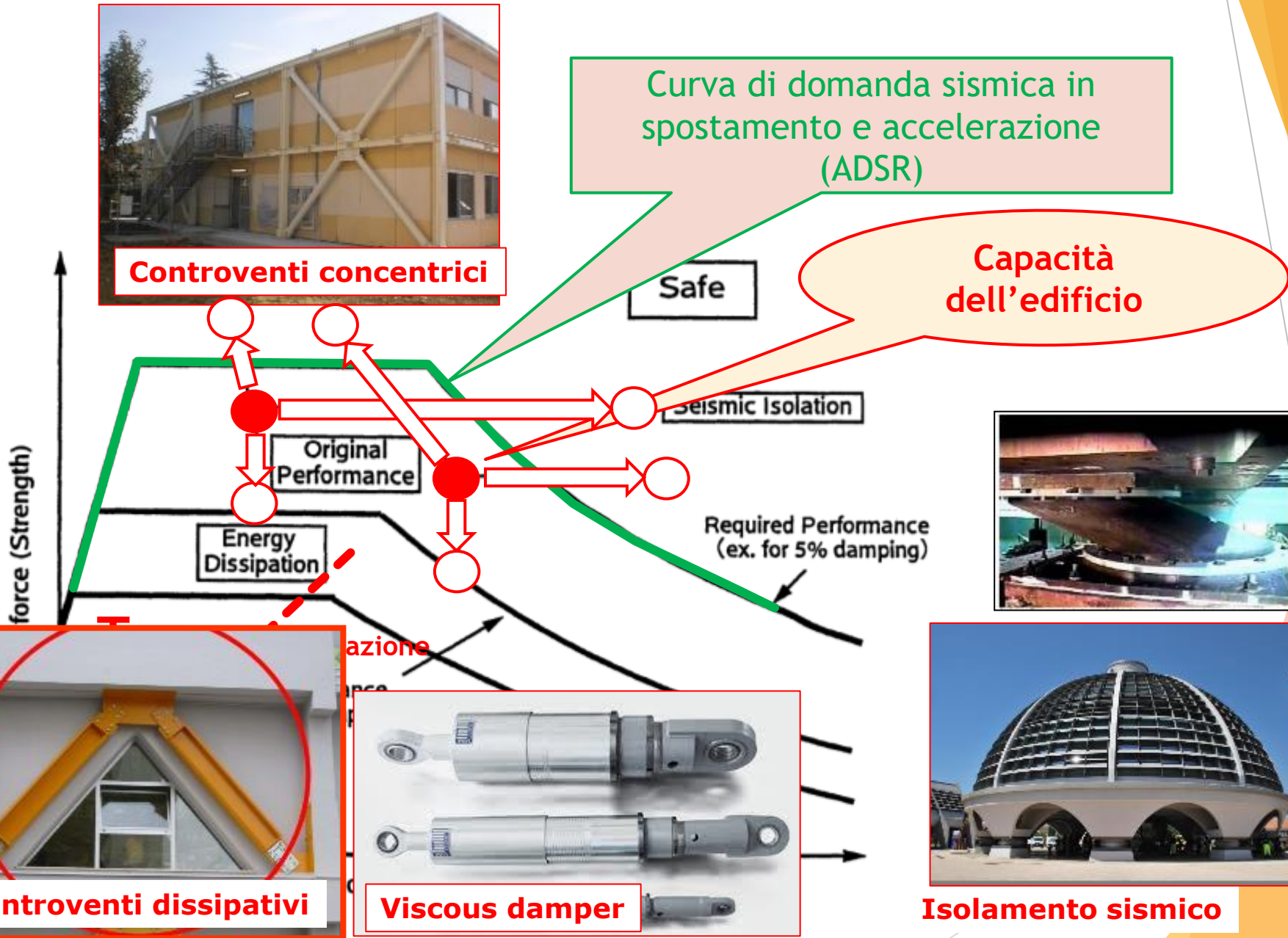
Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q₀ del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Tipologia strutturale	q ₀	
	CD''A''	CD''B''
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	4,5 α _w /α ₁	3,0 α _w /α ₁
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	4,0 α _w /α ₁	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5
Costruzioni con struttura prefabbricata (§ 7.4.5.1)		
Strutture a pannelli	4,0 α _w /α ₁	3,0
Strutture monolitiche a cella	3,0	2,0
Strutture con pilastri incastrati e orizzontamenti incernierati	3,5	2,5

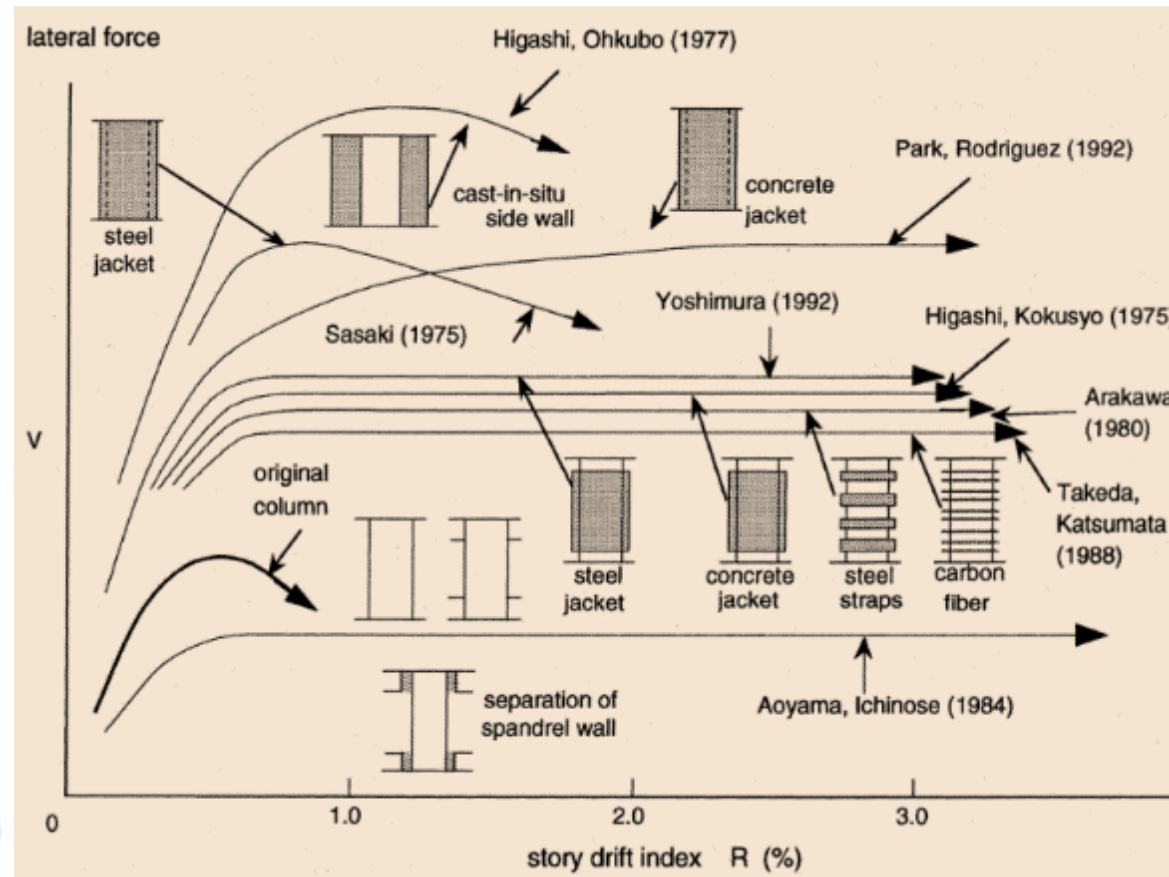
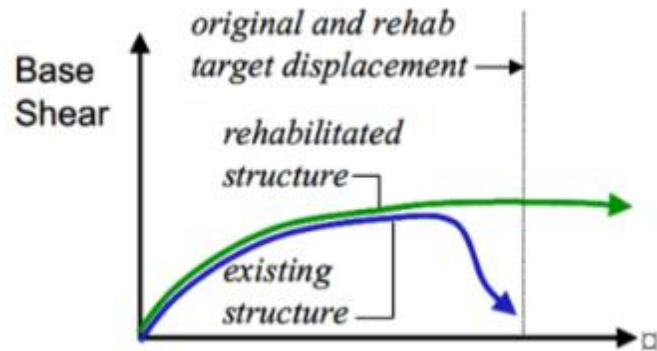
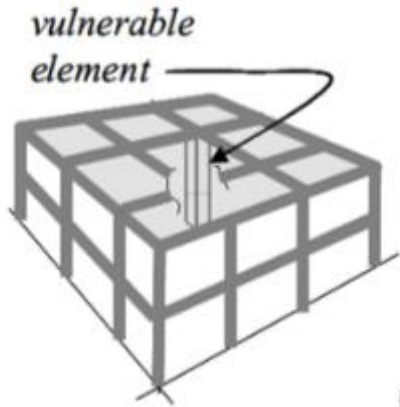
APPROCCI ALTERNATIVI AL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI ESISTENTI

**... concetti applicabili anche alla
progettazione di nuovi edifici ...**

Opzioni di miglioramento/adequamento sismico



INTERVENTI «LOCALI»



INTERVENTI «LOCALI»



carbon fibres wrapping to increase the shear strength in a column

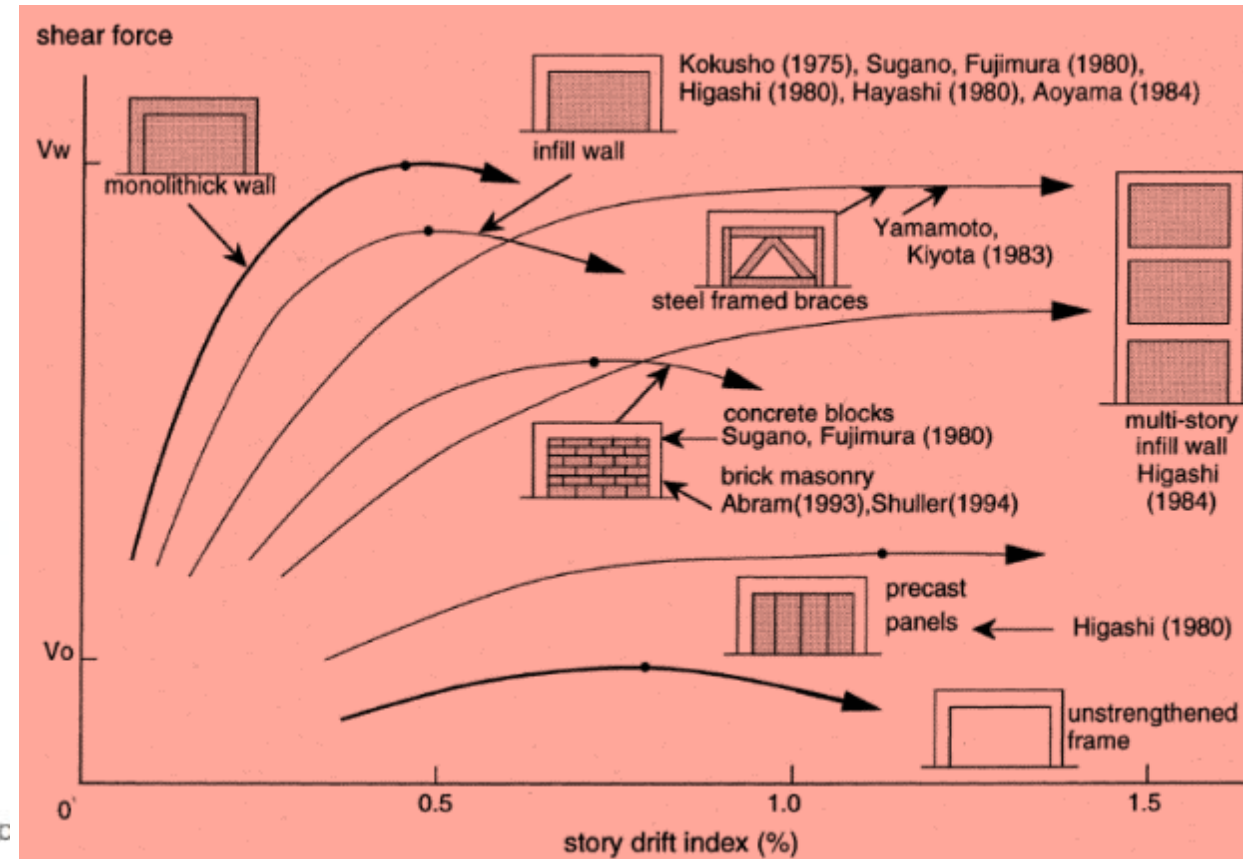
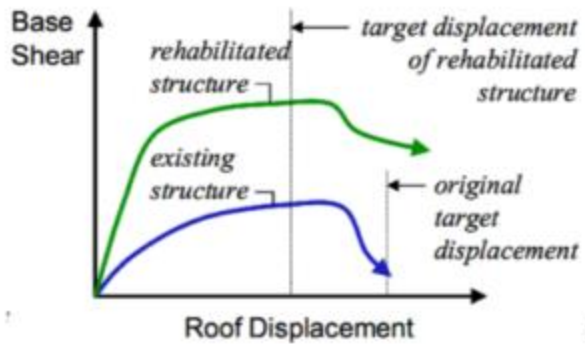
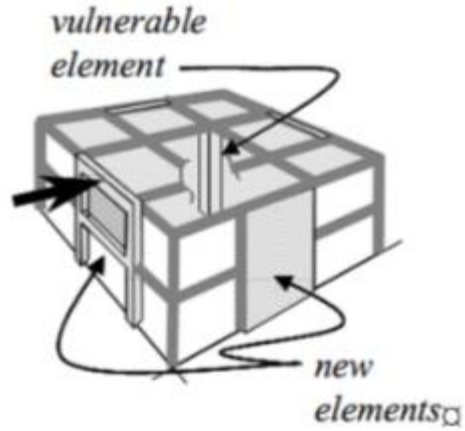


concrete casting to increase shear and flexural strength



steel encasing for the same purpose

INTERVENTI «GLOBALI»



INTERVENTI «GLOBALI»



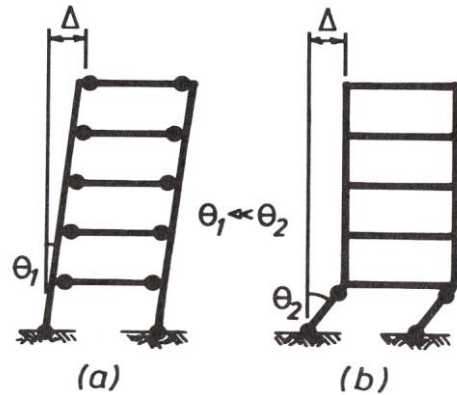
Aggiunta di nuove pareti strutturali



DUTTILITA' = REGOLARITA'

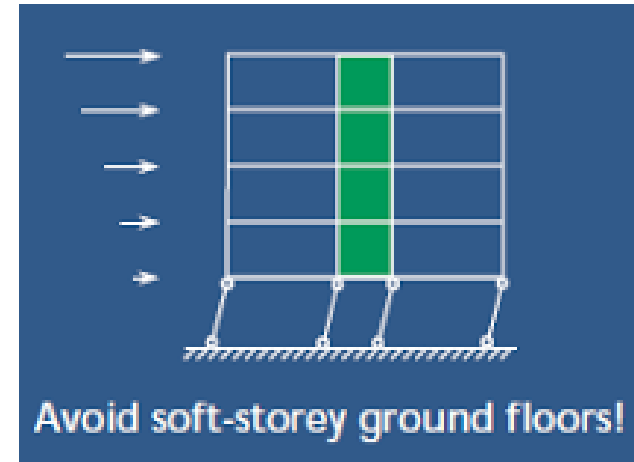
Organizzazione strutturale

Progettare strutture ad alta duttilità significa anche gestire una corretta organizzazione plano-altimetrica degli elementi resistenti. È noto infatti che la presenza di irregolarità nella disposizione delle resistenze e/o delle rigidità induce concentrazioni nella domanda sismica su particolari elementi, con il risultato di abbassare fortemente la sicurezza dell'intero complesso.



Olivie View Hospital. Terremoto di SanFernando, California, 1971. Effetto “piano soffice” sulla prima tesa delle colonne. Dettaglio del comportamento della prima e seconda tesa di una delle colonne. Si noti la grande distorsione permanente alla prima tesa. Il calcestruzzo del nucleo centrale è stato comunque capace di sostenere l’edificio, mentre il copriferro, non confinato, è stato espulso. Si noti anche la rottura a taglio della colonna alla seconda tesa, per effetto “colonna tozza”, derivante dall’interazione con i pannelli di facciata.

IL MECCANISMO DI «PIANO SOFFICE»



PIANO SOFFICE NEI TELAI IN C.A.



Soft storey mechanism



Edificio commerciale, Managua Nicaragua - *Terremoto di Managua 1972*
Richter magnitude 6,2



PIANO SOFFICE

si sono formate cerniere alla base ed alla testa delle colonne del primo piano

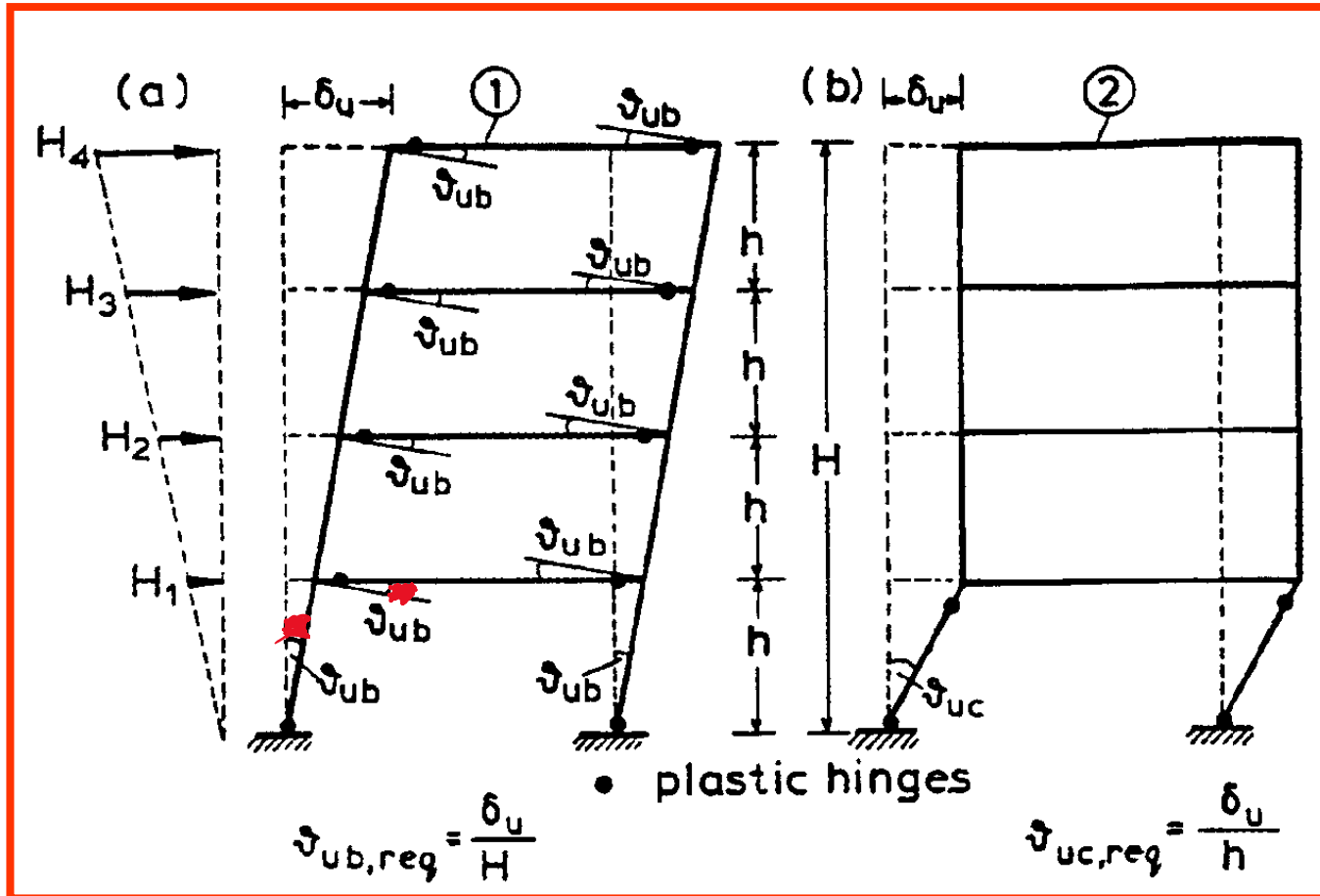


IL PIANO TERRA È UN PIANO SOFFICE:

è completamente aperto a parte i vetri, mentre al secondo piano vi sono muri e tamponamenti che aumentano significativamente la rigidità laterale

DUTTILITA' = GERARCHIA DELLE RESISTENZE

Meccanismi di rottura alternativi



$$\vartheta_{uc} = \frac{H}{h} \vartheta_{ub}$$

La domanda di rotazione ultima - cioè di duttilità - al piede del pilastro aumenta fortemente con il meccanismo di piano soffice

**Telaio regolare
a cerniere diffuse**

**Telaio irregolare
a piano soffice**





I nodi nelle strutture in c.a.



(by Bursi, Dusatti, Pucinotti)

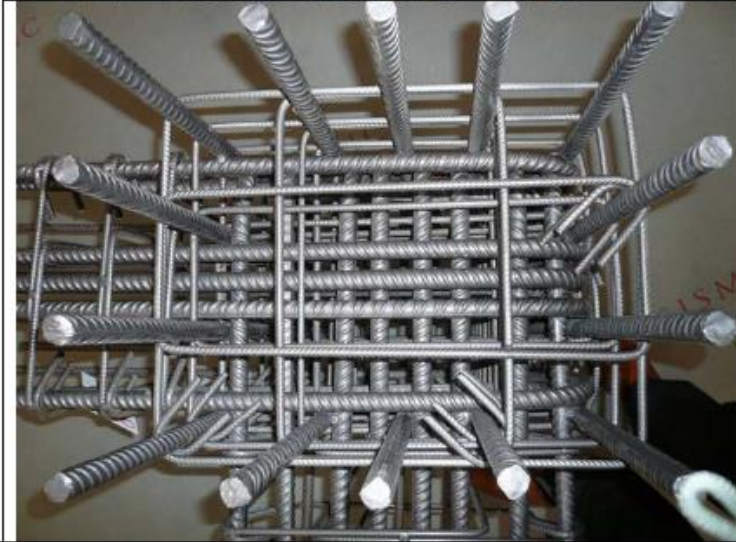


**TERREMOTO DI
L'AQUILA
6 aprile 2009**

(by Iervolino, Prota, Ricci, Verderame)

NODI SOVRARESISTENTI RISPETTO AGLI ELEMENTI COLLEGATI

NODO D'ANGOLO



IL PROBLEMA DEI TAMPONAMENTI NEGLI EDIFICI A TELAIO

© Reluis 2009
www.reluis.it



Infills damage
Internal infill is made up of clay blocks

© Reluis 2009
www.reluis.it



Infills damage
Clay blocks connected to the beam through a top

© Reluis 2009
www.reluis.it



Reinforced concrete building placed in Via XX Settembre – L'Aquila
Total and partial ejecting of corner infills at first level.

© Reluis 2009
www.reluis.it



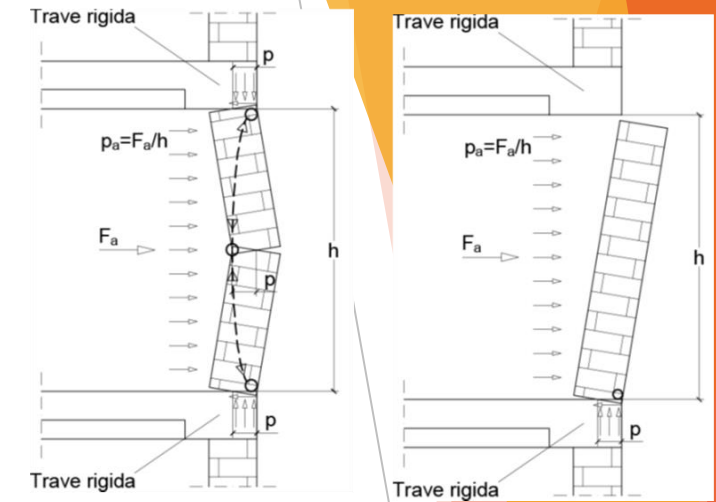
Rottura nel piano e/o fuori piano di tamponamenti leggeri in laterizio non adeguatamente giuntati rispetto al telaio

IL PROBLEMA DEI TAMPONAMENTI NEGLI EDIFICI A TELAIO

pubbline

Il problema del **ribaltamento fuori piano** è legato a:

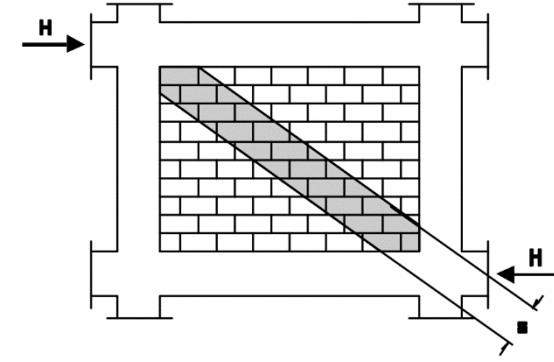
- tamponamenti con **elevata snellezza o fragilità**, quali ad esempio quelli con stratigrafia “a cassetta” costituiti da due paramenti di spessore sottile con camera d’aria tra loro interposta, per i quali non si instaura il meccanismo resistente ad arco;
- Tamponamenti **pesanti ma privi di contrasto con il telaio**, innescando quindi il ribaltamento fuori piano della muratura.



IL PROBLEMA DEI TAMPONAMENTI NEGLI EDIFICI A TELAIO

Il problema del **rottura nel piano** è legato a:

- All'interazione fra il tamponamento rigido nel suo piano che non è capace di assecondare il drift del telaio in c.a., ma non ha nemmeno la resistenza necessaria per impedirlo
- Ricordando che l'interazione può provocare la rottura localizzata del telaio;



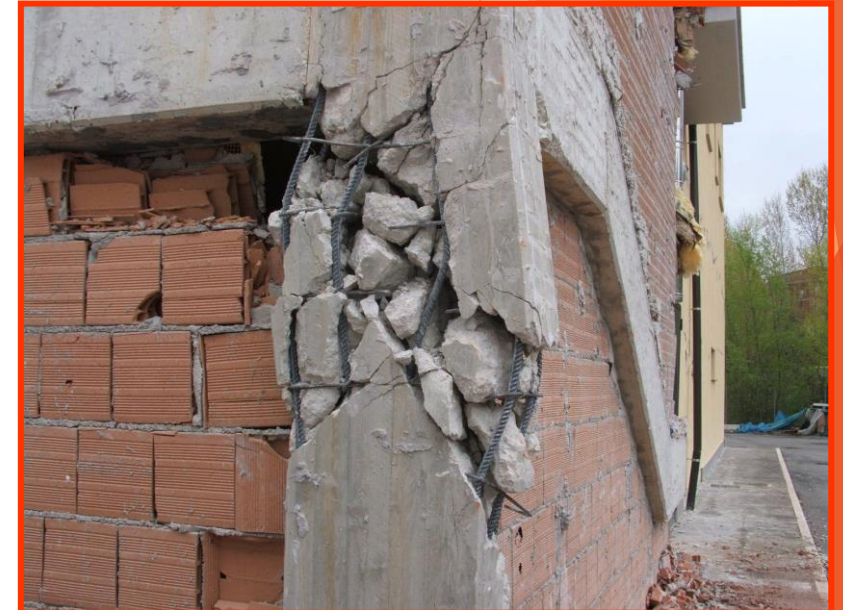
Circolare 10 Aprile 1997, n. 65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche» di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996. **Allegato 2.**



© Reluis 2009
www.reluis.it

Infills damage: four stories R.C. building
Evidence of typical diagonal cracks at the first two levels.

on strutturali interagiscono con il telaio.



Interazione azioni nel piano e fuori piano:

- Il ribaltamento fuori piano può essere più facilmente innescato da una rottura diagonale dei tamponamenti per azione nel piano.

Vi sono delle formulazioni di letteratura scientifica che permettono di tenere conto di tali interazioni:

$$\left(\frac{P_{IP,Ed}}{P_{IP,Rd}}\right)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{M_{OOP,Ed}}{M_{OOP,Rd}}\right)^{\frac{3}{2}} \leq 1$$

Mosalam K.M., Gunay S., *Progressive collapse analysis of RC frames with URM infill walls considering in-plane/out-of-plane interaction*, Earthquake Spectra, 31 (2) (2015), pp. 921-943

$P_{IP,Ed}$ è l'azione di taglio dovuta al sisma agente nel piano del tamponamento;

$P_{IP,Rd}$ è la resistenza pura a taglio nel caso in cui l'azione sollecitante agisca solamente nel piano della tamponatura, rif. §7.8.2.2.2 NTC18;

$M_{OOP,Ed}$ è il momento flettente agente nel fuori piano della parete in esame;

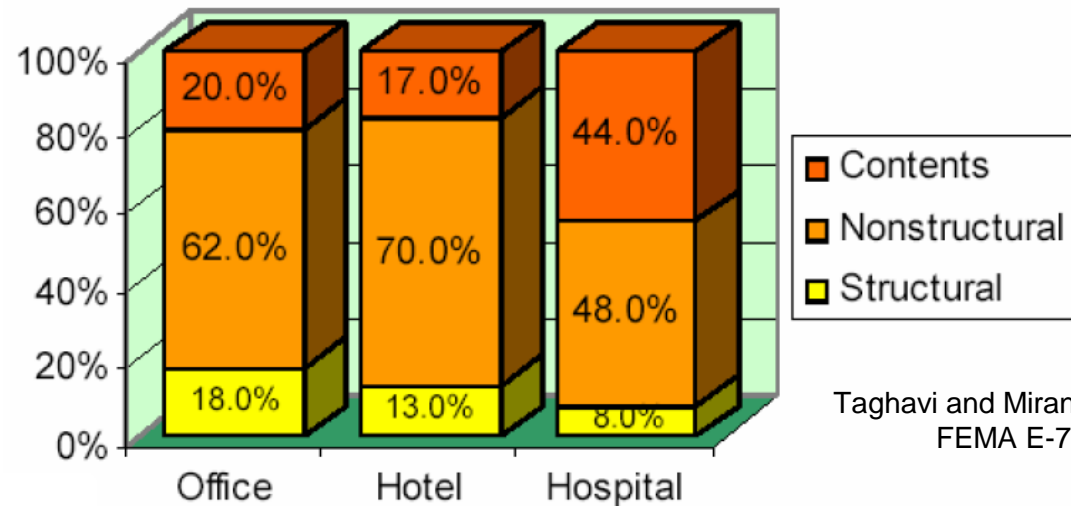
$M_{OOP,Rd}$ è la resistenza pura a flessione nel caso in cui l'azione sollecitante agisca unicamente fuori piano, rif §7.8.2.2.1 NTC18:

Quello che si vede normalmente è che il primo termine, già da solo, assume valori molto superiori all'unità. Per cui, una parete anche capace di assicurare una adeguata sicurezza per l'azione fuori piano, risulta essere rotta già per la sola azione nel piano.

PERDITE ECONOMICHE

Le perdite economiche dovute ai terremoti sono "dirette" o "indirette":

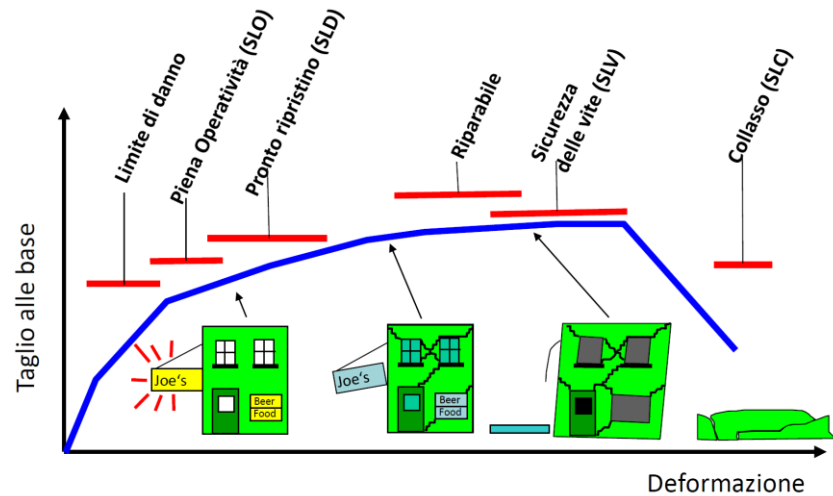
- Perdite dirette:
 - Infortuni e feriti, spese mediche, invalidità permanente
 - Costo per il recupero degli edifici (struttura, finiture, impianti, contenuto)
 -



Taghavi and Miranda, 2003
FEMA E-74

- Perdite indirette (fermo della produzione, inefficienze, diminuzione dei clienti, ...)

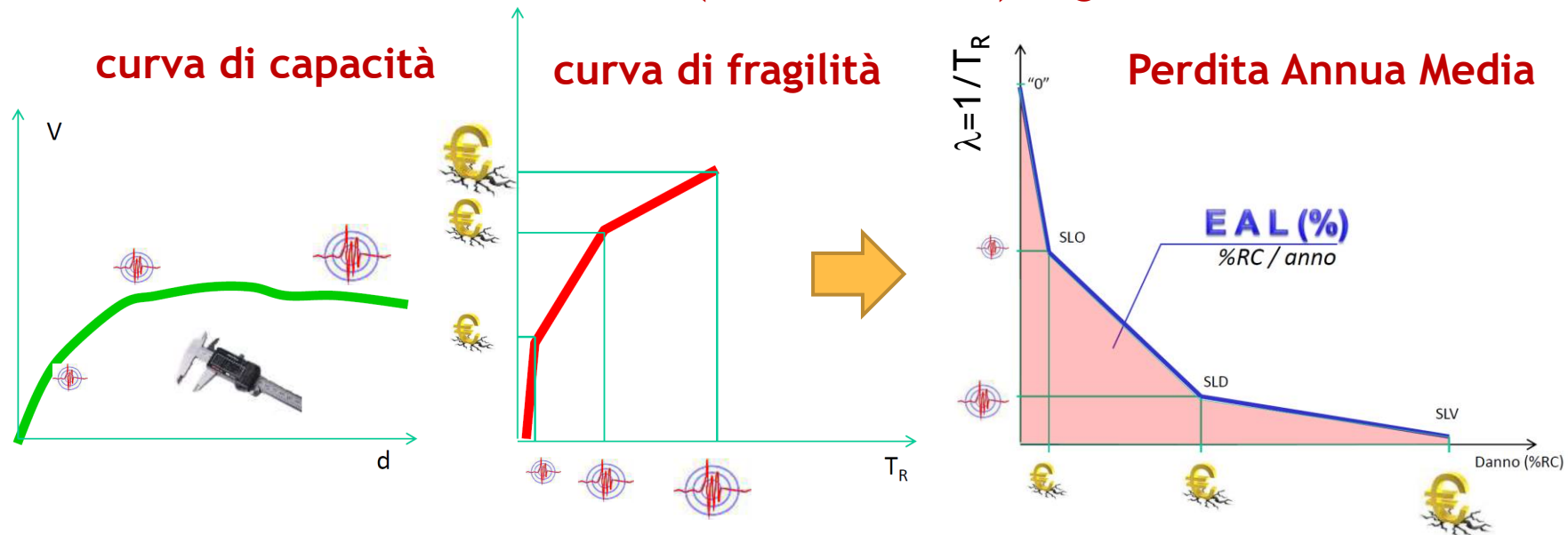
DALLE CURVE DI CAPACITA' AL PAM (Perdita Annuale Media Attesa)



© R. Hamburger

La curva di capacità fornisce una pura valutazione della vulnerabilità sismica dell'edificio, ma non tiene conto del danno economico connesso al danneggiamento/crollo.

Un passo in avanti è stato fatto con la legge Sismabonus e l'introduzione della classificazione sismica (convenzionale) degli edifici



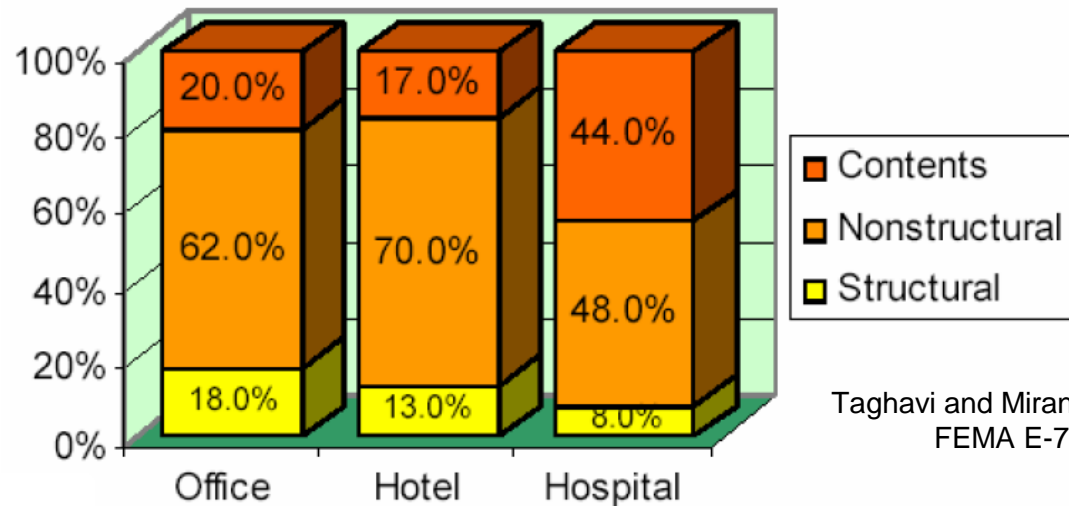
PERDITE ECONOMICHE

Le perdite economiche dovute ai terremoti sono "dirette" o "indirette":

- Perdite dirette:

non considerate

- ~~Infortuni e feriti, spese mediche, invalidità permanente~~
- Costo per il recupero degli edifici (struttura, finiture, impianti, contenuto)
-



Taghavi and Miranda, 2003
FEMA E-74

**Valutazione
"ANALITICA"
o
"CONVENZIONALE"**

- ~~Perdite indirette (fermo della produzione, inefficienze, diminuzione dei clienti, ...)~~

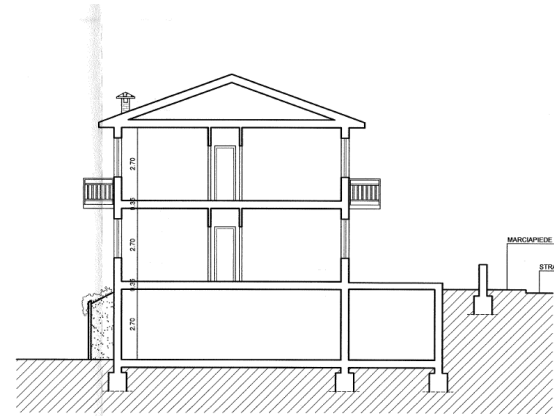
non considerate

LE PROBLEMATICHE DEGLI EDIFICI A TELAIO

San Severino Marche – anno di costruzione 2002 - D.M. 1996 – Zona sismica 2: S=9

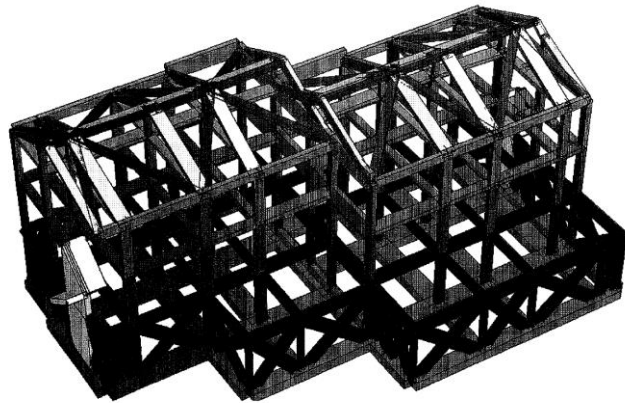


LATO NORD



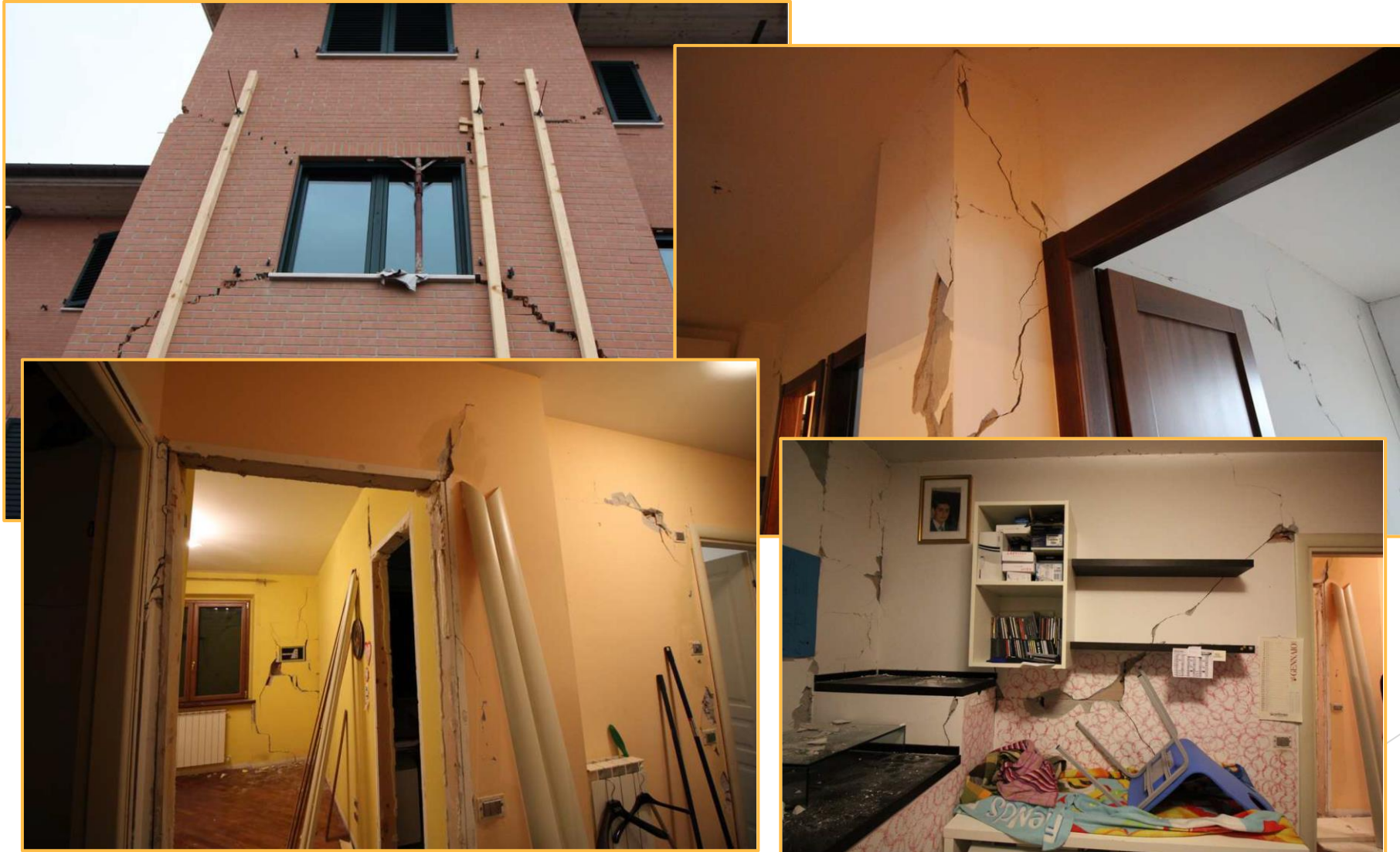
SEZIONE B - B

MODELLO STRUTTURA

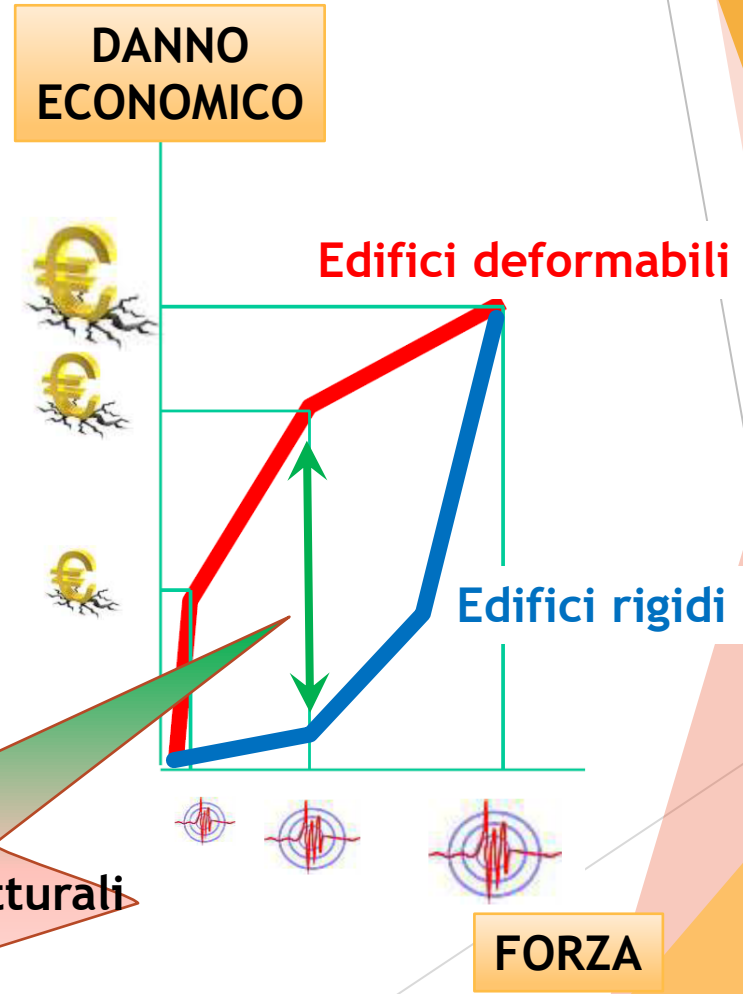
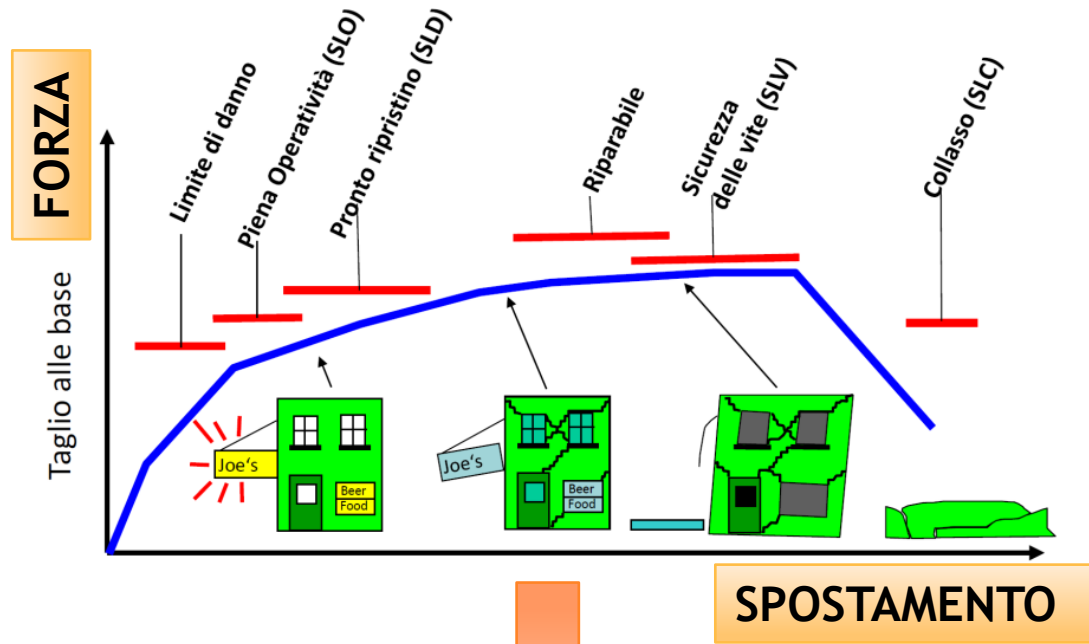


LE PROBLEMATICHE DEGLI EDIFICI A TELAIO

San Severino Marche – anno di costruzione 2002 - D.M. 1996 – Zona sismica 2: S=9



INTERVENTI LOCALI O GLOBALI? EDIFICI DISSIPATIVI O NO? TELAIO O A PARETI? ...



Per terremoti di modesta entità
- quindi «frequenti» -
elevati danni economici agli elementi non strutturali

CONCLUSIONI - Quali sistemi strutturali per la ricostruzione in zona sismica?

Progettare strutture duttili e dissipative non è facile. **Realizzarle lo è anche anche meno!**

La duttilità richiede rigore progettuale, prima di tutto nella forme architettoniche.
La duttilità si paga in termini di domanda di spostamento → **danni non strutturali**
E richiede dettagli costruttivi adeguati!!!



CONCLUSIONI - Quali sistemi strutturali per la ricostruzione in zona sismica?

DOBBIAMO PROGETTARE PENSANDO NON SOLO AL DANNO IN TERMINI DI VITE UMANE, MA ANCHE IN TERMINI DI SALVAGUARDIA DEL PATRIMONIO E DELLA CONTINUITA' DI ESERCIZIO DELLE ATTIVITA'

La limitazione del P.A.M. deve guidarci non solo per “prendere i bonus fiscali negli interventi di miglioramento/adequamento sismico”, ma anche per una progettazione corretta dei nuovi edifici

Le tipologie costruttive rigide non dissipative (A PARETI: di laterizio, di c.a, di legno,) e le COSTRUZIONI ISOLATE SISMICAMENTE, rappresentano la migliore risposta a questa esigenza.

L'approccio progettuale in duttilità, con plasticizzazione di parti strutturali , va usato solo ove veramente necessario e solo dove è il progetto strutturale a guidare quello architettonico!!!



Sarà duttile?



CONCLUSIONI - Quali sistemi strutturali per la ricostruzione in zona sismica?

DOBBIAMO PROGETTARE PENSANDO NON SOLO AL DANNO IN TERMINI DI VITE UMANE, MA ANCHE IN TERMINI DI SALVAGUARDIA DEL PATRIMONIO E DELLA CONTINUITA' DI ESERCIZIO DELLE ATTIVITA'

La limitazione del P.A.M. deve guidarci non solo per “prendere i bonus fiscali negli interventi di miglioramento/adequamento sismico”, ma anche per una progettazione corretta dei nuovi edifici

Le tipologie costruttive rigide non dissipative (A PARETI: di laterizio, di c.a, di legno,) e le COSTRUZIONI ISOLATE SISMICAMENTE, rappresentano la migliore risposta a questa esigenza.

L'approccio progettuale in duttilità, con plasticizzazione di parti strutturali , va usato solo dove è veramente necessario e solo dove è il progetto strutturale a guidare quello architettonico!!!

La riparabilità deve ispirare la progettazione.

Per esempio: strutture a comportamento pendolare, con elementi di stabilizzazione laterale sostituibili (FUSIBILI DISSIPATIVI) *in cui fare attenzione all'interazione con gli elementi non strutturali.*

