

Introduzione ai materiali compositi e criteri di intervento su strutture in c.a.

Prof. ing. Andrea Prota

**Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni
Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura
Università di Napoli Federico II**

aprota@unina.it

Torre Annunziata, 5 giugno 2015



**Guide for the Design and Construction
of Externally Bonded
FRP Systems for Strengthening
Concrete Structures**

Reported by ACI Committee 440



american concrete institute

P.O. BOX 9094

FARMINGTON HILLS, MICHIGAN 48333-9094

11.3 Edifici in c.a.

11.3.3. Modelli di capacità per il rinforzo

Ordinanza 3274 (2003)

11.3.3.1 Incamiciatura in cemento armato

Aumento della capacità portante verticale; aumento della resistenza a flessione e/o taglio; aumento della capacità deformativa; miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione

11.3.3.2 Incamiciatura in acciaio

Aumento della resistenza a taglio; aumento della capacità deformativa; miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione

11.3.3.3 Placcatura e fasciatura in materiali fibrorinforzati (FRP)



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Ordinanza n. **3431**

Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

IL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI

La presente ordinanza sarà pubblicata nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Roma,  3 MAG. 2005

Il Presidente del Consiglio
dei Ministri

NEW!! 11.3 EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

11.3.3. Modelli di capacità per il rinforzo

11.3.3.3 Placcatura e fasciatura in materiali fibrorinforzati (FRP)

L'uso del FRP nel rinforzo sismico di elementi in c.a. è finalizzato ai seguenti obiettivi:

- Aumento della resistenza a taglio di pilastri e pareti mediante applicazione di fasce in FRP con le fibre disposte secondo la direzione delle staffe
- Aumento della duttilità nelle parti terminali di travi e pilastri mediante fasciatura con FRP con fibre lungo il perimetro
- Miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione, sempre mediante fasciatura con FRP con fibre continue disposte lungo il perimetro

Ai fini delle verifiche di sicurezza degli elementi rafforzati con FRP si possono adottare

CNR-DT 200/2004

<http://www.cnr.it/sitocnr/IICNR/Attivita/NormazioneeCertificazione.html>

CNR – Commissione incaricata di formulare pareri in materia di normativa tecnica relativa alle costruzioni

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE INCARICATA DI FORMULARE PARERI IN MATERIA
DI NORMATIVA TECNICA RELATIVA ALLE COSTRUZIONI

**Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati**

Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie



Approvata il 26 aprile 2005

CNR-DT 200/2004

ROMA – CNR 13 luglio 2004

D.M. 14.01.2008

8.6 MATERIALI

Gli interventi sulle strutture esistenti devono essere effettuati con i materiali previsti dalle presenti norme; possono altresì essere utilizzati materiali non tradizionali, purché nel rispetto di normative e documenti di comprovata validità, ovvero quelli elencati al cap. 12.

Nel caso di edifici in muratura è possibile effettuare riparazioni locali o integrazioni con materiale analogo a quello impiegato originariamente nella costruzione, purché durevole e di idonee caratteristiche meccaniche.

12 RIFERIMENTI TECNICI

Per quanto non diversamente specificato nella presente norma, si intendono coerenti con i principi alla base della stessa, le indicazioni riportate nei seguenti documenti:

- Eurocodici strutturali pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali o, in mancanza di esse, nella forma internazionale EN;
- Norme UNI EN armonizzate i cui riferimenti siano pubblicati su Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea;
- Norme per prove, materiali e prodotti pubblicate da UNI.

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.).

Possono essere utilizzati anche altri codici internazionali, purché sia dimostrato che garantiscano livelli di sicurezza non inferiori a quelli delle presenti Norme tecniche.

D.M. 14.01.2008

11.4 MATERIALI DIVERSI DALL'ACCIAIO UTILIZZATI CON FUNZIONE DI ARMATURA IN STRUTTURE DI CALCESTRUZZO ARMATO

Per l'impiego di materiali diversi dall'acciaio con funzione di armatura in strutture in cemento armato, si rimanda a quanto indicato nel § 4.6, tenendo anche conto di quanto specificato al §11.1

4.6 COSTRUZIONI DI ALTRI MATERIALI

I materiali non tradizionali o non trattati nelle presenti norme tecniche potranno essere utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali od opere, previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, autorizzazione che riguarderà l'utilizzo del materiale nelle specifiche tipologie strutturali proposte sulla base di procedure definite dal Servizio Tecnico Centrale.

Si intende qui riferirsi a materiali quali calcestruzzi di classe di resistenza superiore a C70/85, calcestruzzi fibrorinforzati, acciai da costruzione non previsti in § 4.2, leghe di alluminio, leghe di rame, travi tralicciate in acciaio conglobate nel getto di calcestruzzo collaborante, materiali polimerici fibrorinforzati, pannelli con poliuretano o polistirolo collaborante, materiali murari non tradizionali, vetro strutturale, materiali diversi dall'acciaio con funzione di armatura da c.a.

Vale solo per strutture nuove!

CIRCOLARE 517

C8A.7.3 PLACCATURA E FASCIATURA IN MATERIALI COMPOSITI

L'uso di idonei materiali compositi (o altri materiali resistenti a trazione) nel rinforzo sismico di elementi in c.a. è finalizzato agli obiettivi seguenti:

- aumento della resistenza a taglio di pilastri e pareti mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle staffe;
- aumento della resistenza nelle parti terminali di travi e pilastri mediante applicazione di fasce con le fibre disposte secondo la direzione delle barre longitudinali ed opportunamente ancorate;
- aumento della duttilità nelle parti terminali di travi e pilastri mediante fasciatura con fibre continue disposte lungo il perimetro; miglioramento dell'efficienza delle giunzioni per sovrapposizione, sempre mediante fasciatura con fibre continue disposte lungo il perimetro;

Ai fini delle verifiche di sicurezza degli elementi rafforzati con FRP si possono adottare le Istruzioni CNR-DT 200/04.

LINEE GUIDA CSLP

**Linee guida
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo
di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p.
e murarie mediante FRP**

LINEE GUIDA ACI MURATURA

ACI 440.7R-10

Emerging Technology Series

**Guide for the Design and
Construction of Externally Bonded
Fiber-Reinforced Polymer Systems
for Strengthening Unreinforced
Masonry Structures**

Reported by ACI Committee 440



American Concrete Institute®

AGGIORNAMENTO DT 200 AL 2013

CNR – Commissione di Studio per la Predisposizione e l'Analisi di Norme Tecniche relative alle costruzioni

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

COMMISSIONE DI STUDIO PER LA PREDISPOSIZIONE E L'ANALISI
DI NORME TECNICHE RELATIVE ALLE COSTRUZIONI

Istruzioni
per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo
di Interventi di Consolidamento Statico
mediante l'utilizzo di
Compositi Fibrorinforzati

Materiali, strutture di c.a. e di c.a.p., strutture murarie



CNR-DT 200 R1/2013

ROMA – CNR, 10 ottobre 2013 – versione del 15 Maggio 2014

FRP = Fiber Reinforced Polymer



Rappresentano in molti casi un'alternativa promettente ed economica rispetto ai materiali tradizionali in diverse applicazioni dell'ingegneria civile

FRP sta per Fiber-Reinforced Polymers, ma ci sono molti più acronimi.....

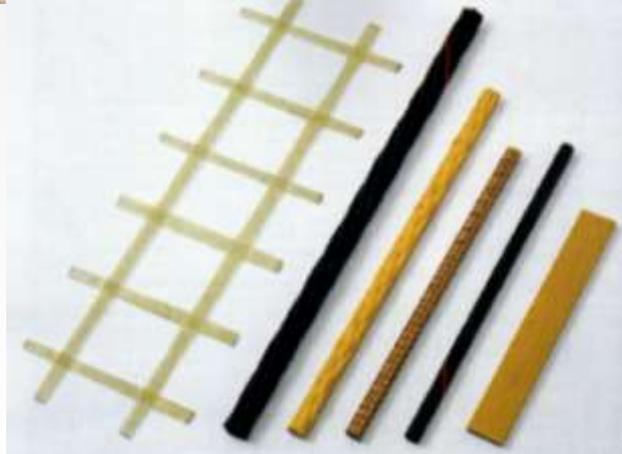
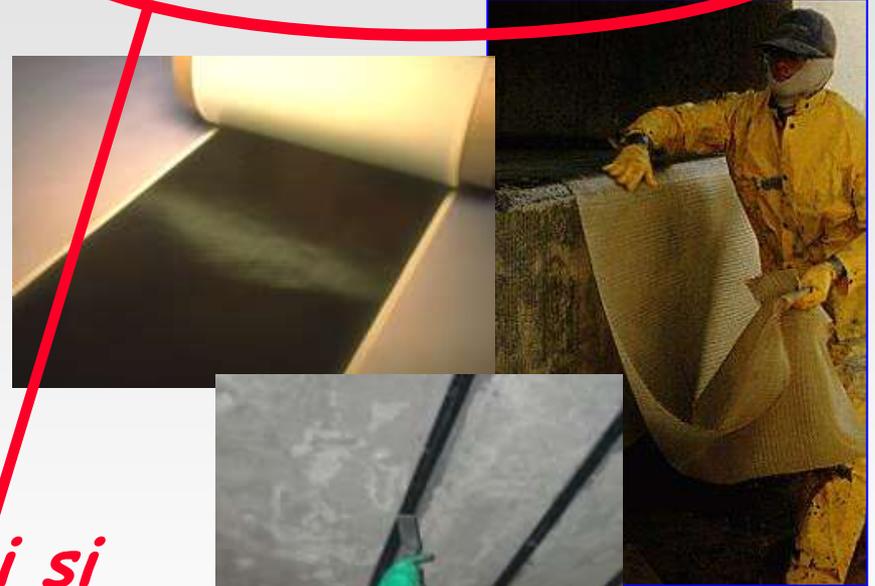
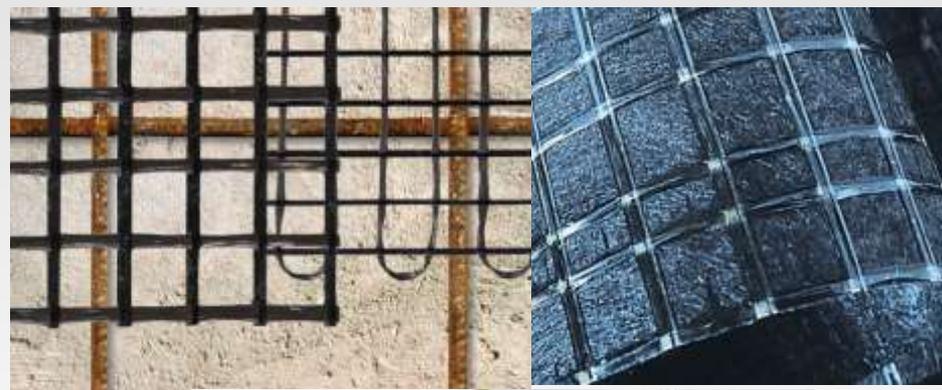
- Alcuni sono usati per descrivere una tipologia specifica di fibra:
 - GFRP – Glass Fiber-Reinforced Polymer
 - CFRP – Carbon Fiber-Reinforced Polymer
 - AFRP – Aramid Fiber-Reinforced Polymer

 - SRP - Steel Fiber-Reinforced Polymer
 - BFRP - Basalt Fiber-Reinforced Polymer

Applicazioni degli FRP

NUOVE STRUTTURE

STRUTTURE ESISTENTI

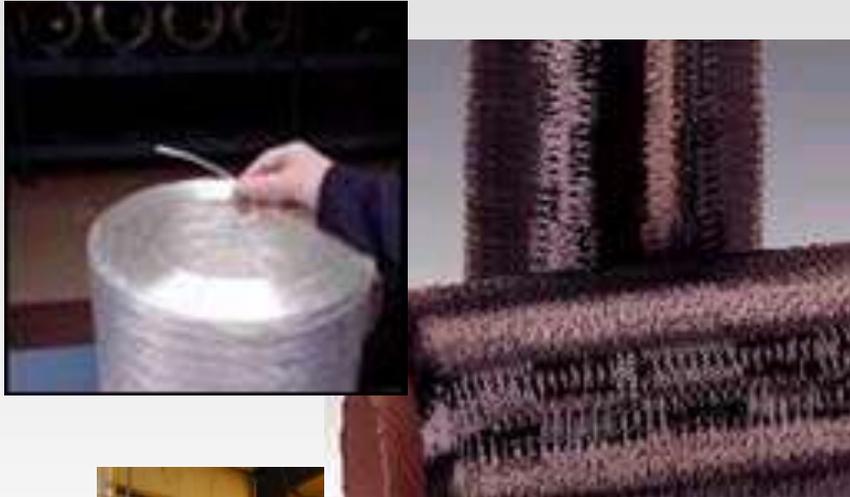


Oggi si parla di ...



Materiali Polimerici Fibro-Rinforzati

Fibre



Resine

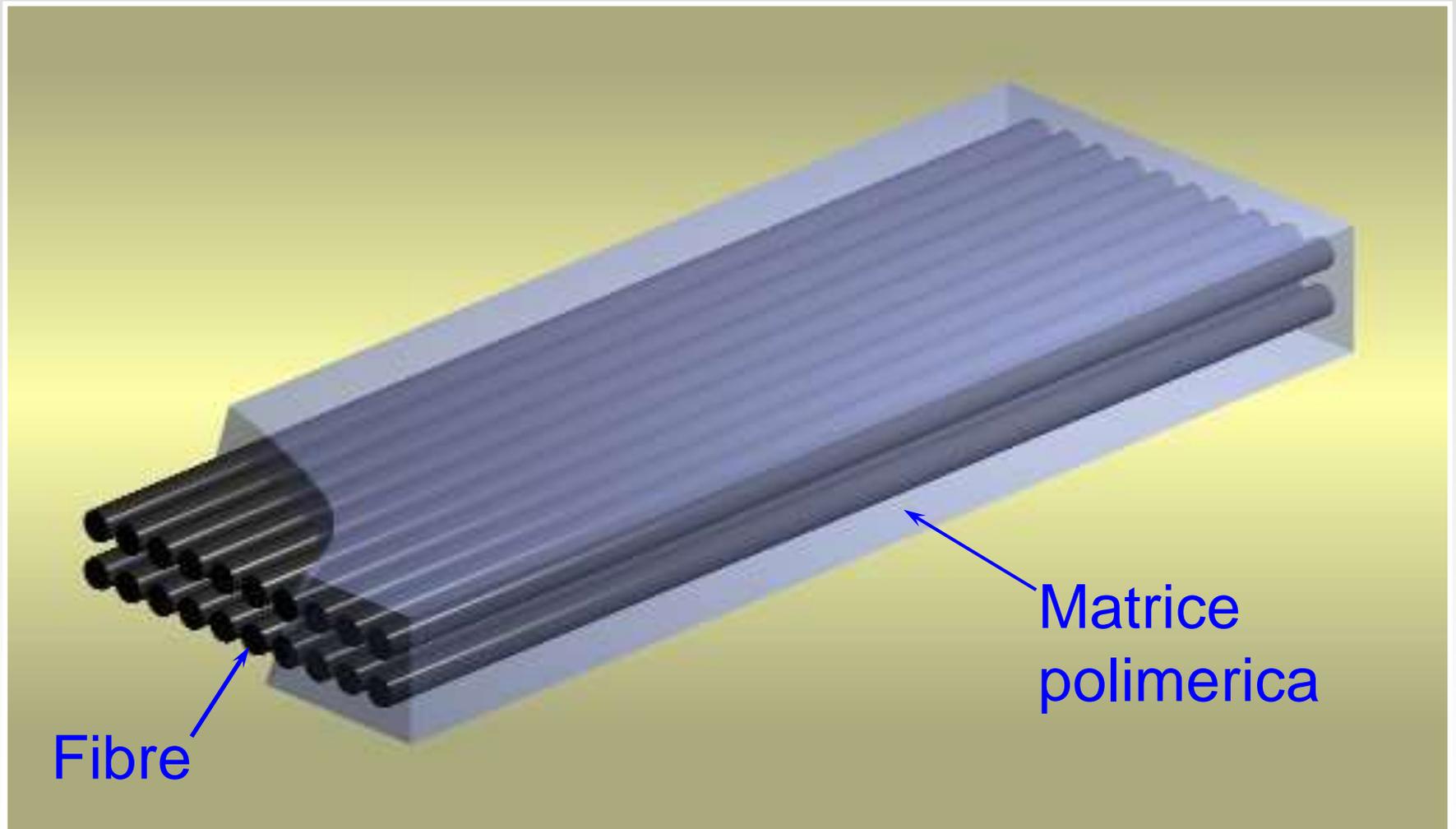


+

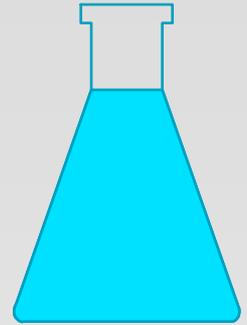
=



Materiali Polimerici Fibro-Rinforzati



Resine



■ Funzione principale:

“Ripartire gli sforzi tra le fibre e proteggerle dai danni meccanici e ambientali”

■ Tipi:

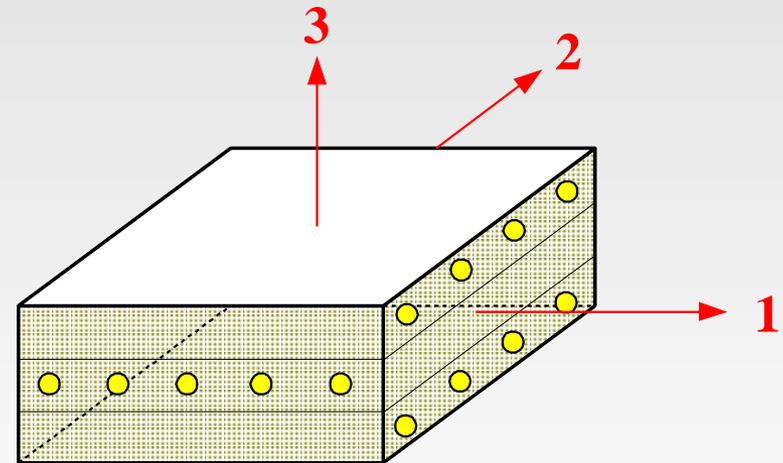
- Termoindurenti - non possono essere deformate dopo la polimerizzazione
- Termoplastiche – possono essere deformate

Fibre

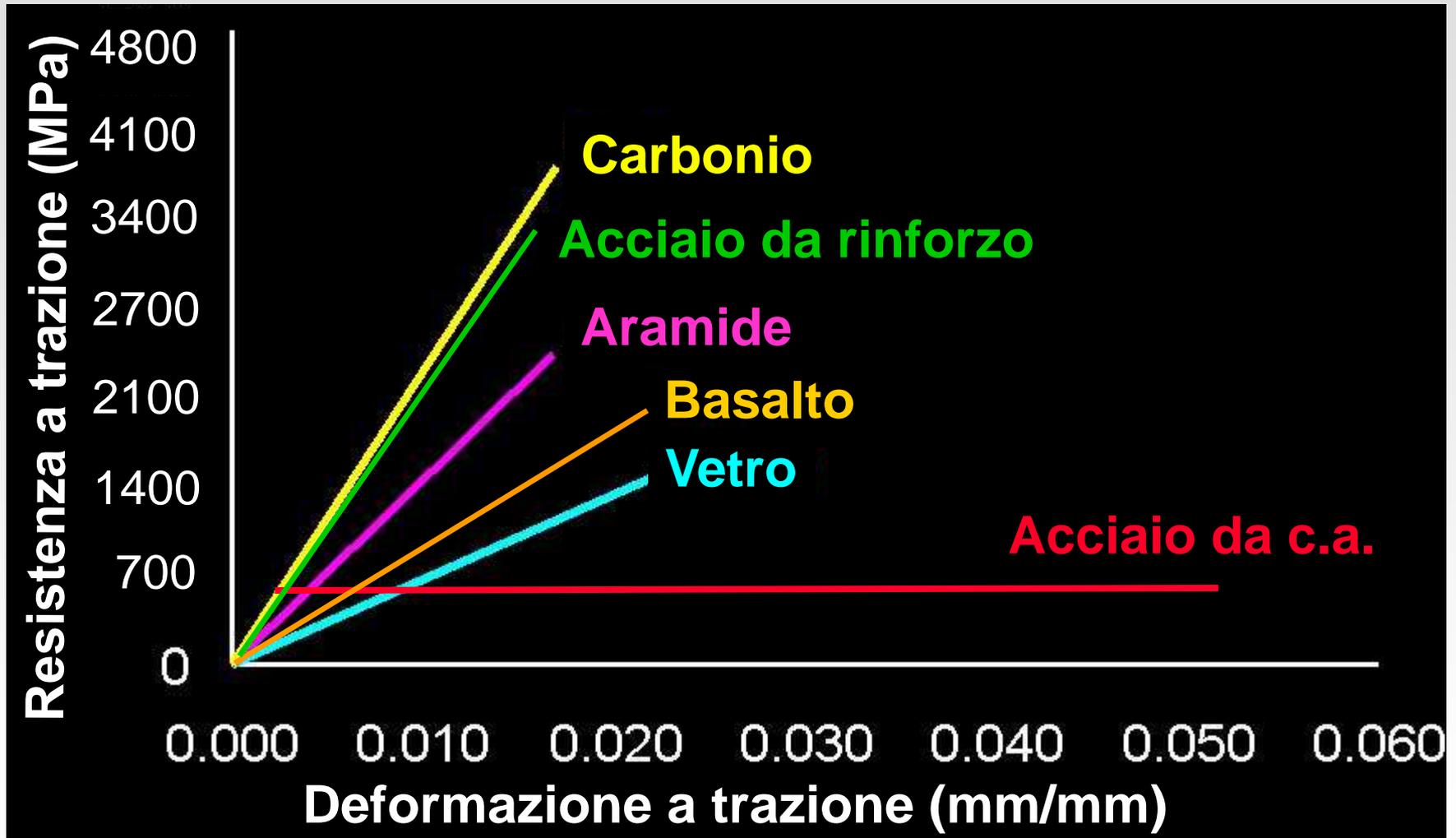
■ Funzione principale:

“Sopportare i carichi, fornire resistenza e/o rigidità lungo una direzione”

- L'orientazione delle fibre può essere scelta in modo da ottimizzare le proprietà del composito in funzione dei carichi su di esso agenti



Proprietà Caratteristiche delle Fibre



Altri costituenti degli FRP

- **Fillers**
- **Additivi**



- **Ridotta incidenza economica**
- **Ruolo importante nel sistema composto**

Osservazione

- **Stiamo parlando di SISTEMI, non di singoli componenti da comprarsi separatamente**
- **L'ingegnere non sceglie i singoli costituenti ma seleziona il sistema piu` adatto all'applicazione**
- **I produttori forniscono sistemi completi con le modalita` di installazione**

Problematica qualificazione

Linea Guida per la Qualificazione ed il Controllo di accettazione di compositi fibrorinforzati da utilizzarsi per il consolidamento strutturale di costruzioni esistenti

Inquadramento in NTC 2008

8.4.3 RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

In generale, gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.

La relazione di cui al par. 8.2 che, in questi casi, potrà essere limitata alle sole parti interessate dall'intervento ed a quelle con esse interagenti, dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate,

222

Inquadramento in NTC 2008

CS.4.3 RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE

Rientrano in questa tipologia tutti gli interventi di riparazione, rafforzamento o sostituzione di singoli elementi strutturali (travi, architravi, porzioni di solaio, pilastri, pannelli murari) o parti di essi, non adeguati alla funzione strutturale che debbono svolgere, a condizione che l'intervento non cambi significativamente il comportamento globale della struttura, soprattutto ai fini della resistenza alle azioni sismiche, a causa di una variazione non trascurabile di rigidità o di peso.

Può rientrare in questa categoria anche la sostituzione di coperture e solai, solo a condizione che ciò non comporti una variazione significativa di rigidità nel proprio piano, importante ai fini della ridistribuzione di forze orizzontali, né un aumento dei carichi verticali statici.

Interventi di ripristino o rinforzo delle connessioni tra elementi strutturali diversi (ad esempio tra pareti murarie, tra pareti e travi o solai, anche attraverso l'introduzione di catene/tiranti) ricadono in questa categoria, in quanto comunque migliorano anche il comportamento globale della struttura, particolarmente rispetto alle azioni sismiche.

Infine, interventi di variazione della configurazione di un elemento strutturale, attraverso la sua sostituzione o un rafforzamento localizzato (ad esempio l'apertura di un vano in una parete muraria, accompagnata da opportuni rinforzi) possono rientrare in questa categoria solo a condizione che si dimostri che la rigidità dell'elemento variato non cambi significativamente e che la resistenza e la capacità di deformazione, anche in campo plastico, non peggiorino ai fini del comportamento rispetto alle azioni orizzontali.

Danni

Il sisma de L'Aquila

■ I nodi trave-pilastro



Assenza di staffe nel nodo



Instabilità armatura pilastro passante nel nodo

Il sisma de L'Aquila

■ I nodi trave-pilastro



Assenza di staffe nel nodo



Scarsa qualità del calcestruzzo

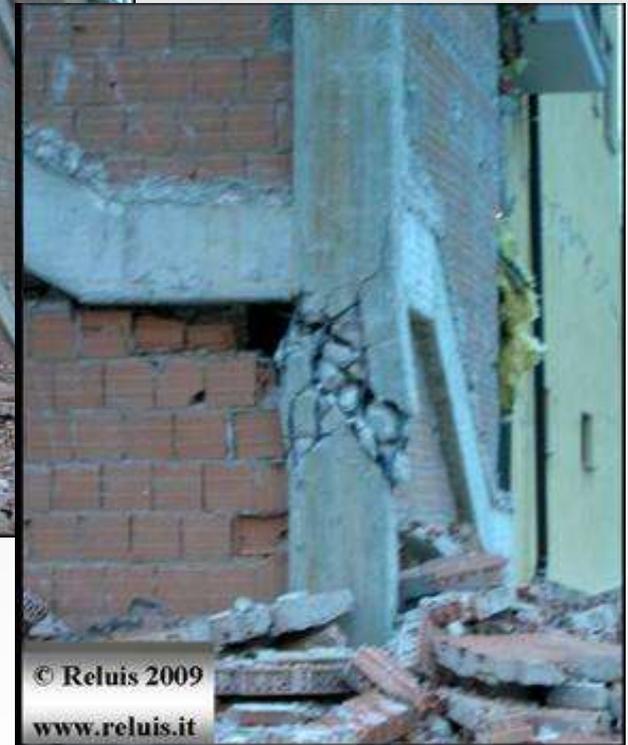
Il sisma de L'Aquila

- I nodi trave-pilastro

L'Aquila: Danni su pilastri tozzi



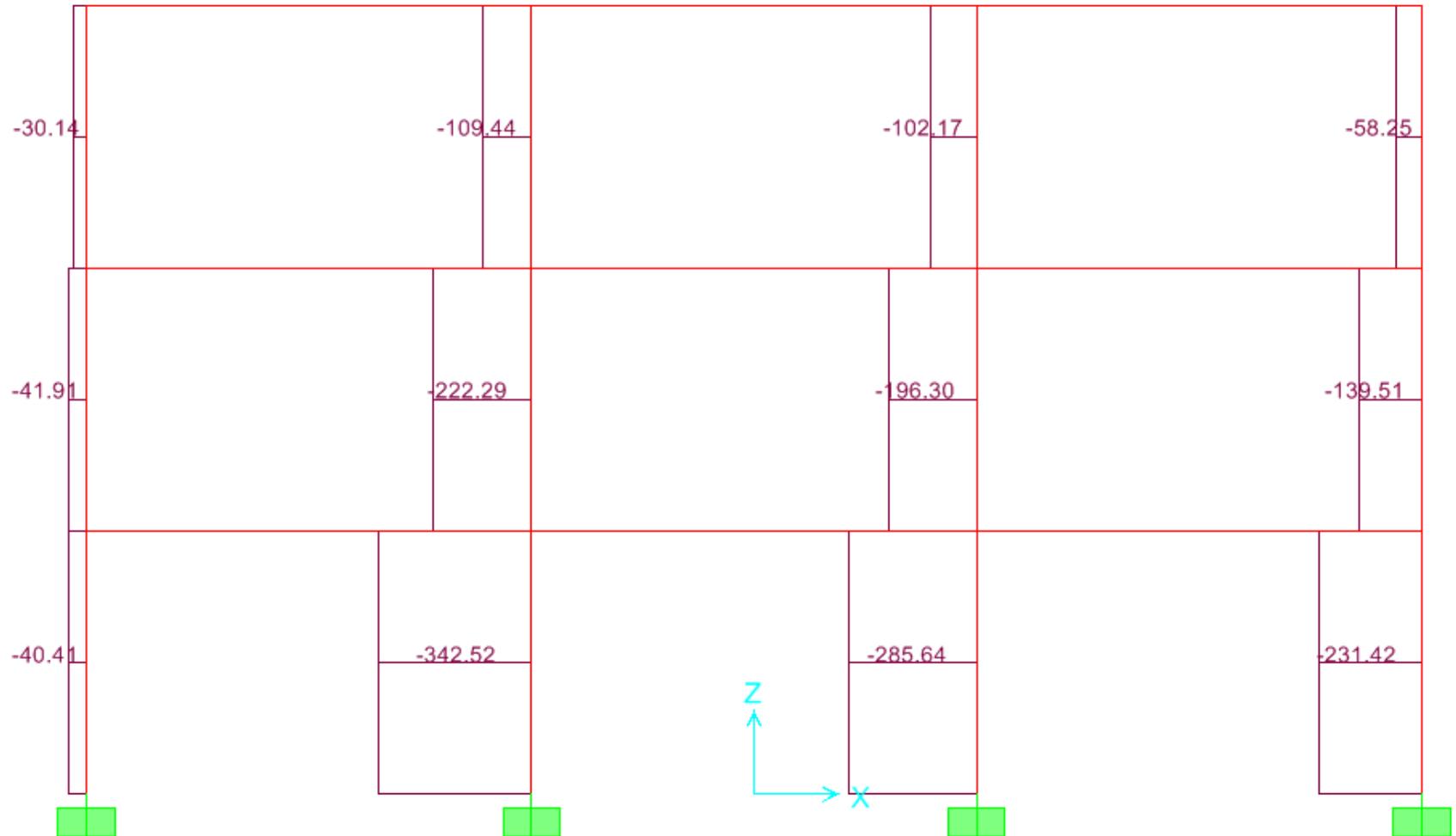
Presenza di piani seminterrati con finestre a nastro



Pilastri di scale in c.a.

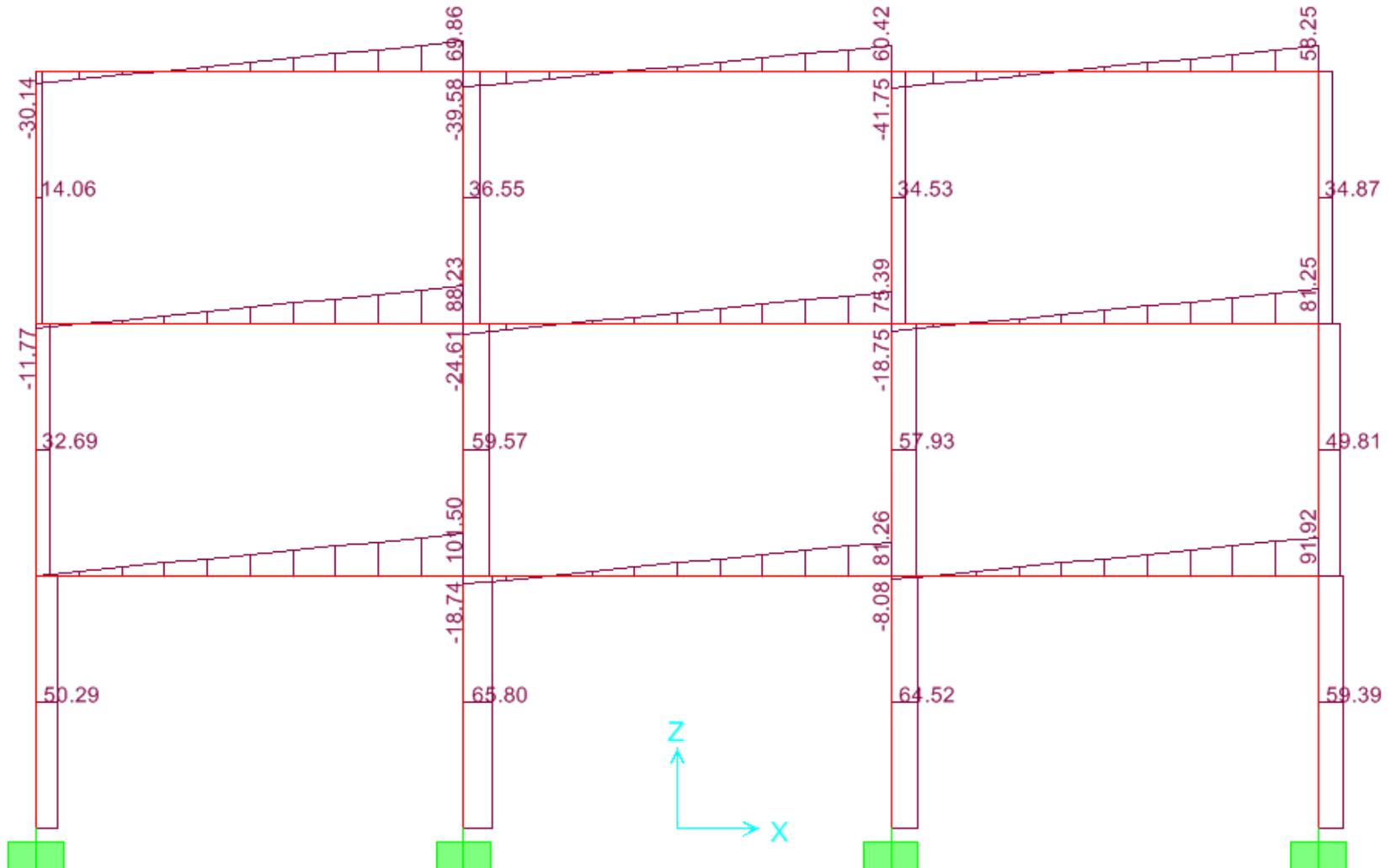
NTC 2008: Progetto in zona sismica

■ Sforzo Normale



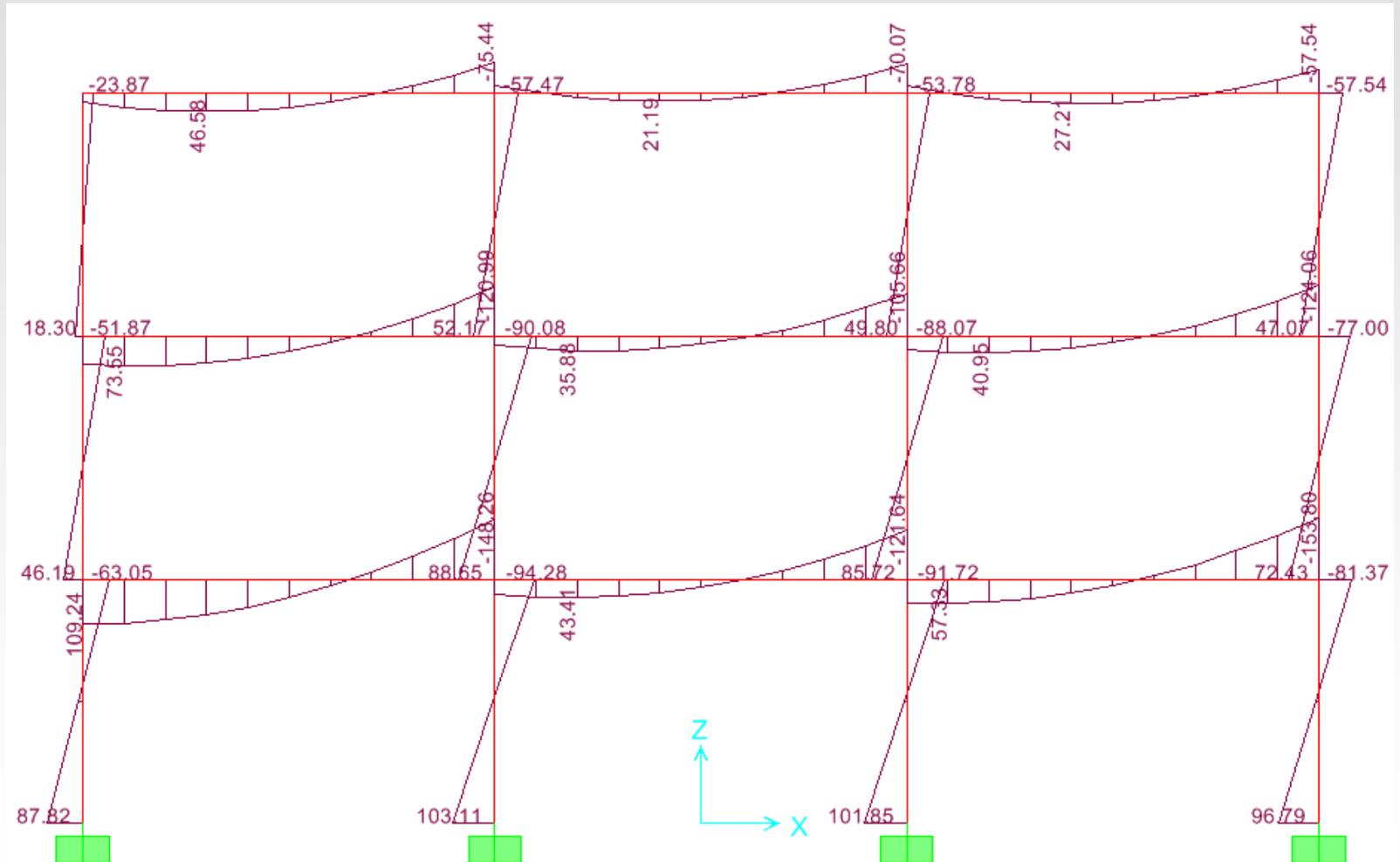
NTC 2008: Progetto in zona sismica

■ Taglio



NTC 2008: Progetto in zona sismica

■ Momento Flettente



Il sisma de L'Aquila

■ I pilastri



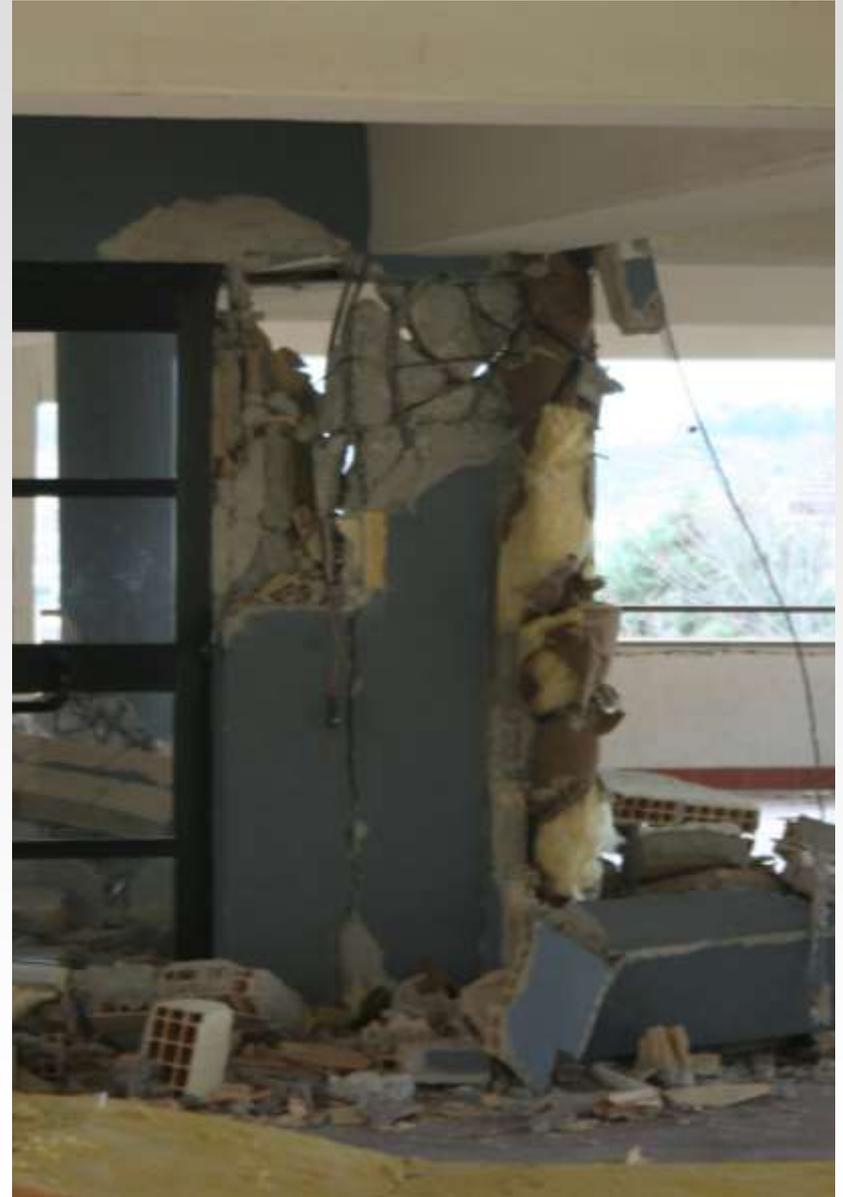
Il sisma de L'Aquila

■ I pilastri

Crisi a taglio alla testa del pilastro circolare.

Passo delle staffe superiore (sembra) ai 200mm.

E' evidente la qualità del calcestruzzo



Il sisma de L'Aquila

■ I pilastri

Crisi a taglio alla testa del pilastro rettangolare.

Passo delle staffe superiore (sembra) ai 200mm.

E' evidente la qualità del calcestruzzo



Il sisma de L'Aquila

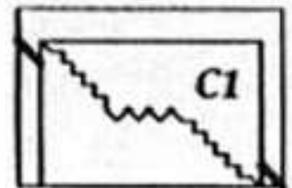
■ I pilastri

Crisi a taglio



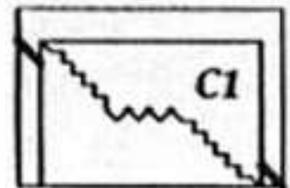
Il sisma de L'Aquila

- Le Tamponature



Il sisma de L'Aquila

- Le Tamponature



Il sisma de L'Aquila

■ Le Tamponature

Discontinuità prodotte dalle aperture.

Ribaltamento della fodera esterna della tamponatura



Il sisma de L'Aquila

- Le Tamponature



Ribaltamento della fodera esterna della tamponatura.

elevata snellezza

Assenza di vincolo laterale

Il sisma de L'Aquila

■ Le Tamponature



Ribaltamento della fodera esterna della tamponatura.

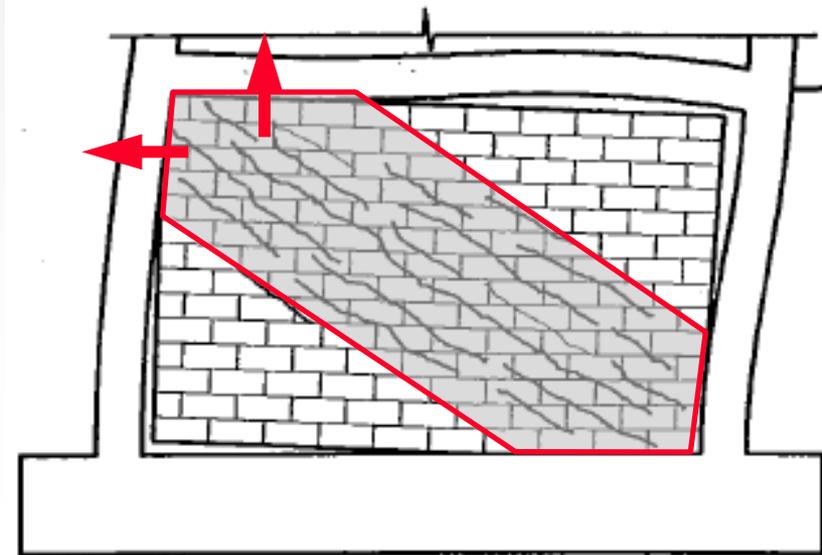
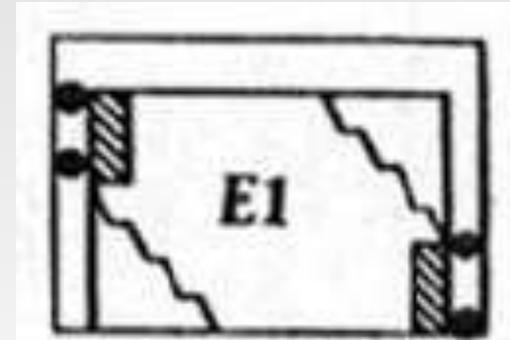
Il pannello è ammorsato solo superiormente e inferiormente

Il sisma de L'Aquila

■ Le Tamponature

Tipica rottura per lo schiacciamento della tamponatura in prossimità degli angoli dove è applicata direttamente la pressione di contatto.

Si osserva anche la fessura diagonale
In testa al pilastro



Collassi strutturali – L'Aquila



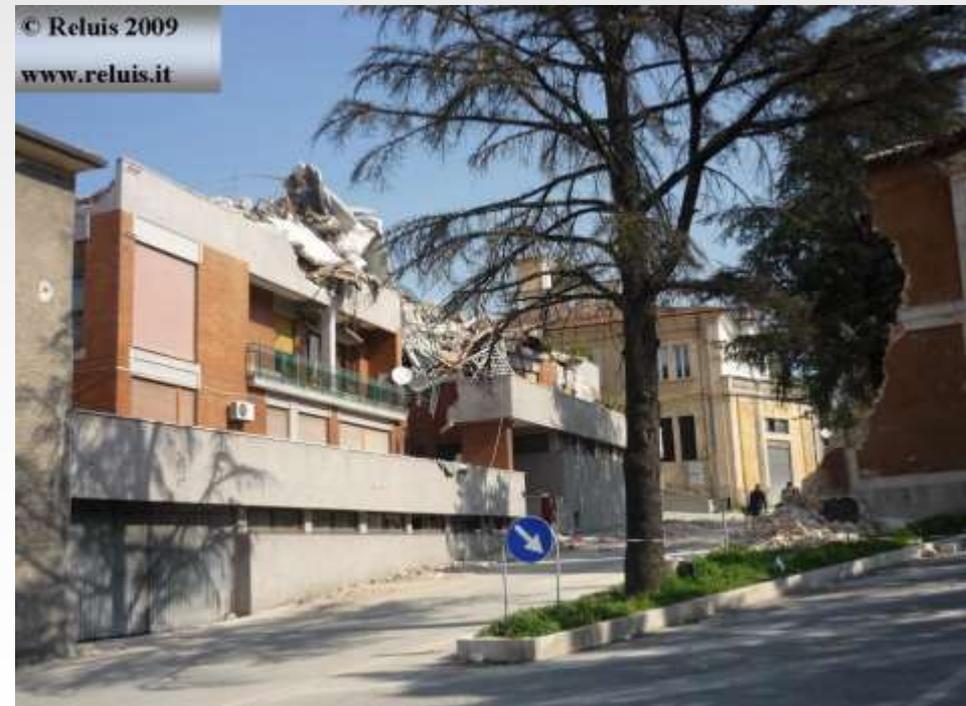
Gli edifici di Pettino



Gli edifici di Pettino

L'Aquila: Danni dovuti ad irregolarità

- Regolarità in elevazione: Porta Napoli



Danni agli elementi *non strutturali*

- Le Tamponature (Emilia Romagna)



Danni agli elementi *non strutturali*

- Le Tamponature (Emilia Romagna)



Danni agli elementi *non strutturali*

- Distacco pannelli orizzontali (Emilia Romagna)



Danni agli elementi *non strutturali*

- Distacco pannelli orizzontali (Emilia Romagna)



Danni agli elementi *non strutturali*

- Distacco pannelli (Emilia Romagna)



Danni agli elementi *non strutturali*

- Distacco pannelli (Emilia Romagna)



Danni agli elementi *non strutturali*

Opcm n. 3907 del 13 novembre 2010: contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico

13 novembre 2010

Pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 281 dell'1 dicembre 2010 - Supplemento ordinario n. 262

Allegato 5: Condizioni per l'applicabilità del rafforzamento locale (assenza di carenze gravi) - articolo 11, c.2

Per gli interventi di rafforzamento locale su edifici, la verifica di assenza di carenze gravi richiamate al comma 3 dell'articolo 9 può essere considerata soddisfatta se l'edificio rispetta contemporaneamente tutte le condizioni di seguito riportate. Tali condizioni sono valide solo ai fini del contributo concesso con la presente ordinanza.

a. per edifici in muratura con le seguenti caratteristiche:

- Altezza non oltre 3 piani fuori terra,
- assenza di pareti portanti in falso

Danni agli elementi *non strutturali*

- b. Per edifici in calcestruzzo armato, in acciaio o in combinazione con le seguenti caratteristiche:
- realizzazione successiva al 1970;
 - struttura caratterizzata da un sistema resistente alle forze orizzontali in entrambe le direzioni ortogonali,
 - altezza non oltre 4 piani fuori terra;
 - forma in pianta relativamente compatta;
 - assenza di danni strutturali medio - gravi visibili,
 - tensione media di compressione negli elementi strutturali verticali portanti in cemento armato per effetto dei soli carichi permanenti e variabili inferiore a 4 MPa;
 - tensione media di compressione negli elementi strutturali verticali portanti in acciaio per effetto dei soli carichi permanenti e variabili inferiore a 1/3 della tensione di snervamento e snellezza massima delle colonne inferiore a 100
 - buone condizioni di conservazione.
- c. Per edifici a struttura mista devono sussistere contemporaneamente le condizioni specificate in precedenza ed applicabili a ciascuna tipologia strutturale costituente la struttura.

Linee guida per gli interventi



INTERVENTI LOCALI SU STRUTTURE IN C.A. CON MATERIALI COMPOSITI

Torre Annunziata – 5 Giugno 2015



Rinforzo con FRP di un edificio in c.a. in scala reale
danneggiato dal sisma – Indagine sperimentale

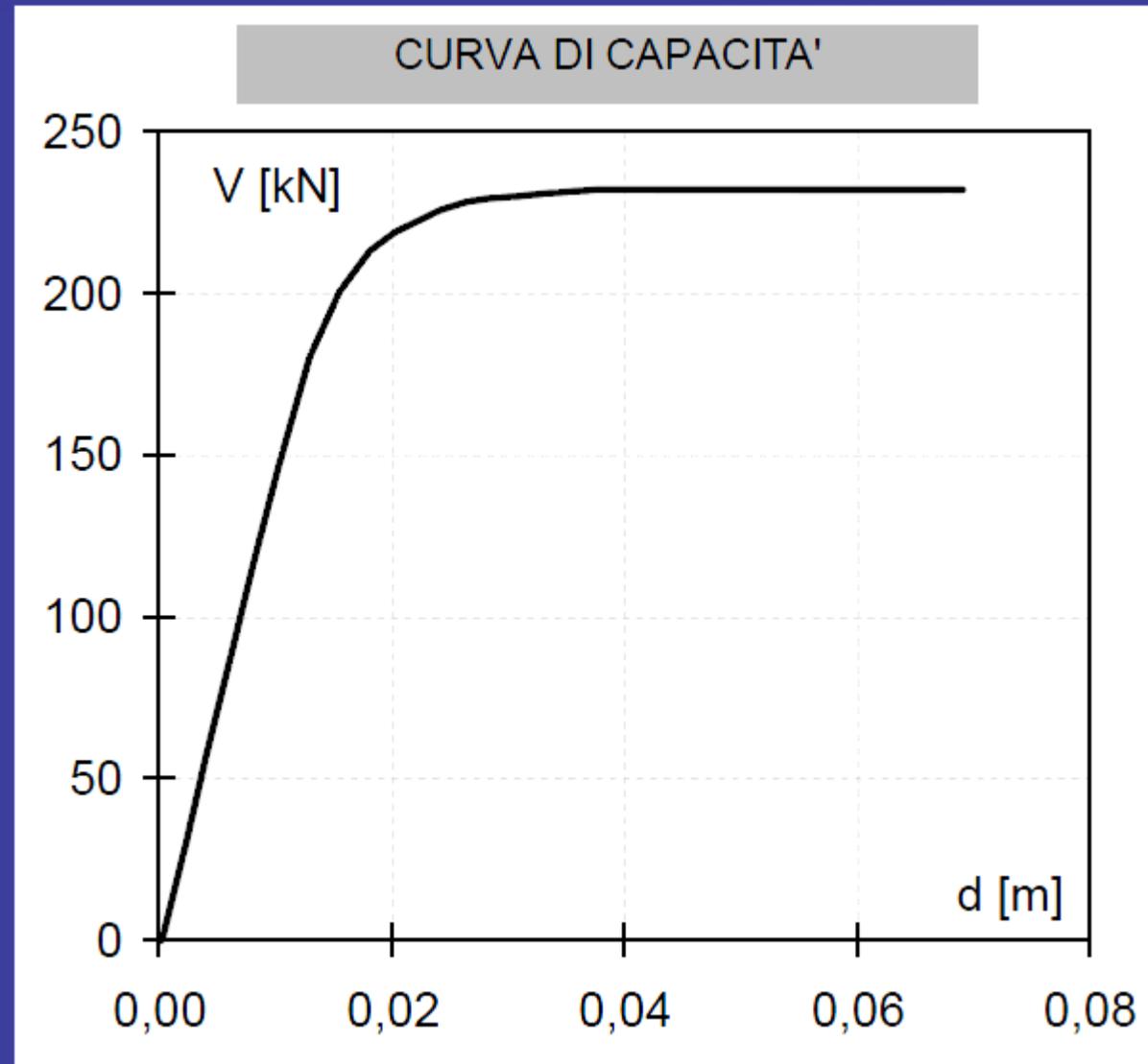
Marco Di Ludovico

Email: diludovi@unina.it

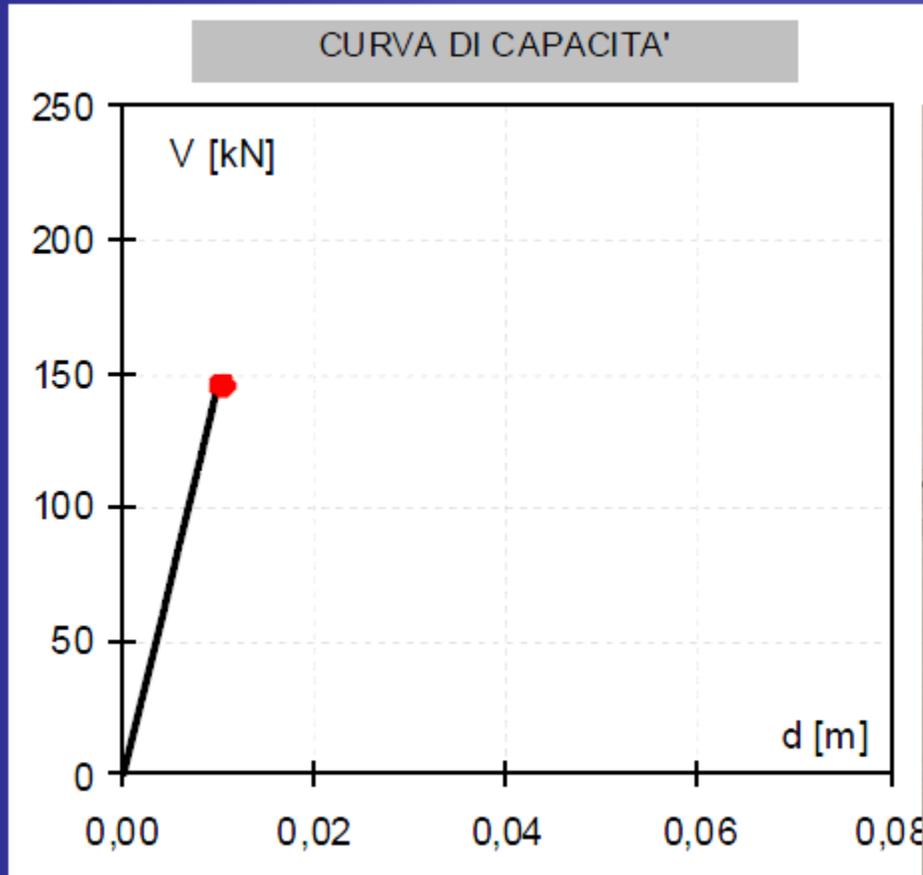


Valutazione della sicurezza

Tipico risultato analisi di pushover



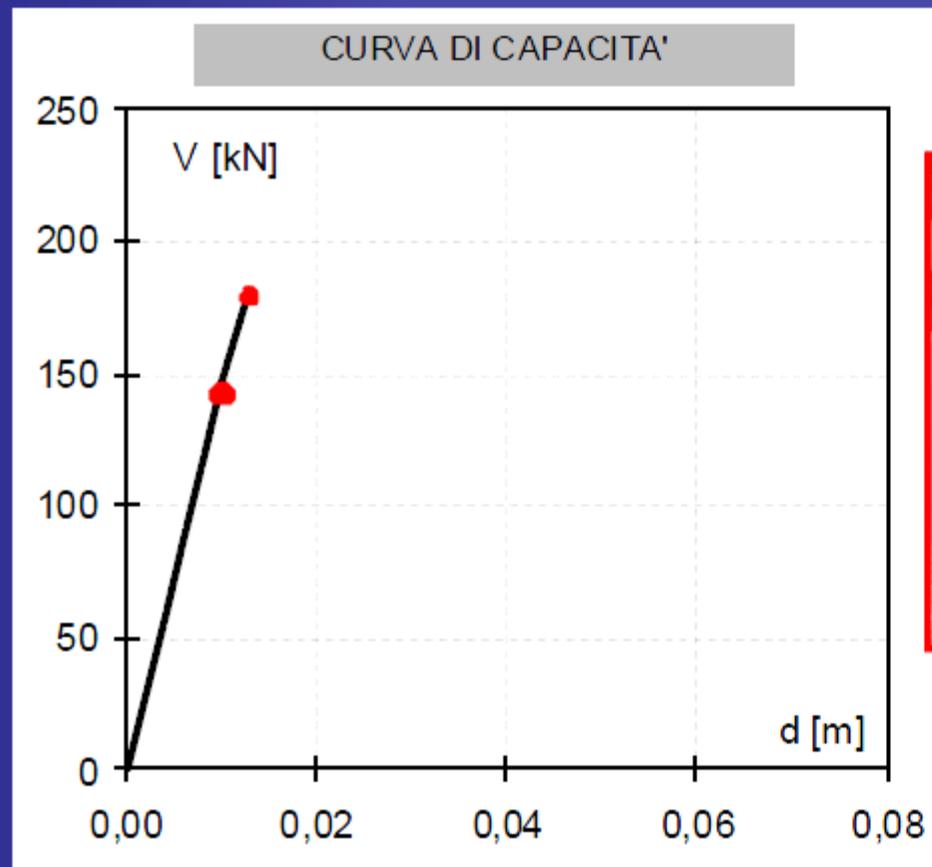
Analisi dei meccanismi



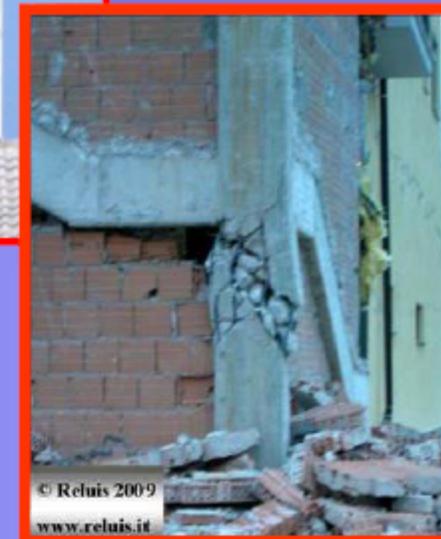
★ Prima crisi elemento a taglio (nodo)



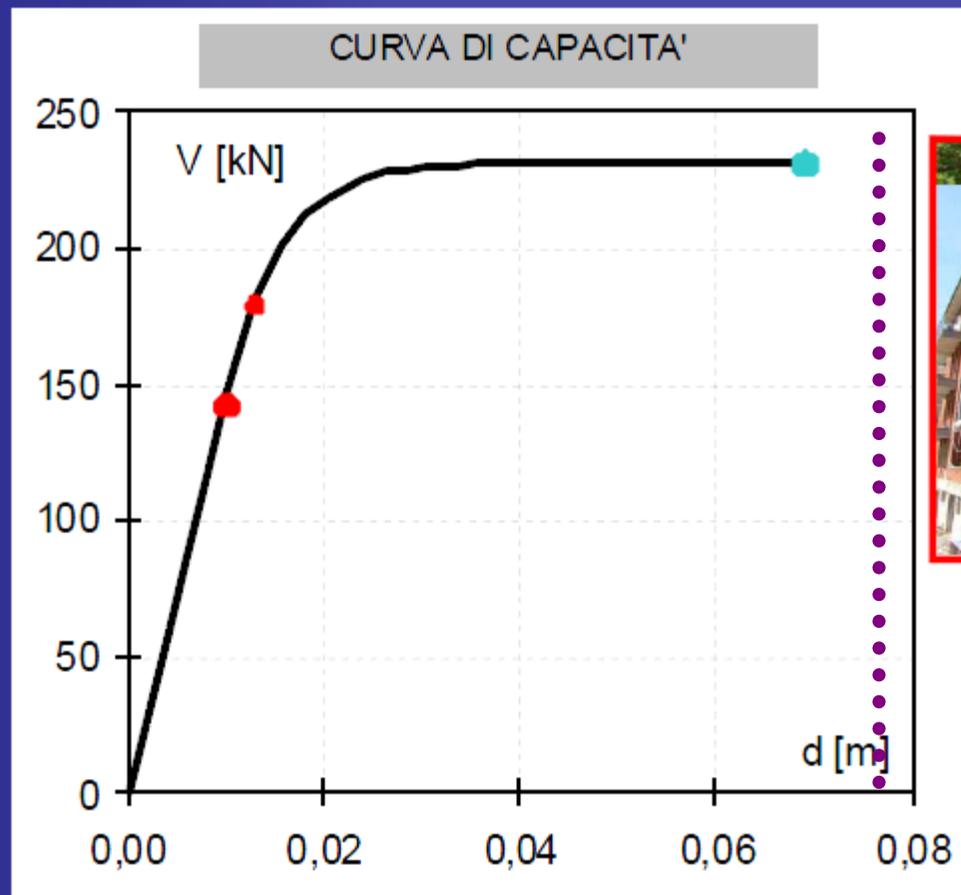
Analisi dei meccanismi



★ Prima crisi elemento a taglio (pilastro)



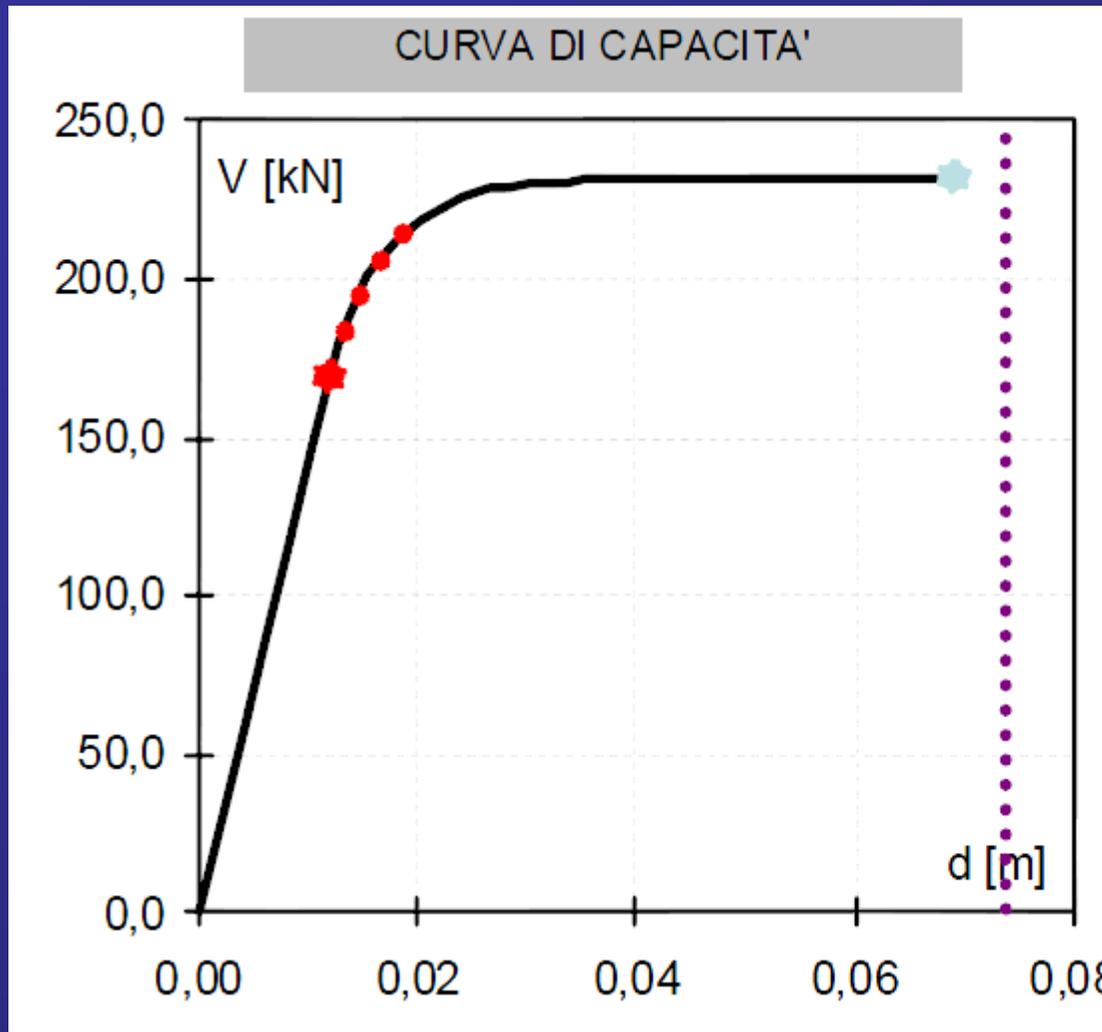
Analisi dei meccanismi



◆ Capacità deformativa insufficiente



Analisi dei meccanismi



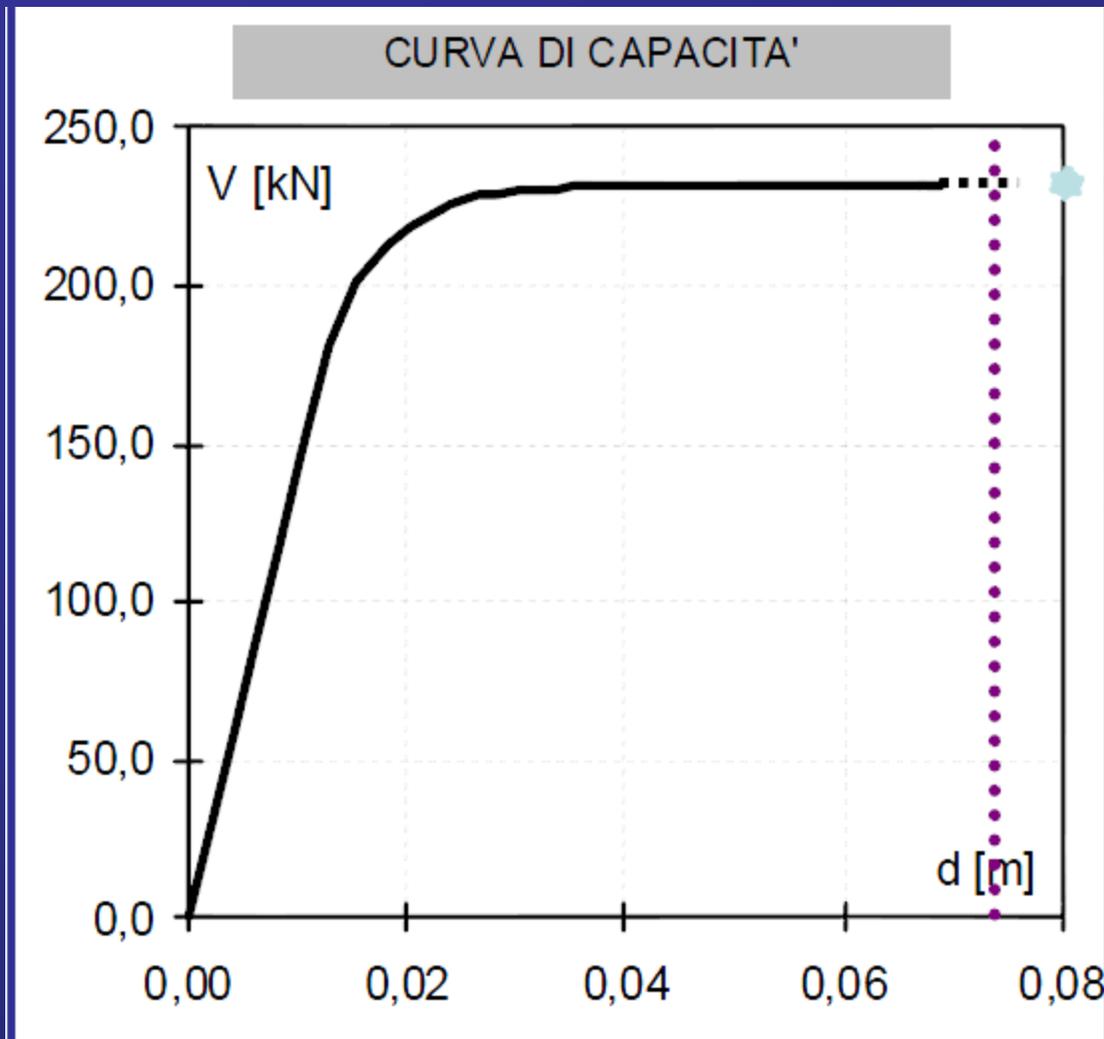
★ Prima crisi elemento a taglio
(nodo/pilastro/trave)

★ Capacità in termini di spostamento SLV
(formazione 1° cerniera
plastica $3/4q_u$)

..... Richiesta in termini di
spostamento SLV

**Verifiche non soddisfatte in
termini di resistenza o di duttilità.
E' necessario intervenire per
migliorare/adequare la struttura**

A cosa tendiamo?



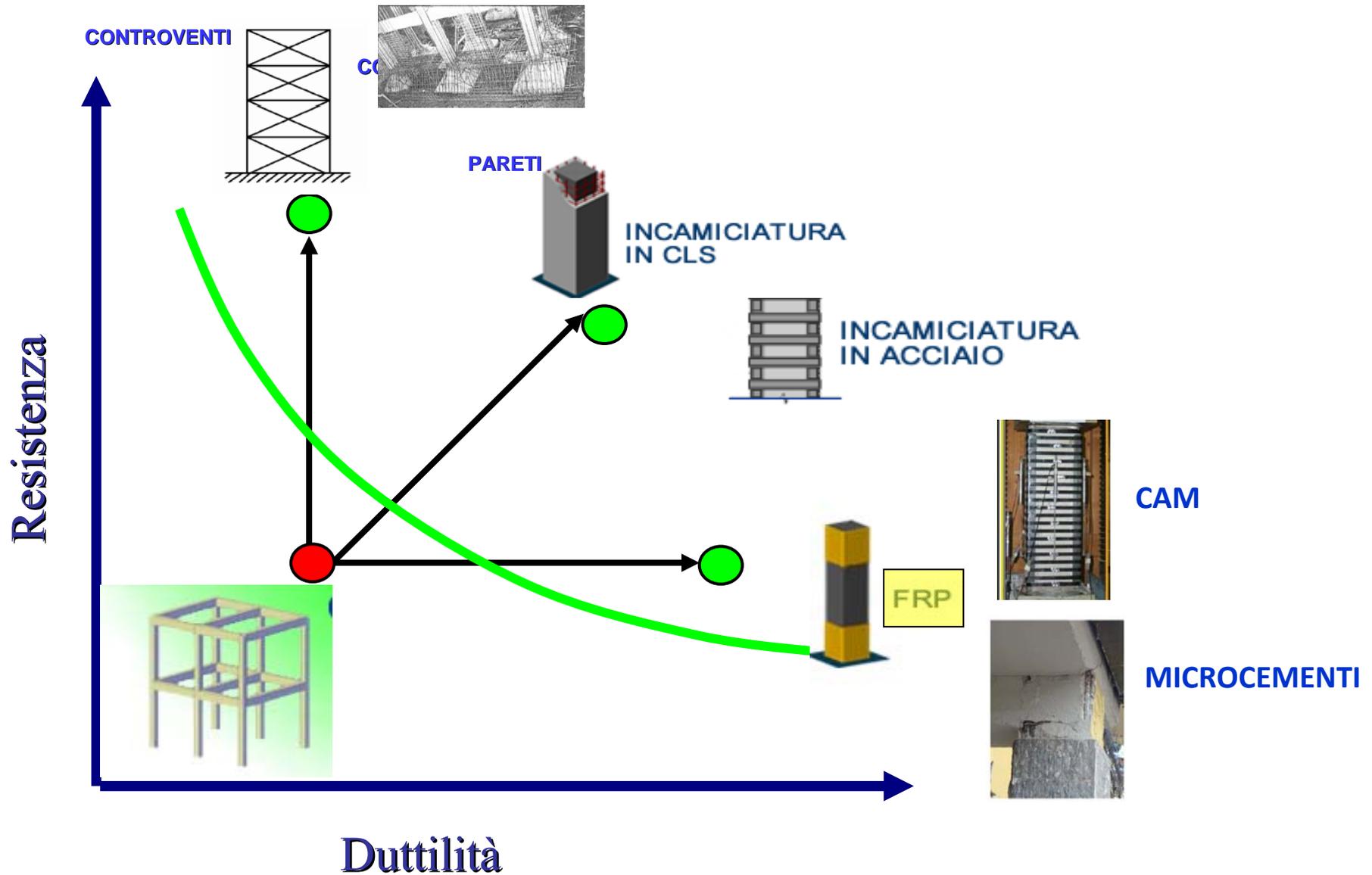
★ Prima crisi elemento a taglio
(nodo/pilastro/trave)

★ Capacità in termini di
spostamento SLV
(formazione 1° cerniera
plastica $3/4\theta_u$)

..... Richiesta in termini di
spostamento SLV

**Rinforzo a taglio
Incremento capacità
deformativa globale**

Adeguamento sismico



Progetto SPEAR

Seismic Performance Assessment and Rehabilitation of existing buildings

- Analisi comportamento sismico di strutture esistenti irregolari
- Valutazione delle tecniche esistenti di rinforzo strutturale
- Sviluppo di nuove metodologie di adeguamento sismico
- Analisi e miglioramento delle attuali prescrizioni sismiche

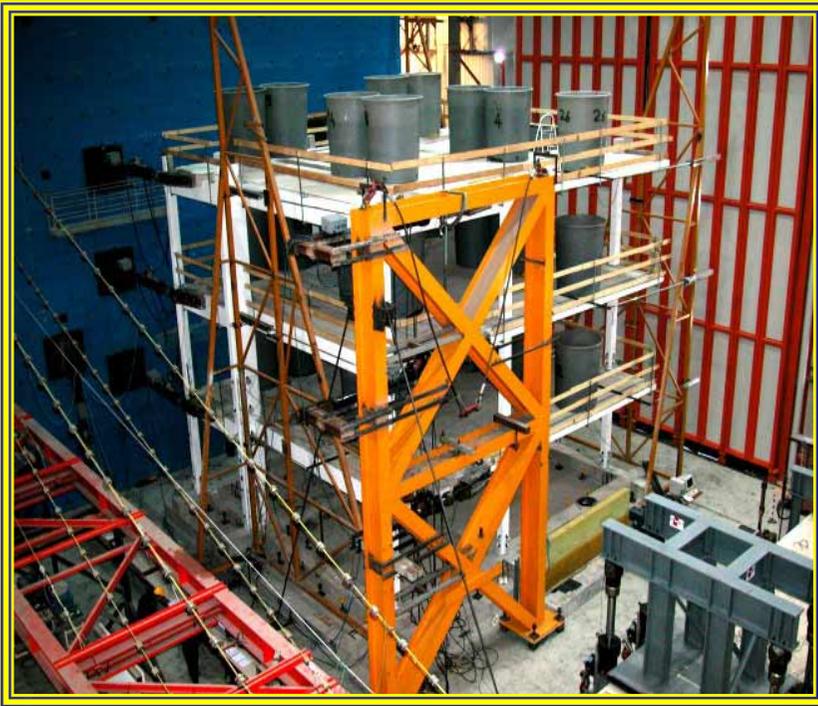


La Struttura SPEAR

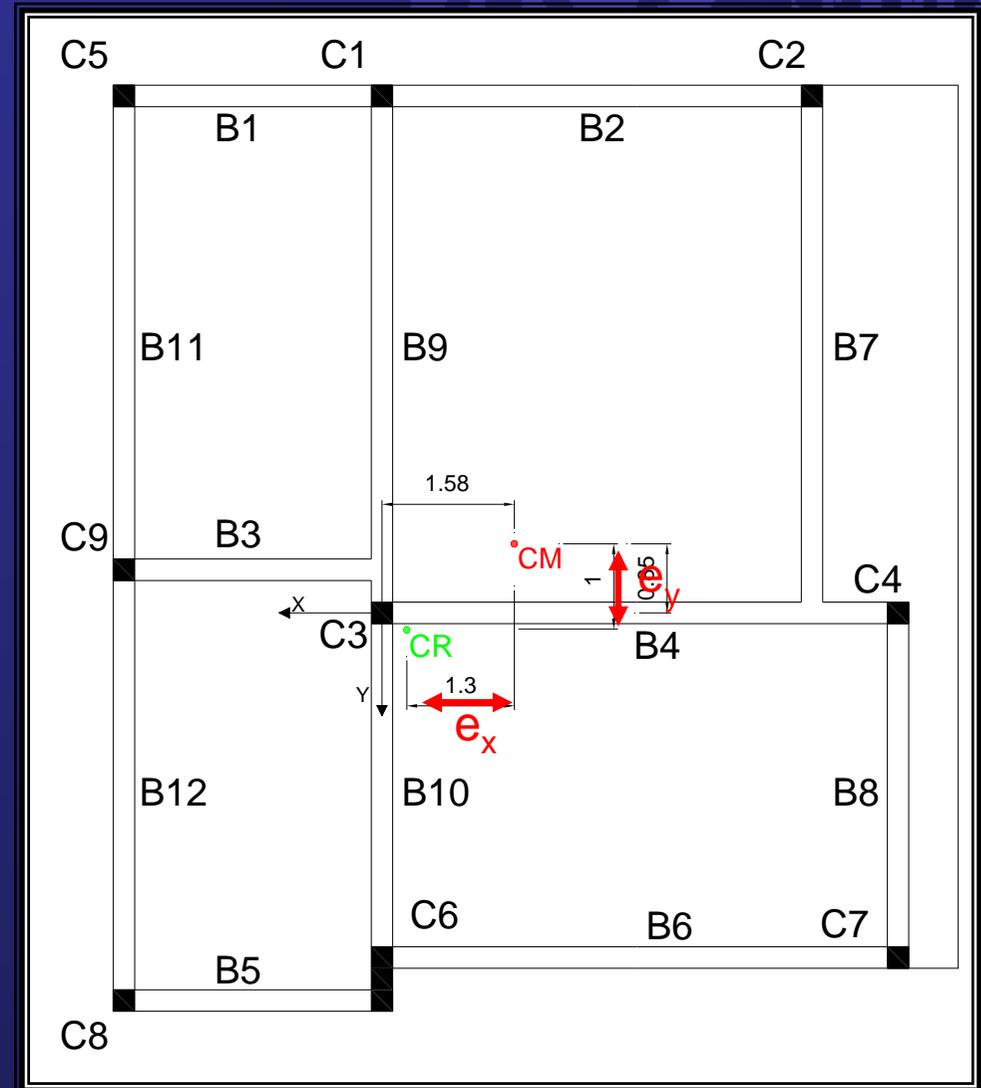


- E' una struttura di **tre piani** rappresentativa dell'attuale patrimonio edilizio dell' Europa meridionale
- Progettata per **soli carichi gravitazionali**
- Normativa greca in vigore dal **1954-1995**
- Regolare in elevazione ma **doppiamente non simmetrica in pianta**
- Telai a 2 campate con luci **da 3 a 6 m**

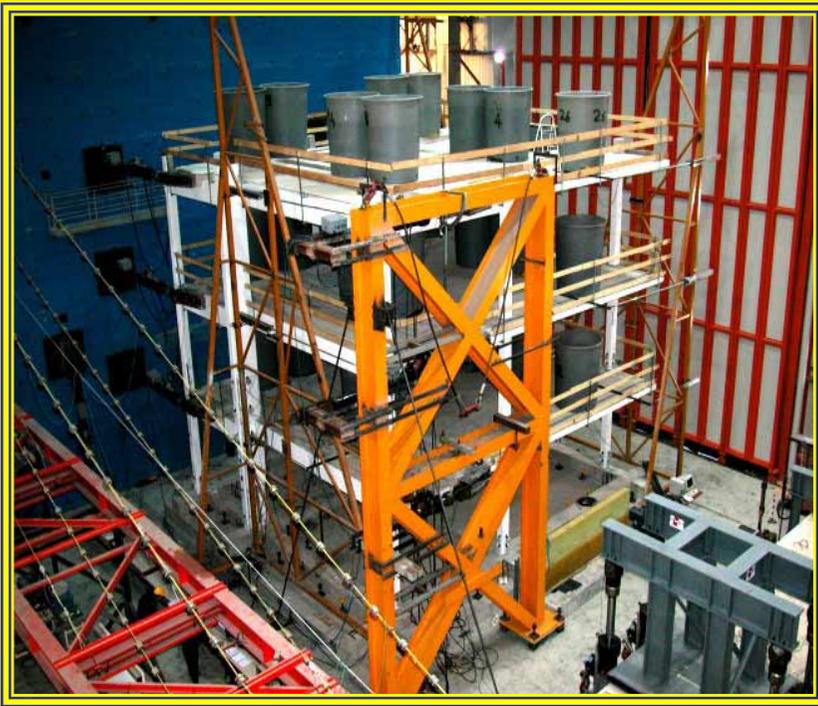
La Struttura SPEAR



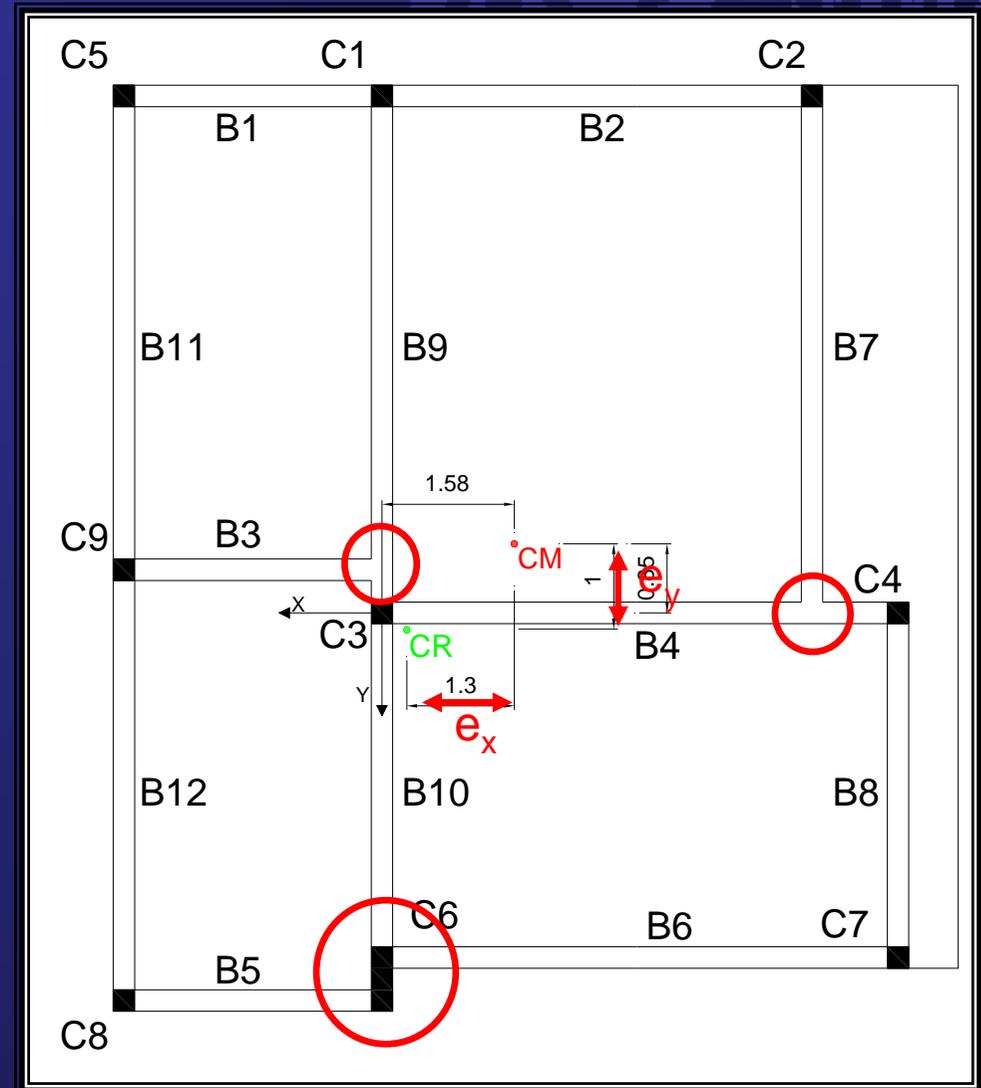
- ‘Pilastro debole-trave forte’
- Armata con barre lisce
- Irregolare in pianta Eccentricità



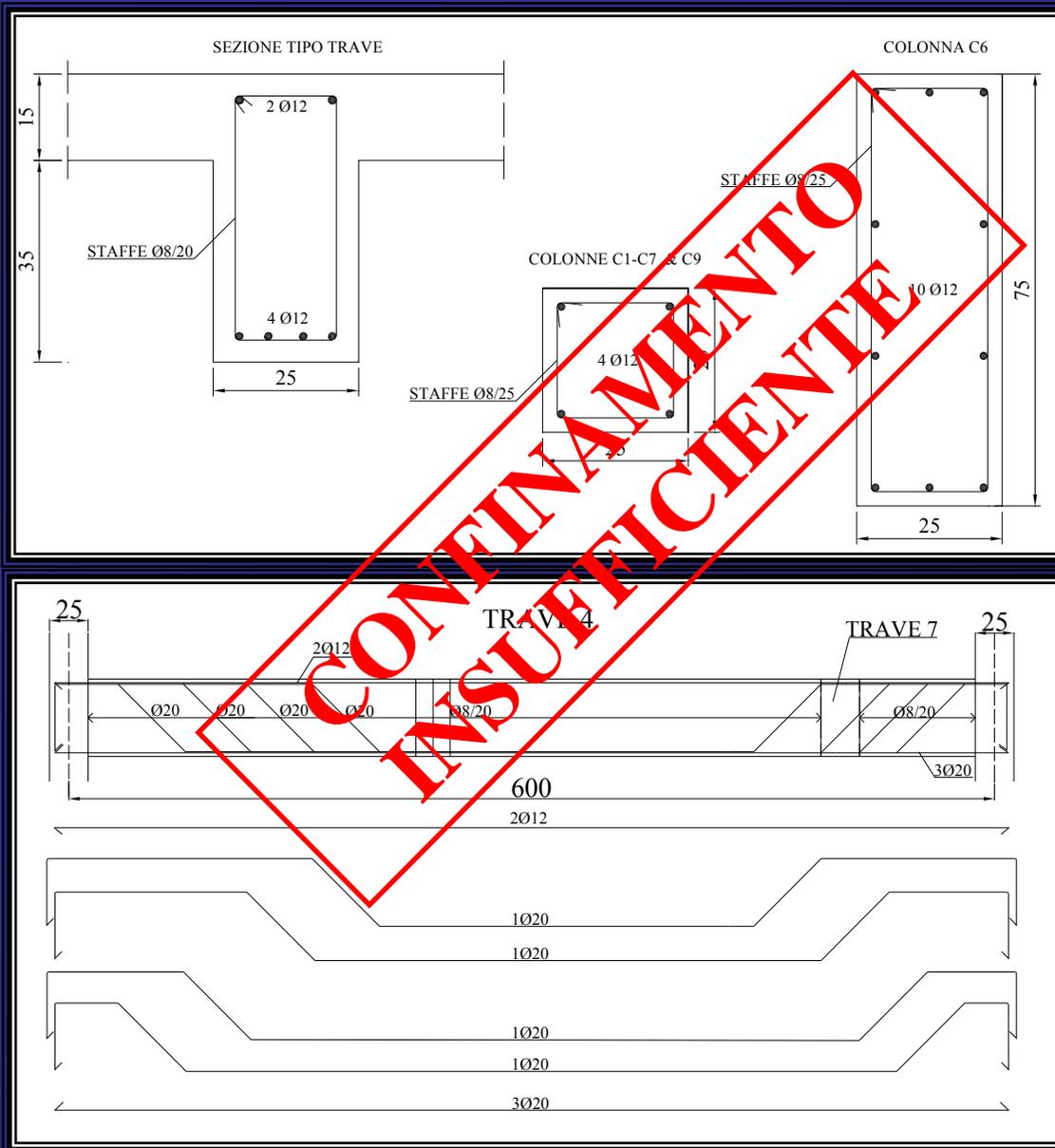
La Struttura SPEAR



- ‘Pilastro debole-trave forte’
- Armata con barre lisce
- Irregolare in pianta Eccentricità
- Pilastro rettangolare C6 ($H/B=3$)
- Attacchi trave-trave



La Struttura SPEAR



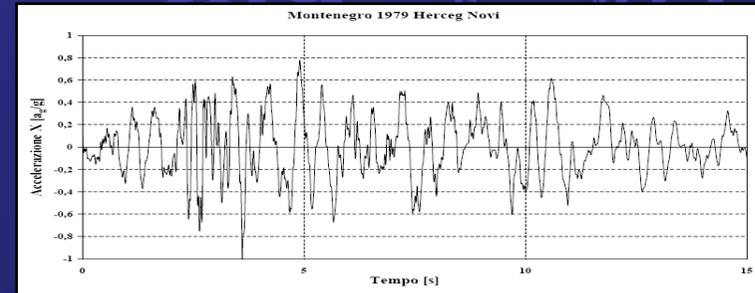
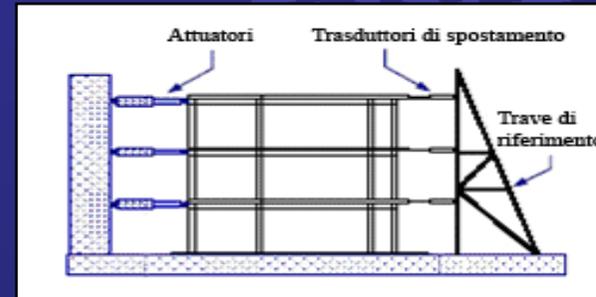
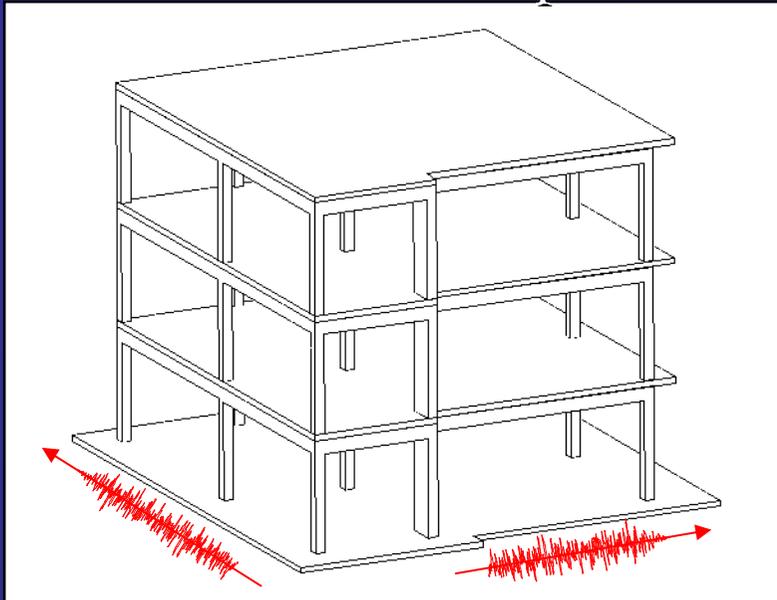
- Pilastrini 25x25 cm
- Travi 25x50 cm
- Pilastro rettangolare 75x25 cm

MANCANZA DI DETTAGLI COSTRUTTIVI

- Staffatura insufficiente negli elementi
- Stessa armatura a tutti i piani
- Mancanza di staffe nei Nodi

Campagna Sperimentale

Prove pseudodinamiche bidirezionali



TEST	Livello sismico (PGA)	Descrizione
S11	0.15 g	Struttura non rinforzata
S12	0.20 g	
S16	0.20 g	Struttura rinforzata con FRP
S17	0.30 g	
S21	0.20 g	Struttura rinforzata con incamiciatura in C.A.
S23	0.30 g	

Risultati Sperimentali Struttura 'As-built'

- Danni modesti durante test con $PGA = 0.15g$
- I maggiori danni sono stati riscontrati (durante il test con $PGA = 0.20g$) sui pilastri:
 - Struttura progettata per soli carichi verticali – nessuna attenzione alla gerarchia delle resistenze
 - Pilastri con dimensioni ridotte e armatura insufficiente a sopportare sforzo normale e flessione biassiale
- Meccanismo di trave forte pilastro fragile con formazione di cerniere plastiche nelle colonne
 - La mancanza di infittimento della staffatura nei nodi aumenta il rischio di fenomeni locali di collasso fragile: rottura del calcestruzzo, instabilità delle barre di acciaio longitudinali, sfilamento delle barre



Struttura 'As-built': 0.2g input

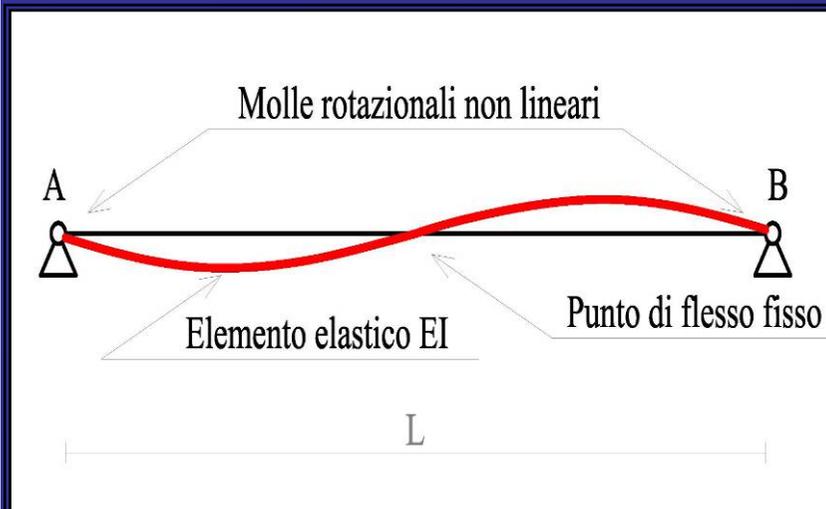


LIVELLI DI CONOSCENZA

informazione disponibile / metodi di analisi ammessi / fattori di confidenza

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>limitate</i> verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>limitate</i> prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali ¹ con <i>limitate</i> prove in-situ oppure <i>estese</i> prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in situ oppure <i>esaustive</i> prove in-situ	Tutti	1.00

Modellazione della struttura: Plasticità concentrata



Concentrazione del comportamento non lineare in corrispondenza degli estremi degli elementi

- Accoppiamento in serie di un elemento elastico ed uno plastico
- Ipotesi semplificativa di punto di flessione fisso in mezzeria ($L_v=0.5L$)
- Cerniere plastiche di tipo flessionale
- Legame M- θ elastico perfettamente plastico

CARATTERIZZAZIONE DELLE CERNIERE PLASTICHE

Rotazione di snervamento

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v}{3} + 0.0013 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + 0.13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Rotazione ultima

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 L_{pl}}{L_v} \right) \right)$$

Lunghezza Cerniera plastica

NTC 08

$$L_{pl} = 0.1 L_v + 0.17 h + 0.24 \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}}$$

MODELLO A PLASTICITA' CONCENTRATA

Misura capacità: Analisi Statica Non Lineare (Push-over)

1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro base 2° piano

Calcolo della curvatura

$$\phi = \frac{1}{r} = \frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{\varepsilon_s}{d-x} = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d}$$

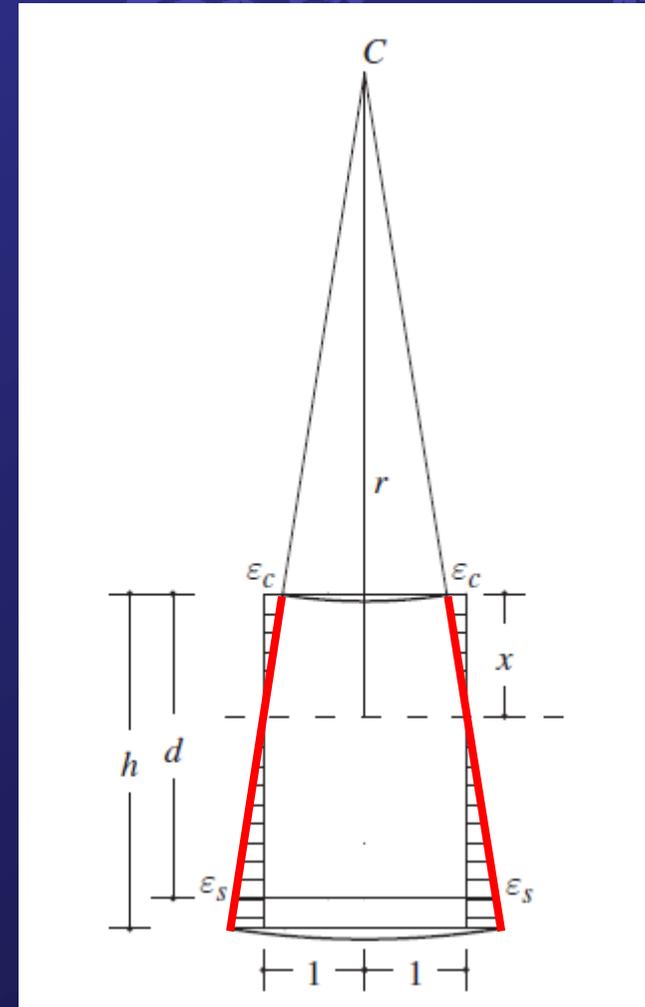
La curvatura della sezione viene a coincidere con l'inclinazione della retta delle deformazioni

Curvatura allo snervamento

$$\left(\frac{1}{r}\right)_y = \frac{\varepsilon_{sy}}{d-x_e}$$

Curvatura ultima

$$\left(\frac{1}{r}\right)_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{x_u}$$



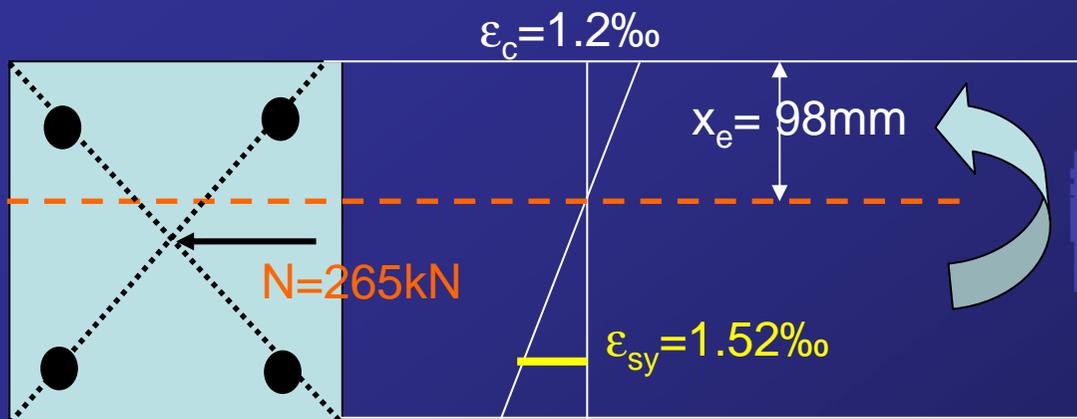
MODELLO A PLASTICITA' CONCENTRATA

Misura capacità: Analisi Statica Non Lineare (Push-over)

1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro C3 - 2° piano

Curvatura di snervamento

ϕ_y : ANALISI DI SEZIONE



$B = h = 250\text{mm}$

$c = 30\text{mm}$

$A_s = A'_s = 2\Phi 12 = 226\text{mm}^2$

$f_c = 25\text{MPa}$

$f_y = 320\text{MPa}$

$\epsilon_{cu} = 3.5\text{‰}$

$\epsilon_{sy} = 320/210000 = 1.52\text{‰}$

$$M_y^+ = M_y^- = 37.5\text{kNm}$$

$$\phi_y = \epsilon_c / x_e = \epsilon_{sy} / (d - x_e) = 1.25 \times 10^{-5} \text{mm}^{-1}$$

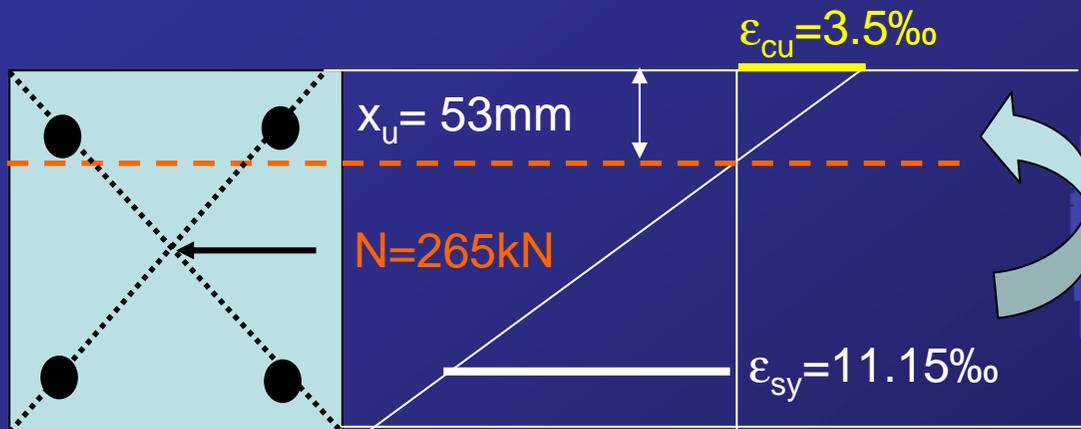
MODELLO A PLASTICITA' CONCENTRATA

Misura capacità: Analisi Statica Non Lineare (Push-over)

1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro C3 - 2° piano

Curvatura Ultima

ϕ_u : ANALISI DI SEZIONE



$B = h = 250\text{mm}$

$c = 30\text{mm}$

$A_s = A'_s = 2\Phi 12 = 226\text{mm}^2$

$f_c = 25\text{ MPa}$

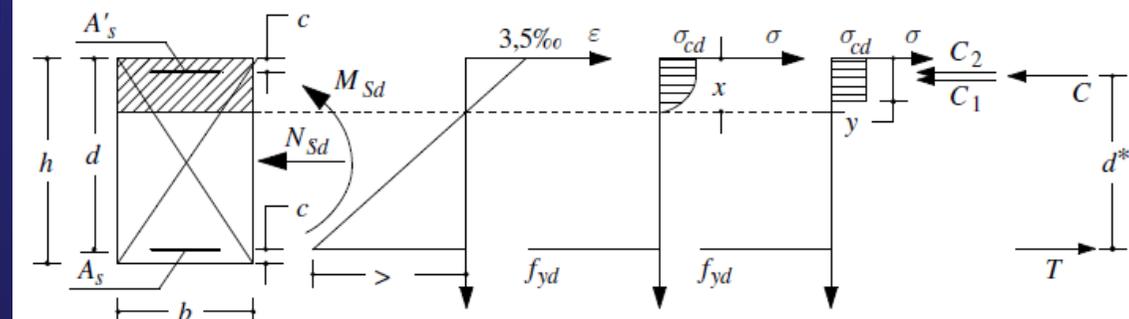
$f_y = 320\text{ MPa}$

$\epsilon_{cu} = 3.5\text{‰}$

$\epsilon_{sy} = 320 / 210000 = 1.52\text{‰}$

$M_u^+ = M_u^- = 41.1\text{ kNm}$ (+9% rispetto a M_y)

$\phi_u = \epsilon_{cu} / x_u = 6.66 \times 10^{-5}\text{ mm}^{-1}$



MODELLO A PLASTICITA' CONCENTRATA

Misura capacità: Analisi Statica Non Lineare (Push-over)

1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro base 2° piano

Rotazione di snervamento

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_v}{3} + 0.0013 \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_v} \right) + 0.13 \phi_y \frac{d_b f_y}{\sqrt{f_c}} = 0.0063 + 0.0016 + 0.0012 = 0.0091$$

FLEX.; SHEAR; SLIP

Lunghezza Cerniera plastica

$$L_{pl} = 0.1L_v + 0.17h + 0.24 \frac{d_{bl} f_y}{\sqrt{f_c}} = 150 + 42.5 + 184.3 = 376.8 \text{ mm}$$

FLEX.; SHEAR; SLIP

Rotazione ultima

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5L_{pl}}{L_v} \right) \right) = 0.0180$$

Circa 2 volte la rotazione di snervamento

$$\phi_y = 1.25 \times 10^{-5} \text{ mm}; L_v = 1500 \text{ mm}; h = 250 \text{ mm}; d_{bl} = 12 \text{ mm}; f_c = 25 \text{ MPa}; f_y = 320 \text{ MPa}$$

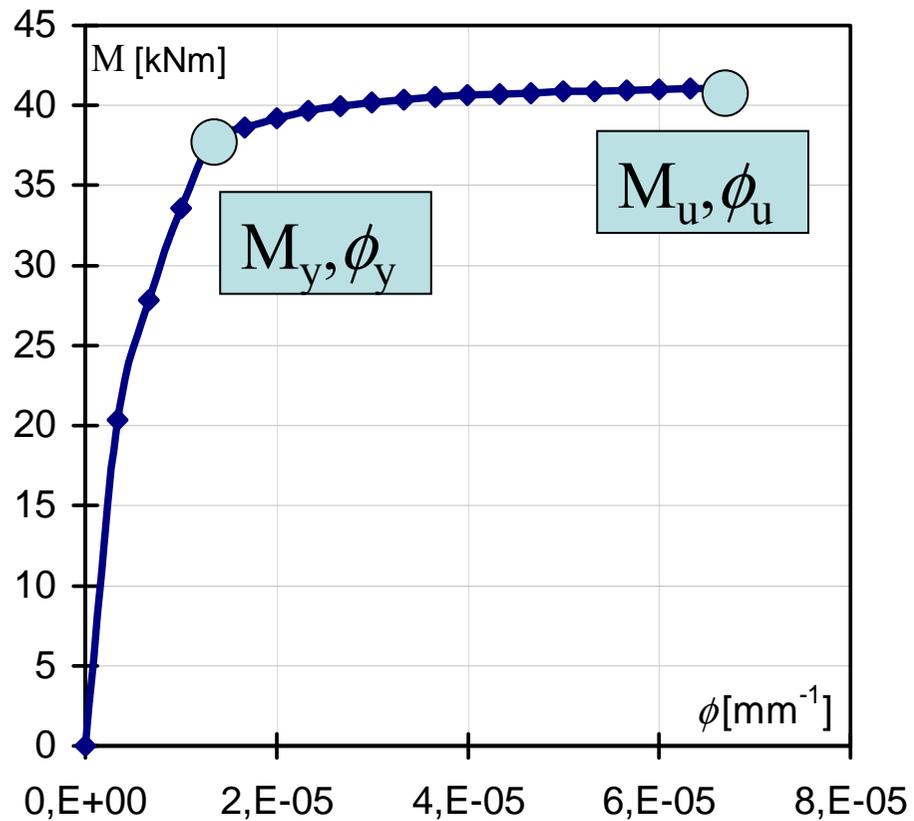
$$\gamma_{el} = 1.5; \phi_u = 6.66 \times 10^{-5};$$

MODELLO A PLASTICITA' CONCENTRATA

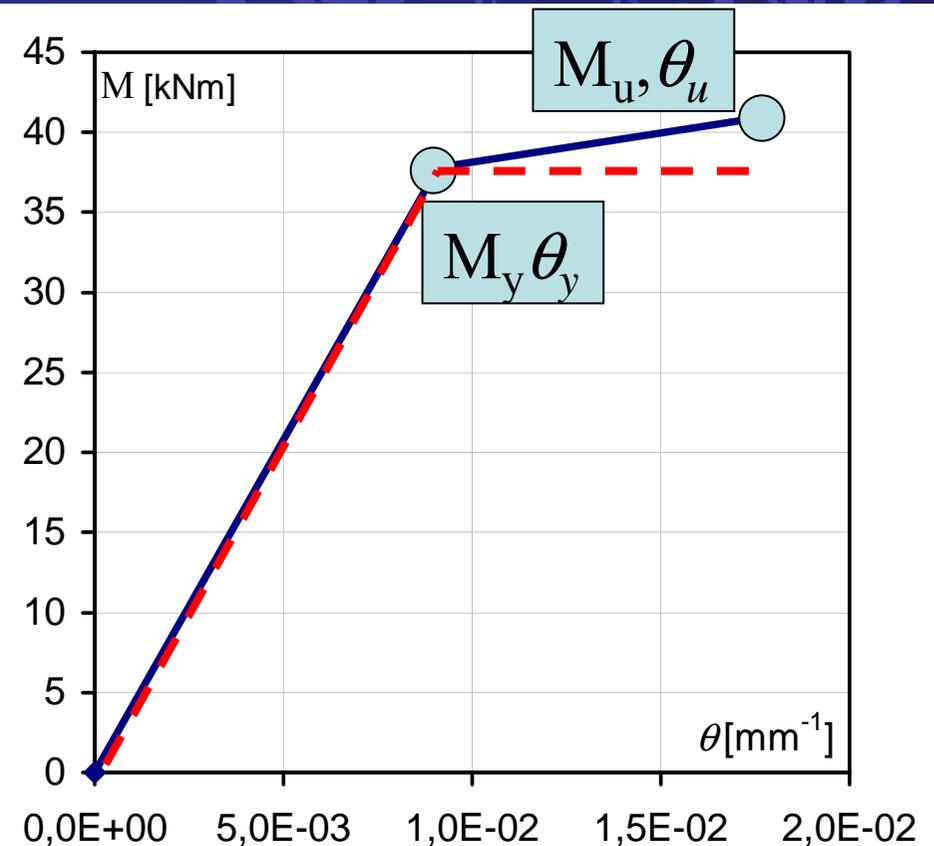
Misura capacità: Analisi Statica Non Lineare (Push-over)

1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro base 2° piano

Momento-Curvatura



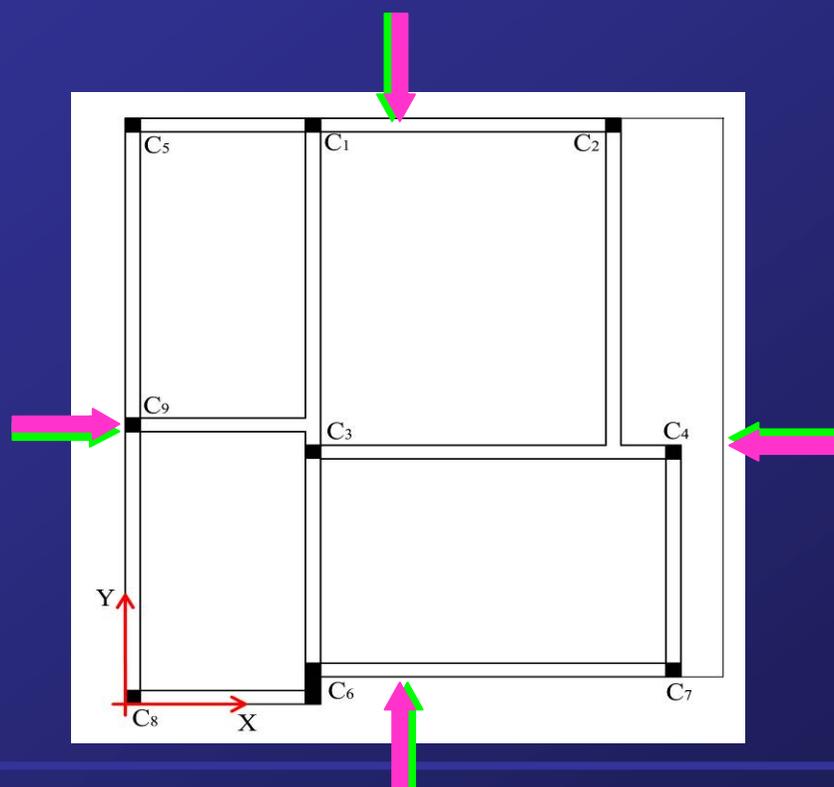
Momento-Rotazione



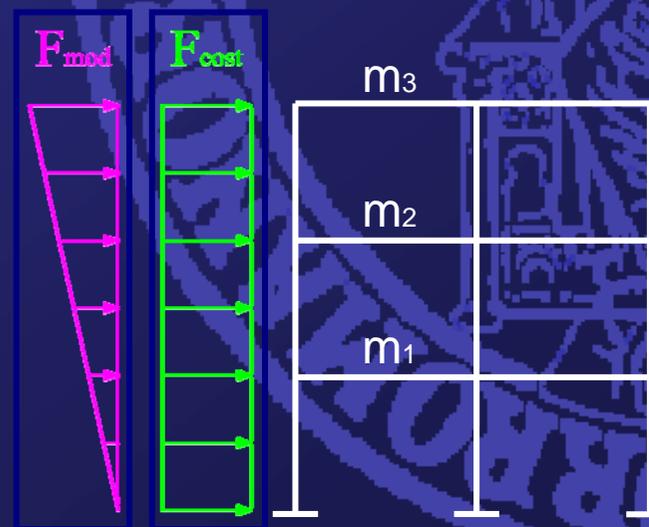
Modello adottato

Analisi Statica Non Lineare: Capacità

Impalcato	Massa [kN]	1° modo di vibrazione			2° modo di vibrazione		
		Spost. X [m]	Massa*Spost	F_{mod}^X [kN]	Spost. Y [m]	Massa*Spost	F_{mod}^Y [kN]
1°	65,86	0,0102	0,6693	0,362	-0,0081	-0,5328	0,297
2°	65,86	0,0222	1,4602	0,791	-0,0201	-1,3251	0,739
3°	63,28	0,0292	1,8471	1	-0,0284	-1,7940	1



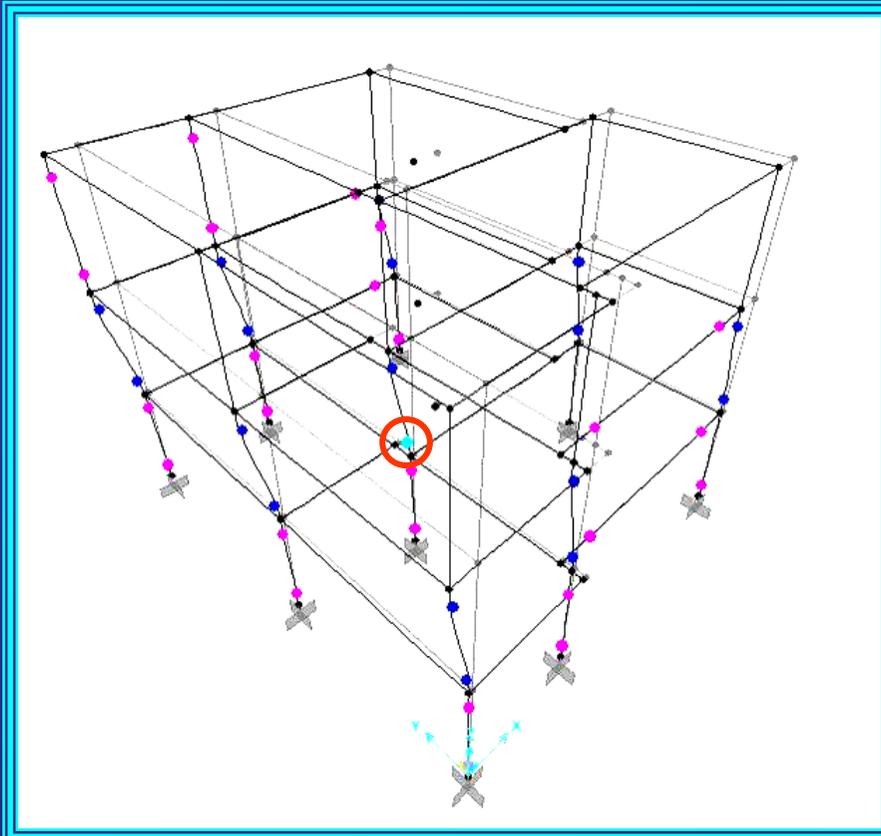
8 combinazioni



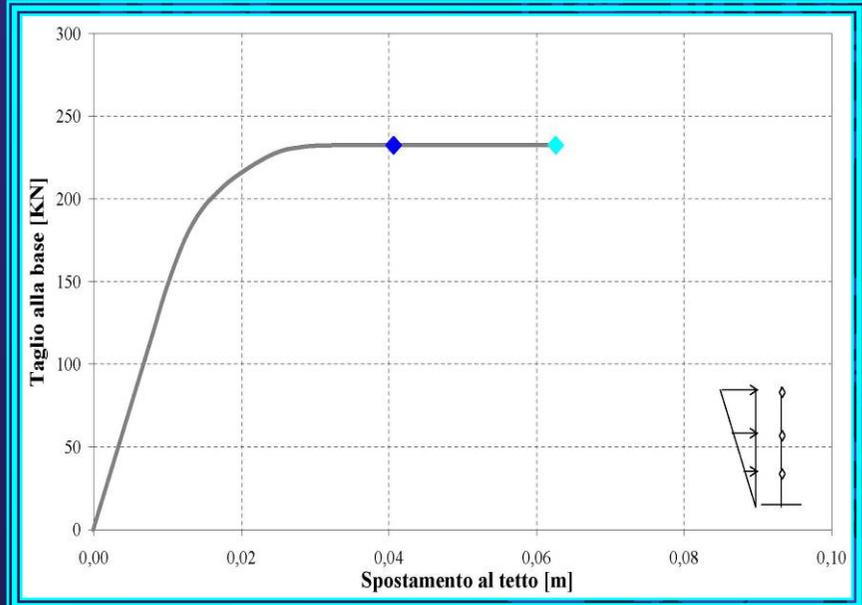
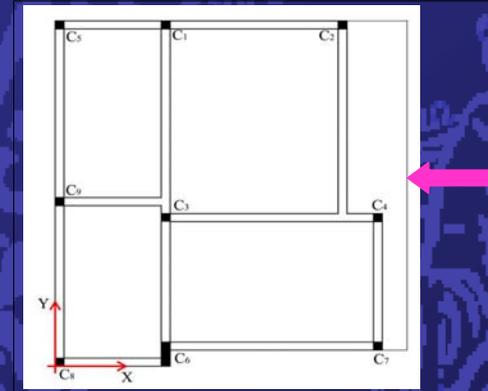
Analisi Statica Non Lineare: Capacità

2. SL di Salvaguardia della Vita (SLV): la struttura presenta danni importanti con significative riduzioni di resistenza e rigidezza laterali.

LS = $\frac{3}{4} \theta_u \rightarrow$ Danno Severo

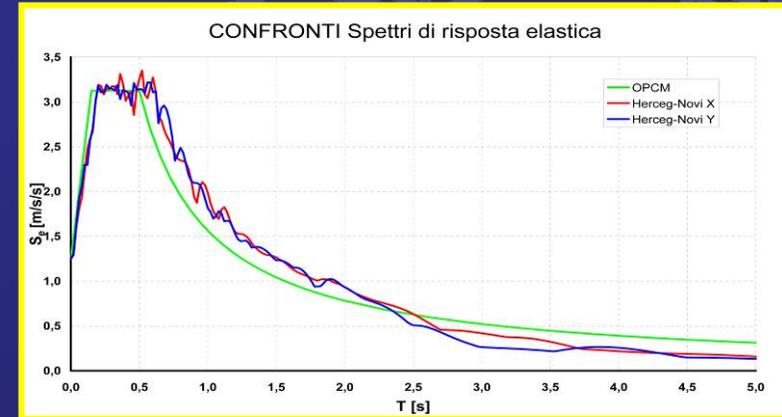
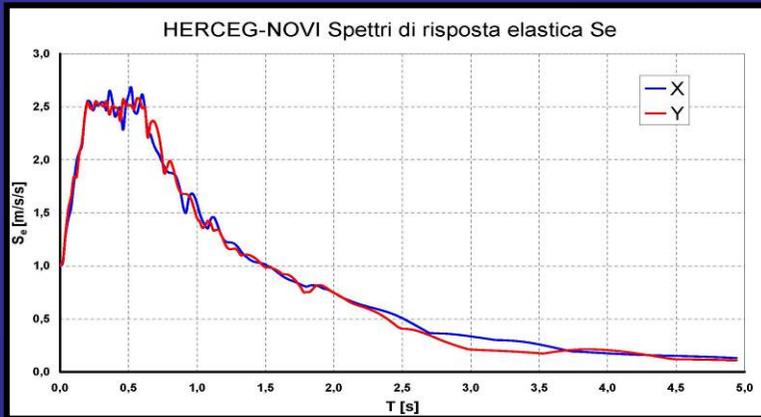


PUSH_NX

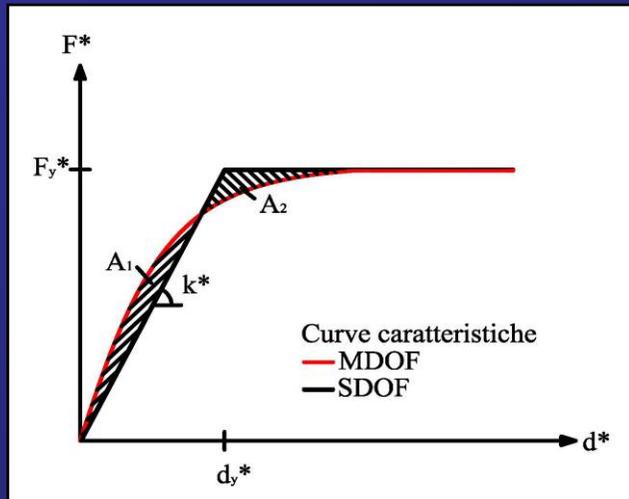


Analisi Statica Non Lineare: Domanda

- Dall'accelerogramma di progetto è stato ottenuto mediante integrazione numerica il corrispondente spettro di risposta elastica confrontandolo poi con lo spettro di risposta elastico definito nelle NTC 08 (opportunamente modificato per ciascun SL)



- Bilinearizzazione della curva di capacità della struttura



$$T^* \geq T_C \Rightarrow d_{\max}^* = d_{e,\max}^* = S_{De}(T^*)$$

$$T^* < T_C \Rightarrow d_{\max}^* = \frac{d_{e,\max}^*}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \geq d_{e,\max}^*$$

$$\text{con } q^* = S_e(T^*) m^* / F_y^*$$

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

$$d_{\max} = \Gamma d_{\max}^*$$

Analisi Statica Non Lineare: Domanda vs. Capacità

PGA = 0.2 g



MECCASISMO FRAGILE – CRISI NODI NON CONFINATI

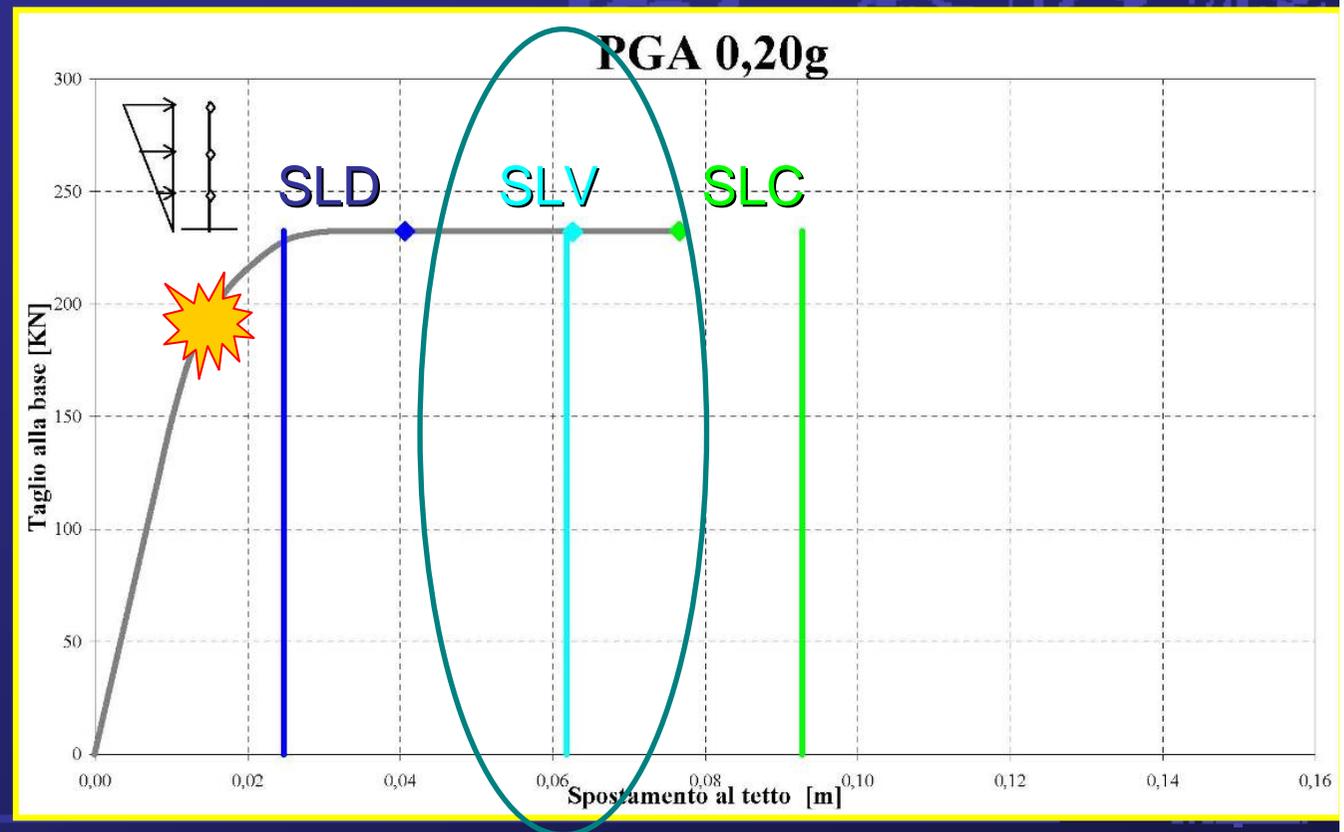


MECCANISMO FRAGILE - CRISI PILASTRO A TAGLIO



MECCANISMO DUTTILE – VERIFICA SODDISFATTA

PUSH_NX



Analisi Statica Non Lineare: Domanda vs. Capacità

PGA = 0.3 g



MECCASISMO FRAGILE – CRISI NODI NON CONFINATI

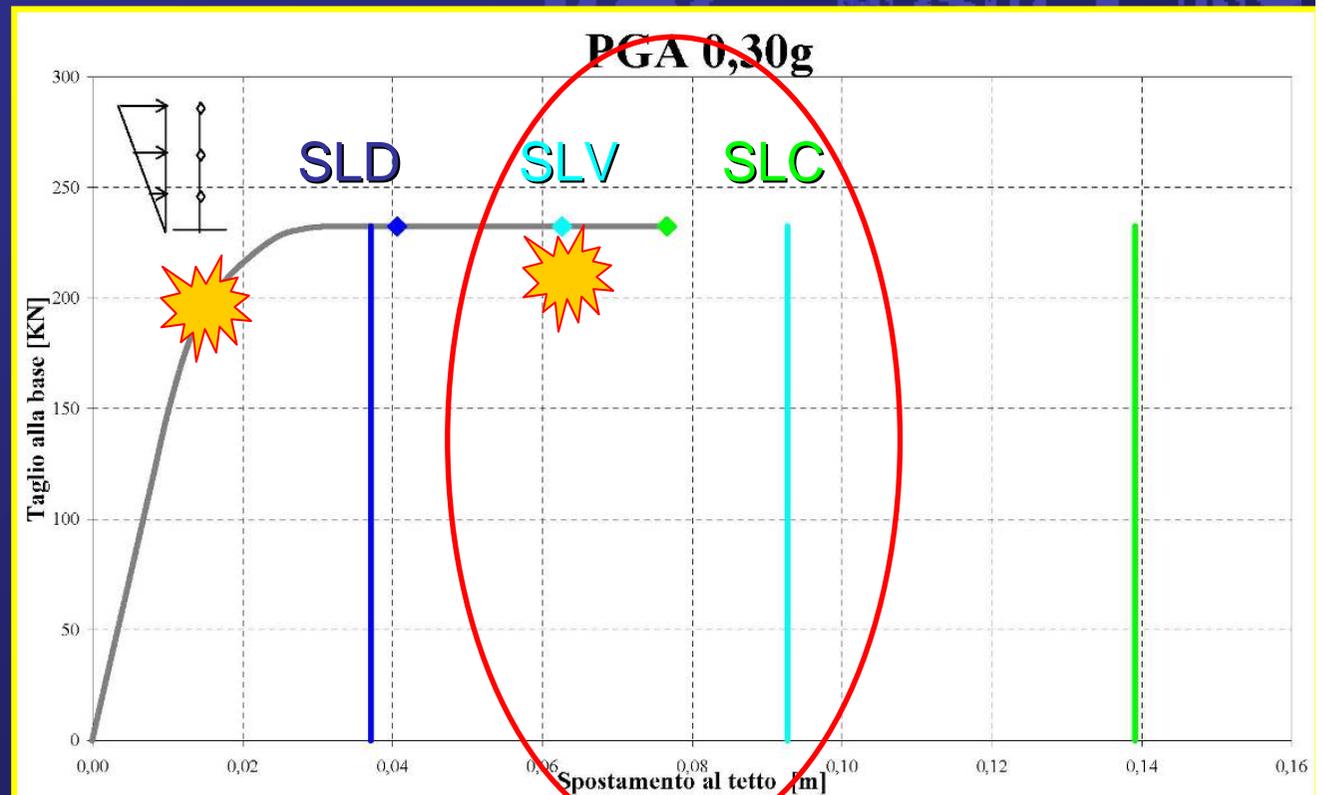


MECCANISMO FRAGILE - CRISI PILASTRO A TAGLIO

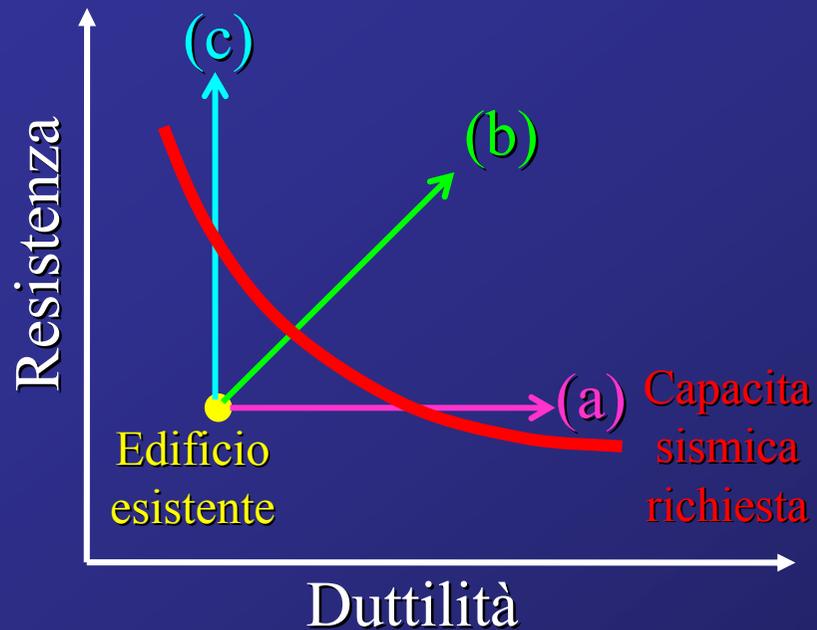


MECCANISMO DUTTILE – VERIFICA SODDISFATTA

PUSH_NX



Strategie di Intervento



PGA = 0.2 g

PGA = 0.3 g

a) Rinforzo con FRP

Progettazione Intervento di Rinforzo : FRP

OBIETTIVI :

- Incrementare la duttilità globale della struttura migliorando la sua capacità di dissipare energia (aumento richiesto 48%)

Tale risultato può essere conseguito in 2 modi (CNR-DT 200/2004):

- 1) Incrementando la duttilità delle potenziale cerniere plastiche senza variarne la posizione (confinamento pilastri).
- 2) Rilocalizzare le potenziali cerniere plastiche nel rispetto del criterio della gerarchia delle resistenze.

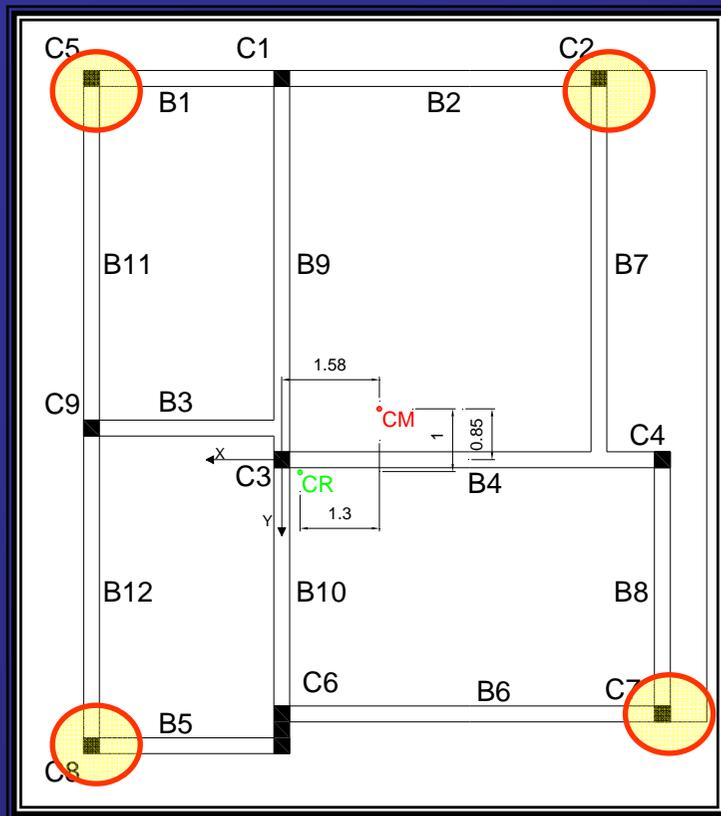
- Prevenire meccanismi di rottura locale al fine di consentire alla struttura di attingere spostamenti maggiori

- Capacità di resistenza a taglio colonna rettangolare C6
- Capacità di resistenza a taglio nodi d'angolo

Rinforzo in FRP: Meccanismi fragili - nodi

SCOPO: miglioramento della capacità deformativa globale della struttura.

- 1) Prevenire meccanismi di rottura locale al fine di consentire alla struttura di attingere spostamenti maggiori.

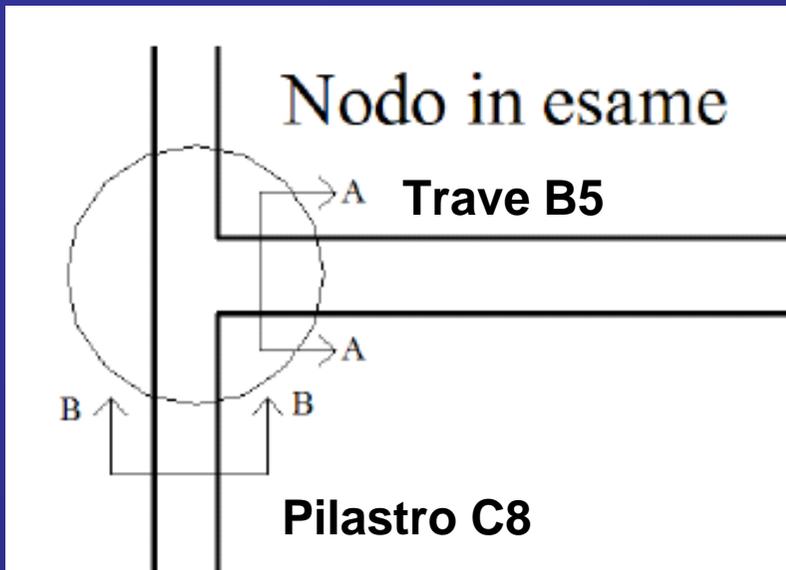


Rinforzo nodi di vertice C2 C5 C7 C8:

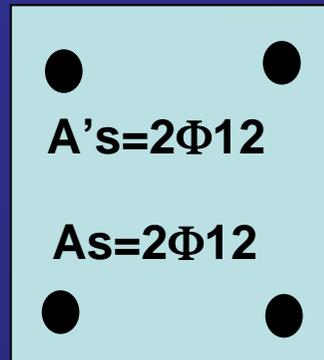
2 strati di tessuto Quadriassiale + U-wrap unidirezionale (rinforzo a taglio trave)

Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio nodi

Esempio Nodo C8

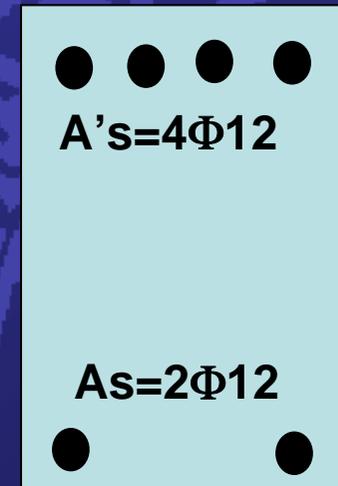


Sezione A-A



$B=H=250\text{mm}$

Sezione B-B



$H=500\text{mm}$

$B=250\text{mm}$

Valutazione dell'incremento della resistenza a taglio del pannello di nodo

L'incremento di resistenza a taglio del pannello di nodo è conseguito mediante disposizione di tessuto quadriassiale in carbonio. Si fa riferimento alle verifiche di resistenza dei nodi trave-pilastro (paragrafo 7.4.4.3.1 del D.M. 14/01/08), in cui la resistenza del nodo a seguito della fessurazione diagonale, può essere garantita integralmente da staffe orizzontali. L'effetto di tali staffe, assenti nel nodo in esame, viene fornito da un equivalente rinforzo esterno, qui ipotizzato essere un tessuto quadriassiale in fibra di carbonio. L'espressione di riferimento è pertanto la seguente:

Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio nodi

Esempio Nodo C8 (1°P)

NTC 08

7.4.4.3.1 Verifiche di resistenza

In alternativa, l'integrità del nodo a seguito della fessurazione diagonale può essere garantita integralmente dalle staffe orizzontali se

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \text{ per nodi interni} \quad (7.4.11)$$

$$A_{sh} \cdot f_{ywd} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8v_d) \text{ per nodi esterni} \quad (7.4.12)$$

dove A_{s1} ed A_{s2} hanno il significato visto in precedenza, γ_{Rd} vale 1,20, v_d è la forza assiale normalizzata agente al di sopra del nodo, per i nodi interni, al di sotto del nodo, per i nodi esterni.

Sostituendo al contributo delle staffe quello del tessuto quadriassiale al primo membro della (7.4.12) si ottiene:

In direzione orizzontale si ha la azione delle fibre disposte orizzontalmente più le componenti orizzontali delle fibre disposte nelle due direzioni $\pm 45^\circ$. La capacità in direzione orizzontale del tessuto quadriassiale (applicato per un'altezza pari a quella della trave, h_{trave}) è dunque

$$\{A_{sh} \cdot f_{ywd}\} = t_f \cdot h_{trave} \cdot f_{fd} + 2 \cdot (t_f \cdot h_{trave} \cdot f_{fd} \cdot \cos 45^\circ) =$$

t_f = spessore tessuto

f_{fd} = resistenza di progetto del tessuto

Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio nodi

Esempio Nodo C8 (1°P)

$t_f = 0.1096$ mm/strato tessuto Quadriassiale in GFRP

$$f_{fd} = \varepsilon_{fd} E_f$$

E_f = Modulo di Young, 73 GPa

ε_{fd} = deformazione di progetto del composito

determinabile come (CNR DT-200 punto 4.7.3.2.4
ovvero Linee Guida C.S.LL.PP punto 3.7.3.2.4)

$$\varepsilon_{fd} = \min\left(\eta_a \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}; 0.004\right)$$

I valori η_a e γ_f sono suggeriti, nell'ordine, nella Tabella 3-4 e nella Tabella 3-2 delle CNR DT-200, ovvero nella Tabella 2-3 e nella Tabella 2-1 delle Linee Guida C.S.LL.PP. (le fibre sono ancorate grazie alle fasciature successive poste su travi e pilastri e quindi si può far riferimento ad una crisi per rottura e non per delaminazione, da cui $\gamma_f = 1.10$). Nel caso in esame si assume di operare con un tessuto di c vetro con deformazione caratteristica di rottura a trazione $\varepsilon_{fk} = 2\%$ e modulo elastico $E_f = 73$ GPa. La esposizione è esterna (Vetro/Epossidica) e si considera una applicazione di Tipo A. Risulta dunque:

$$\varepsilon_{fd} = \min\left(\eta_a \frac{\varepsilon_{fk}}{\gamma_f}; 0.004\right) = \min\left(0.75 \frac{0.02}{1.10}; 0.004\right) = \min(0.013; 0.004) = 0.004 = 0.4\%$$

Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio nodi

Esempio Nodo C8 (1°P)

Quindi come ben noto per i compositi, elastici lineari fino a rottura, si ha una resistenza di progetto

$$f_{fd} = \varepsilon_{fd} \cdot E_f = 0.004 \cdot 73000 = 292 \text{ MPa}$$

Si assuma inoltre di adoperare due strati di tessuto quadriassiale con spessore secco in ogni direzione pari a 0.110 mm e quindi lo spessore del tessuto di calcolo è $t_f = 0.220 \text{ mm}$

In direzione orizzontale si ha la azione delle fibre disposte orizzontalmente più le componenti orizzontali delle fibre disposte nelle due direzioni $\pm 45^\circ$. La capacità in direzione orizzontale del tessuto quadriassiale (applicato per un'altezza pari a quella della trave, h_{trave}) è dunque

$$\begin{aligned} \{A_{sb} \cdot f_{ywd}\} &= t_f \cdot h_{trave} \cdot f_{fd} + 2 \cdot (t_f \cdot h_{trave} \cdot f_{fd} \cdot \cos 45^\circ) = \\ &= 0.220 \cdot 500 \cdot 292 + 2 \cdot (0.220 \cdot 500 \cdot 292 \cdot \cos 45^\circ) \cong 79.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Al secondo termine della disuguaglianza (eq. 7.4.12) risulta $A_{s2} = 226 \text{ mm}^2$, area dell'armatura inferiore della trave composta da 2Φ 12 ottiene dunque

$$A_{sb} \cdot f_{ywd} \cong 79.7 \text{ kN} \geq \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0.8 \cdot v_d) = 1.2 \cdot 226 \cdot 267 \cdot (1 - 0.8 \cdot 0.11) \cong 79.1 \text{ kN}$$

Con $f_{yd} = f_{ym}/FC = 320/1 = 320 \text{ MPa}$

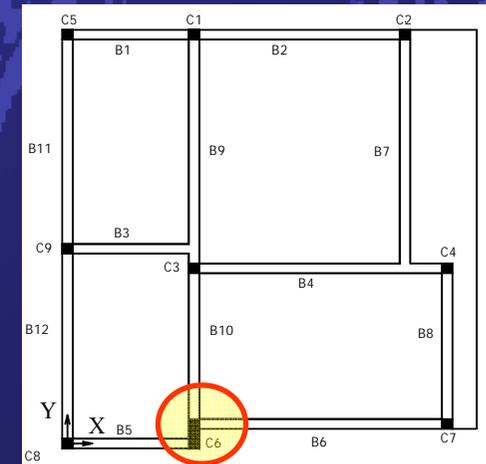
Rinforzo in FRP: Meccanismi fragili - pilastri

SCOPO: miglioramento della capacità deformativa globale della struttura.

- 1) Prevenire meccanismi di rottura locale al fine di consentire alla struttura di attingere spostamenti maggiori.

La resistenza di progetto a taglio di un elemento rinforzato si valuta come:

$$V_{Rd} = \min \left\{ V_{Rd,s} + V_{Rd,f}, V_{Rd,c} \right\}$$



$$V_{Rcd} = b \cdot d^* \cdot \alpha_c \cdot v \cdot \sigma_{cd} \frac{1}{\cot \theta + \tan \theta}$$

(taglio-compressione)

$$V_{Rsd} = A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \frac{d^*}{s} \cdot \cot \theta$$

(taglio-trazione)

$$\theta = 45^\circ$$

$V_{Rd,f}$ = Contributo del rinforzo in FRP

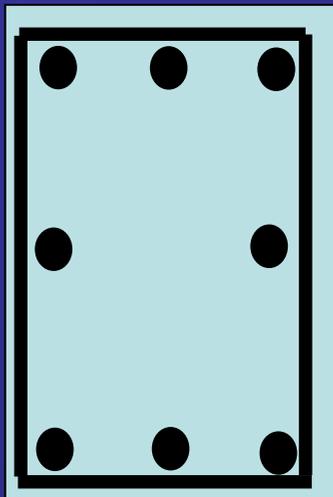
Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio pilastro rettangolare

$$\cot \theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}}} = 4.9$$

In corrispondenza della quale si registra la contemporanea crisi delle bielle di cls e dell'armatura a taglio

$$\theta = 45^\circ = \cot \theta = 1$$

PILASTRO C6



H=500mm

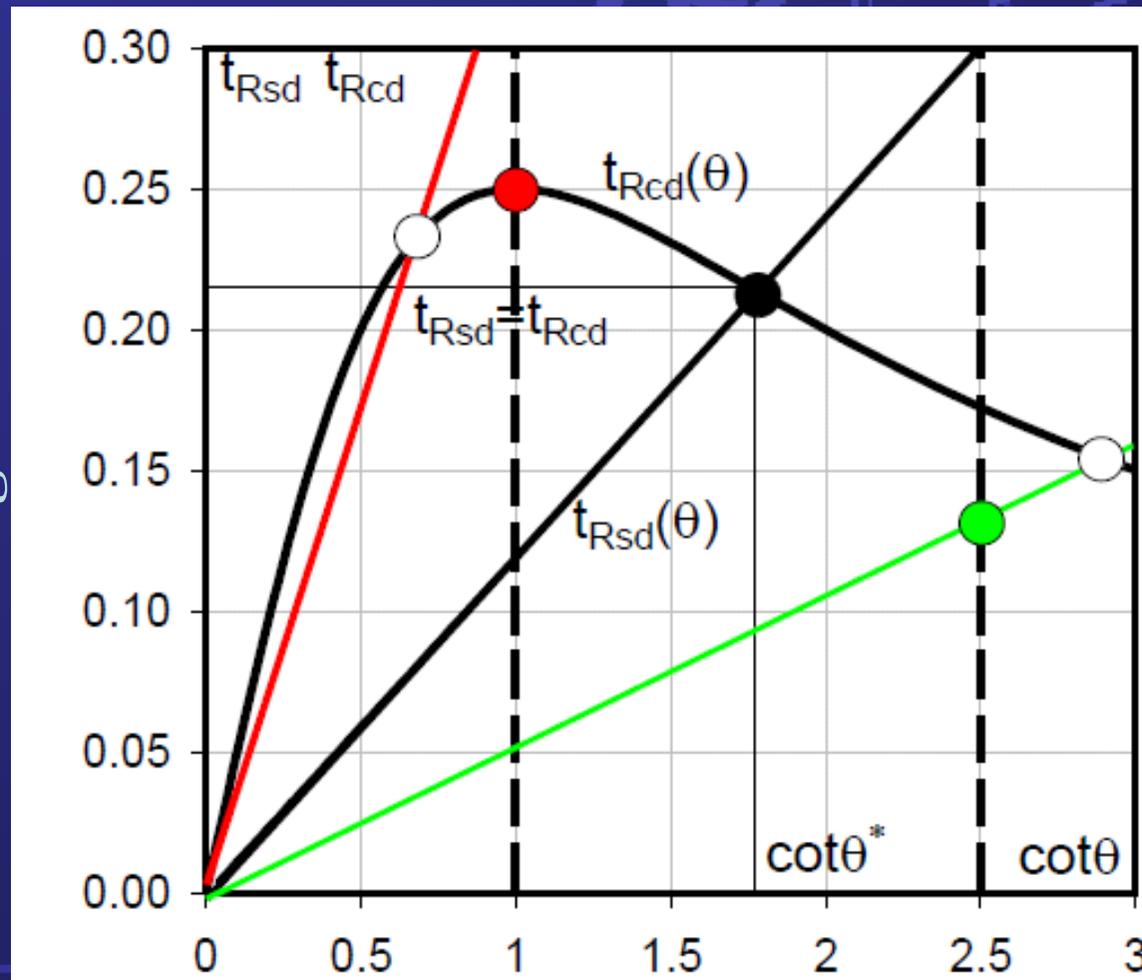
B=250mm

Staffe
Φ8/250mm

$V_{Rd,s} = 86 \text{ kN}$

$V_{Rd,c} = 1054 \text{ kN}$

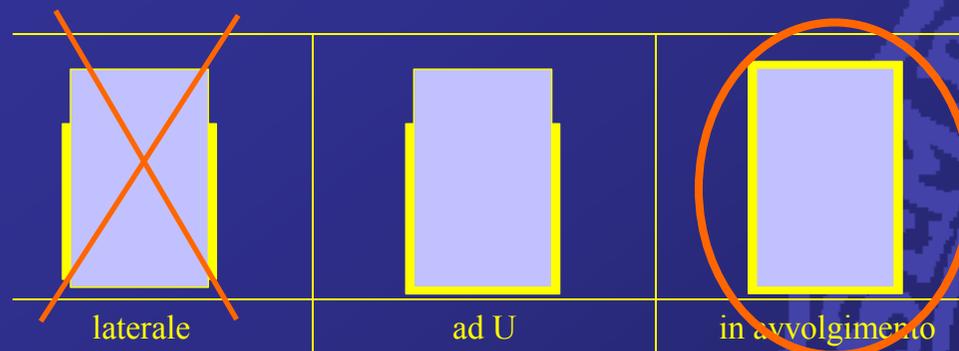
Crisi biella compressa cls
Armatura a taglio "forte"



Crisi lato Armatura trasversale
Armatura a taglio "debole"

Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio pilastro rettangolare

Disposizione di rinforzo prescelta (1 strato quadriassiale):



$$V_{Rdf} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{fed} \cdot 2 \cdot t_f \cdot (\cot \theta + \cot \beta) \cdot \frac{W_f}{P_f},$$

$$f_{fed} = f_{fd} \cdot \left[1 - \frac{1}{6} \cdot \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right] + \frac{1}{2} (\phi_R \cdot f_{fd} - f_{fd}) \cdot \left[1 - \frac{l_e \cdot \sin \beta}{\min \{0.9 \cdot d, h_w\}} \right],$$

$$\phi_R = 0.2 + 1.6 \cdot \frac{r_c}{b_w}, \quad 0 \leq \frac{r_c}{b_w} \leq 0.5,$$

$$V_{Rd,f} = 156 \text{ kN} \rightarrow V_{Rd} = 86 + 156 = 242 \text{ kN}$$

Rinforzo in FRP: Rinforzo nodi non confinati

GEOMETRIA	
Base pilastro	150 mm
Larghezza pilastro	250 mm
Copriferro Pilastro	30 ■■■
Base Trave	450 mm
Altezza Trave	500 mm
Copriferro Trave	30 ■■■
Area Trave	225000 mm ²
Altezza Solaio	200 mm
Acciaio f _{yk}	320 MPa
Cls f _{yk}	25,00 MPa
Modulo E cls	28960 MPa
Raggio di curvatura	20 mm
Fattore di confidenza	1,00
Esposizione	Esterna

N pilastro	200 kN
------------	--------

Tutte le celle di colore giallo contengono dati di input da inserire manualmente

Valutazione dell'incremento di duttilità del calcestruzzo

E _c	230000 MPa
ε _{yk}	0,014
t _c	0,264 mm
Fibre	Vetro
Applicazione	Applic A
E _{ccs}	0,0043
ε _{ccs}	4,28 ‰

Dimensionamento del rinforzo per assorbire l'azione esercitata dalla temperatura

E _c	1E+05 MPa
Angolo fibr	30,0 °
Def. Ultima	■■■■■
Area min. necessari	236 mmq

Valutazione dell'incremento della resistenza a taglio del pannello di

E _c	235000 MPa
ε _{yk}	0,004
t _c	0,016 mm
A _{sf,inf}	206 mmq

Valutazione dell'incremento della resistenza a taglio dei pilastri

E _c	230000 MPa
ε _{yk}	0,014
t _c	0,264 mm
Fibre	Vetro
Applicazione	Applic A
VRD,f	155,67 kN

Valutazione dell'incremento della resistenza a taglio delle travi

E _c	2E+05 MPa
ε _{yk}	0,014
t _c	0,166 mm
Fibre	Carbonio
Applicazione	Applic A
VRD,f	kN

Trave a Spessore

NODO D'ANGOLO

B_{trave} ■■■
 H_{solaio} 50 cm
 H_{trave} 50 cm
 H_{pilastro} 400 cm

f_{ctk} della muratura in sezione di tensioni normali (Tabella 11.10.VII del D.M. 14/01/08)
 f_{td} della muratura (Tabelle 11.10.V e 11.10.VI del D.M. 14/01/08);
 si può assumere 1000 f_{td}

Incr. Res. Taglio 18,15 kN < 76,40 kN (Solllecitazione)

Ai fini dell'inserimento dei dati di input, utilizzare il separatore decimale impostato sul pc (vedi Pannello di controllo - Opzioni internazionali)
Questo programma viene distribuito gratuitamente. Gli autori, pur assicurando di aver fatto quanto possibile per il suo corretto funzionamento, non assumono alcuna responsabilità sul suo uso.

Software sviluppato da:
 M. Dolce; G. Manfredi
 I.Iovinella; G. Lignola; C. Moroni; A. Prota

Per informazioni o chiarimenti sul presente software è possibile contattare l'ing. Ivano Iovinella
 ivano.iovinella@unina.it

Esempio e software di calcolo su rafforzamento locale nodi con compositi disponibile su www.reluis.it (Emergenza Abruzzo-kit per il progetto)

Rinforzo in FRP: Confinamento

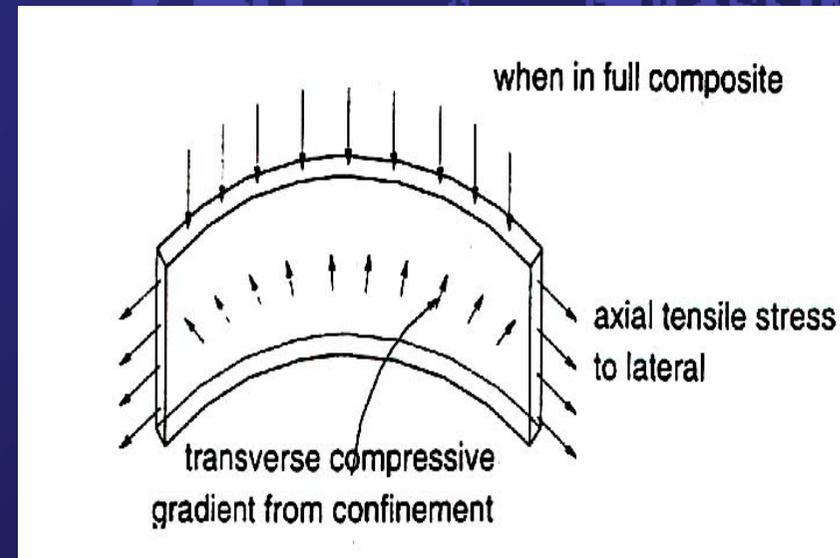
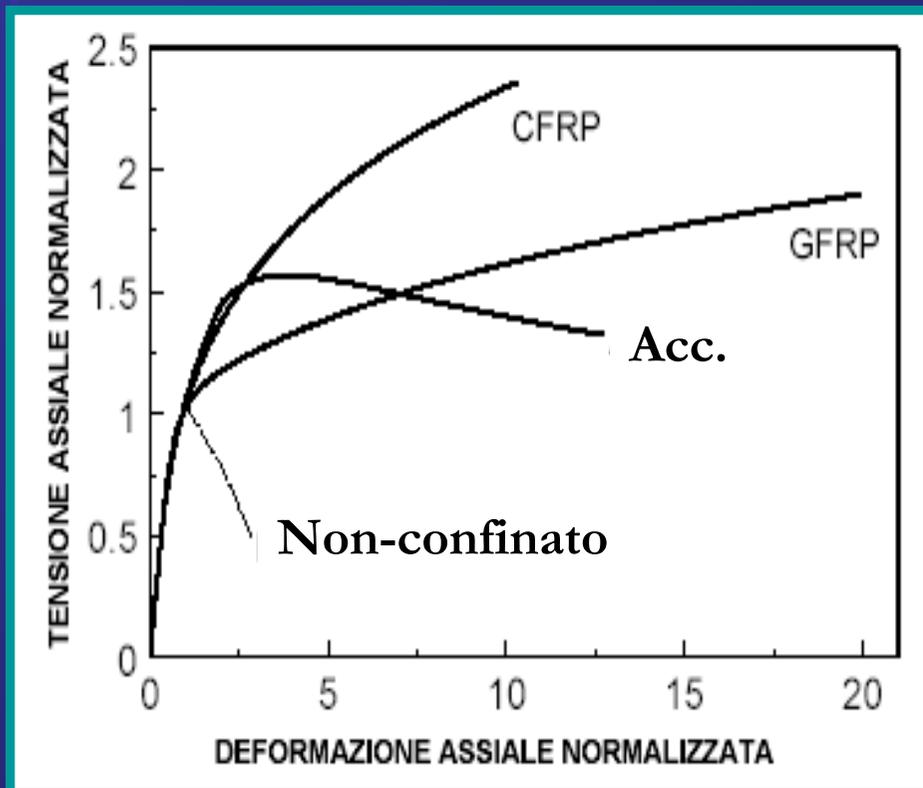
SCOPO: miglioramento della capacità deformativa globale della struttura.

- 1) Incrementando la duttilità delle potenziale cerniere plastiche senza variarne la posizione.

Fasciatura dei pilastri con FRP

CONFINAMENTO

Effetto del confinamento



Rinforzo in FRP: Confinamento

- Confinamento in FRP su elementi pressoinflessi

Consente di incrementare la duttilità ed in misura ridotta la resistenza

In mancanza di determinazioni più accurate, la valutazione della curvatura ultima di una sezione presso-inflessa può essere perseguita adottando un classico legame parabola-rettangolo, il cui tratto costante si estenda fino ad un valore della deformazione ultima, ϵ_{ccu} , fornito dalla seguente relazione:

$$\epsilon_{ccu} = 0.0035 + 0.015 \sqrt{\frac{f_{l,eff.}}{f_{cd}}}$$

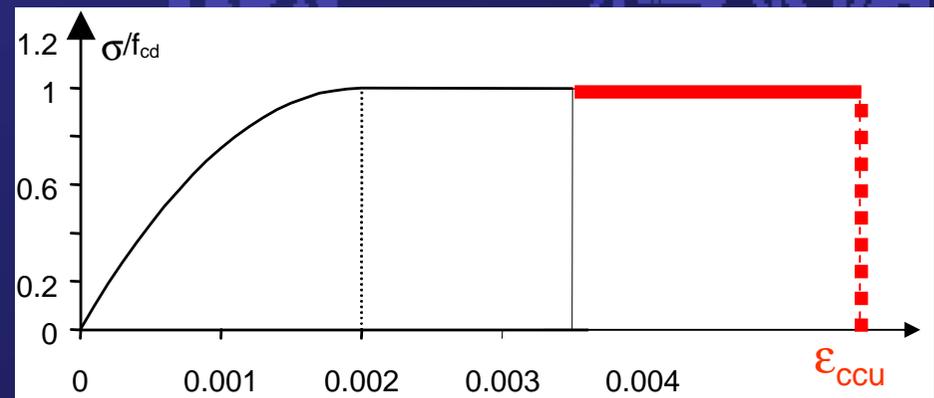
$f_{l,eff.}$: pressione efficace di confinamento

$$f_{l,eff} = k_{eff} \cdot f_l$$

k_{eff} : coefficiente di efficienza (≤ 1)

f_l : pressione di confinamento

Legame σ - ϵ di progetto



Rinforzo in FRP: Confinamento

SCOPO: miglioramento della capacità deformativa globale della struttura.

- 1) Incrementando la duttilità delle potenziale cerniere plastiche senza variarne la posizione.

Fasciatura dei pilastri con FRP

CONFINAMENTO

incremento della deformazione ultima del cls ϵ_{cu}

incremento della curvatura ultima della sezione ϕ_u

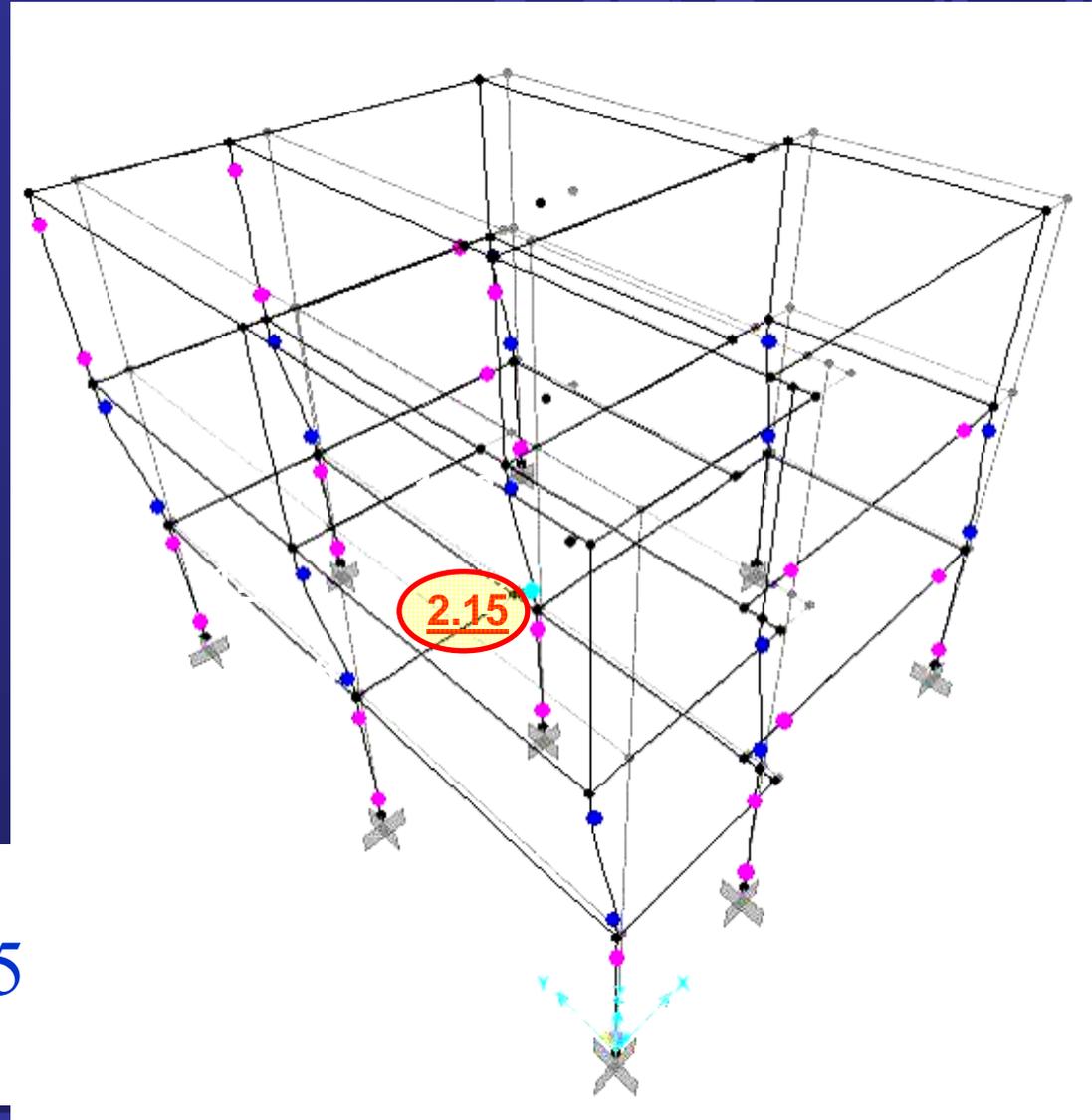
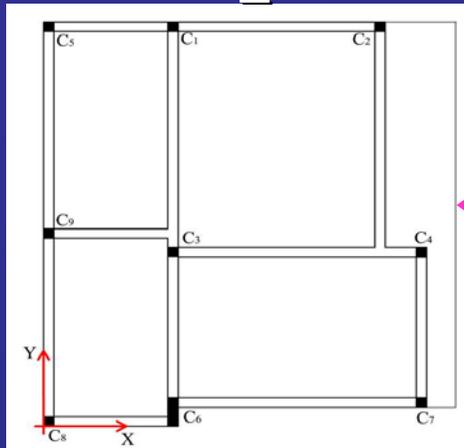
incremento della rotazione ultima della cerniere plastiche



Rinforzo in FRP: Confinamento

Domanda/Capacità di rotazione plastica (SLV)

PUSH_NX



$$\max \left[\frac{\theta_{u,domanda\ SLV}}{\theta_{u,capacità\ SLV}} \right] = 2.15$$

Rinforzo in FRP: Confinamento

$$\max \left[\frac{\theta_{u,domanda\ DS}}{\theta_{u,capacità\ DS}} \right] = 2.15 \quad (pil. C3)$$

Max rapporto domanda capacità esistente

$$\theta_{u,domanda\ DS} = 2.15 \theta_{u,capacità\ DS}$$

Min capacità richiesta

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\phi_u - \phi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0.5 L_{pl}}{L_v} \right) \right)$$

Espressione della rotazione ultima

$$2.15 \cdot 0.0180 = \frac{1}{1.5} \left(0.0091 + (\phi_u - 1.25 \cdot 10^{-5}) 376.8 \left(1 - \frac{0.5 \cdot 376.8}{1500} \right) \right)$$

$$\Phi_{u,necessaria} = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-1}$$

Valutazione della curvatura ultima

Rinforzo in FRP: Confinamento

$$\varepsilon_{cu,necessaria} = 0.0085$$

■ Incrementi di deformazione ultima mediante:

- Fibre di vetro (GFRP) uniassiali grammatura 900 g/m²
- Fibre di carbonio (CFRP) uniassiali grammatura 300 g/m²

Section type	Spessore FRP	%Geometrica rinforzo	Deformazione ultima
	t_f (mm)	ρ_f	ε_{ccu} (‰)
Non rinforzata	-	-	3.5
1 strato GFRP	0.480	0.00768	7.30
2 strati GFRP	0.960	0.01536	8.87
3 strati GFRP	1.440	0.02304	10.08
1 strato CFRP	0.166	0.00266	7.12
2 strati CFRP	0.332	0.00531	8.62
3 strati CFRP	0.498	0.00797	9.77

Rinforzo in FRP: Confinamento

▪ Scelta del tipo di fibre da utilizzare

- Entrambe le tipologie analizzate risultano efficaci da un punto di vista strutturale
- Applicazione di tipo interno: no problemi di durabilità

FATTORE ECONOMICO DISCRIMINANTE NELLA SCELTA

Le fibre di vetro consentono un risparmio in termini economici di circa il 30%



Rinforzo mediante 2
Strati di fibre di Vetro

Rinforzo in FRP: Confinamento

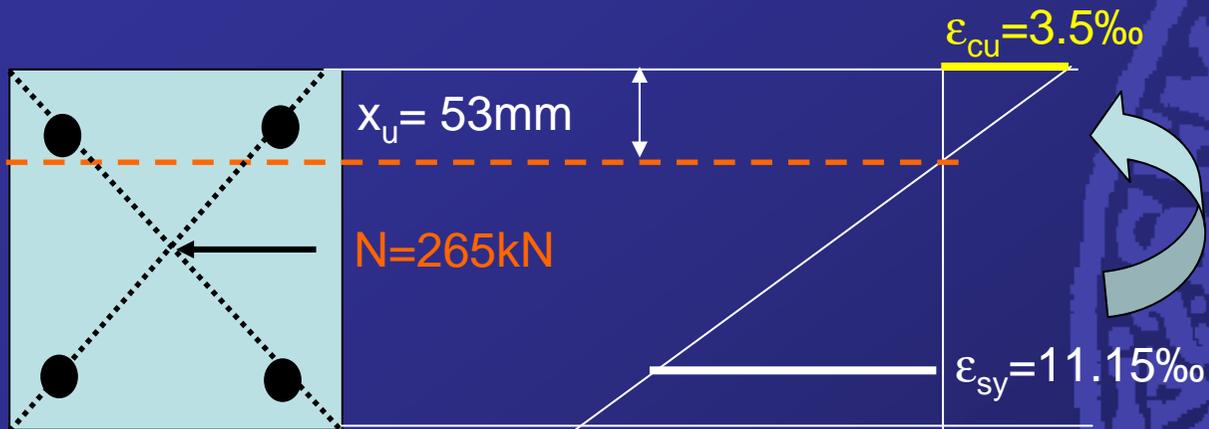
1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro base 2° piano

SEZIONE NON CONFINATA

Curvatura Ultima ϕ_u : **ANALISI DI SEZIONE**

$$M_u^+ = M_u^- = 41.1 \text{ kNm} \quad \phi_u = \varepsilon_{cu} / x_u = 6.66 \times 10^{-5} \text{ mm}^{-1}$$

$$B = h = 250 \text{ mm}$$



$$c = 30 \text{ mm}$$

$$A_s = A'_s = 2\Phi 12 = 226 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

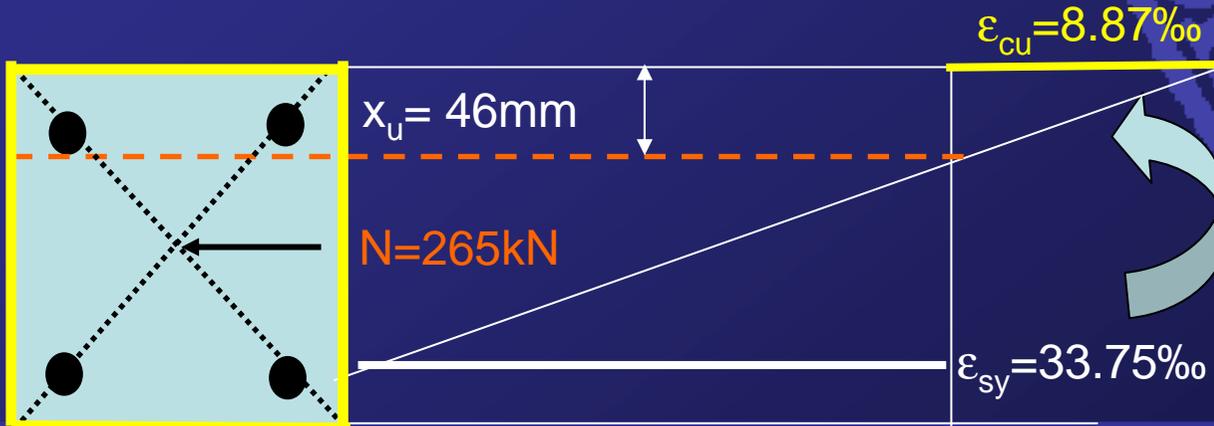
$$\varepsilon_{cu} = 3.5\text{‰}$$

$$\varepsilon_{sy} = 320 / 210000 = 1.52\text{‰}$$

SEZIONE CONFINATA

$$M_u^+ = M_u^- = 41.2 \text{ kNm} \quad \phi_u = \varepsilon_{cu} / x_u = 1.92 \times 10^{-4} \text{ mm}^{-1}$$

$$B = h = 250 \text{ mm}$$



$$c = 30 \text{ mm}$$

$$A_s = A'_s = 2\Phi 12 = 226 \text{ mm}^2$$

$$f_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

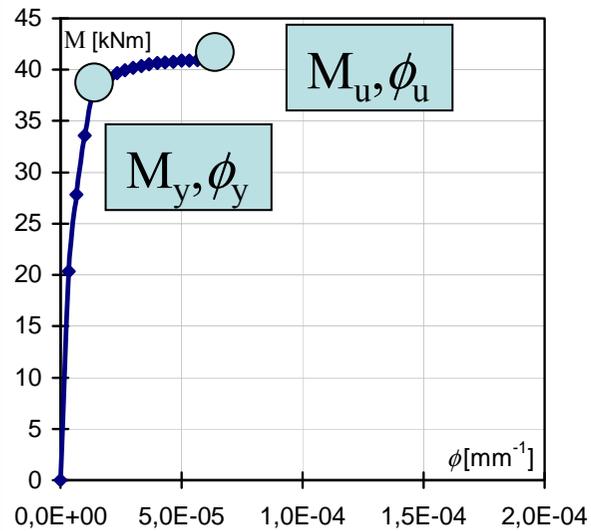
$$\varepsilon_{cu} = 8.87\text{‰}$$

$$\varepsilon_{sy} = 320 / 210000 = 1.52\text{‰}$$

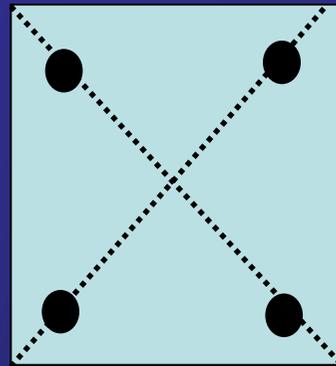
Rinforzo in FRP: Confinamento

1. Modellazione cerniere plastiche: Esempio pilastro base 2° piano

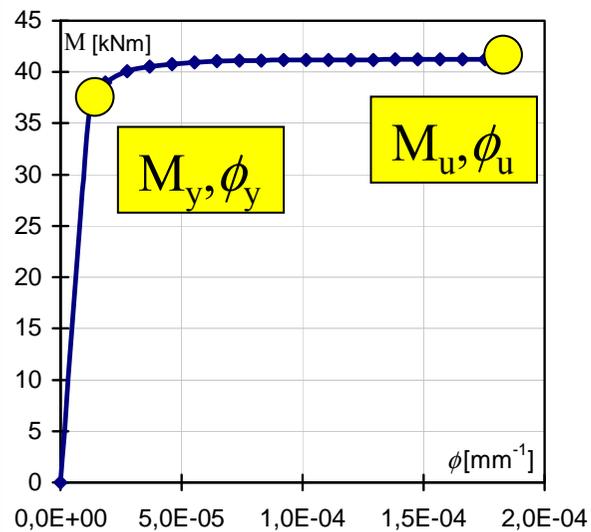
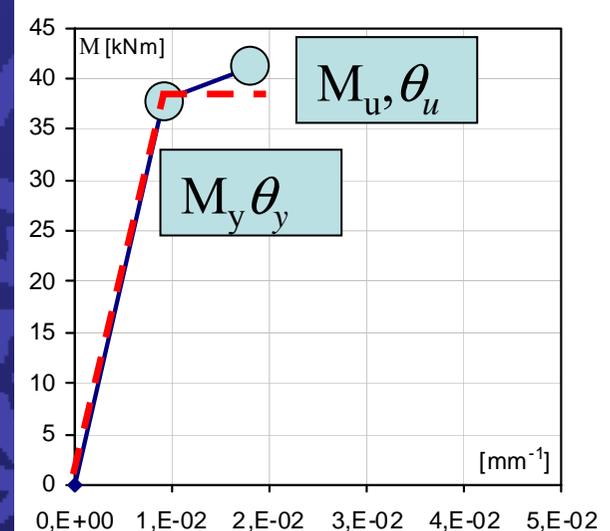
Momento-Curvatura



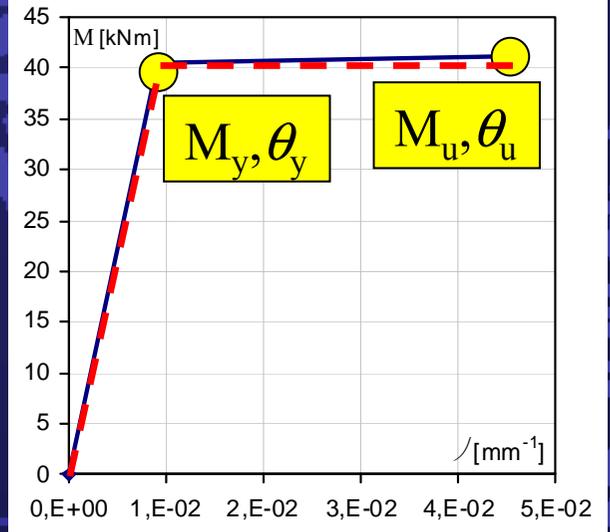
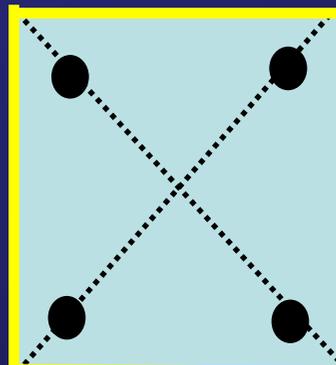
SEZIONE NON CONFINATA



Momento-Rotazione



SEZIONE CONFINATA

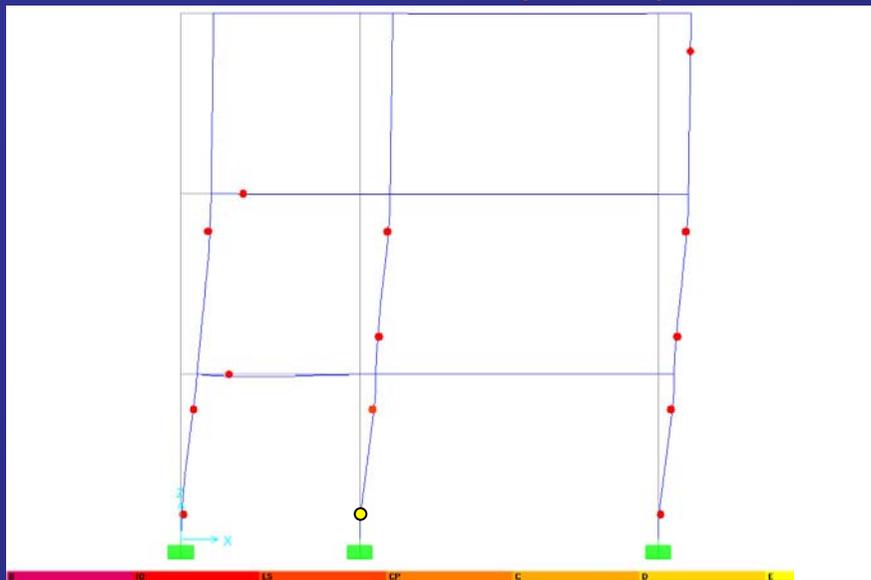


Rinforzo in FRP: Modellazione

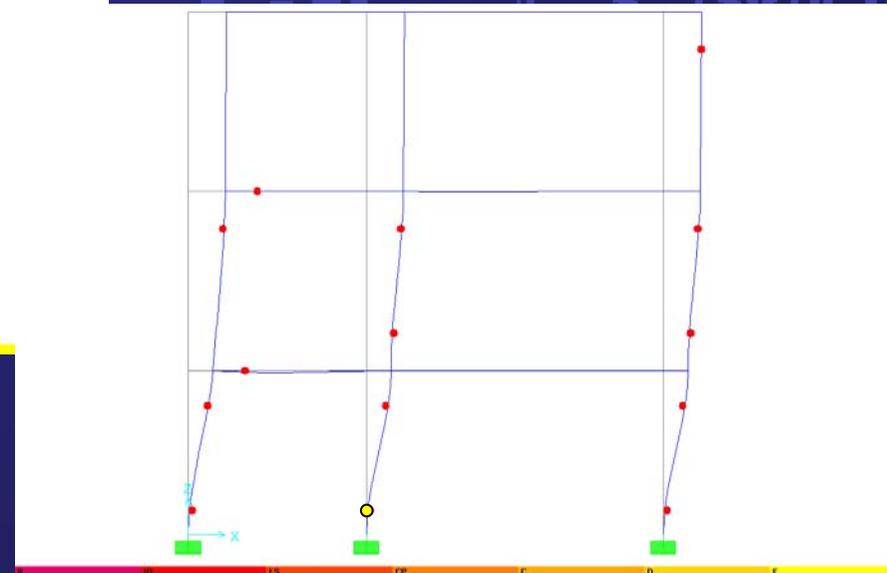
Misura capacità: curve di Push-over

Confronto edificio nudo / rinforzato con FRP

Edificio nudo (dir +X)



Rinforzato con GFRP (dir. +X)

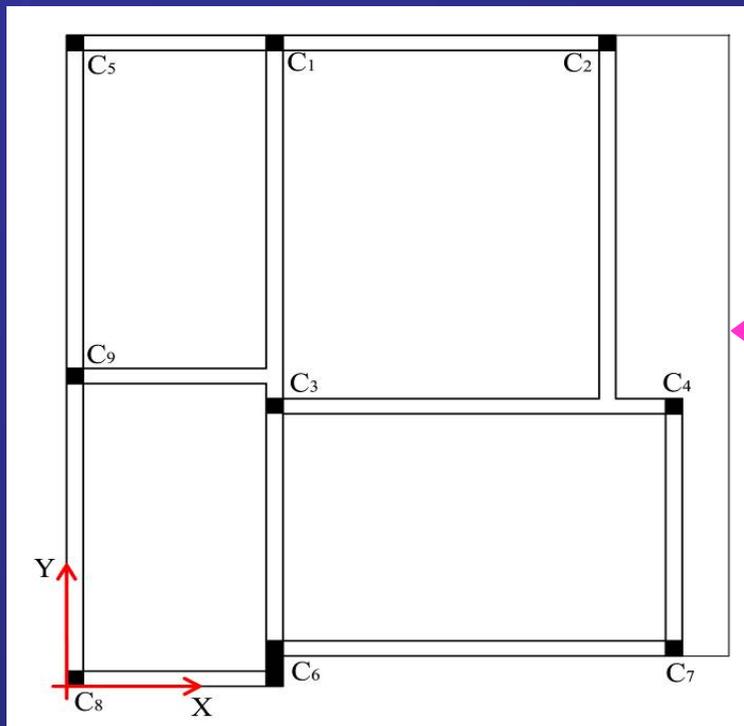


*La strategia di rinforzo
interviene sulla duttilità delle
cerniere plastiche senza
variarne la posizione.*

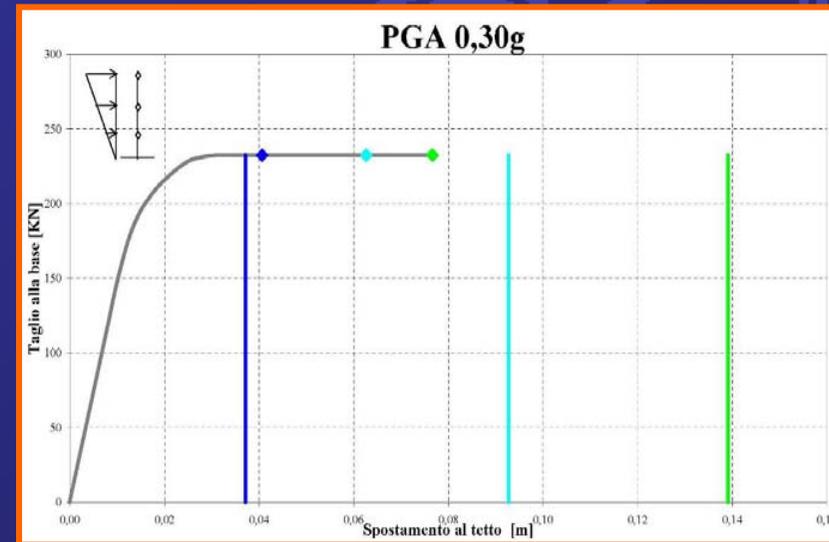
Rinforzo in FRP: Curve capacità-domanda 0.30g

PGA 0.30g

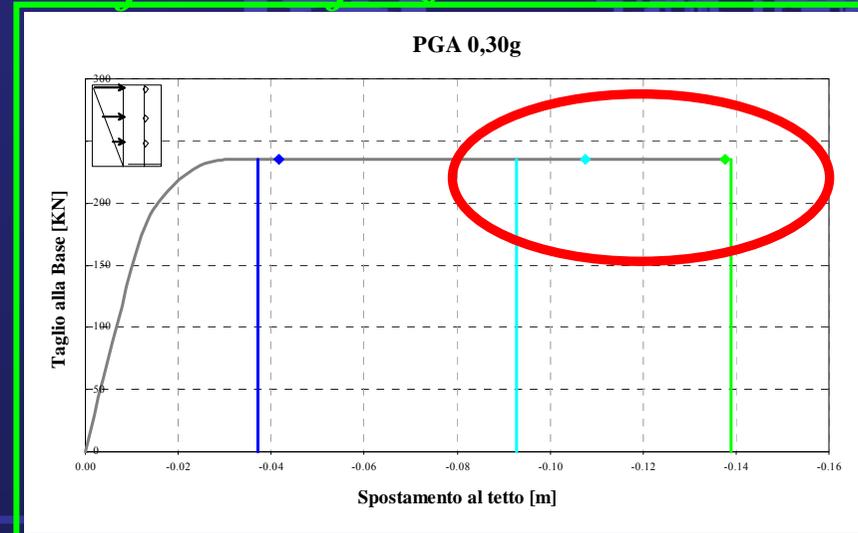
PUSH_NX



Edificio non rinforzato



Edificio rinforzato 2 strati GFRP



Realizzazione Rinforzo in FRP: Confinamento

8 Pilastri quadrati:

2 strati GFRP uniassiale

1° Piano: Testa: $h = 60 \text{ cm}$

Piede: $h = 77 \text{ cm}$

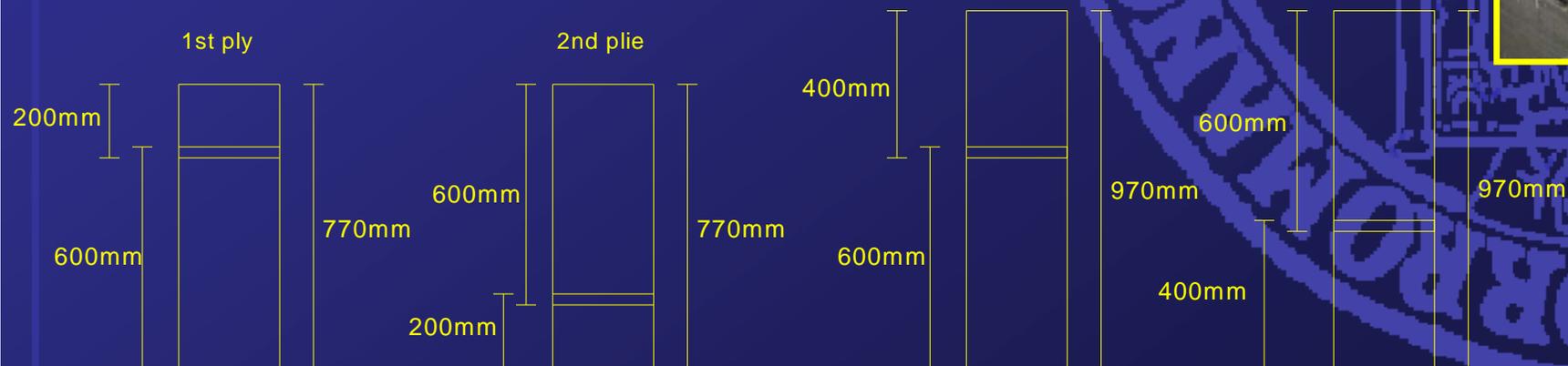
(60+20cm sovrapposizione: 3 cm)

C8 $h = 97 \text{ cm}$ (70+20cm sovrapposizione 3 cm)

2° e 3° Piano : Testa: $h = 60 \text{ cm}$

Piede $h = 60 \text{ cm}$

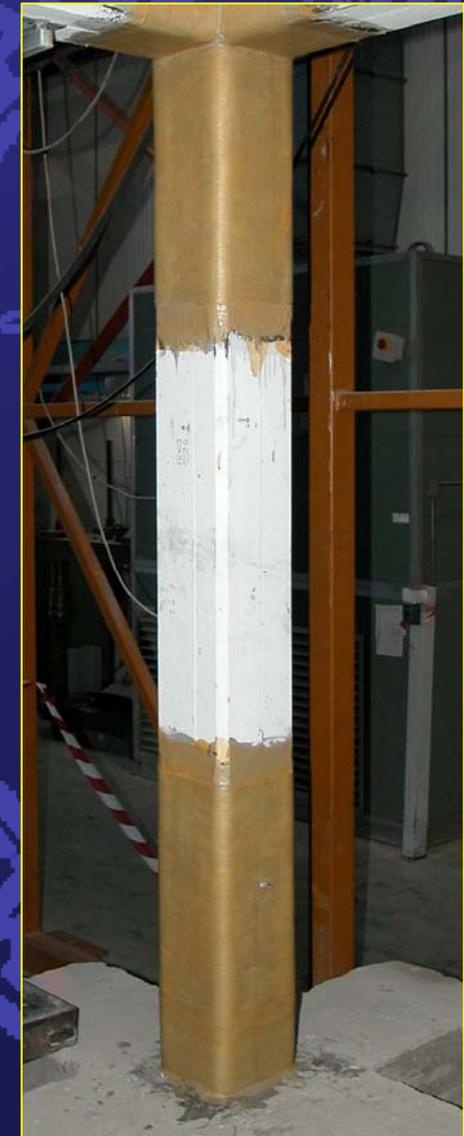
C8 $h = 77 \text{ cm}$ (60+20cm sovrapposizione: 3 cm)



Realizzazione Rinforzo in FRP: Confinamento

Confinamento pilsatro, installazione:

2 strati GFRP uniassiale



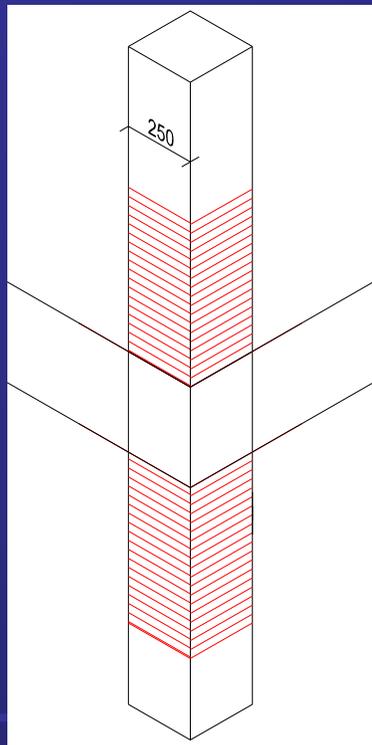
Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio nodi

Rinforzo nodi di vertice C2 C5 C7 C8:

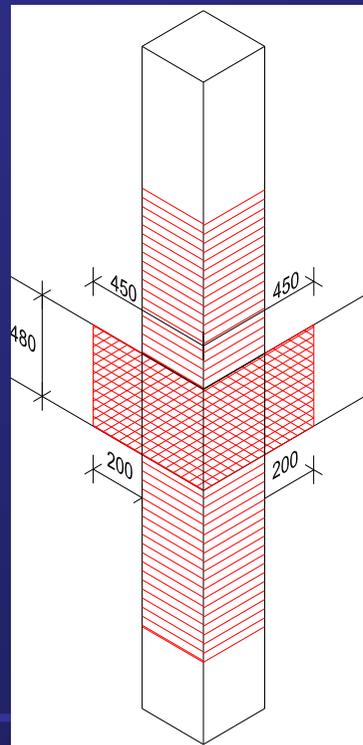
2 strati di tessuto Quadriassiale + U-wrap unidirezionale (rinforzo a taglio trave)



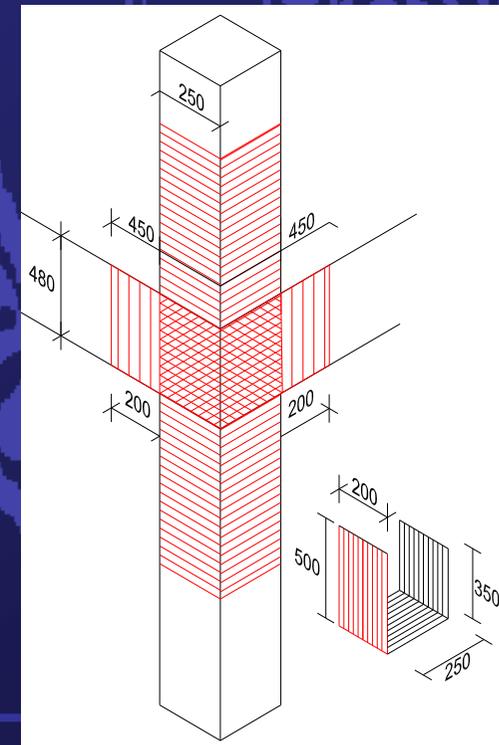
a) Rinforzo del nodo



b) Pannello di nodo



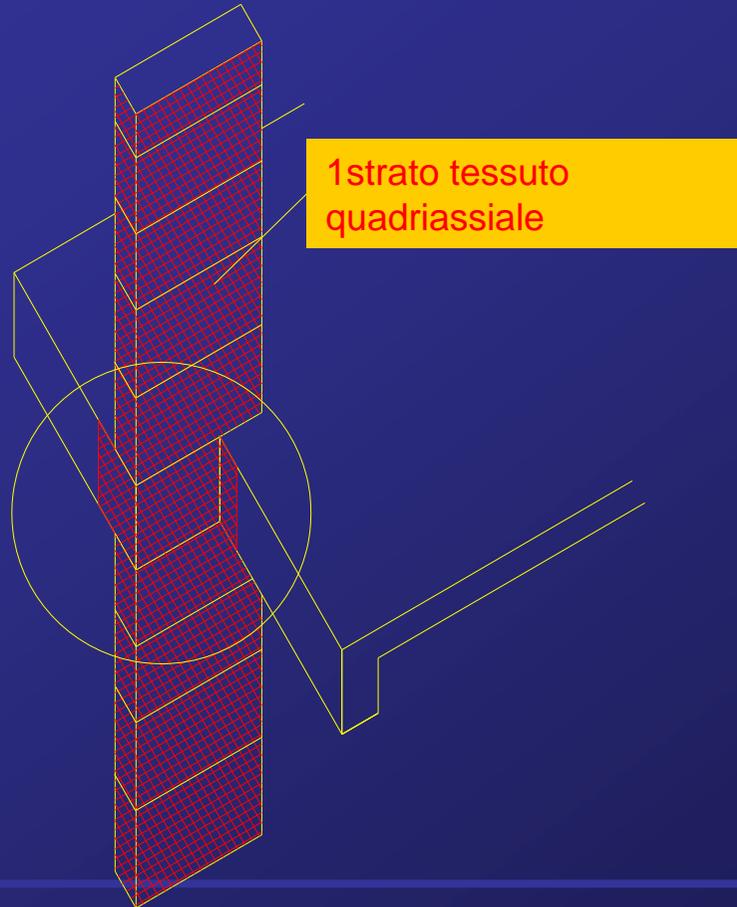
c) U-wrap trave



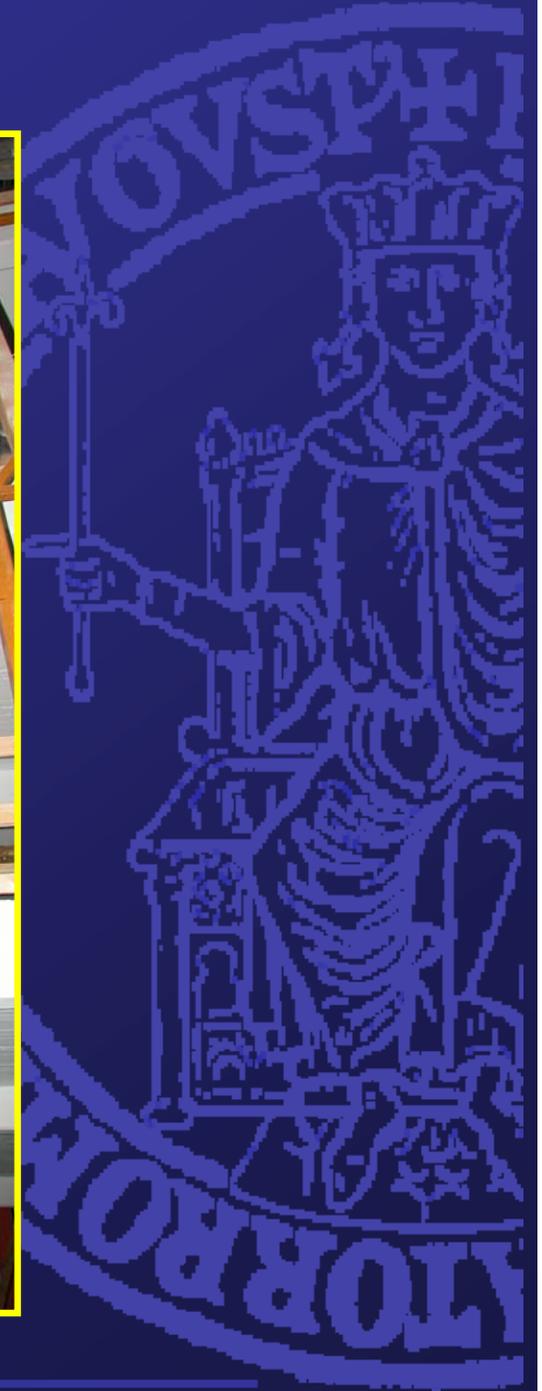
Rinforzo in FRP: Rinforzo a taglio pilastro rettangolare

Rinforzo colonna C6:

Fasciatura a tutta altezza, 1 strato di tessuto quadriassiale con sovrapposizione tra le fasce di 3 cm



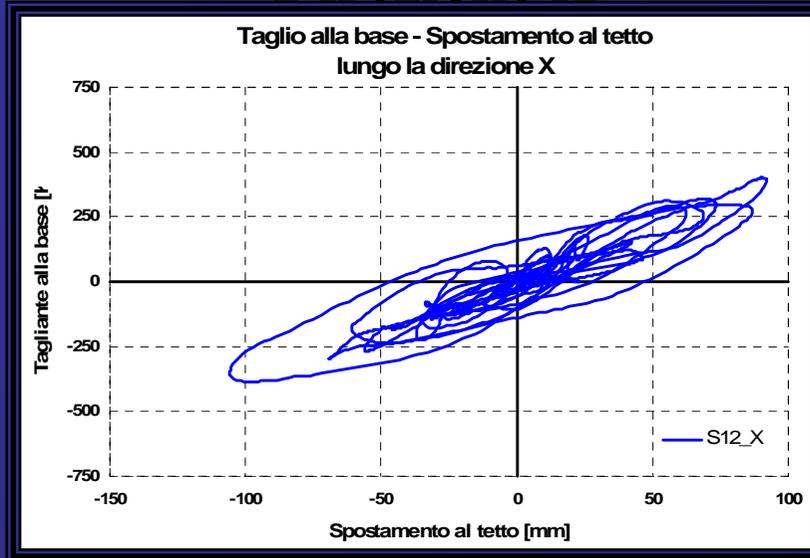
Struttura Rinforzata



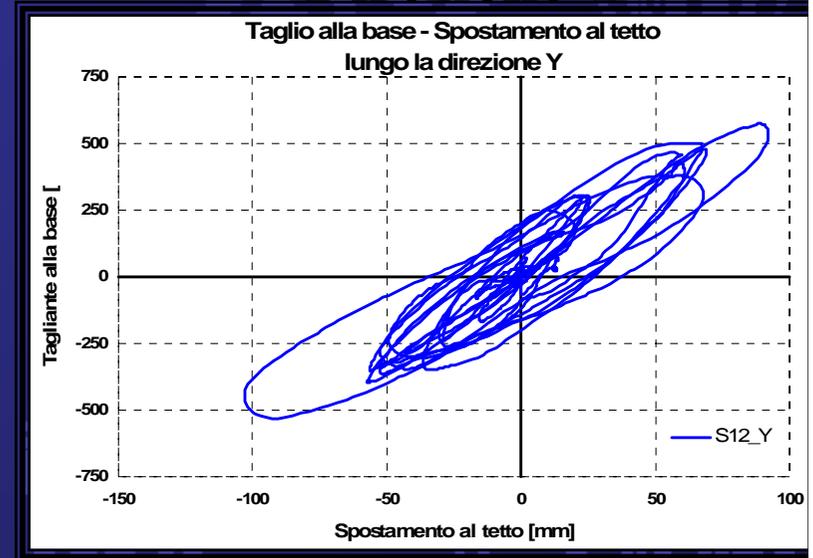
Rinforzo in FRP: Test 0.20 g

AS-BUILT

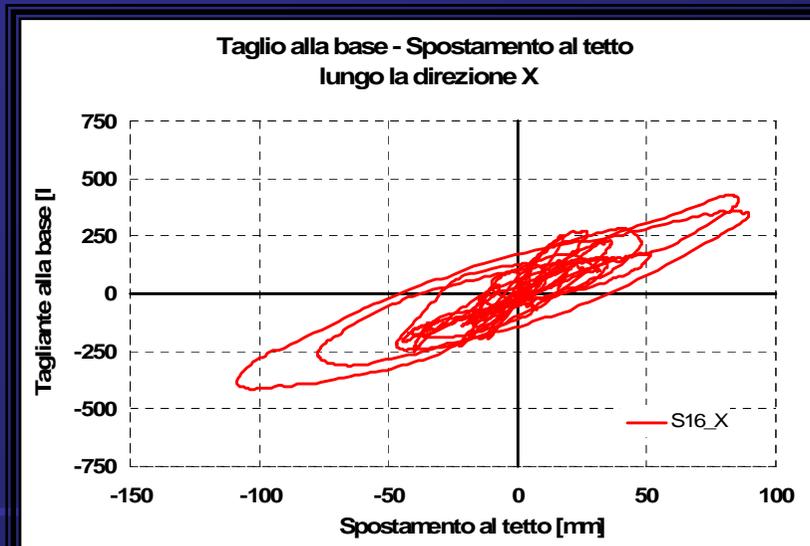
Direzione X



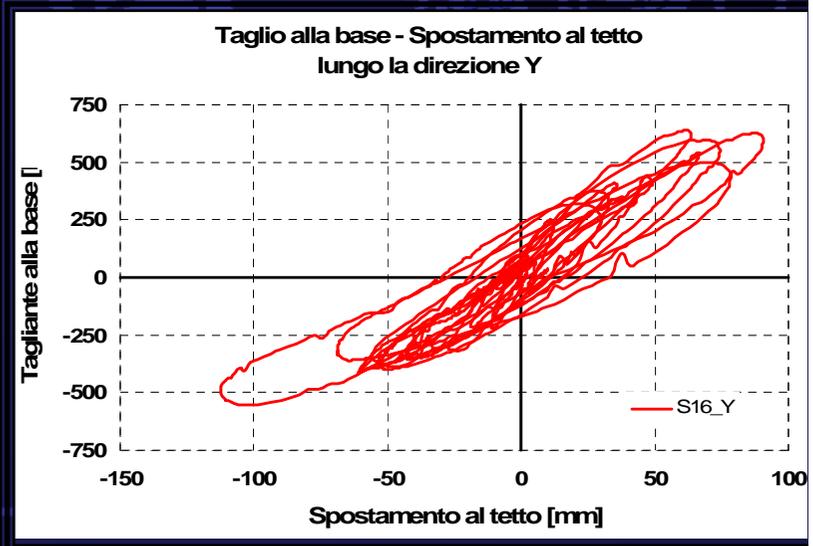
Direzione Y



ENERGIA ASSORBITA



UGUALE



FRP

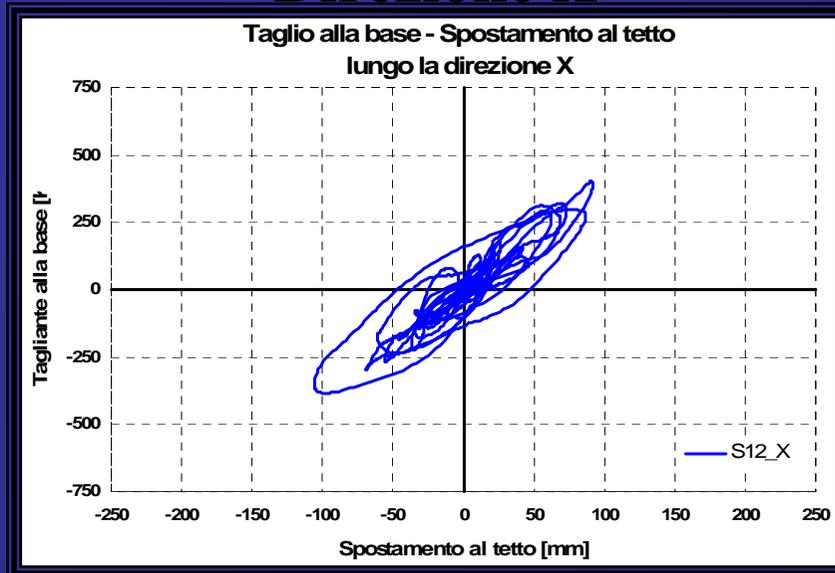
Rinforzo in FRP: Test 0.30 g



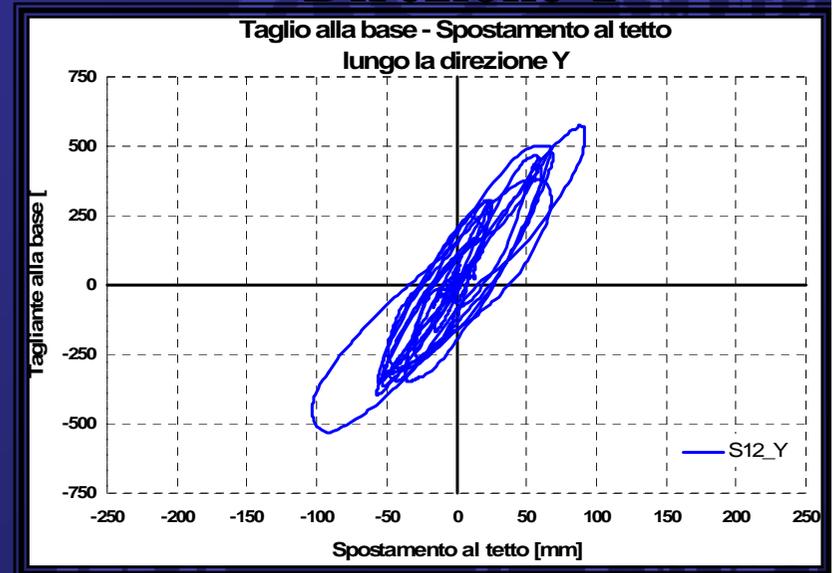
Rinforzo in FRP: Test 0.30 g

AS-BUILT

Direzione X

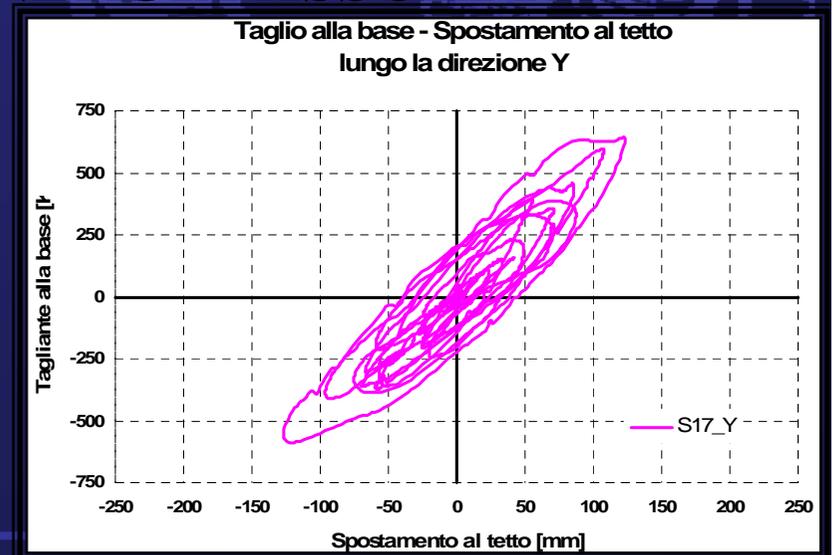
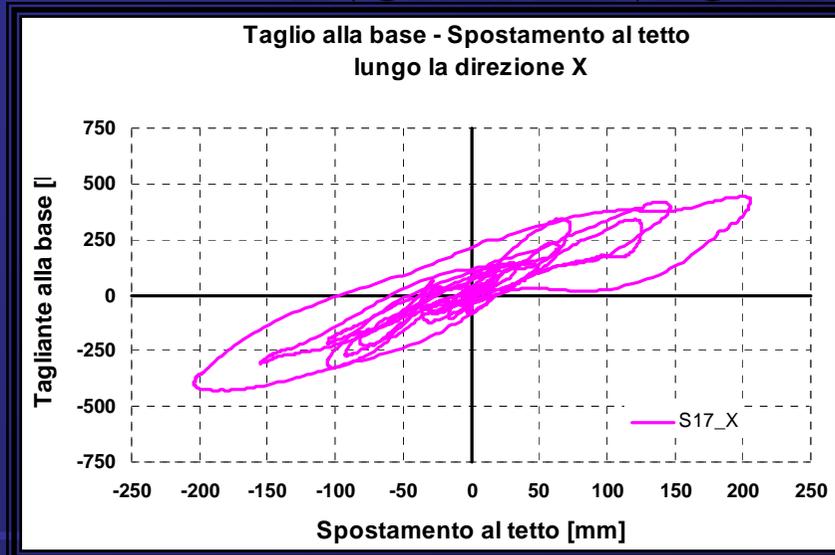


Direzione Y



INCREMENTO DI ENERGIA ASSORBITA

FRP



Rinforzo in FRP: Test 0.30 g

STRUTTURA 'AS BUILT' DOPO TEST 0.20g



✓ Il rinforzo in FRP ha consentito alla struttura di sostenere azioni sismiche con ag amplificato di 1.5 in ambedue le direzioni senza subire danneggiamenti significativi

STRUTTURA RINFORZATA CON FRP DOPO TEST 0.30g



✓ Dopo le prove, è stato rimosso il rinforzo ed il calcestruzzo sottostante è apparso non lesionato e non danneggiato

Confronti Risultati Sperimentali

	TEST	Energia Assorbita	Taglio alla Base	Max Spost. Tetto	Piano	Max Spost. piano
		[KJ]	[KN]	[m]		[m]
X	'as-built' 0.20g	44.00	195	0.1057	1	0.0246
					2	0.0570
					3	0.0358
	FRP retrofit 0.20g	42.20	211	0.1088	1	0.0320
					2	0.0554
					3	0.0343
	FRP retrofit 0.30g	83.36	196	0.2053	1	0.0594
					2	0.1060
					3	0.0635

CONCLUSIONI: Risultati sperimentali

Intervento di rinforzo con **FRP** (confinamento dei pilastri rinforzo a taglio per prevenire meccanismi di rottura fragile) ha consentito:

1. Incremento di duttilità globale pari a 123%
2. Incremento di sollecitazione sismica pari a 50% senza danni strutturali

VANTAGGI

1. Incremento di duttilità globale (gerarchia delle resistenze inalterata)
2. Non modifica la massa della struttura (Domanda sismica inalterata)
3. Facile e rapido da realizzare



CONCLUSIONI



Grazie per l'attenzione

CONCLUSIONI



Grazie per
l'attenzione

Email: diludovi@unina.it



Ordine degli ingegneri della provincia di Napoli

SEMINARIO:

**Interventi locali su strutture in c.a. con
materiali compositi**

Valutazione sismica di 3 complessi scolastici di L'Aquila

Relatori: Prof. Ing. Andrea Prota

Dott. Ing. Marco Di Ludovico

Dott. Ing. Raffaele Frascadore

Torre Annunziata, 5 Giugno 2015

CONTENUTI

- Vulnerabilità degli edifici esistenti in c.a.: l'edilizia scolastica de L'Aquila;
- Valutazione della sicurezza sismica di 3 complessi scolastici de L'Aquila (9 edifici in c.a.);
- Incremento della sicurezza sismica mediante eliminazione dei meccanismi di crisi fragile;

Gli eventi sismici recenti hanno chiaramente mostrato la elevata vulnerabilità degli edifici esistenti in c.a.

- Qualità scadente del calcestruzzo;
- Progettazione per soli carichi gravitazionali o riferita a normative sismiche obsolete;
- Carenza di staffe di confinamento trasversale agli estremi di travi e pilastri e dei nodi trave-pilastro parzialmente confinati;
- Scarsa attenzione ai dettagli costruttivi;

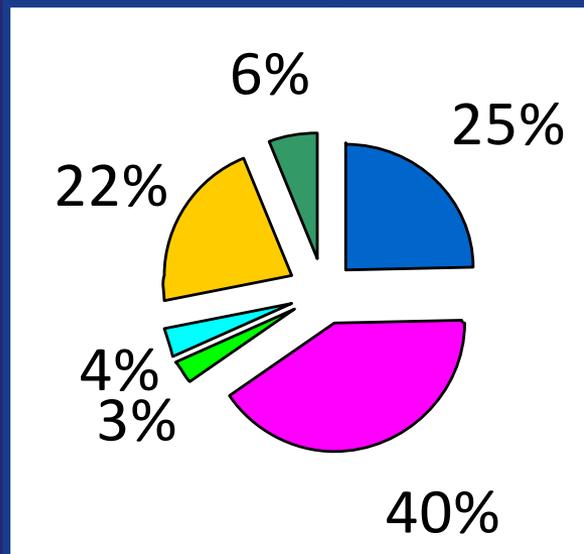
L'Aquila 2009



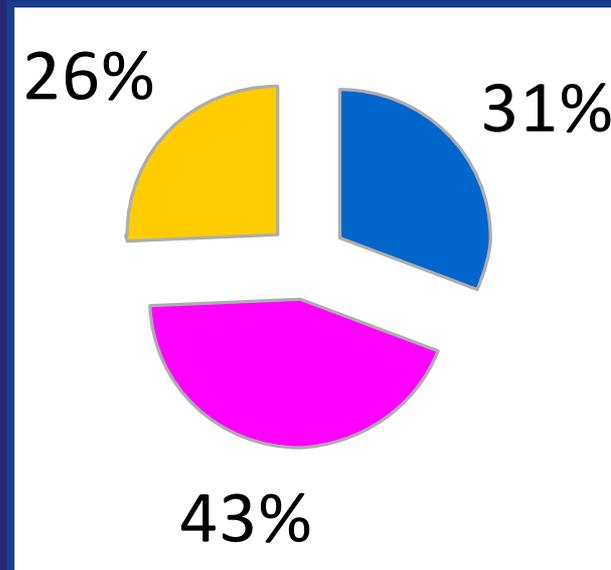
VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Esito delle verifiche di agibilità delle scuole de L'Aquila

Su tutte le tipologie costruttive



Sulle strutture in c.a.



Esito A

Esito B

Esito E

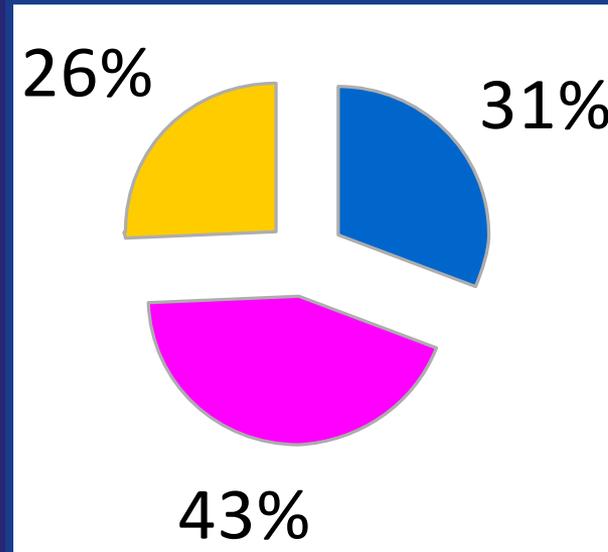
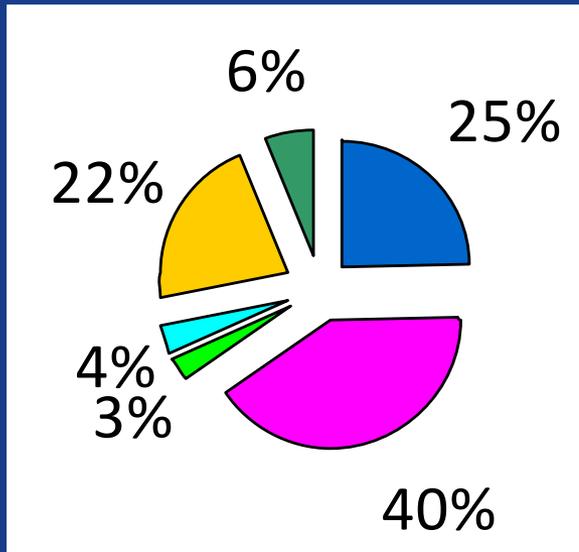


VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Esito delle verifiche di agibilità delle scuole de L'Aquila

Su tutte le tipologie costruttive

Sulle strutture in c.a.



Esito A
Nessun danno

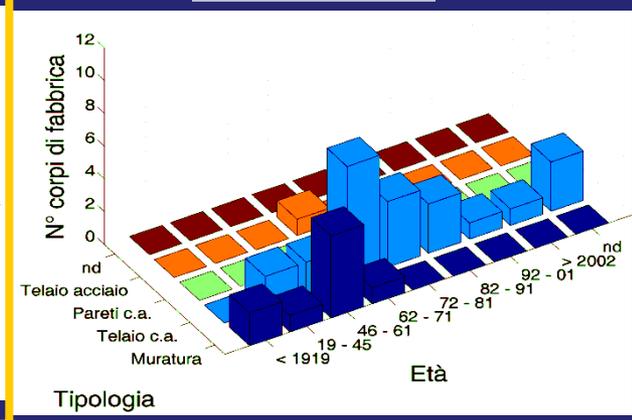
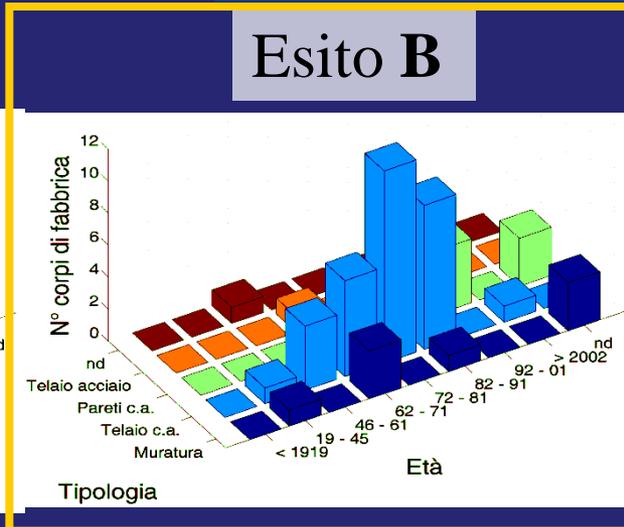
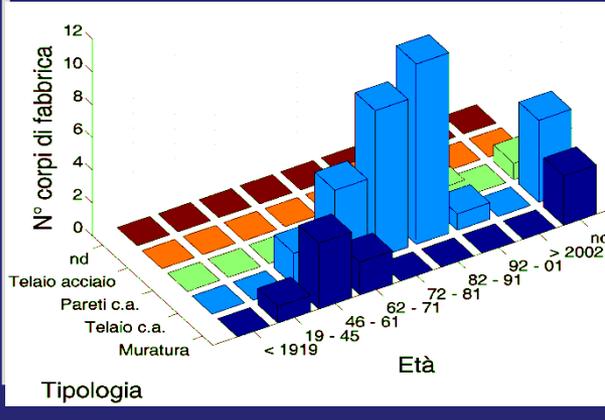
Esito E
Danno esteso



Esito A

Esito B

Esito E



VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Riparazione e interventi locali: scuole Esito B

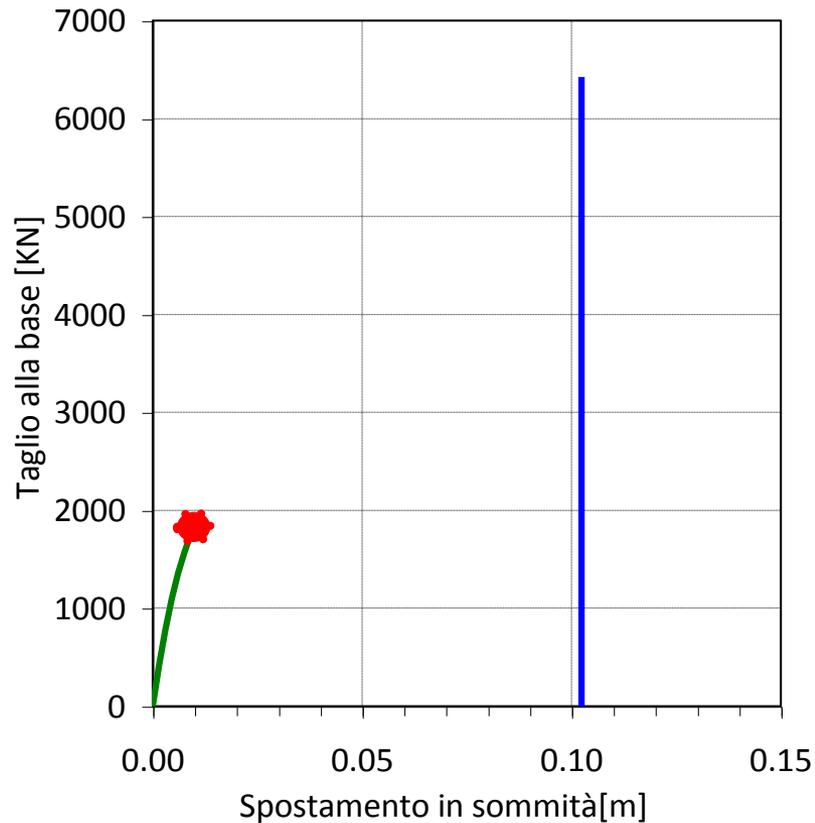
Riparazione e interventi locali, §8.4 e §8.4.3 del D.M. 14/01/2008



Interventi di rafforzamento locale che producono incrementi di massa e rigidezza strutturale trascurabili (quali FRP, ecc.), consentono di evitare ulteriori analisi globali, oltre a quella di valutazione dello stato di fatto.

VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Attivazione progressiva dei meccanismi di crisi



★ Prima crisi elemento a taglio (nodo)

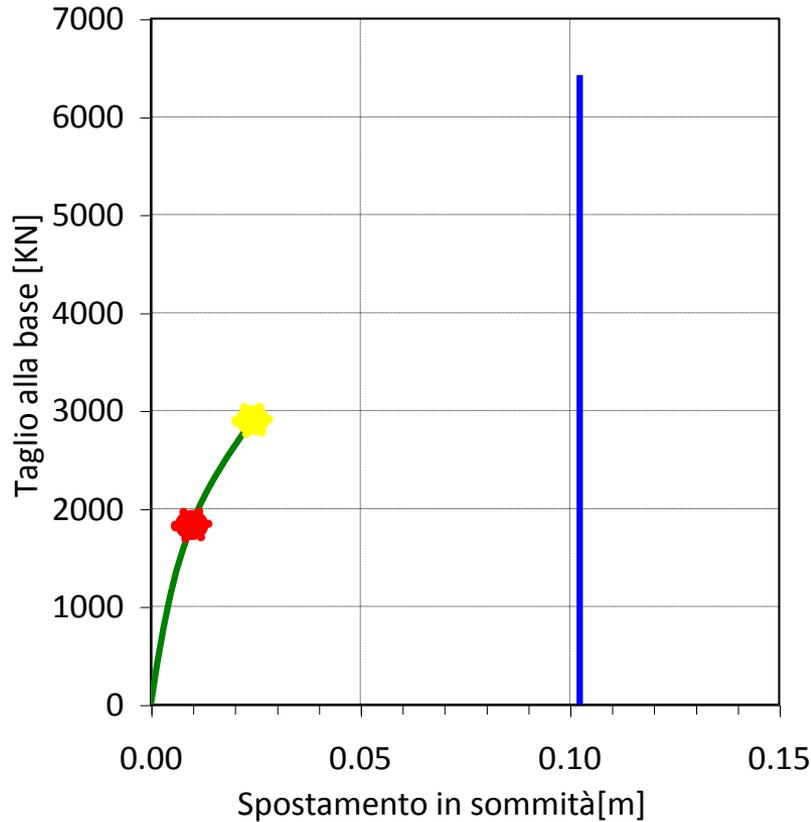
— Domanda di spostamento allo SLV



$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V_n}{A_g}\right)^2} \right| \leq 0,3\sqrt{f_c}$$

VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Attivazione progressiva dei meccanismi di crisi



★ Prima crisi elemento a taglio (pilastro)

— Domanda di spostamento allo SLV



$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\frac{h-x}{2L_V} \min(N; 0,55A_c f_c) + (1 - 0,05 \min(5; \mu_{\Delta}^{pl})) \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \left[0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0,16 \min\left(5; \frac{L_V}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c + V_w \right] \right]$$

$$\mu_{\Delta}^{pl} = \mu_{\Delta} - 1.$$

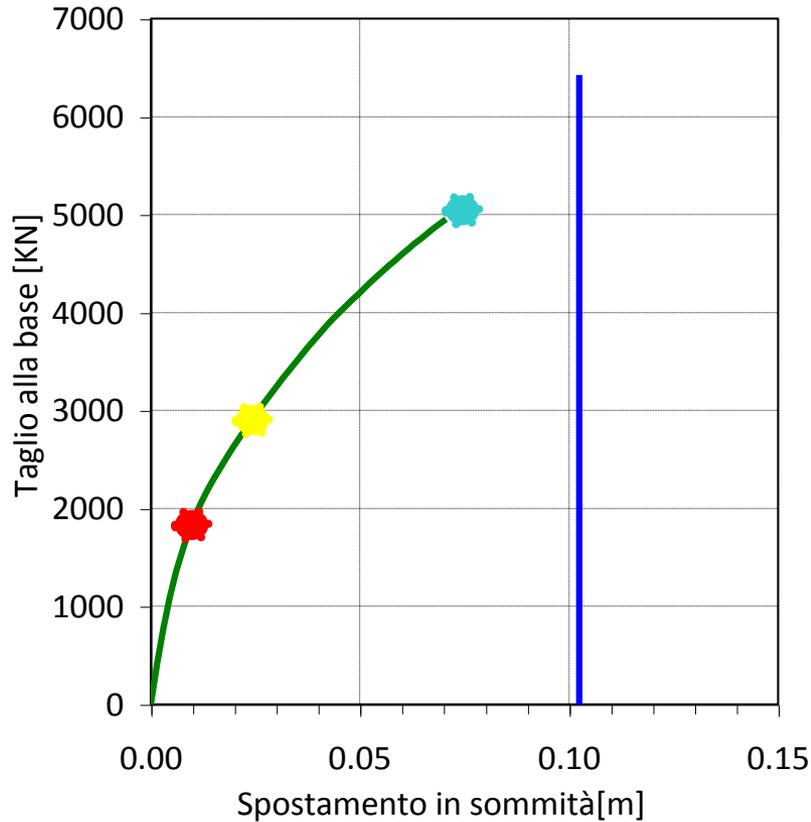
min = 0

max = 5

© Reluis 2009
www.reluis.it

VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Attivazione progressiva dei meccanismi di crisi



Capacità deformativa insufficiente



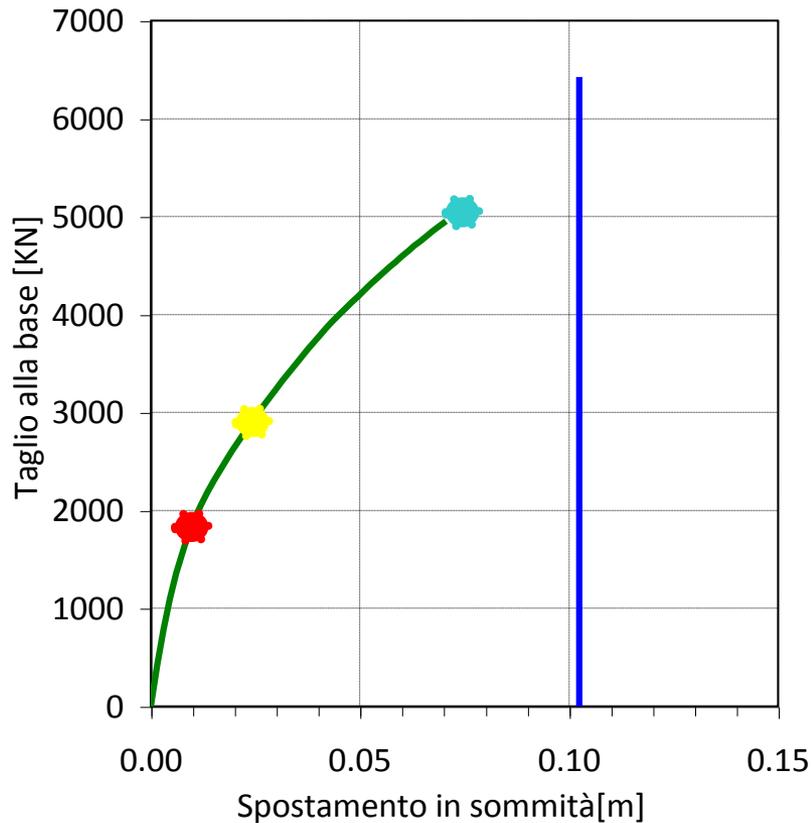
Domanda di spostamento allo SLV



$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left(\theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) L_{pl} \left(1 - \frac{0,5L_{pl}}{L_V} \right) \right)$$

VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Attivazione progressiva dei meccanismi di crisi



  Prima crisi elemento a taglio
(nodo/pilastro/trave)

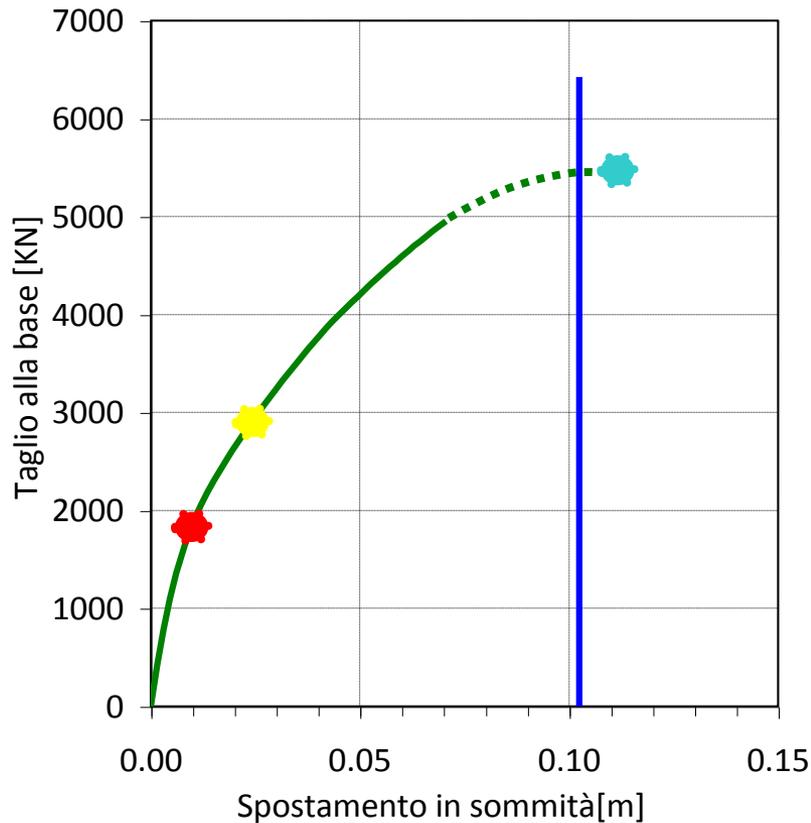
 Capacità in termini di
spostamento SLV
(formazione 1° cerniera plastica
3/4 θ_u o attivazione del
meccanismo di piano)

 Richiesta in termini di
spostamento SLV

**Verifiche non soddisfatte in
termini di resistenza o di duttilità.
E' necessario intervenire per
migliorare/adeguare la struttura**

VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

Attivazione progressiva dei meccanismi di crisi



- ✿ ✿ Prima crisi elemento a taglio (nodo/pilastro/trave)
- ✿ Capacità in termini di spostamento SLV (formazione 1° cerniera plastica $3/4\theta_u$ o attivazione del meccanismo di piano)
- Richiesta in termini di spostamento SLV

1. Rinforzo a taglio
2. Incremento capacità deformativa globale

ELIMINANDO I MECCANISMI DI CRISI FRAGILE DI QUANTO SI INCREMENTA LA CAPACITÀ SISMICA?

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Individuazione territoriale delle scuole oggetto di studio



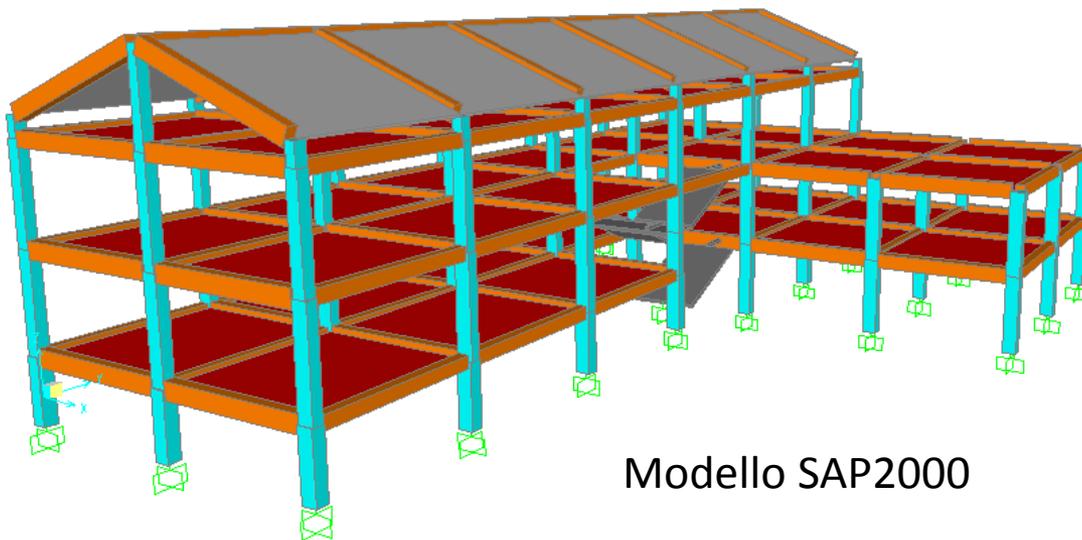
- Scuola TORRIONE (1 edificio);
 - Scuola RENDINA (6 edifici);
 - Scuola I.P.S.I.A.S.A.R. “Leonardo da Vinci” (2 edifici);
- Epoca costruttiva '60÷'90

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA



TORRIONE

Edificio a 3 piani
Costruito nel 1961



Modello SAP2000

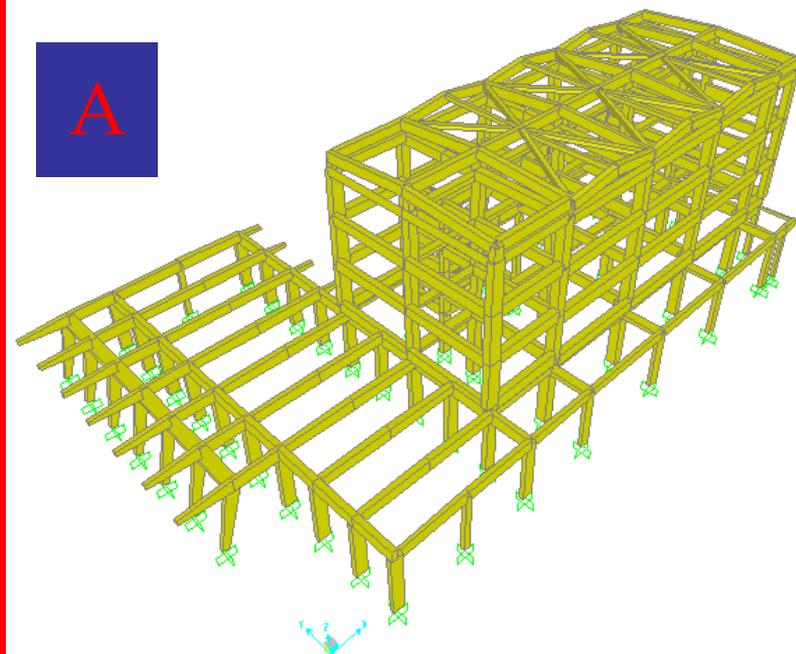
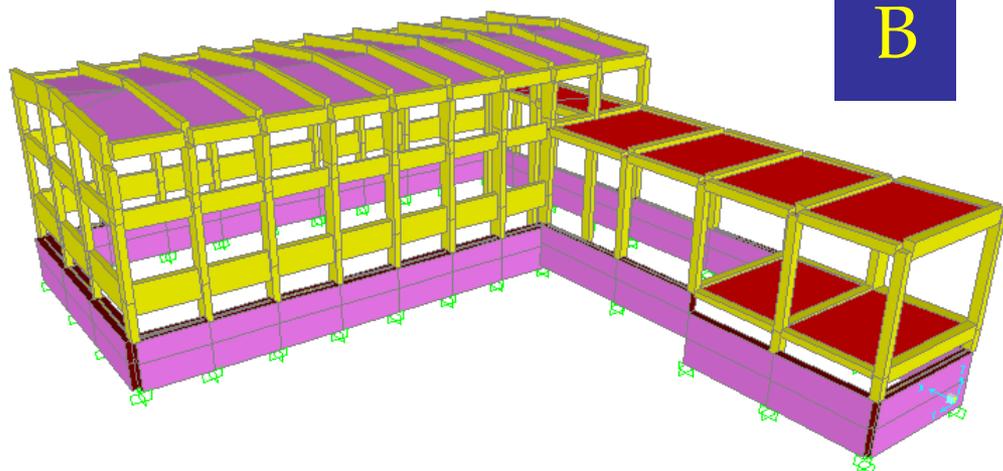
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

I.P.S.I.A.S.A.R.



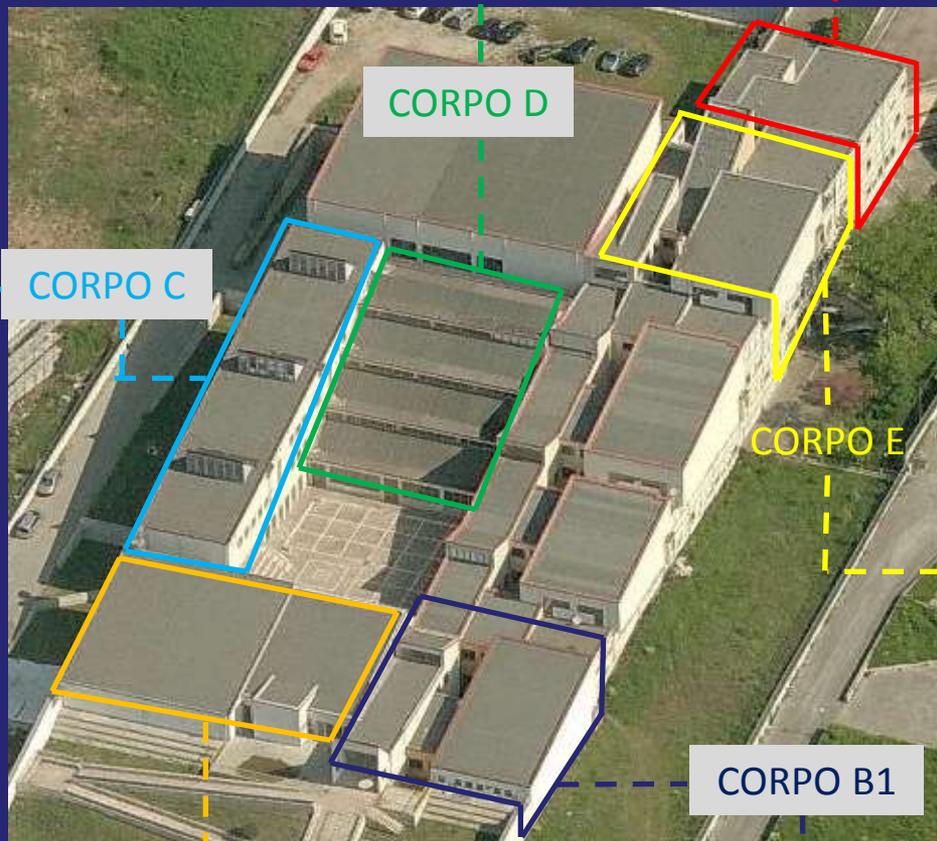
Edificio a 2 piani
Costruito nel 1969

Edificio a 4 piani
Costruito nel 1969



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

6 edifici, costruiti nel periodo 1982-1999



CORPO G

CORPO D

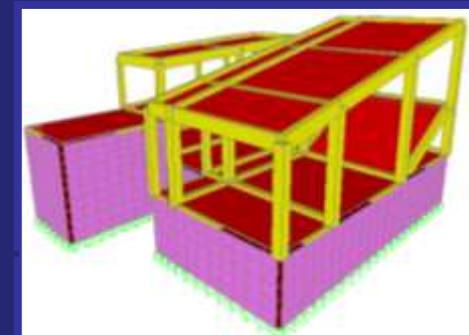
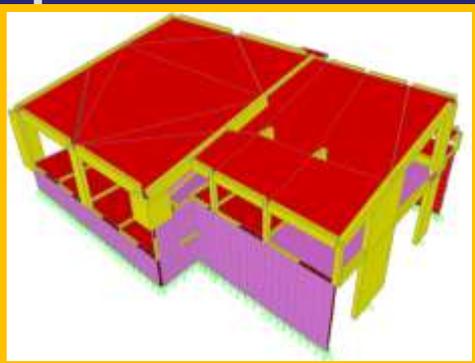
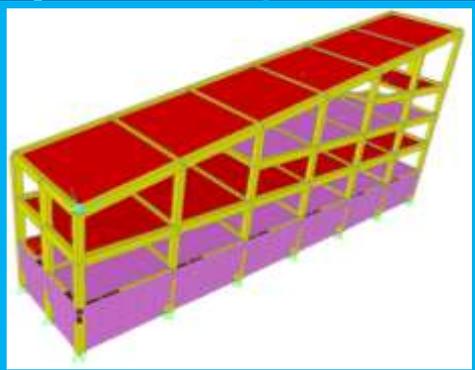
CORPO C

CORPO E

CORPO B1

CORPO B2

RENDINA

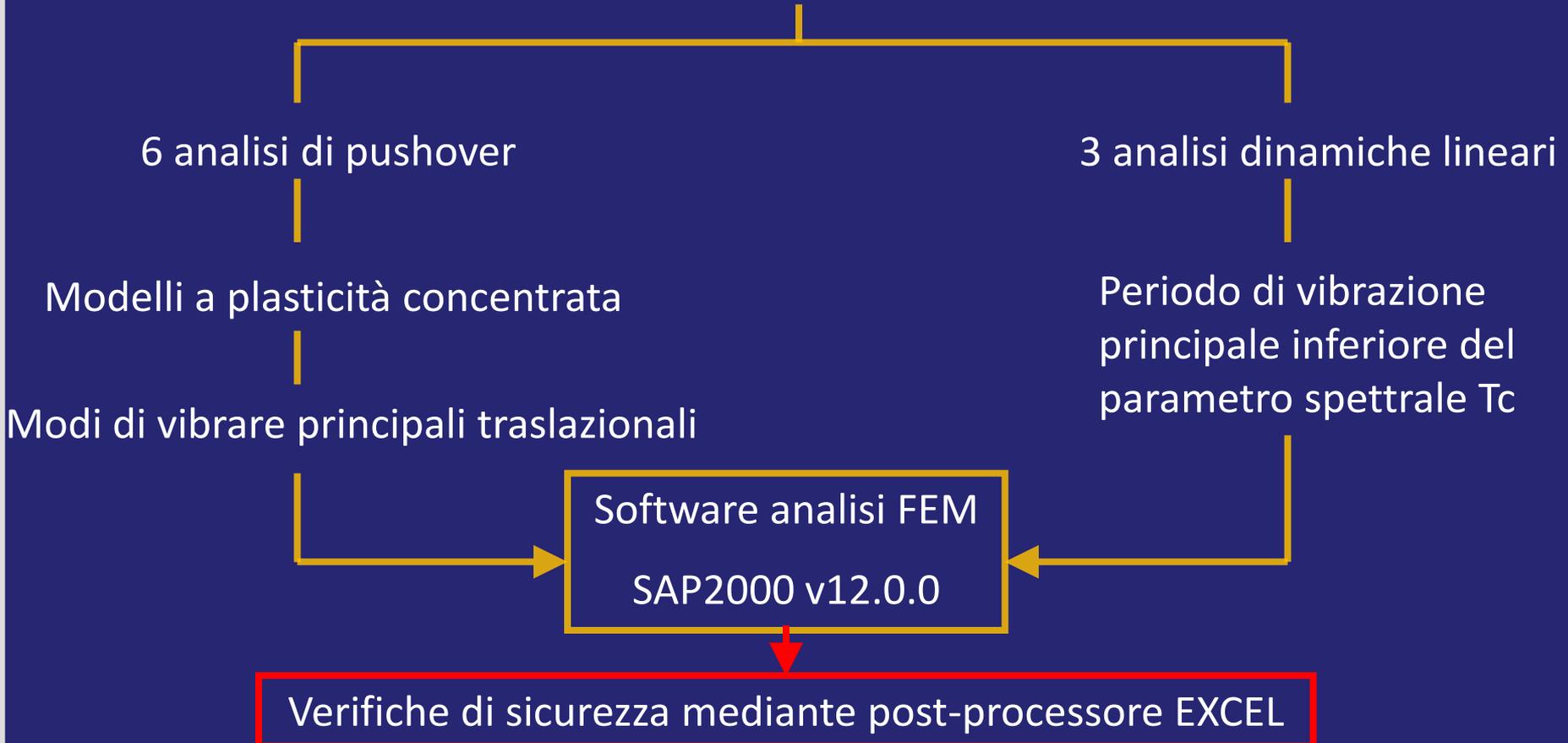


VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Metodi di analisi

3 complessi scolastici – 9 corpi di fabbrica

Livello di conoscenza minimo raggiunto LC2, mediante indagini in sito e in laboratorio

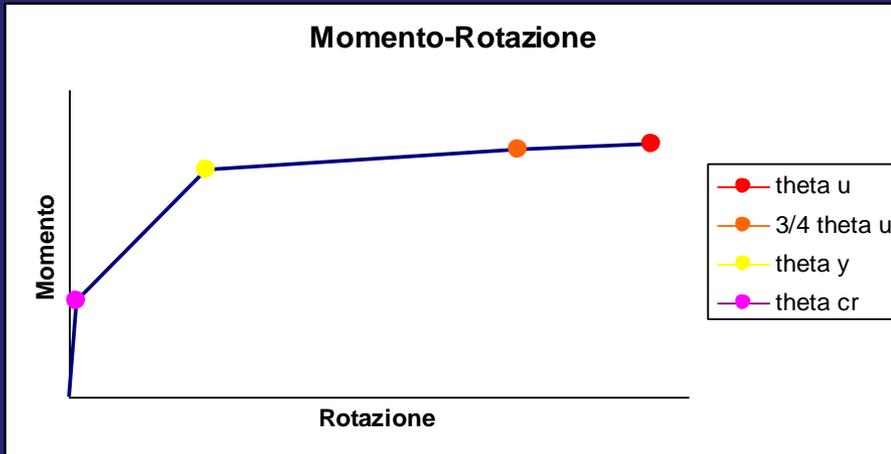


VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

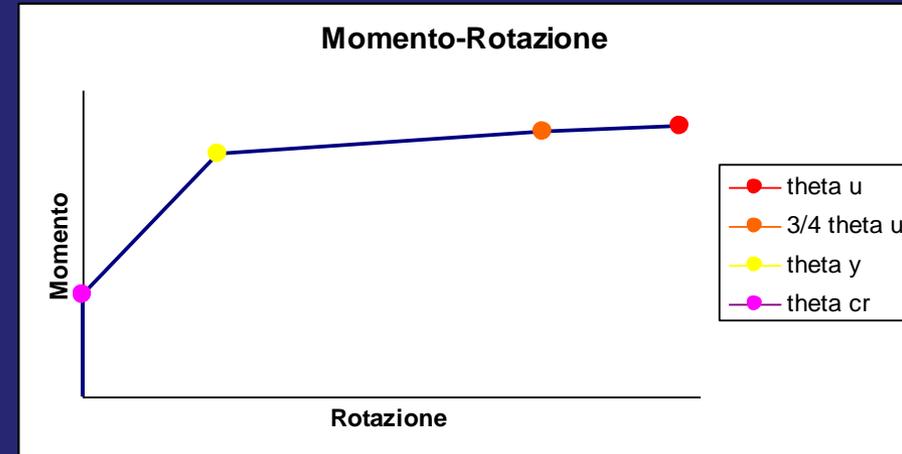
Criticità di modellazione – meccanismo duttile

-Analisi Non Lineare:

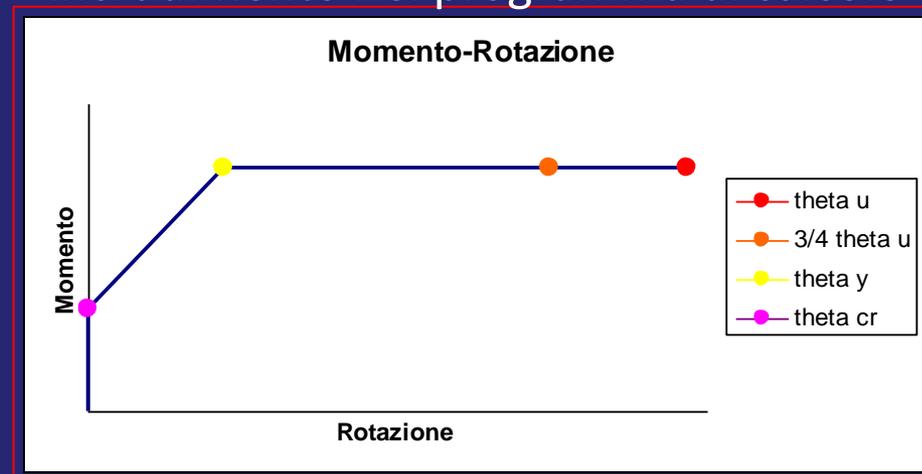
Legame momento-rotazione



Legame momento-rotazione nel programma di calcolo



Legame momento-rotazione senza
incrudimento nel programma di calcolo



Problemi di convergenza
del modello non lineare

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Criticità di modellazione – Solai e pareti

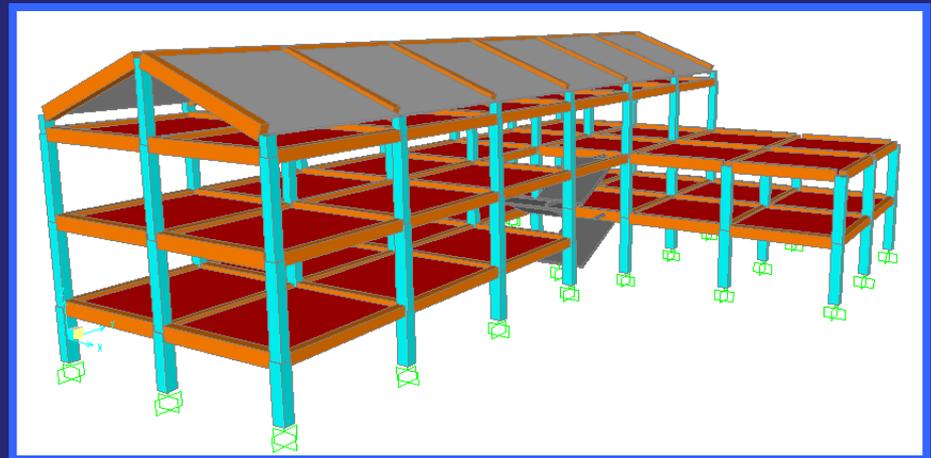
-Analisi Lineare:

- Travi e pilastri (*frame*)
- Pareti (*shell thick*)
- Tetto a falde (*shell membrane*)
- Solaio $s_{\text{soletta}} < 4 \text{ cm}$ (*shell membrane*)



-Analisi Non Lineare:

- Travi e pilastri (*frame*)
- Pareti (*frame equivalente*)
- Tetto a falde (*shell membrane*)
- Solaio $s_{\text{soletta}} < 4 \text{ cm}$ (*shell membrane*)

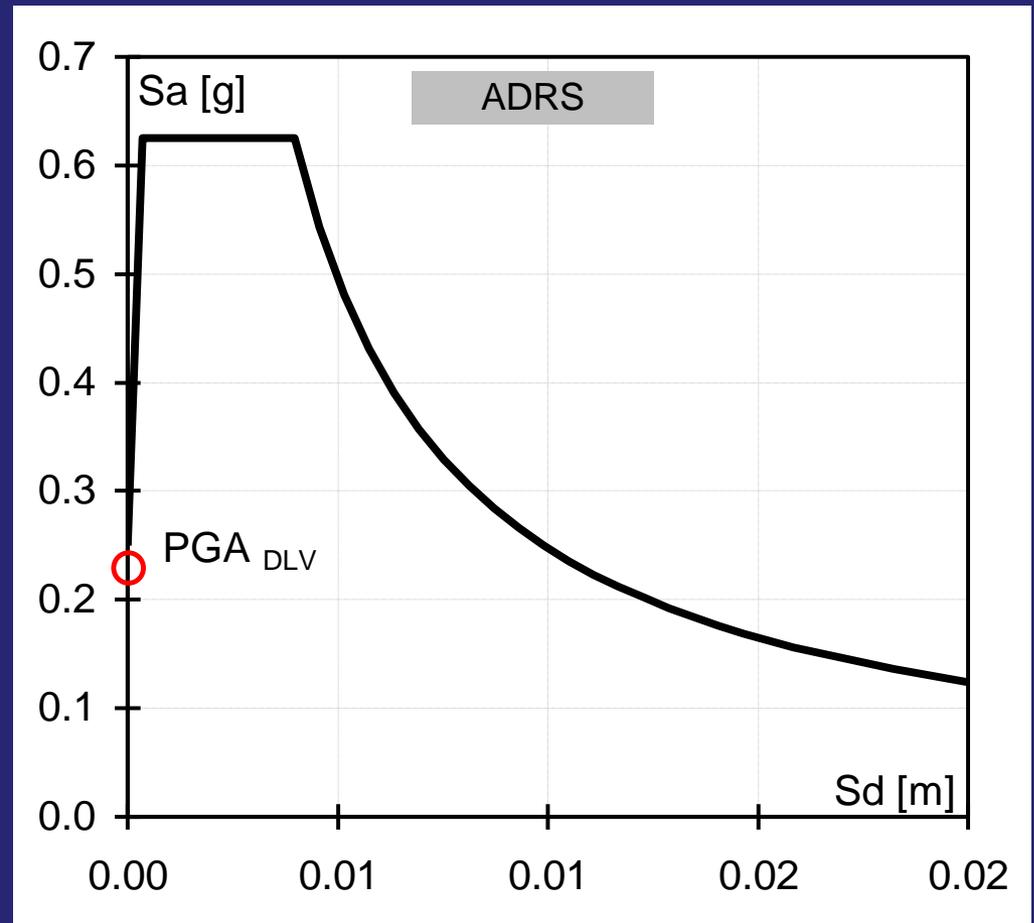


VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Determinazione dell'indicatore di rischio α_{uv}

$$\alpha_{uv} = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

$PGA_{DLV} = a_{g_DLV} * S$ accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale che ha una probabilità di essere superata pari al 10% ($P_{vr}=10\%$) in un tempo pari al periodo di riferimento dell'opera, relativa al T_{R_DLV} , amplificata dal il fattore $S=S_S * S_T$.



$$PGA_{DLV} = \text{L'Aquila} = 0.261g$$

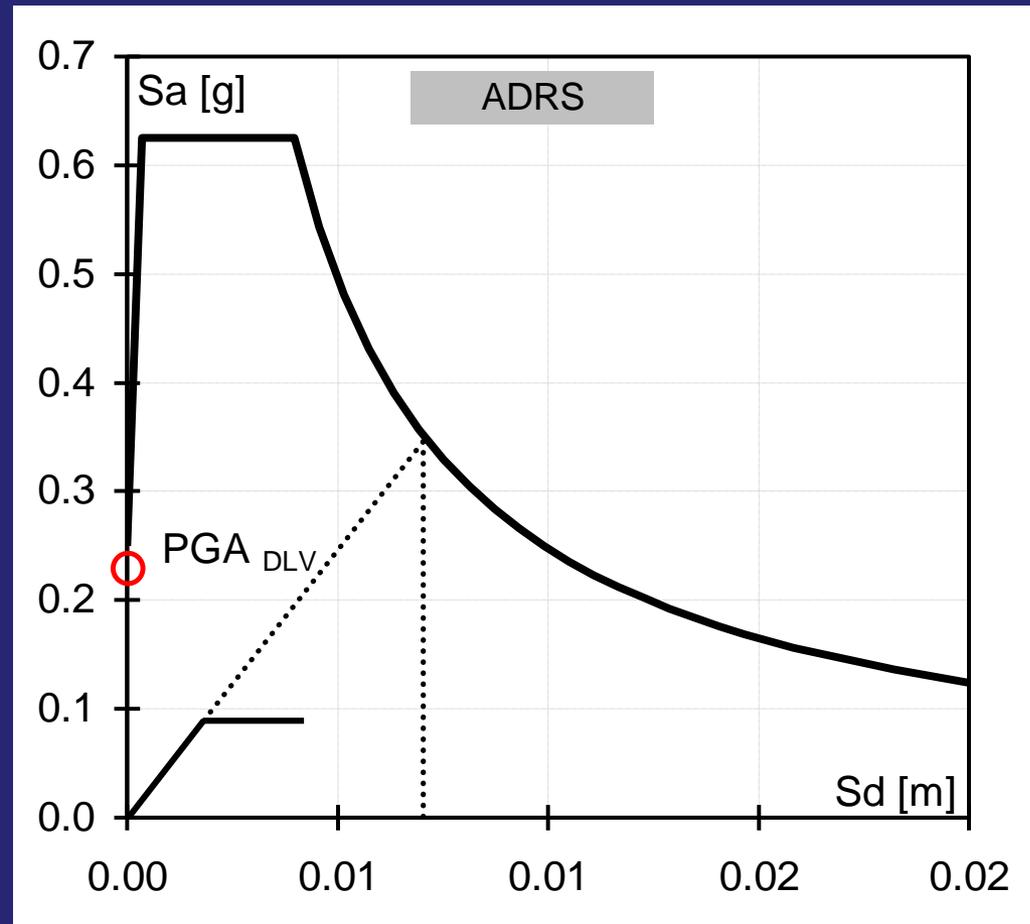
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Determinazione dell'indicatore di rischio α_{uv}

$$\alpha_{uv} = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

$PGA_{DLV} = a_{g_DLV} * S$ accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale che ha una probabilità di essere superata pari al 10% ($P_{vr}=10\%$) in un tempo pari al periodo di riferimento dell'opera, relativa al T_{R_DLV} , amplificata dal il fattore $S=S_S * S_T$.

$PGA_{CLV} = a_{g_CLV} * S$, accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale che può essere sostenuta dall'edificio, relativa al T_{R_CLV} , amplificata dal fattore $S=S_S * S_T$.



$$PGA_{DLV} = \underline{\underline{L'Aquila = 0.261g}}$$

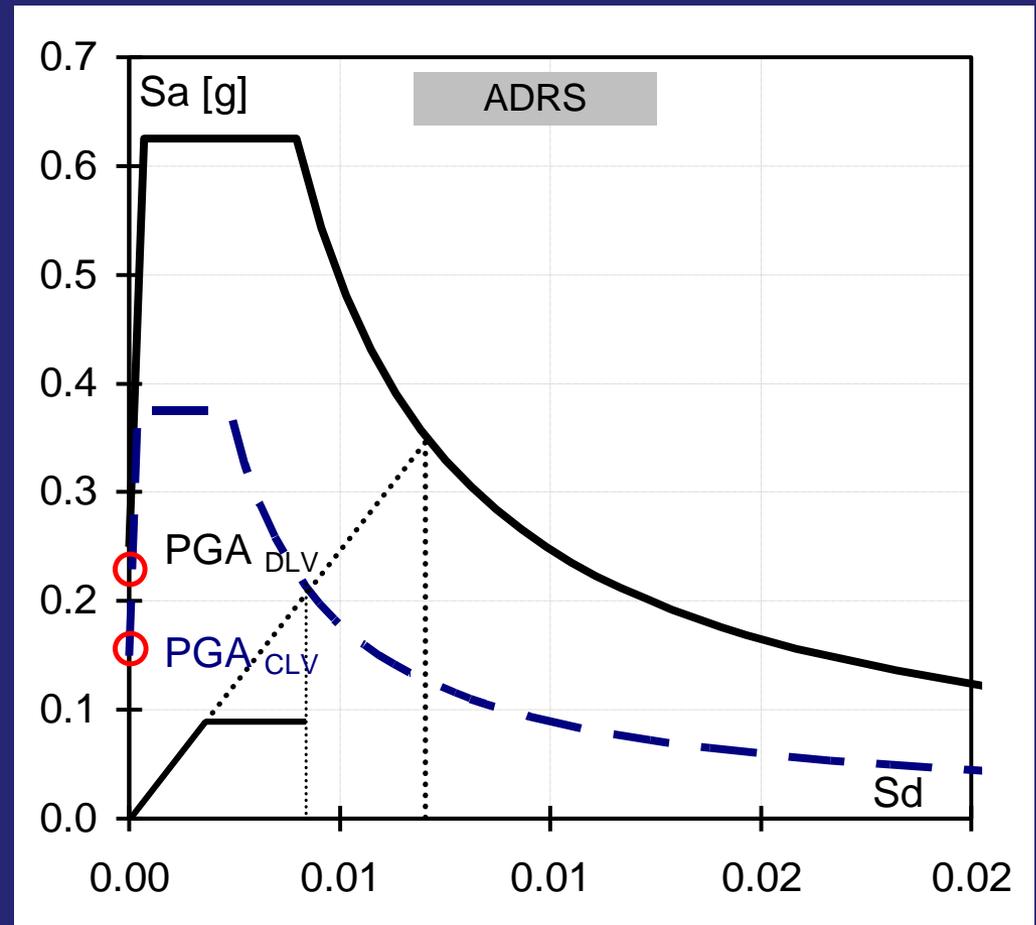
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Determinazione dell'indicatore di rischio α_{uv}

$$\alpha_{uv} = \frac{PGA_{CLV}}{PGA_{DLV}}$$

$PGA_{DLV} = a_{g_DLV} * S$ accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale che ha una probabilità di essere superata pari al 10% ($P_{vr}=10\%$) in un tempo pari al periodo di riferimento dell'opera, relativa al T_{R_DLV} , amplificata dal il fattore $S=S_S * S_T$.

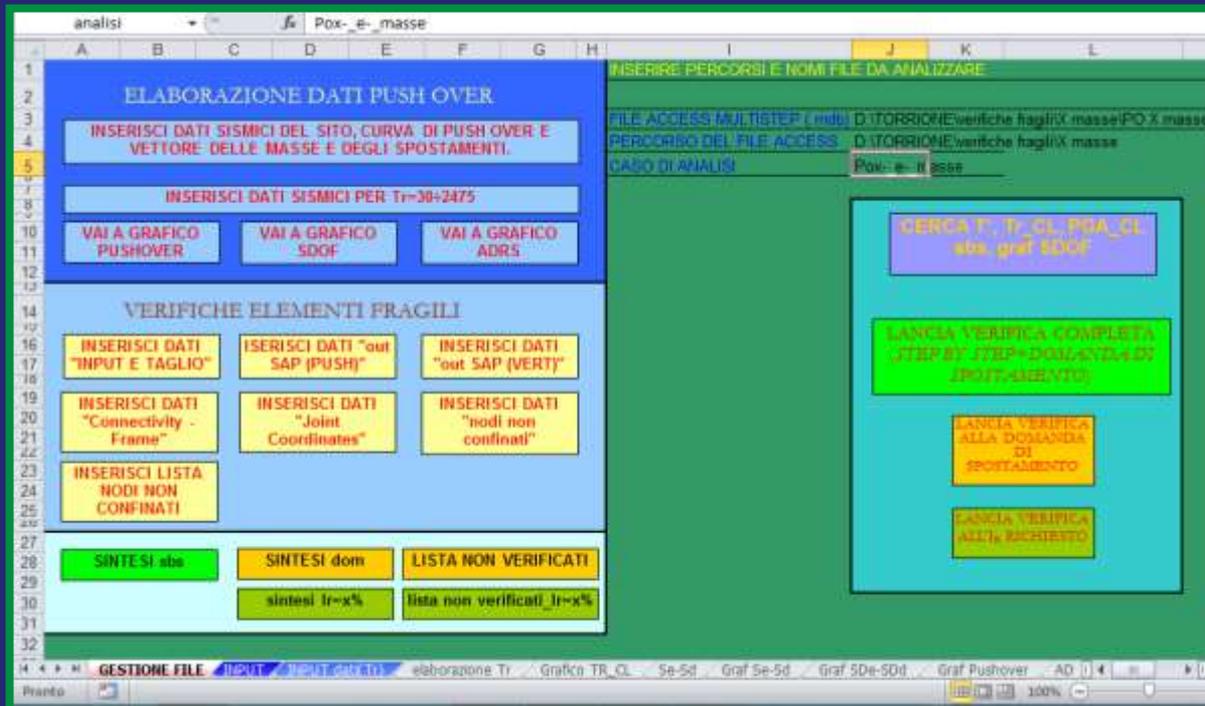
$PGA_{CLV} = a_{g_CLV} * S$, accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale che può essere sostenuta dall'edificio, relativa al T_{R_CLV} , amplificata dal fattore $S=S_S * S_T$.



$$PGA_{DLV} = \underline{\underline{L'Aquila = 0.261g}}$$

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Verifiche di sicurezza mediante post-processore EXCEL



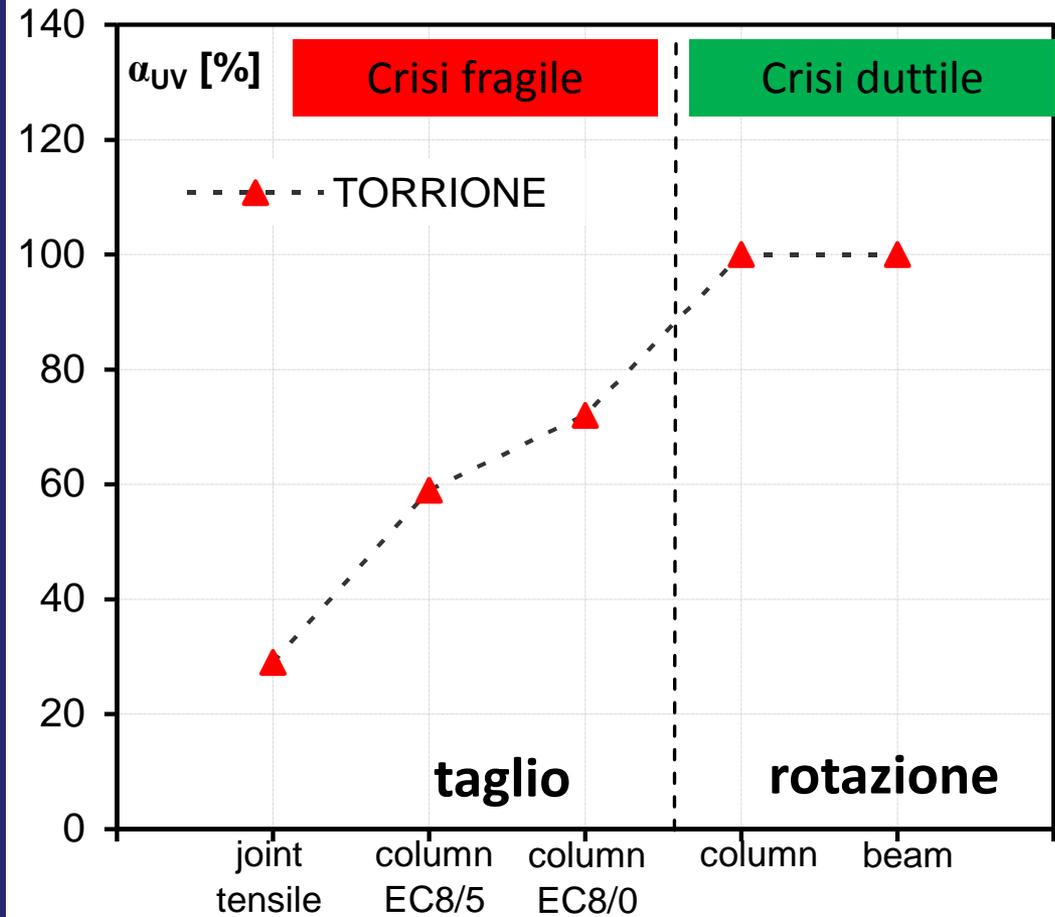
- Verifiche dei meccanismi di crisi fragile secondo NTC' 08 ed EC8 parte 3;
- Indicatore di rischio relativo ad ogni meccanismo di crisi attivabile (travi, pilastri e nodi);
- Schede di sintesi dei risultati ed elenco degli elementi non verificati.

Risultati delle analisi di valutazione sismica Torrione

Pushover



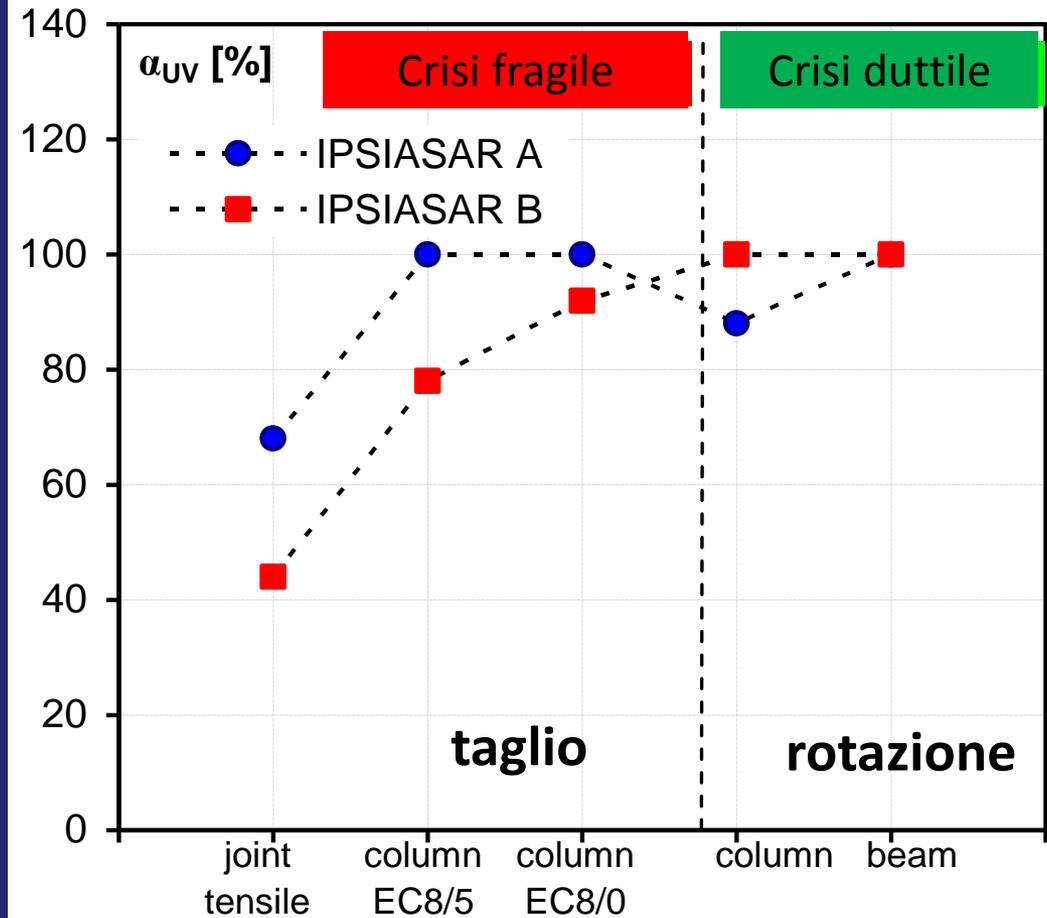
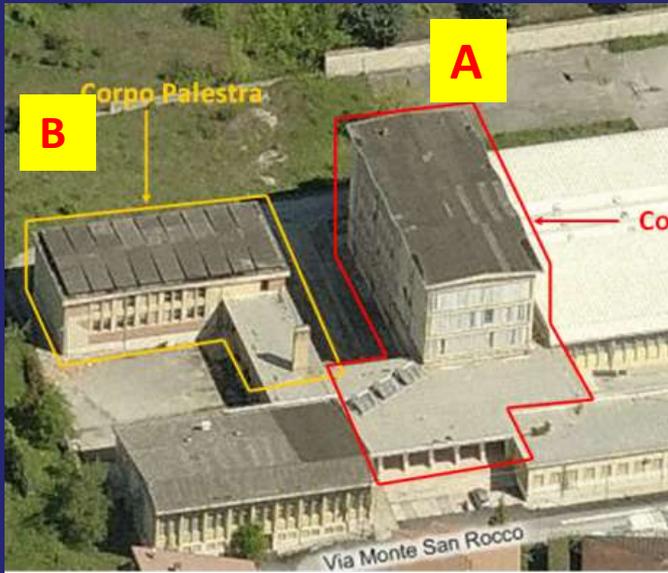
N. piani	3
f_{cm} [MPa]	14
f_{ym} [MPa]	320
Tipo di barre	lisce
Anno	1961



Risultati delle analisi di valutazione sismica

I.P.S.I.A.S.A.R.

Pushover



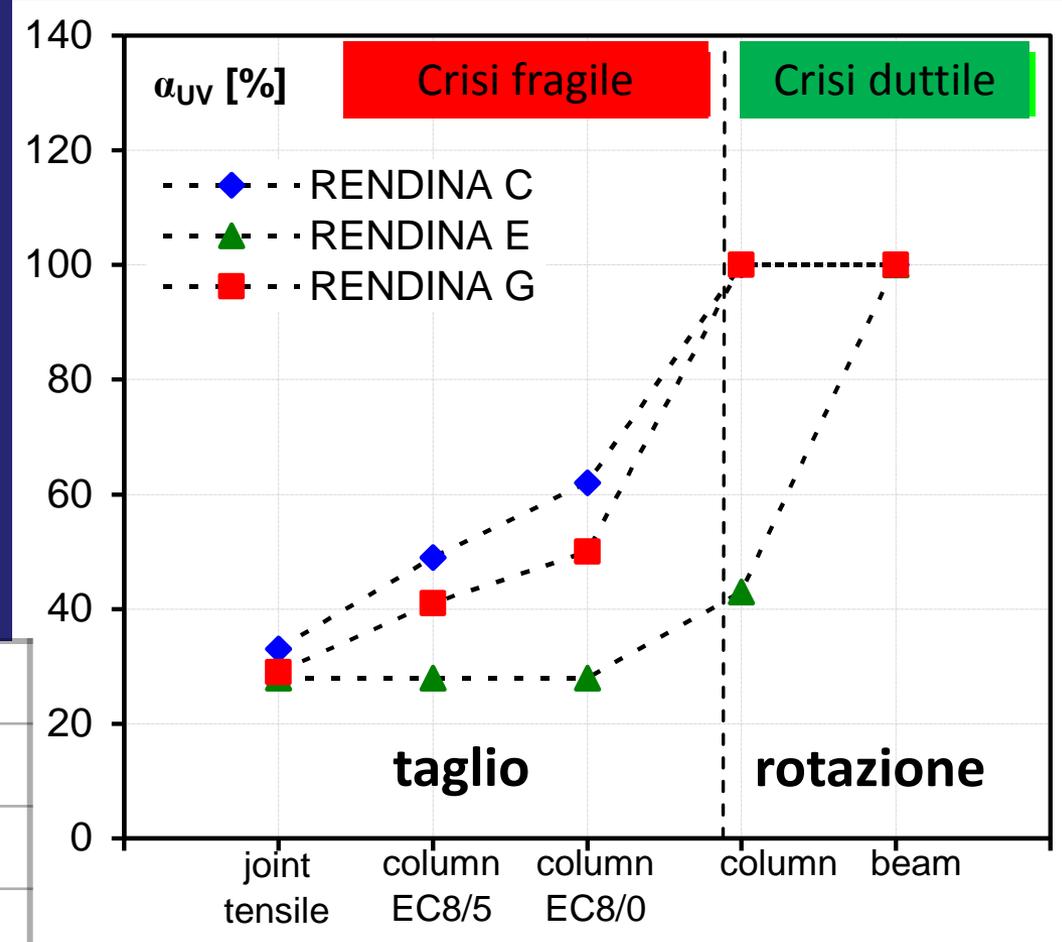
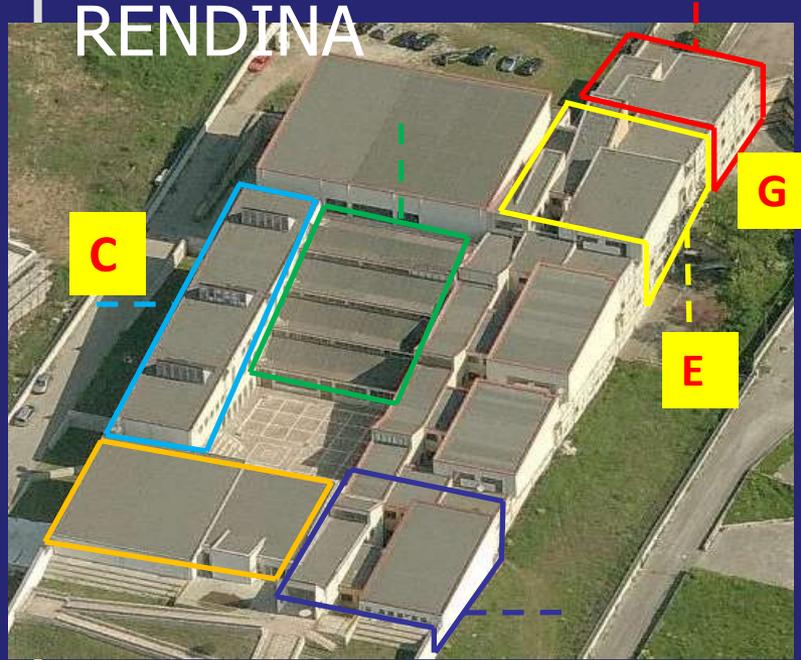
Edificio	A	B
N. piani	4	2
f_{cm} [MPa]	16.6	16.7
f_{ym} [MPa]	320	320
Tipo di barre	lisce	lisce
Anno	1969	1969



Risultati delle analisi di valutazione sismica

RENDINA

Pushover

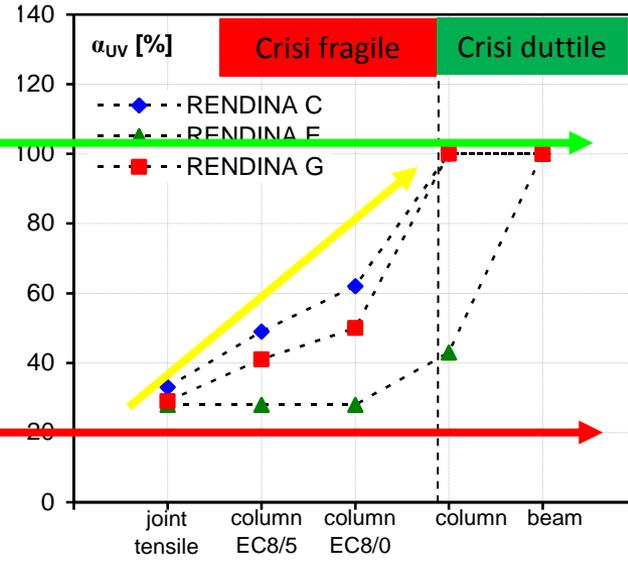
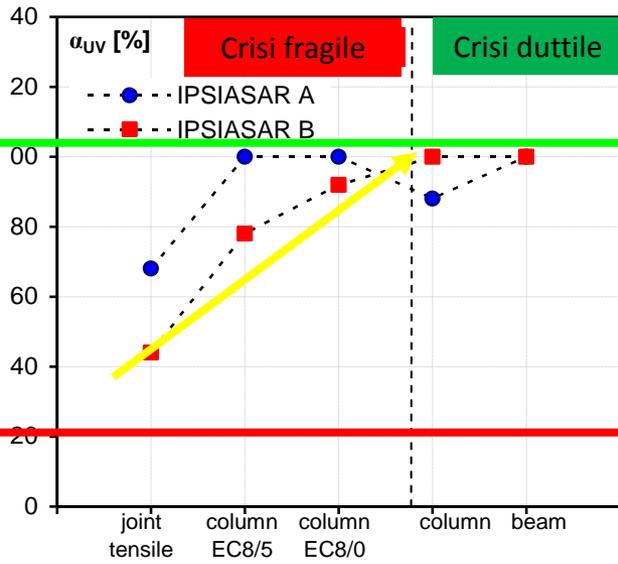
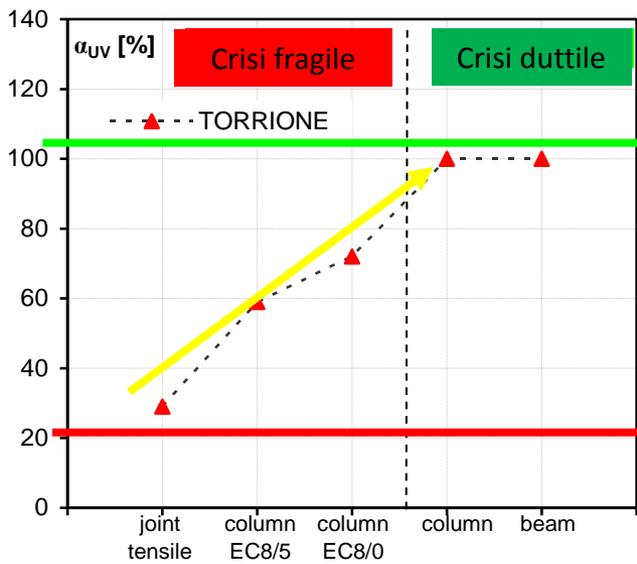


Edificio	C	E	G
N. Piani	4	4	3
f_{cm} [MPa]	33.3	21.4	23.5
f_{ym} [MPa]	480	375	375
Tipo di barre	Ad. m.	Ad. m.	Ad. m.
Anno	1999	1982	1982



Incremento della capacità sismica locale a seguito di interventi locali basati su tecniche di rinforzo con FRP

Pushover



Sanando i meccanismi di crisi fragile

Livello di sicurezza minimo

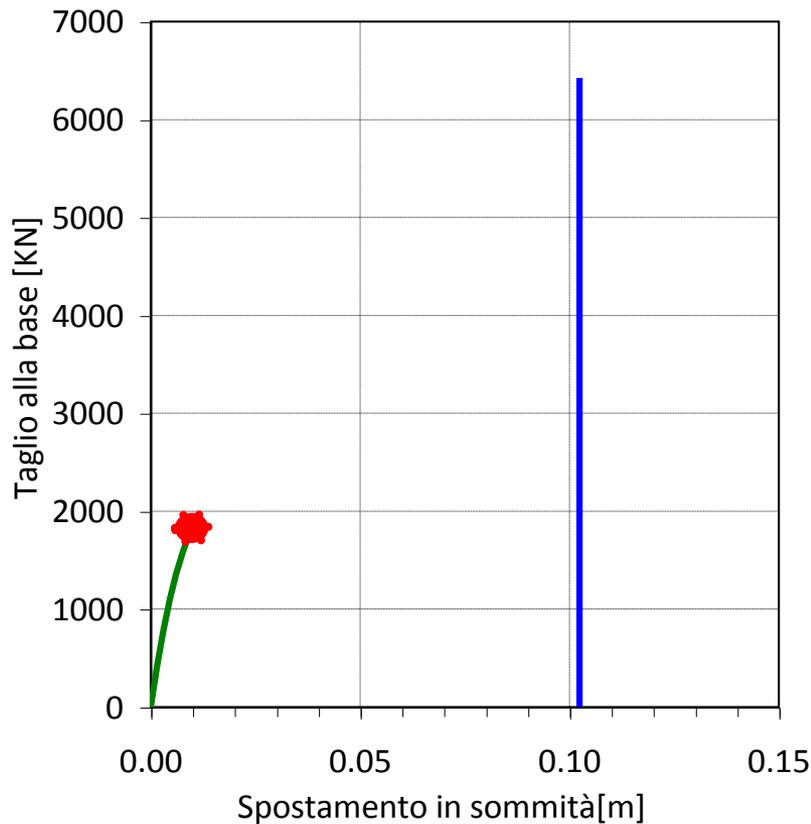
Adeguamento



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Risultati di analisi in termini di indice di rischio α_{UV}

Caso studio: scuola TORRIONE



★ Prima crisi a taglio delle travi

— Domanda di spostamento allo SLV



$$\alpha_{UV} = 26\%$$

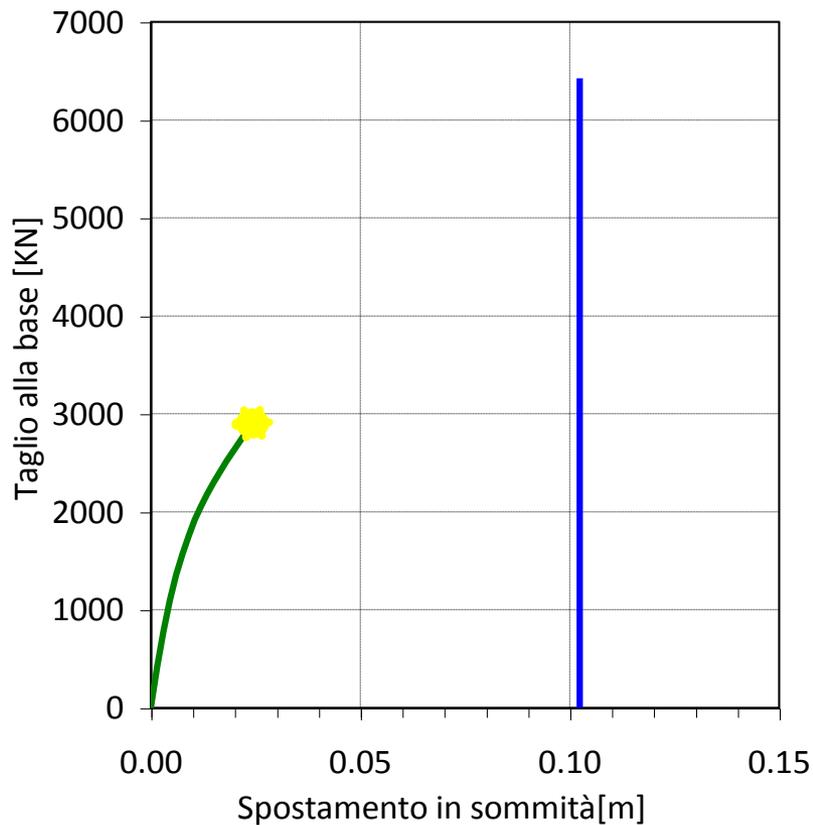
$$\alpha_{UV} = ?$$



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Risultati di analisi in termini di indice di rischio α_{UV}

Caso studio: scuola TORRIONE



★ Prima crisi a taglio del nodo

— Domanda di spostamento allo SLV



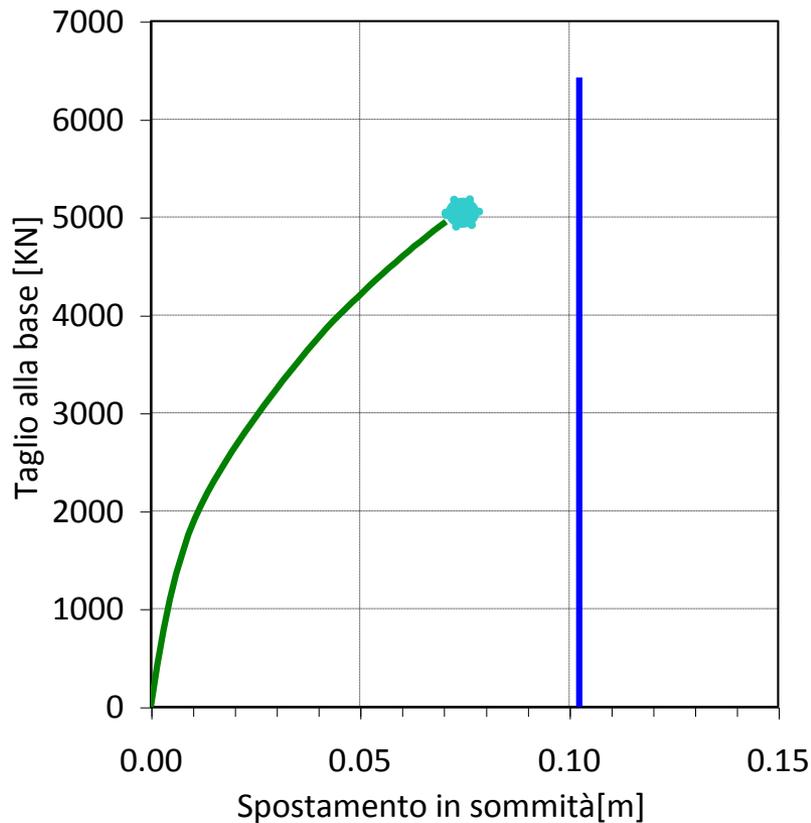
$$\alpha_{UV} = 29\%$$

$$\alpha_{UV} = ?$$

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Risultati di analisi in termini di indice di rischio α_{UV}

Caso studio: scuola TORRIONE



$\alpha_{UV} = 59\%$

★ Prima crisi a taglio dei pilastri

— Domanda di spostamento allo SLV



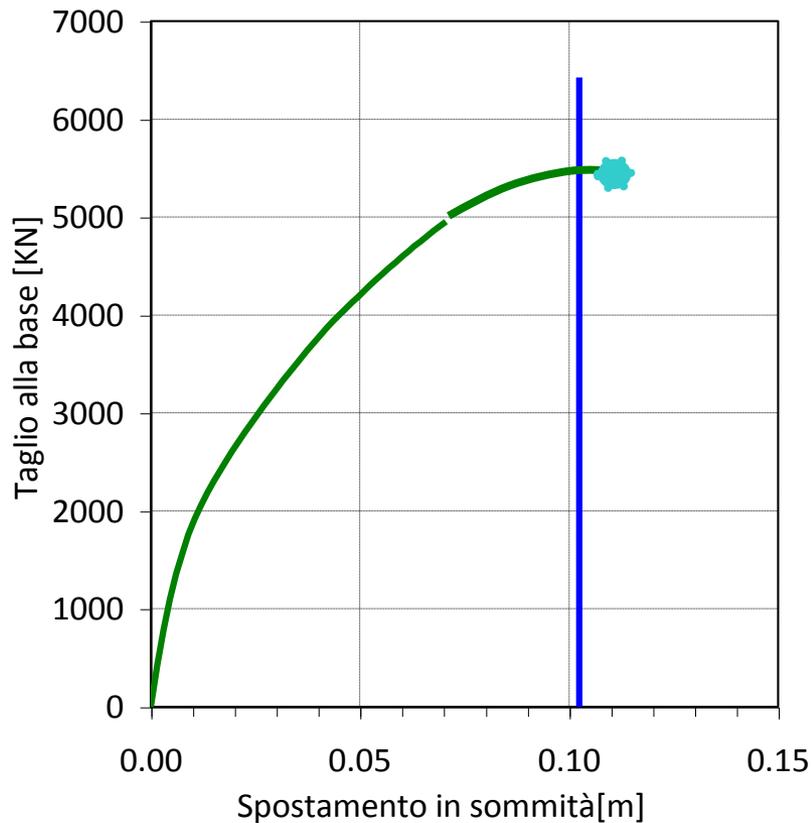
$\alpha_{UV} = ?$



VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Risultati di analisi in termini di indice di rischio α_{UV}

Caso studio: scuola TORRIONE



Capacità in termini di spostamento SLV

(formazione 1° cerniera plastica $3/4\theta_u$ o attivazione del meccanismo di piano)



Richiesta in termini di spostamento SLV

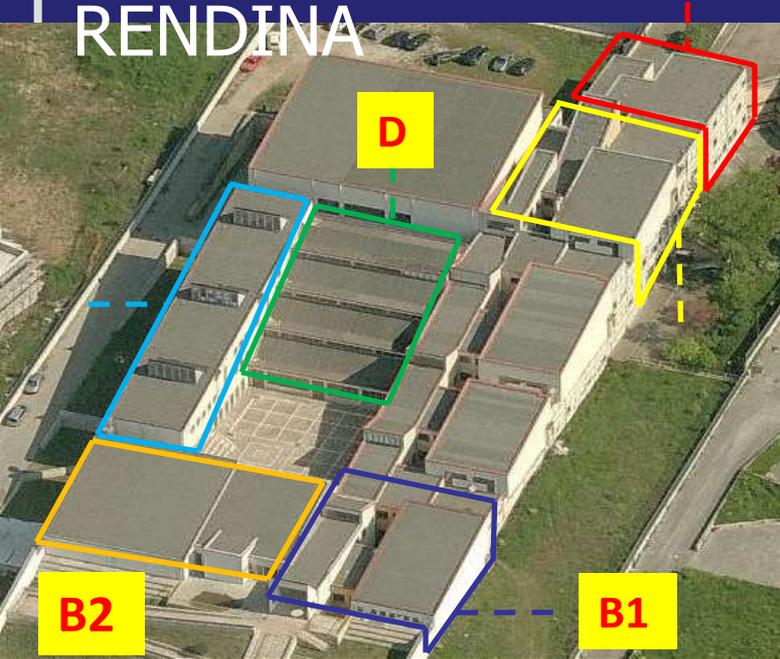
Rinforzando i soli elementi che presentano deficienze di resistenza a taglio si ottiene l'adeguamento sismico

$$\alpha_{UV} = 100\%$$

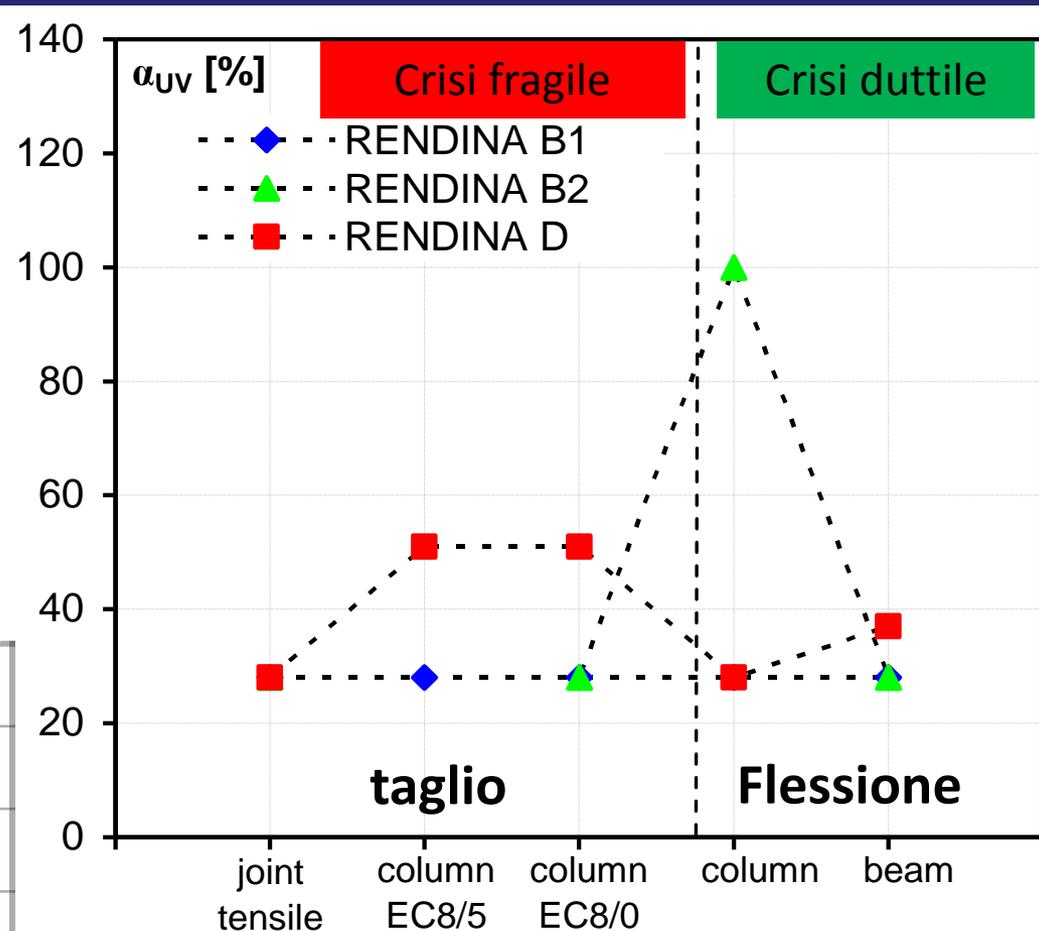
Risultati delle analisi di valutazione sismica

Linear Analysis

RENDINA



Edificio	B1	B2	D
N. piani	2	2	4
f_{cm} [MPa]	35.5	35.5	29.6
f_{ym} [MPa]	480	480	480
Tipo di barre	Ad. m.	Ad. m.	Ad. m.
Anno	1999	1999	1995



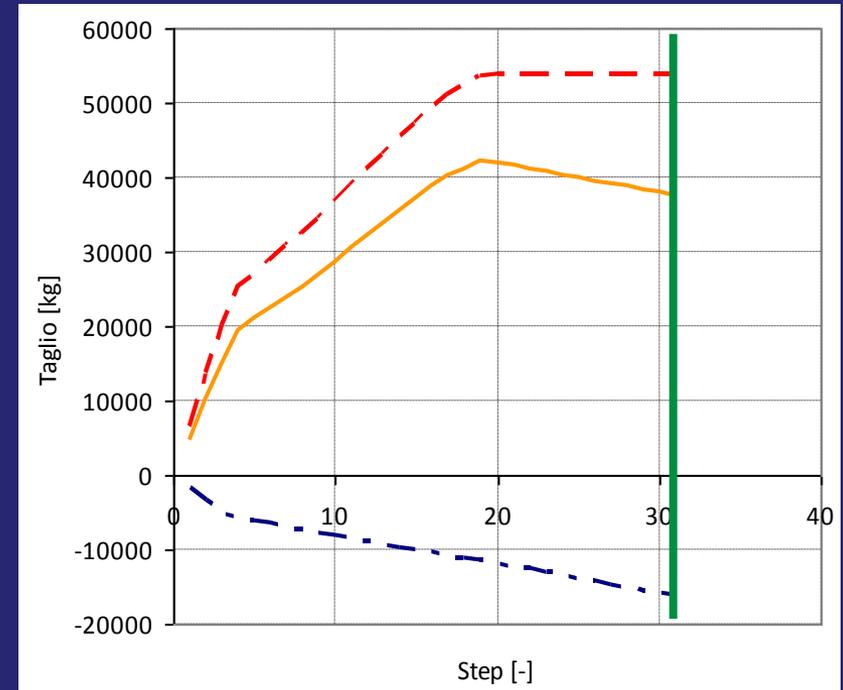
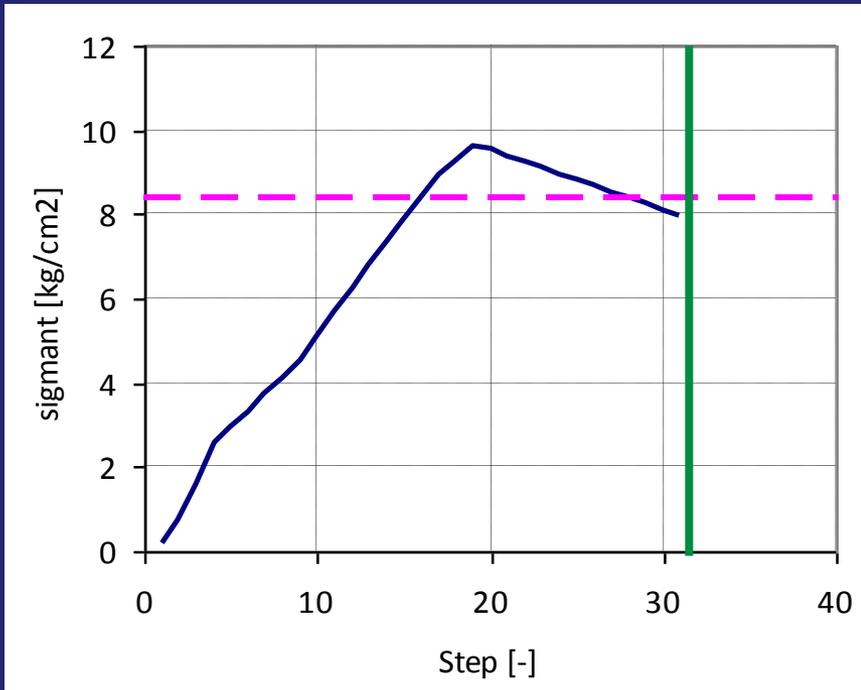
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Nodi trave-pilastro – problemi di verifica

Caso studio “Scuola TORRIONE”

- Massima tensione di trazione
- Andamento tensione di trazione
- Domanda di spostamento allo SLV

- Trazione nelle armature delle travi
- Taglio nel pilastro superiore
- Taglio agente sul pannello di nodo



ESEGUIRE LE VERIFICHE DI RESISTENZA SOLO PER LO SPOSTAMENTO DI DOMANDA PUÒ PORTARE AD ERRORI DI VALUTAZIONE.

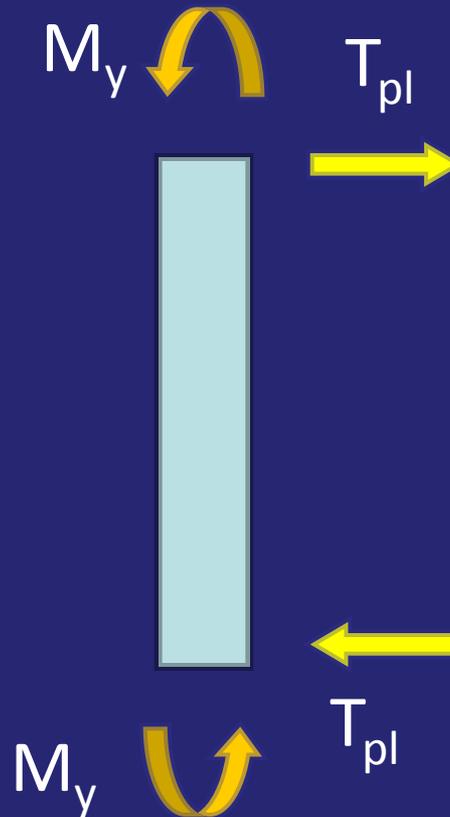
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Taglio pilastri – Sollecitazioni di calcolo

ANALISI DINAMICA
LINEARE CON FATTORE
DI STRUTTURA q :

NTC 2008 §C8.7.2.4

Per gli
elementi/meccanismi
“fragili” il fattore di
struttura vale $q=1,5$



$$T_{pl} < T_{sd} (q=1,5)$$

**IL TAGLIO DERIVANTE DALL'ANALISI DINAMICA LINEARE CON
FATTORE DI STRUTTURA PUÒ RISULTARE MAGGIORE DI QUELLO
DERIVANTE DALL'EQUILIBRIO PLASTICO**

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Modelli di capacità a taglio NTC '08 - EC8 parte 3

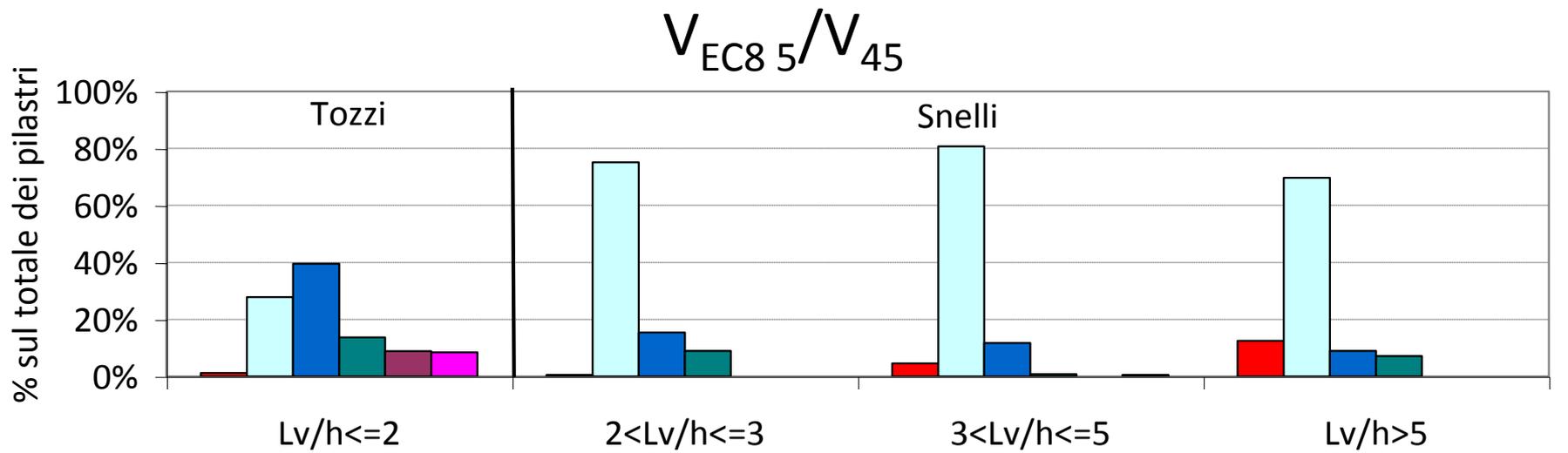
NTC '08

Inclinazione della
biella compressa

$$\theta = 45^\circ$$

EC8 parte 3

Degrado ciclico
massimo $\mu_{\Delta}^{pl} = 5$

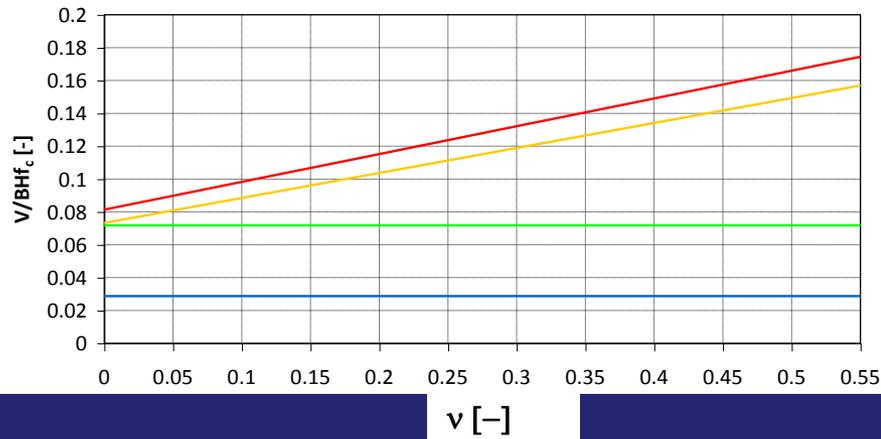


■ <1 ■ 1÷3 ■ 3÷5 ■ 5÷7 ■ 7÷9 ■ 9÷16

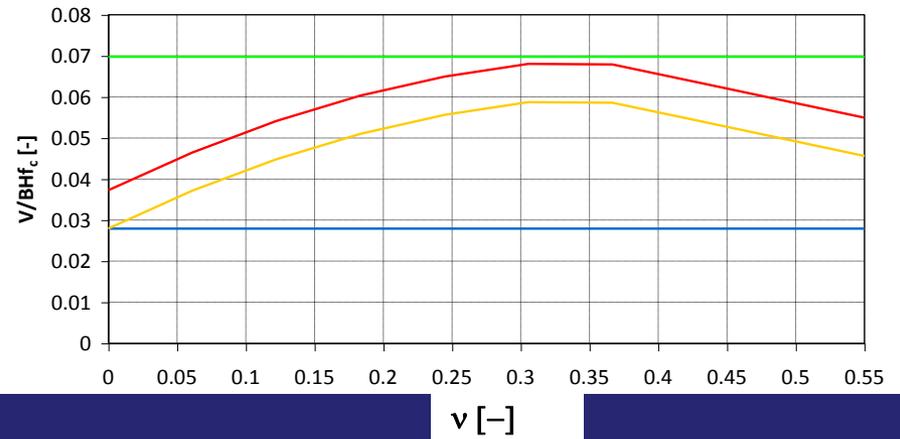
VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA DI 3 SCUOLE DI L'AQUILA

Modelli di capacità a taglio NTC '08 - EC8 parte 3

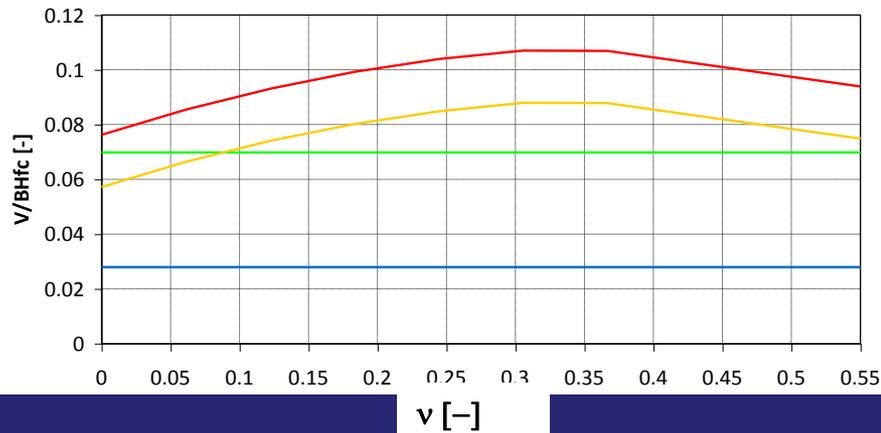
$L_v/h=2$, $\omega_{sw}=0,03$ e $\rho_{tot}=1\%$



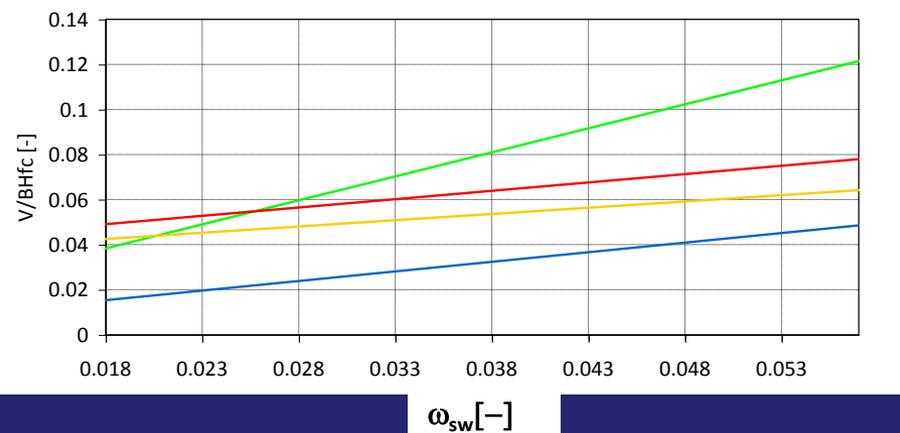
$L_v/h=4$, $\omega_{sw}=0,03$ e $\rho_{tot}=1\%$



$L_v/h=4$, $\omega_{sw}=0,03$ e $\rho_{tot}=4\%$



$L_v/h=4$, $v=0,18$ e $\rho_{tot}=1\%$



— V, 45 — V, NTC — V, EC8 5 — V, EC8 0

CONCLUSIONI

- I. Le analisi sui 9 corpi di fabbrica hanno mostrato che i valori minimi degli indicatori di rischio sono sempre stati riscontrati con riferimento a crisi fragili a taglio su elementi nodi, travi e pilastri;
- II. I meccanismi di crisi duttile presentano i minimi valori degli indicatori di rischio per i casi in cui si è eseguita un'analisi dinamica lineare;
- III. Risolvendo per step successivi le problematiche legate ai meccanismi fragili si può passare da un $\alpha_{UV}=26\%$ ad $\alpha_{UV}=100\%$.
- IV. La domanda di sollecitazione di taglio per i pilastri è sovrastimata nel caso di analisi dinamica lineare con fattore di struttura ($q=1,5$). La capacità a taglio di travi e pilastri è fortemente influenzata del modello di resistenza adottato (NTC 2008, EC8 parte 3);
- V. Le verifiche di resistenza dei nodi vanno eseguite non solo per lo spostamento di domanda ma per spostamenti crescenti.

Grazie per l'attenzione.