



Università degli Studi della Basilicata

Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata

Valutazione della sicurezza di edifici esistenti in c.a.: confronto tra i risultati di diversi metodi di analisi previsti da EC8-3

Angelo Masi, Marco Vona, Vincenzo Manfredi

obiettivi

selezione delle
tipologie

analisi parametriche

modello di calcolo

metodi di analisi

meccanismi di rottura

risultati ASNL-ADL

conclusioni



OBIETTIVI

valutazione comparativa con *METODI DI ANALISI* previsti da EC8-3
al variare dei *PARAMETRI DI CALCOLO* applicati a *TELAI IN C.A.* di
strutture esistenti *PROGETTATE A SOLI CARICHI VERTICALI*

METODI DI ANALISI

- statica NON lineare (ASNL)
- dinamica lineare (ADL)

PARAMETRI NON TIPOLOGICI

- resistenza del calcestruzzo (f_c)
- livello di conoscenza (LC)
- fattore di struttura (q)

PARAMETRI TIPOLOGICI

- numero di piani in elevazione
- presenza e disposizione delle tamponature

TELAI IN C.A.

progetto simulato con tecniche e
materiali degli anni '70

obiettivi

selezione
delle tipologie

analisi
parametriche

modello di
calcolo

metodi di
analisi

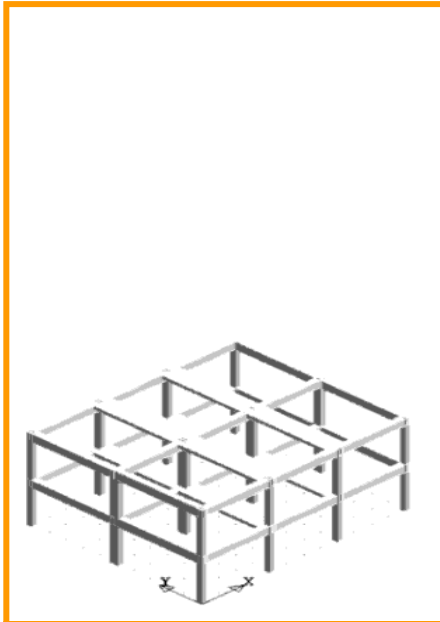
meccanismi
di rottura

risultati
ASNL-ADL

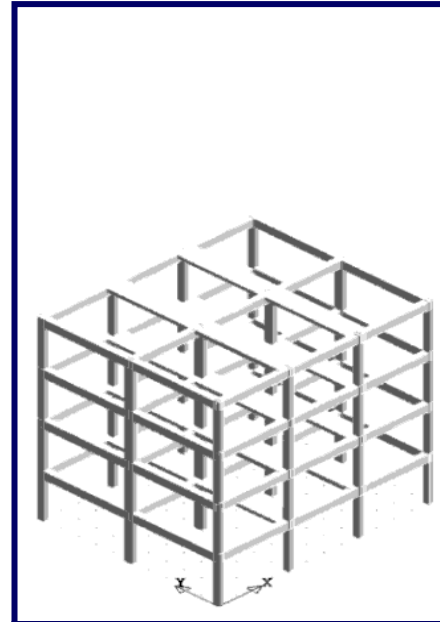
conclusioni

SELEZIONE DELLE TIPOLOGIE

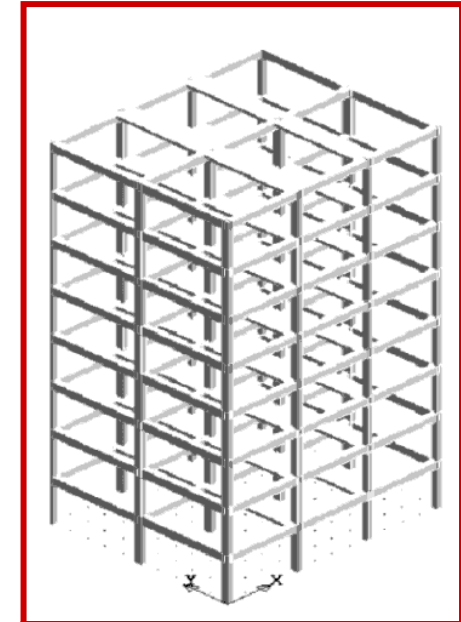
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



TELAI 2 PIANI
(*low-rise*)

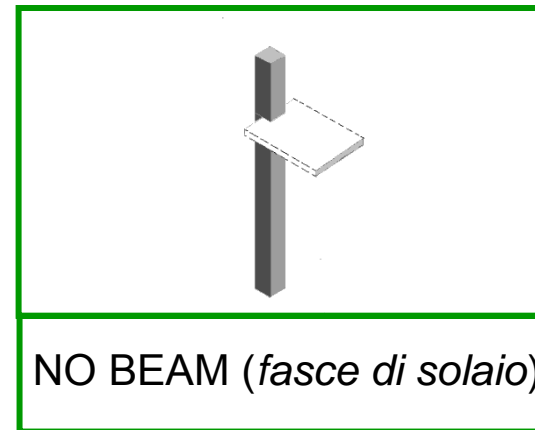
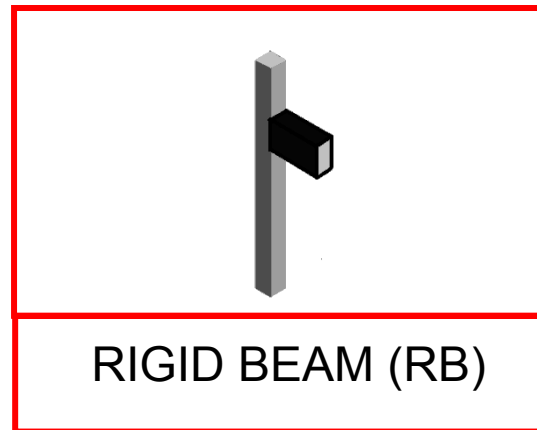
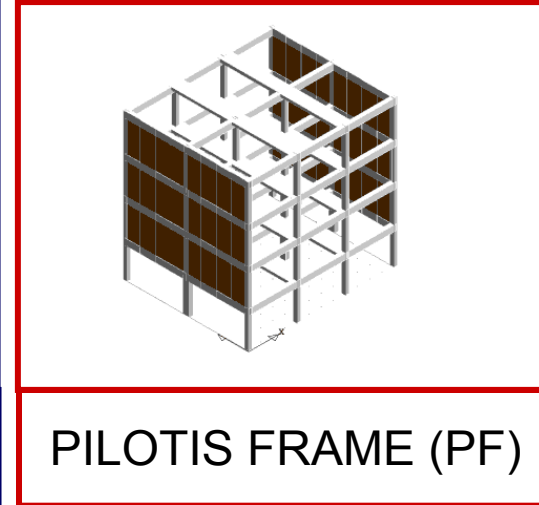
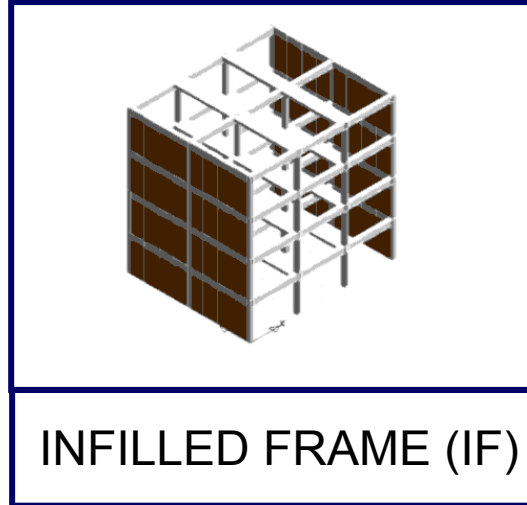
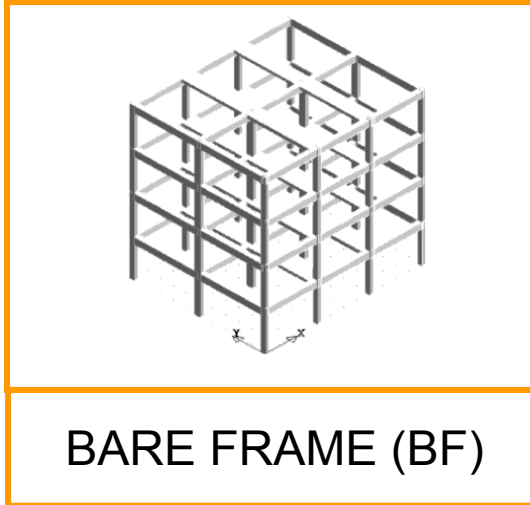


TELAI 4 PIANI
(*mid-rise*)



TELAI 8 PIANI
(*high-rise*)

SELEZIONE DELLE TIPOLOGIE



- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



ANALISI PARAMETRICHE

Stato Limite

SL Danno Severo

SL Danno Severo

Metodo di Verifica

Analisi Statica NON Lineare

Analisi Dinamica Lineare
con spettro di risposta

Parametri di analisi

resistenza del cls
 f_c 28 - 18 - 10N/mm²

livello di conoscenza (LC)
LC1 LC2 LC3

intensità sismica (ag)
0.35g - 0.25g - 0.15g - 0.05g

fattore di struttura
 $q = 1.5 - 2 - 2.5 - 3$

Verifica (D/C)

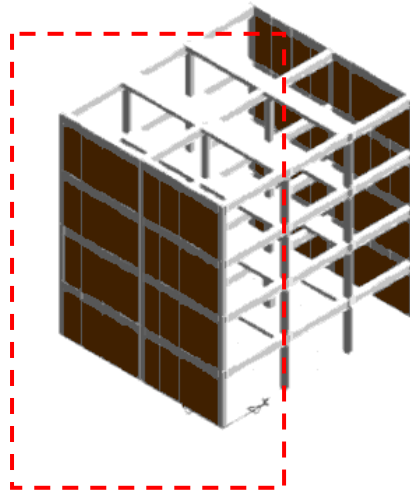
rotazioni/sollecitazioni

sollecitazioni

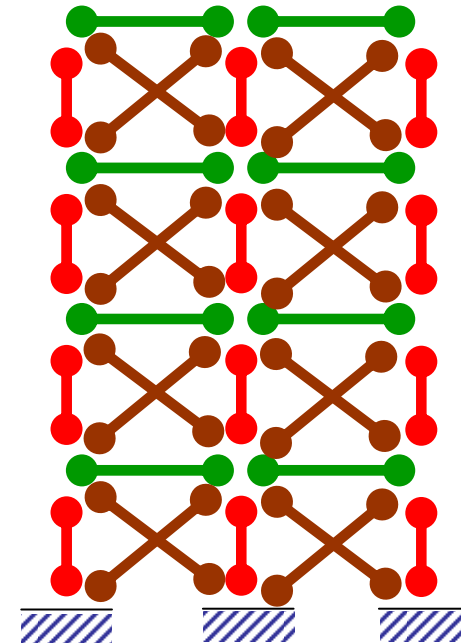
obiettivi
selezione delle tipologie
analisi parametriche
modello di calcolo
metodi di analisi
meccanismi di rottura
risultati ASNL-ADL
conclusioni

MODELLO DI CALCOLO

schema reale



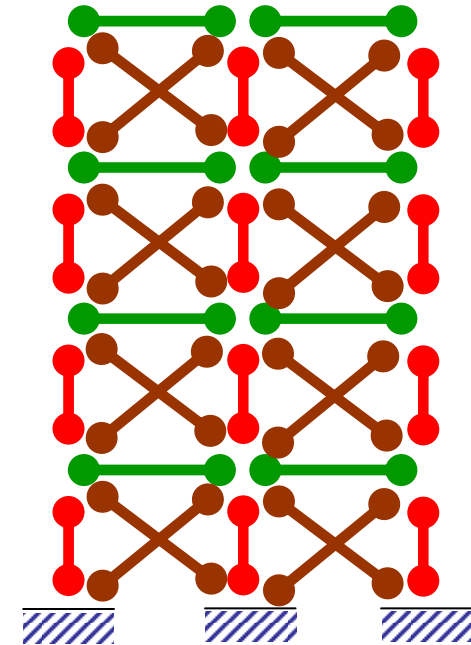
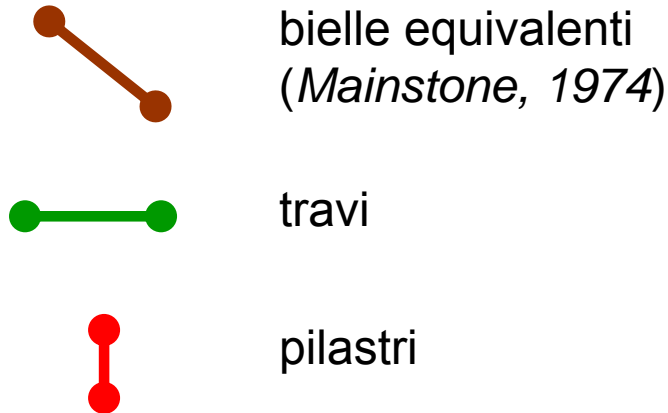
modello di calcolo



- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo**
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

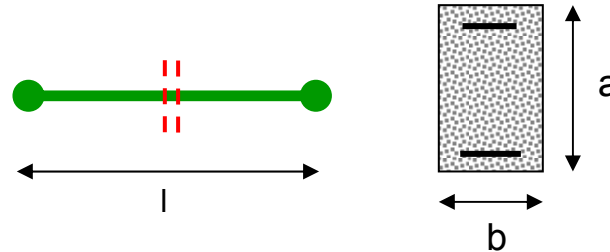
MODELLO DI CALCOLO

elementi "FRAME" - SAP2000 -



- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo**
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

MODELLO DI CALCOLO



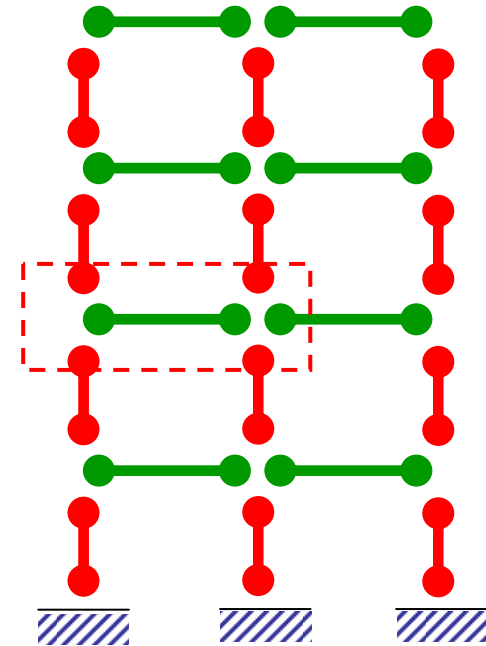
modulo elastico

$$E_{cm} = 9500 \sqrt[3]{f_{cm}}$$

resistenze **medie** dei materiali

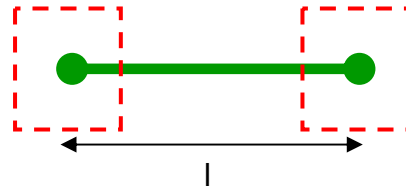
cls: $f_{cm} = 10 \div 18 \div 28 \text{ N/mm}^2$

acciaio: $f_{ym} = 400 \text{ N/mm}^2$

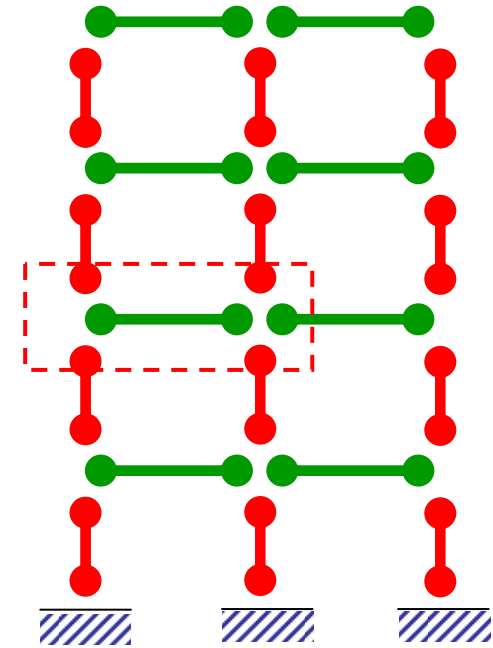
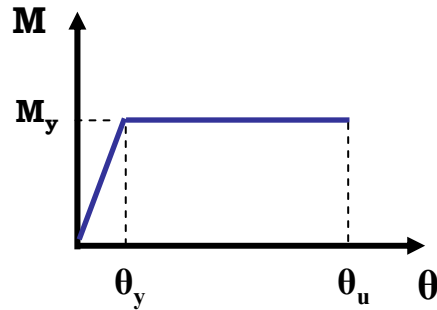


MODELLO DI CALCOLO

elementi trave – pilastro (ASNL)



cerniera plastica a flessione



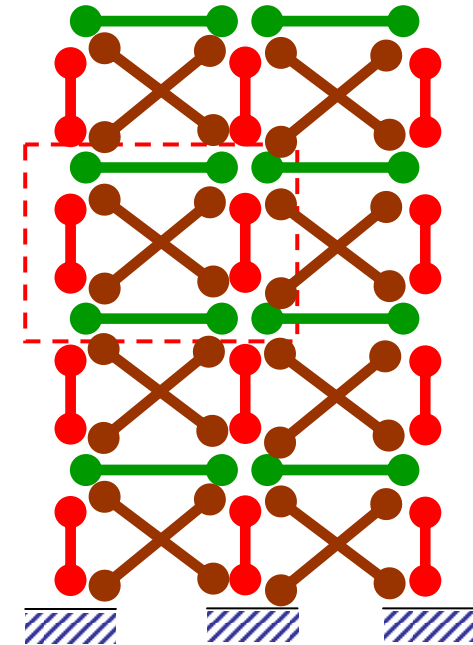
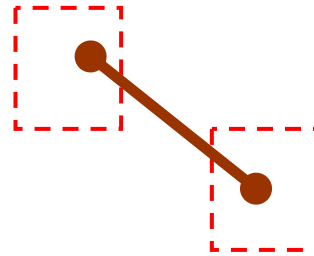
resistenze di calcolo

$$f_d = f_m / FC(LC)$$

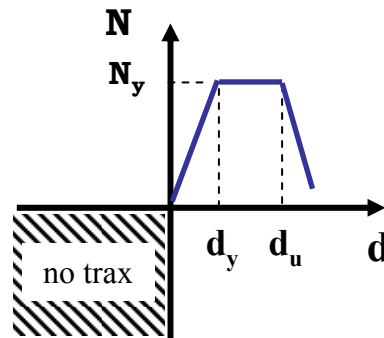
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

MODELLO DI CALCOLO

elementi bielle di tamponature
(ASNL)



cerniera plastica a compressione



- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

MODELLO DI CALCOLO



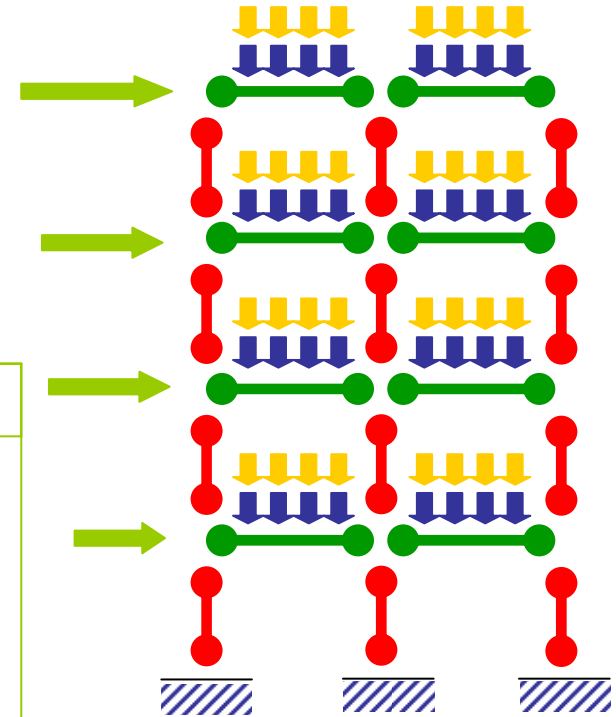
azione variabile (Q_k)



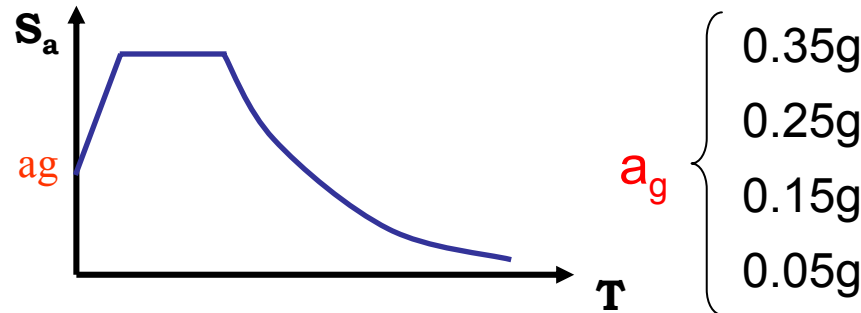
azione permanente (G_k)



azione sismica (E)



spettro elastico **OPCM3274** – suolo cat. B,C,D

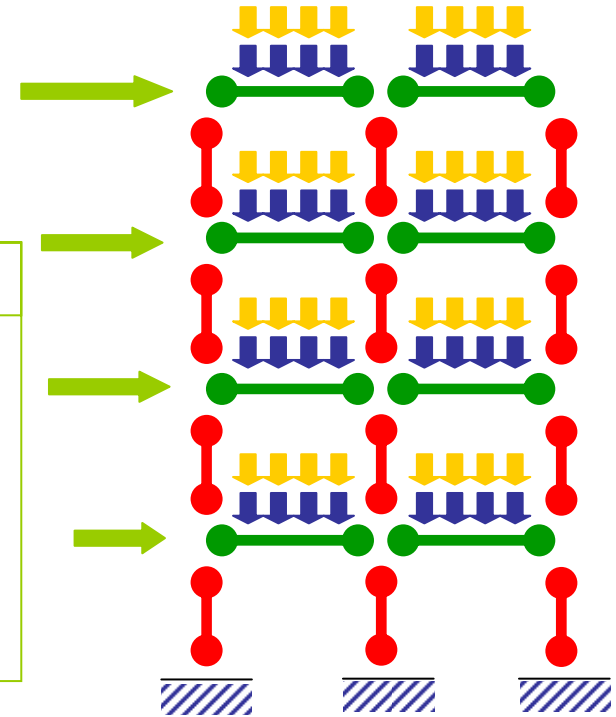
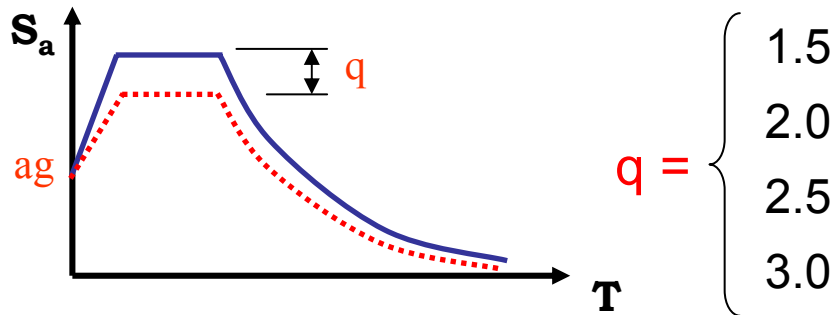


combinazione delle azioni (SLU): $E + G_k + 0.3 Q_k$

METODI DI ANALISI

ANALISI DINAMICA LINEARE (ADL) CON SPETTRO DI RISPOSTA

spettro elastico ridotto con fattore "q"

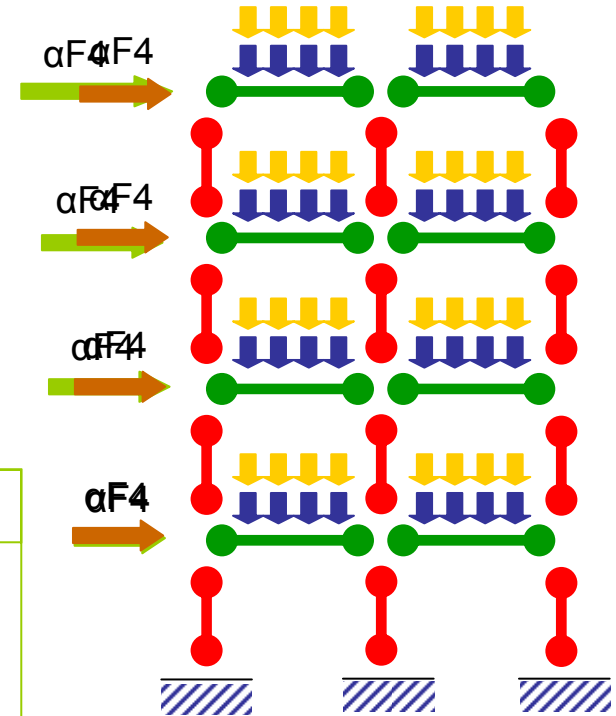


- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

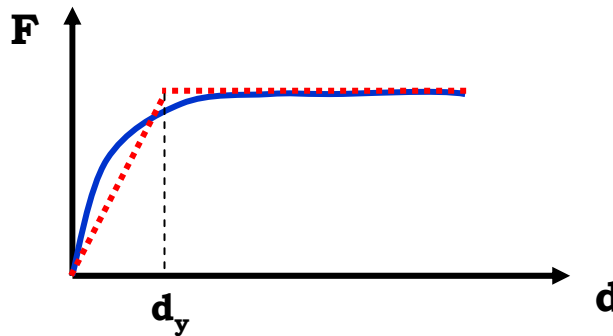
METODI DI ANALISI

ANALISI STATICA NON LINEARE (ASNL) (PUSH-OVER)

- distr. proporzionale alla masse di piano
- distr. proporzionale al 1° modo di vibrare



push-over e curva bilatera equivalente



- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



CLASSIFICAZIONE ELEMENTI E MECCANISMI RESISTENTI

Ai fini delle verifiche di sicurezza gli elementi ed i meccanismi resistenti sono classificati in:

- ▶ **“duttili”**: travi, pilastri e pareti inflesse con e senza sforzo normale;
- ▶ **“fragili”**: meccanismi di taglio in travi, pilastri e pareti ed i nodi;

In caso di pilastri soggetti a valori di **sforzo normale** particolarmente **elevato** va presa in considerazione la **possibilità di comportamento fragile**.

obiettivi

selezione
delle tipologie

analisi
parametriche

modello di
calcolo

metodi di
analisi

**meccanismi
di rottura**

risultati
ASNL-ADL

conclusioni



TAGLIO RESISTENTE

da EC8-3, p.to A.3.2

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left\{ \frac{h-x}{2L_V} \min(N; 0.55A_c \frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC}) + (1 - 0.05 \min(5; \mu_{rich}^{pl})) \cdot \left[0.16 \max(0.5; 100p_{tot}) (1 - 0.16 \min(5; \frac{L_V}{h})) \sqrt{\frac{f_{cm}}{\gamma_c \cdot FC}} A_c + V_w \right] \right\}$$

contributo sforzo
normale N

contributo meccanismi
resistenti cls

contributo
acciaio

$$\mu_{rich}^{pl} = \mu_{rich} - 1 = \frac{\theta_{rich} - \theta_y}{\theta_y}$$

rapporto di duttilità di
rotazione

$$\mu_{rich}^{pl} < 0 \Rightarrow V_R (\mu_{rich}^{pl} = 0) = V_{R0}$$

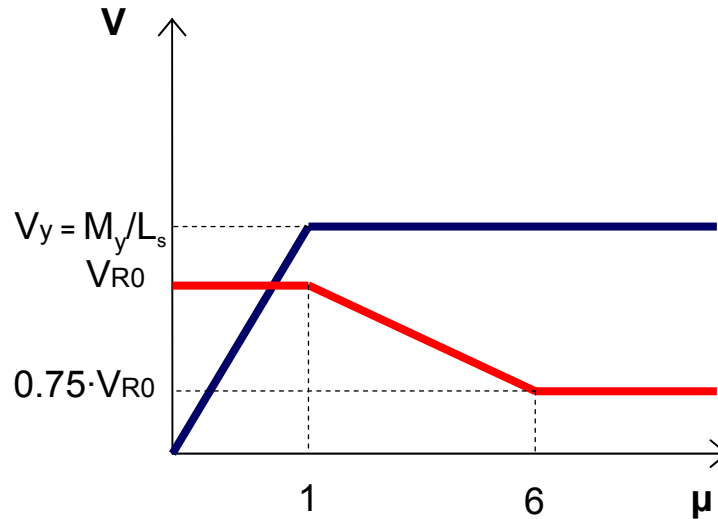
$$\mu_{rich}^{pl} > 5 \Rightarrow V_R (\mu_{rich}^{pl} = 5) = 0.75 \cdot V_{R0}$$

$$0 < \mu_{rich}^{pl} < 5 \Rightarrow 0.75 \cdot V_{R0} < V_R < V_{R0}$$

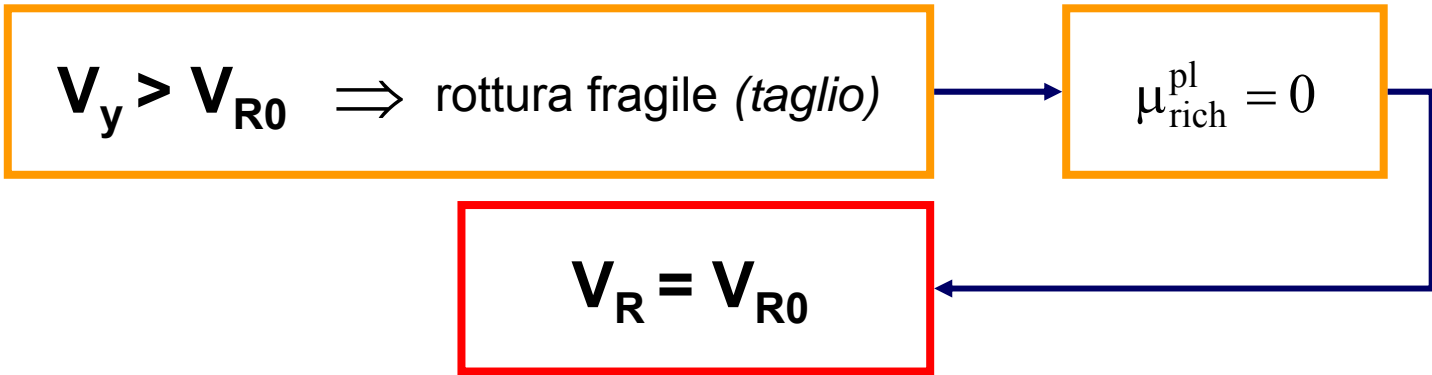
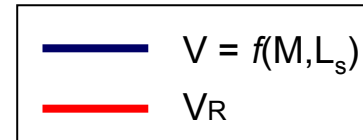
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



MECCANISMO DI ROTTURA FRAGILE



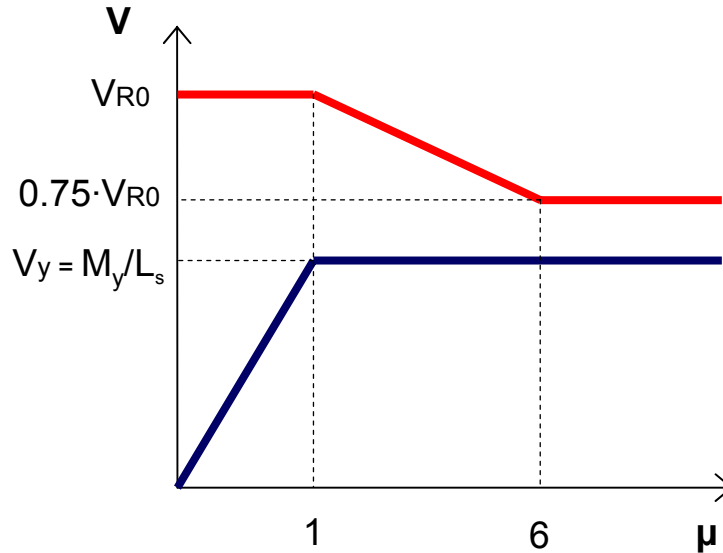
$$\mu_{rich}^{pl} = \mu_{rich} - 1 = \frac{\theta_{rich} - \theta_y}{\theta_y}$$



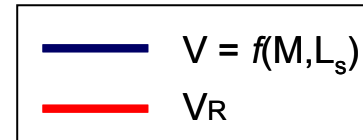
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



MECCANISMO DI ROTTURA DUTTILE



$$\mu_{rich}^{pl} = \mu_{rich} - 1 = \frac{\theta_{rich} - \theta_y}{\theta_y}$$



$$V_y < 0.75 \cdot V_{R0} \Rightarrow \text{rottura duttile (flessione)}$$

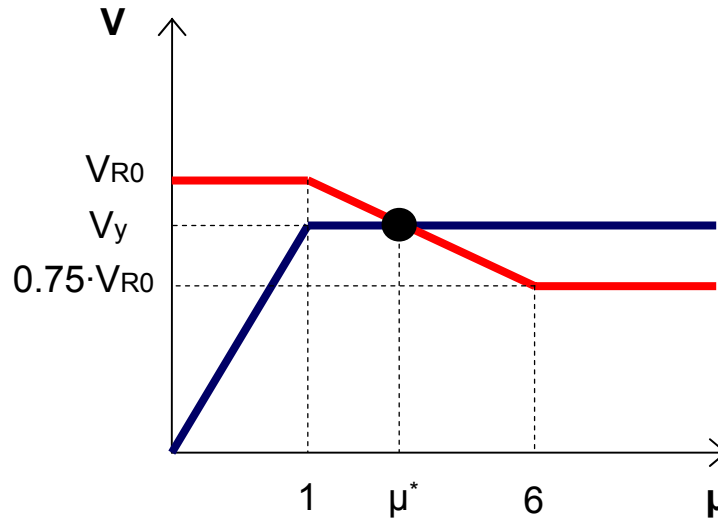
$$\mu_{rich}^{pl} \leq 5$$

$$V_R = 0.75 \cdot V_{R0}$$

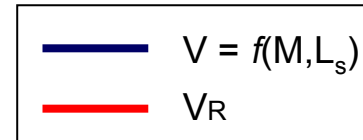
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



MECCANISMO DI ROTTURA PER TAGLIO "DUTTILE"



$$\mu_{rich}^{pl} = \mu_{rich} - 1 = \frac{\theta_{rich} - \theta_y}{\theta_y}$$



$V_{R0} < V_y < 0.75 \cdot V_{R0} \Rightarrow$ rottura per **taglio** "duttile"

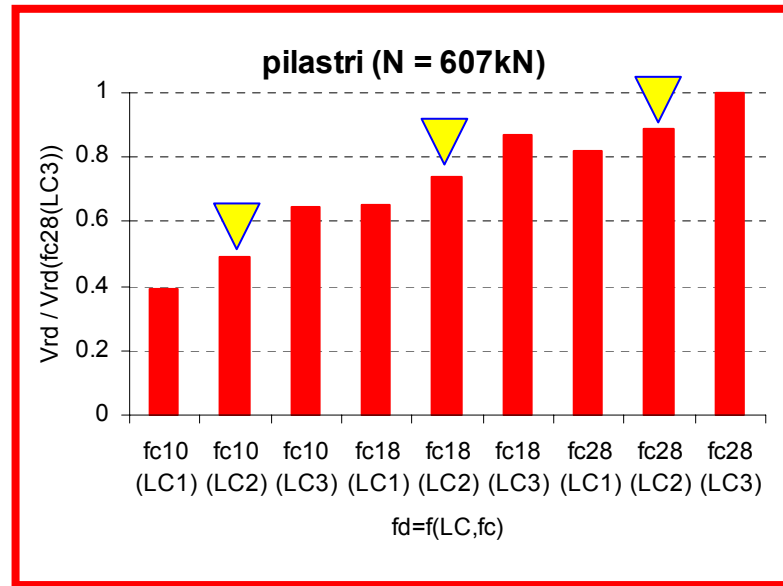
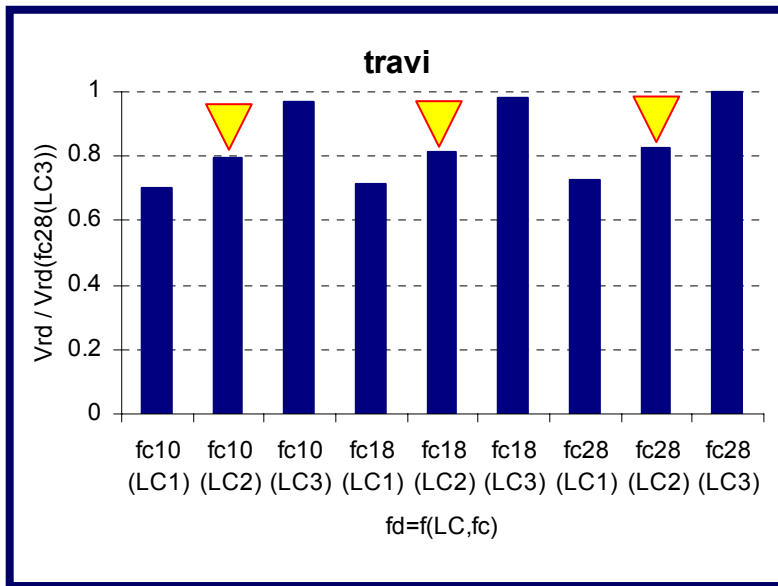
$$\mu_{rich}^{pl} = \mu^* - 1$$

$$V_R = f(\mu_{rich}^{pl})$$

- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura**
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

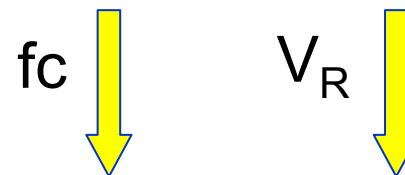


TAGLIO RESISTENTE



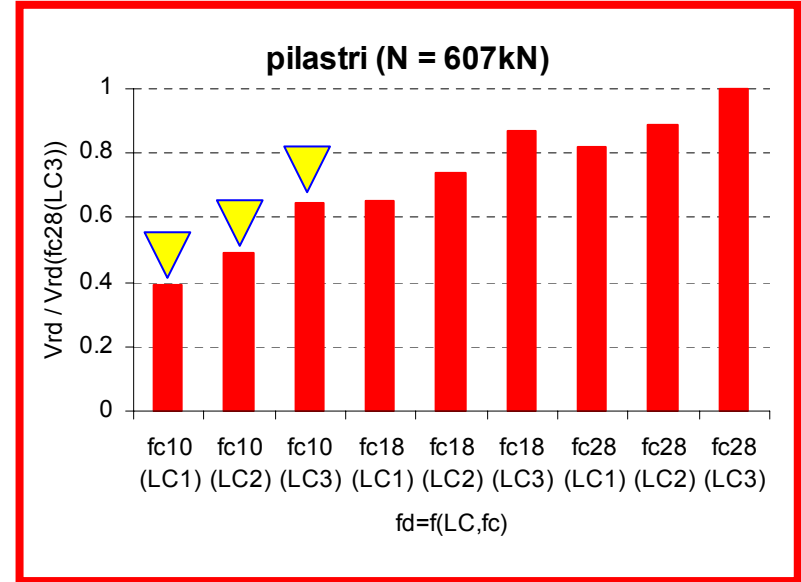
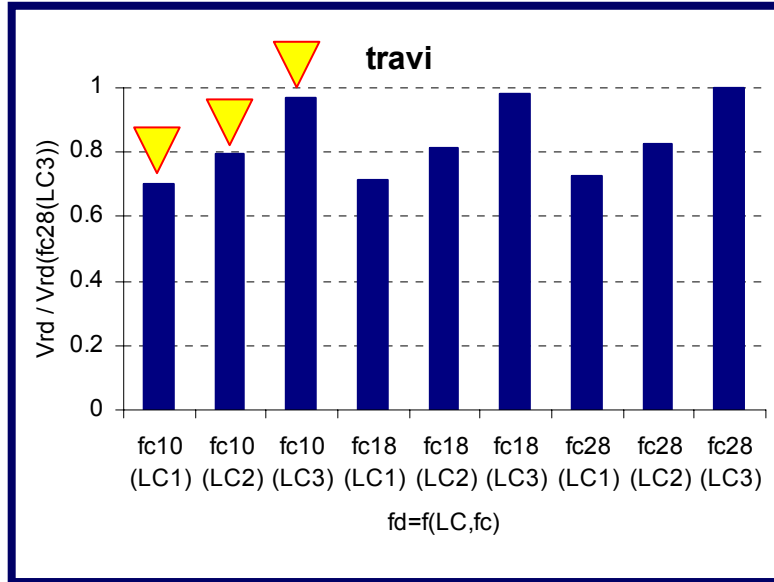
trave (LC = cost)

pilastro (LC = cost)



- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

TAGLIO RESISTENTE



trave (fc = cost)

pilastro (fc = cost)

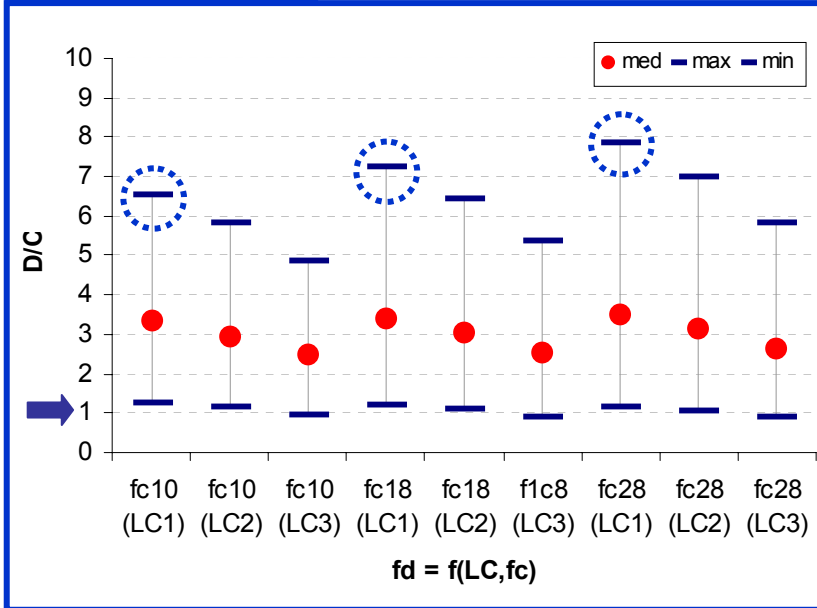


- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

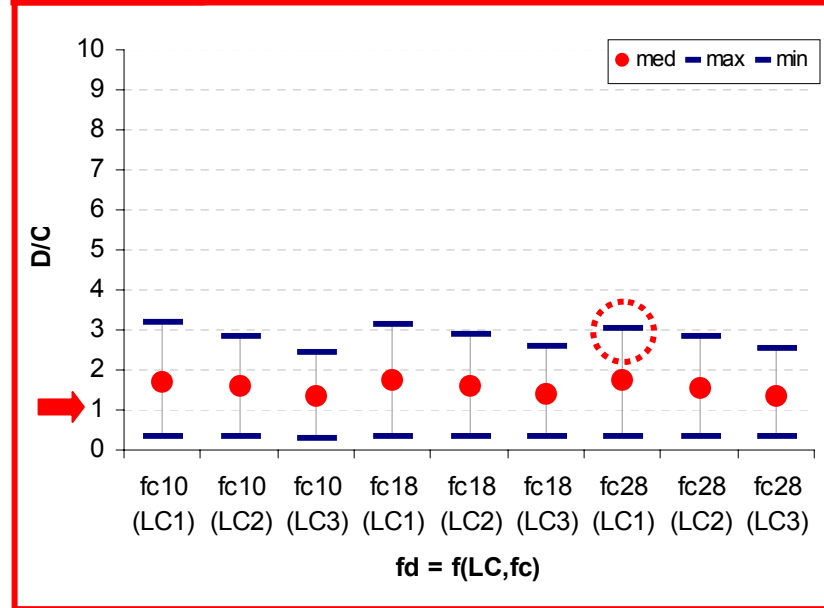
RISULTATI ADL - ASNL

- telaio 4s_BF, Zona Sismica 1, elementi trave -

ADL (q = 3)



ASNL



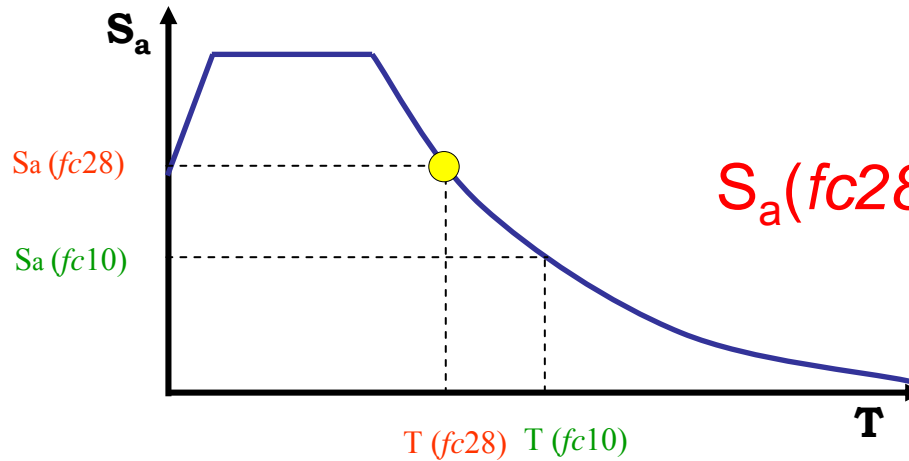
$$D/C_{\max}(\text{fc28}) > D/C_{\max}(\text{fc10})$$

$$D/C_{\max}(\text{ADL}) > D/C_{\max}(\text{ASNL})$$

- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

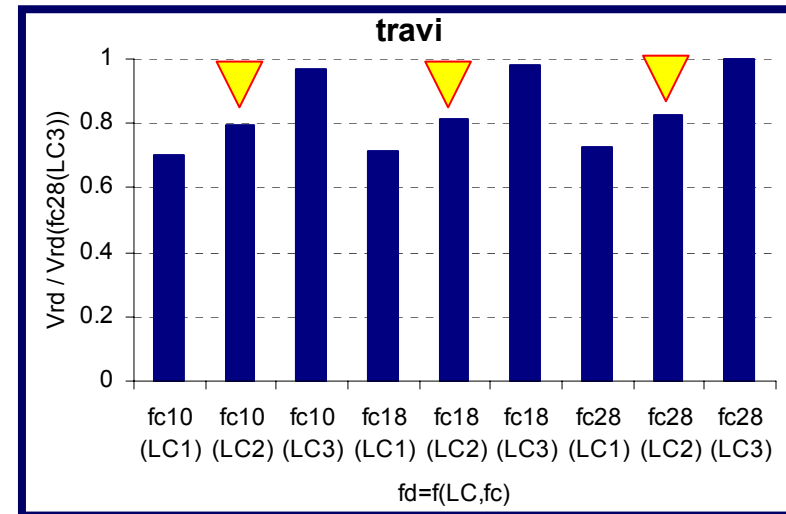


RISULTATI ADL - ASNL



$$S_a(fc28) > S_a(fc10)$$

$$V_R(fc28) \approx V_R(fc10)$$



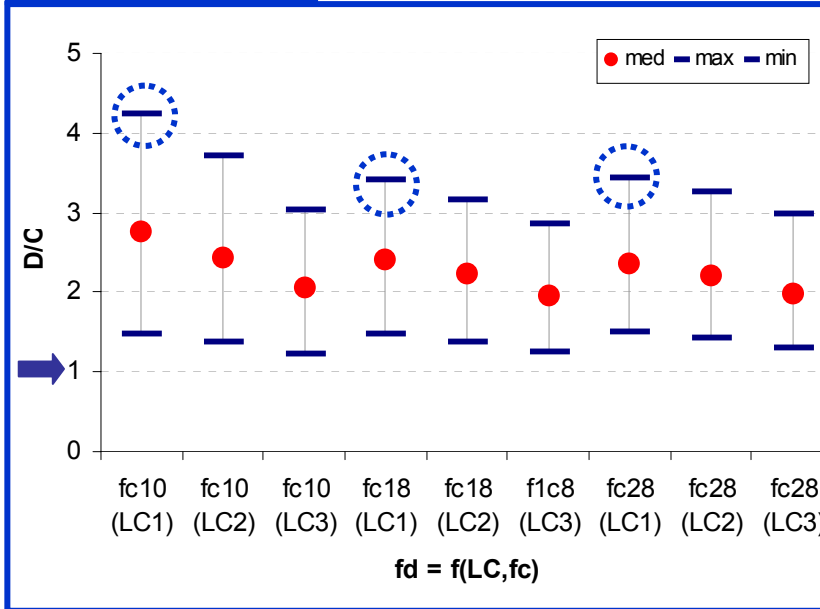
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



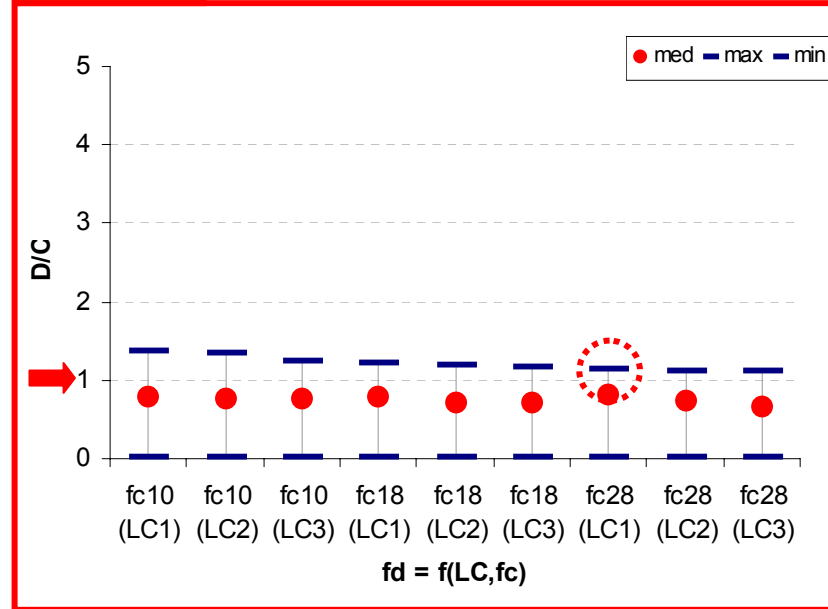
RISULTATI ADL - ASNL

- telaio 4s_BF, Zona Sismica 1, elementi pilastro -

ADL (q = 3)



ASNL



$$D/C_{\max}(fc28) < D/C_{\max}(fc10)$$

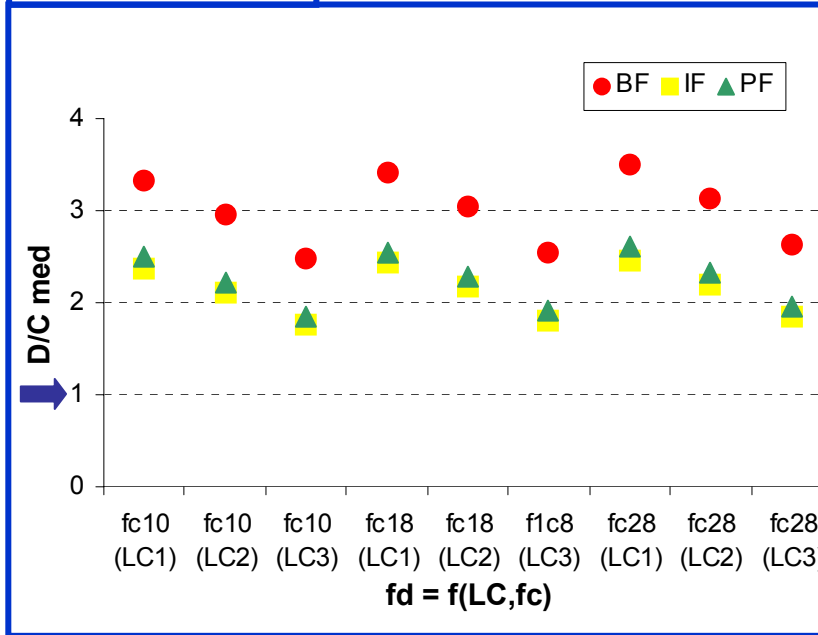
$$D/C_{\max}(ADL) > D/C_{\max}(ASNL)$$

- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni

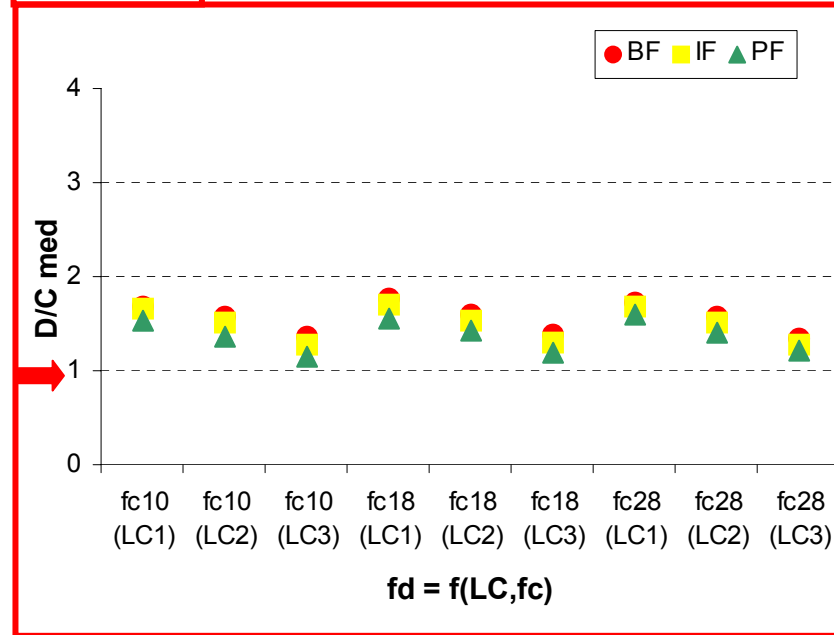
RISULTATI ADL - ASNL

- telaio 4s, Zona Sismica 1, elementi trave -

ADL (q = 3)



ASNL



$$D/C_{med}(BF) > D/C_{med}(IF-PF)$$

$$D/C_{med}(PF) > D/C_{med}(IF)$$

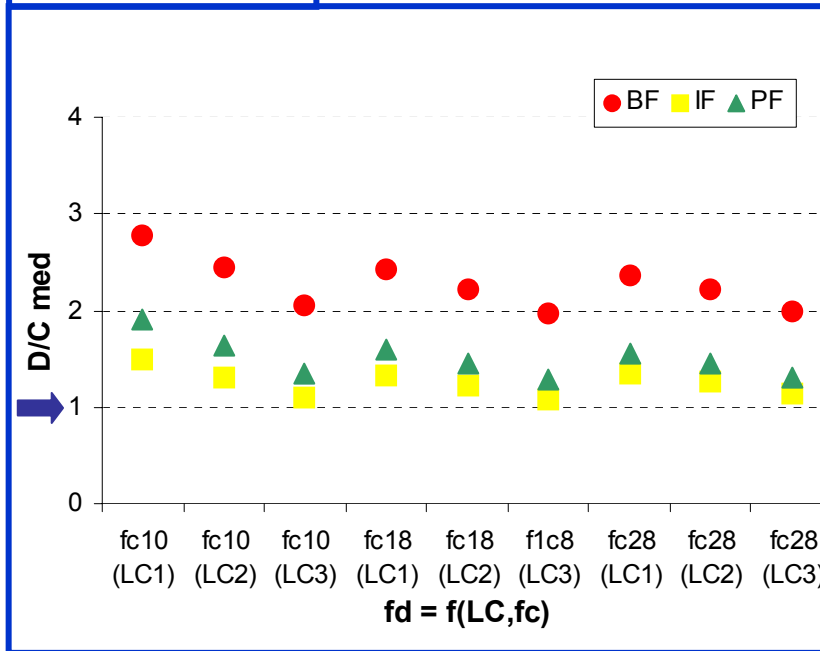
$$D/C_{med}(IF) > D/C_{med}(PF)$$



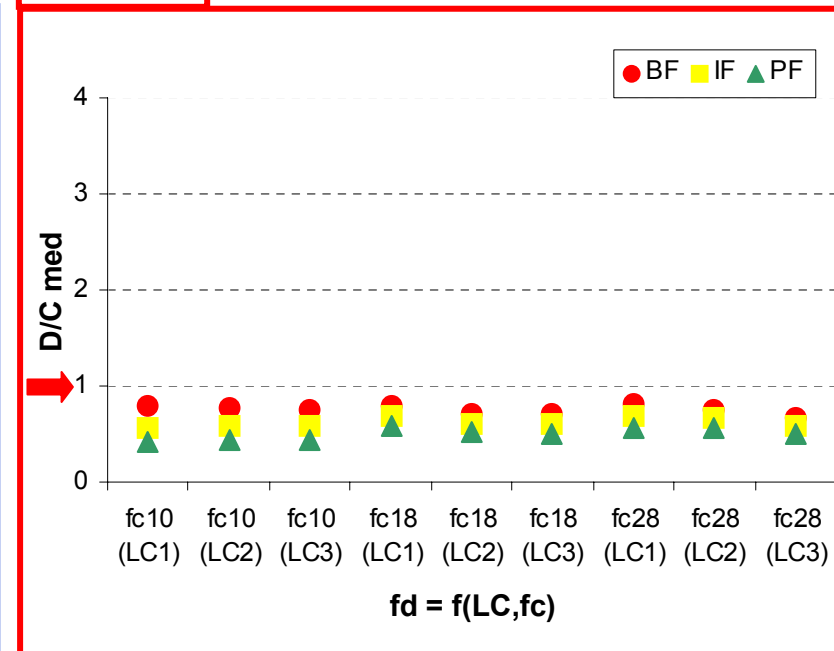
RISULTATI ADL - ASNL

- telaio 4s, Zona Sismica 1, elementi pilastro -

ADL (q = 3)



ASNL



$$D/C_{med}(BF) > D/C_{med}(IF-PF)$$

$$D/C_{med}(PF) > D/C_{med}(IF)$$

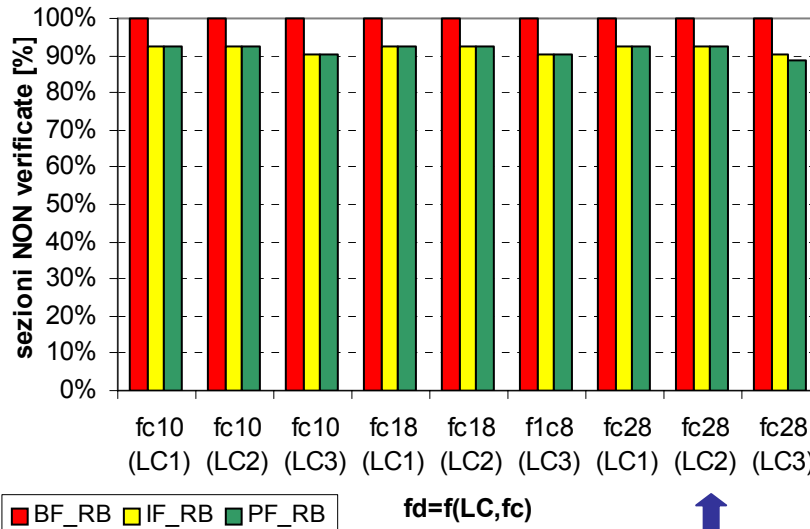
$$D/C_{med}(IF) > D/C_{med}(PF)$$



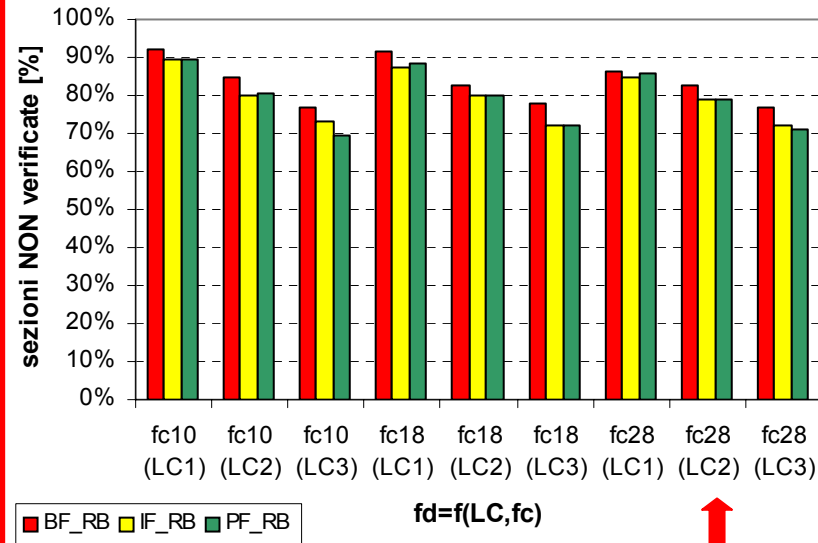
RISULTATI ADL - ASNL

- telaio 4s, Zona Sismica 1, elementi trave -

ADL (q = 3)



ASNL



fc28(LC2)	}	BF = 100% ■ BF = 84%	}	fc28(LC2)
		IF = 92% ■ IF = 78%		
		PF = 92% ■ PF = 78%		

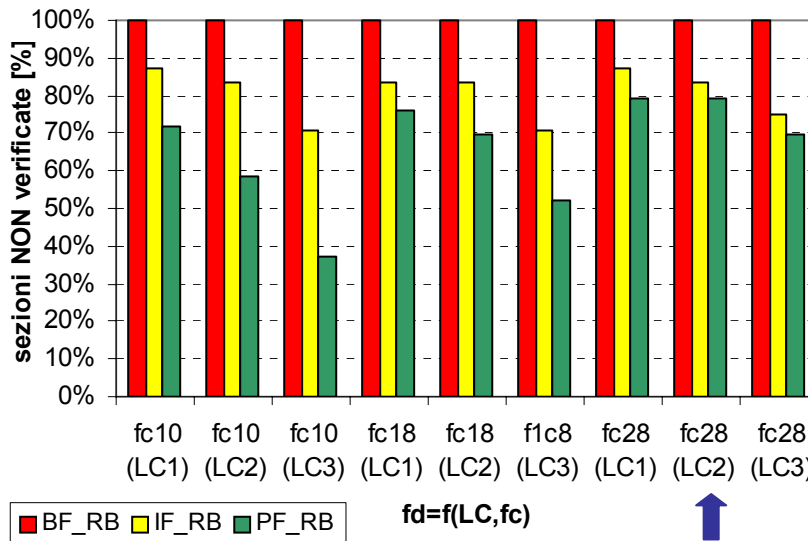
- obiettivi
- selezione delle tipologie
- analisi parametriche
- modello di calcolo
- metodi di analisi
- meccanismi di rottura
- risultati ASNL-ADL
- conclusioni



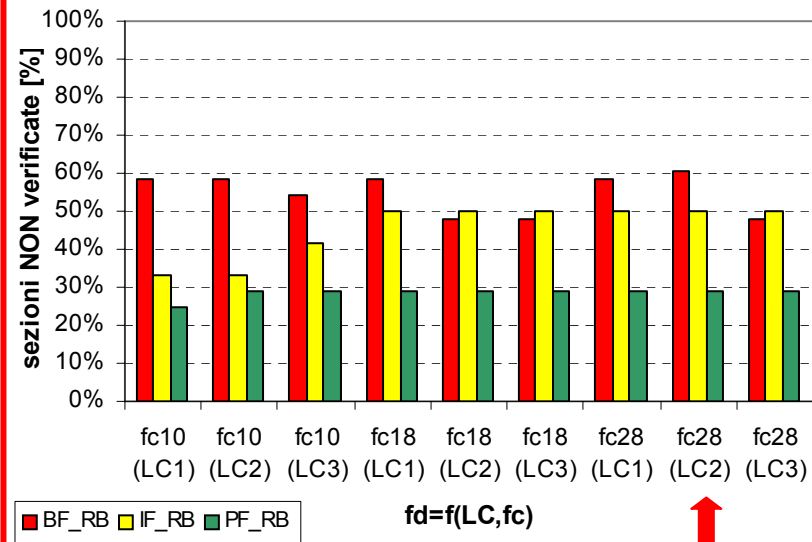
RISULTATI ADL - ASNL

- telaio 4s, Zona Sismica 1, elementi pilastro -

ADL (q = 3)



ASNL



fc28(LC2)	}	BF = 100%	■	BF = 60%	}	fc28(LC2)
		IF = 84%	■	IF = 50%		
		BF = 80%	■	PF = 28%		



CONCLUSIONI

- **Gli elementi** (travi e pilastri) dei telai considerati generalmente hanno un comportamento a **rottura** di tipo **fragile** (collasso per taglio)
- **Le verifiche di sicurezza** eseguite utilizzando il metodo dell'Analisi Dinamica Lineare (**ADL**) e dell'Analisi Statica Non Lineare (**ASNL**) al variare dei parametri di calcolo **sono sempre non soddisfatte** (anche per Zona sismica 4)
- **I risultati** delle verifiche appaiono molto **condizionati** dal basso valore del **taglio resistente** fornito dall'espressione di normativa
- L'**ADL** (più semplice) fornisce valori del rapporto Domanda/Capacità (**D/C**) e un numero di **sezioni non verificate maggiore** rispetto all'**ASNL** (più complessa)
- I rapporti **D/C** sono molto **influenzati** dal valore del **fattore di confidenza** (**FC**). La resistenza del cls appare di minore importanza

obiettivi

selezione
delle tipologieanalisi
parametrichemodello di
calcolometodi di
analisiverifiche di
sicurezzarisultati
ASNL-ADL

conclusioni



grazie per l'attenzione