

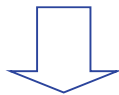
*Evoluzione delle **NORMATIVE** per la progettazione delle strutture in zona sismica*

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

• APPROCCIO DI TIPO PRESTAZIONALE

- ✓ definizione degli obiettivi del progetto
- ✓ dichiarazione dei requisiti
- ✓ definizione dei criteri di progetto



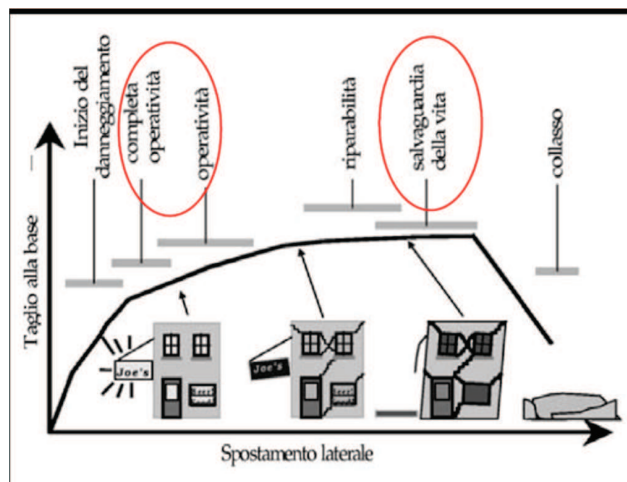
Livelli di protezione in relazione alle esigenze funzionali e di protezione civile → ruolo attivo del progettista

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

- Livelli di prestazione correlati alla risposta della struttura al variare dell'intensità sismica



*Evoluzione delle **NORMATIVE** per la progettazione delle strutture in zona sismica*

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

SCOPO delle norme in caso di **EVENTO SISMICO**

- SIA PROTETTA LA VITA UMANA
- SIANO LIMITATI I DANNI
- OPERATIVITA' DELLE STRUTTURE STRATEGICHE

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

PARAMETRI CONDIZIONANTI

- RIGIDEZZA
- RESISTENZA
- DUTTILITA' (richiesta e disponibile)

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

APPROCCIO PRESTAZIONALE

- Per terremoti di piccola e media intensità: la struttura deve avere sufficiente rigidezza per assicurare che vengano minimizzati i danni non strutturali e sufficiente resistenza per assicurare che vengano minimizzati i danni strutturali.

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

APPROCCIO PRESTAZIONALE

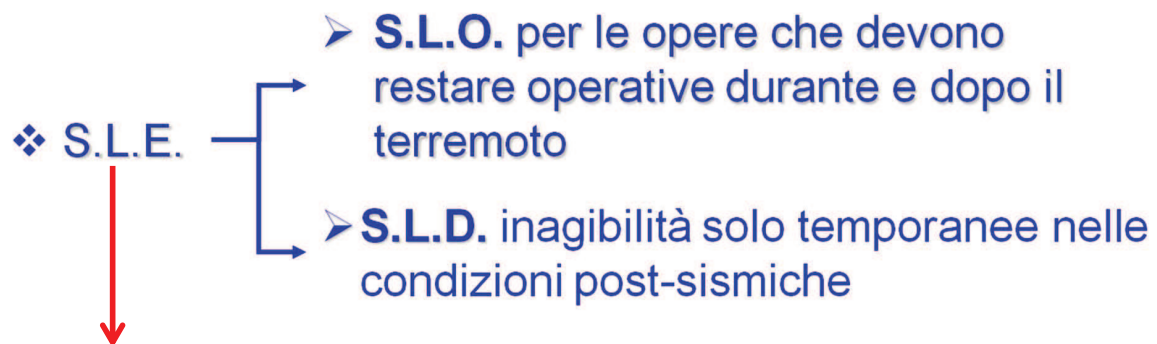
- Per terremoti di elevata intensità: la struttura deve avere sufficiente duttilità per potersi deformare in campo plastico senza perdita eccessiva di resistenza, ovvero pur ammettendo gravi danni si evita la perdita di vite umane.

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

STATI LIMITE PER AZIONI SISMICHE



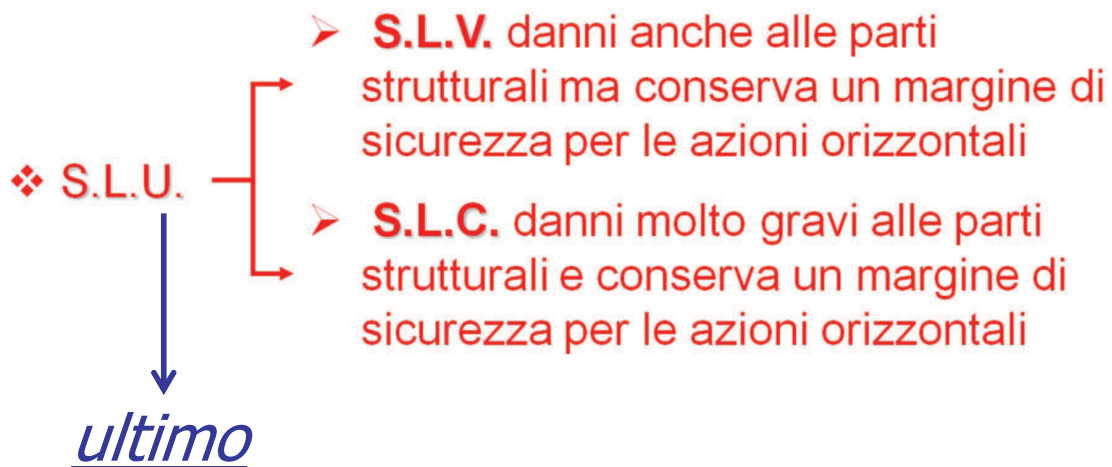
esercizio

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

□ INGEGNERIA SISMICA E STRUTTURALE

ASPETTI INNOVATIVI E MIGLIORATIVI DELLE NUOVE NORME

STATI LIMITE PER AZIONI SISMICHE



*Evoluzione delle NORMATIVE per la
progettazione delle strutture in zona sismica*

esempio

Stato Limite di
Esercizio



Piccoli urti (frequenti): assenza di danneggiamento del veicolo

Evoluzione delle NORMATIVE per la progettazione delle strutture in zona sismica

esempio

Stato Limite Ultimo



Maggior parte dell'energia assorbita dalla parte frontale dell'auto salvaguardando gli occupanti

*Evoluzione delle NORMATIVE per la
progettazione delle strutture in zona sismica*

esempio



Collasso della
struttura!

*Evoluzione delle NORMATIVE per la
progettazione delle strutture in zona sismica*

esempio



Soluzione progettuale
antieconomica e non sempre
possibile!



DM08 – CRITERI PROGETTUALI

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi dissipativi, devono essere progettate in accordo con i seguenti comportamenti strutturali:

- a) comportamento strutturale non-dissipativo;
- b) comportamento strutturale dissipativo.

DM08 – CRITERI PROGETTUALI

Nel comportamento strutturale **non dissipativo**, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite di esercizio, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, indipendentemente dalla tipologia strutturale adottata, **senza tener conto delle non linearità di comportamento (di materiale e geometriche) se non rilevanti.**

Nel comportamento strutturale **dissipativo**, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite ultimi, gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, **tenendo conto delle non linearità di comportamento (di materiale sempre, geometriche quando rilevanti e comunque sempre quando precisato).**

DM08 – CRITERI PROGETTUALI

Nel caso la struttura abbia comportamento strutturale dissipativo, si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD):

- Classe di duttilità alta (CD"A");
- Classe di duttilità bassa (CD"B").

La differenza tra le due classi risiede nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili impreveduti, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

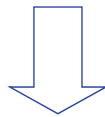
*Evoluzione delle NORMATIVE per la
progettazione delle strutture in zona sismica*

Progettazione delle strutture in zona sismica
basata sul criterio di

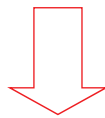
**GERARCHIA DELLE
RESISTENZE**

Gerarchia delle Resistenze

Obiettivo → meccanismo ultimo della struttura di tipo DUTTILE
e DISSIPATIVO

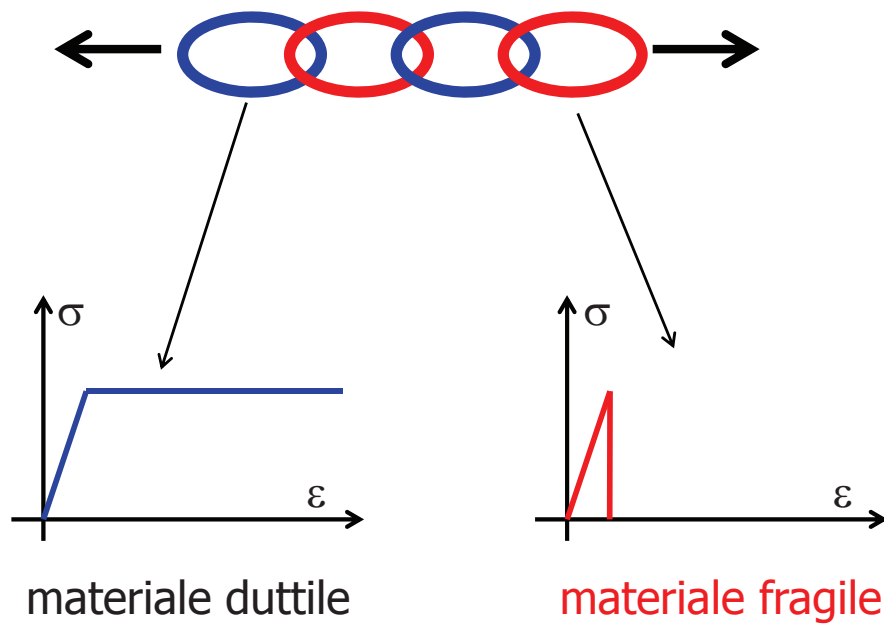


Tra tutti i possibili meccanismi di crisi della struttura si
assegna *gerarchicamente* la resistenza maggiore al
meccanismo più fragile.



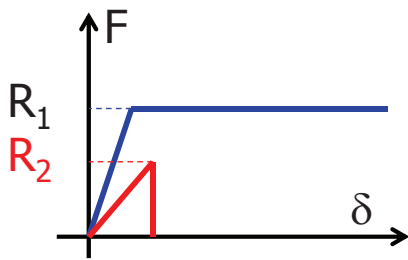
Progetto basato sulle resistenze.

Gerarchia delle Resistenze

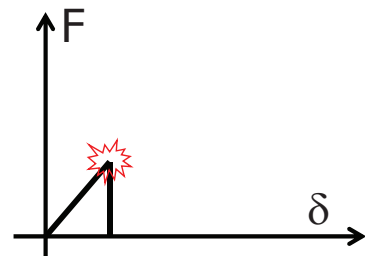
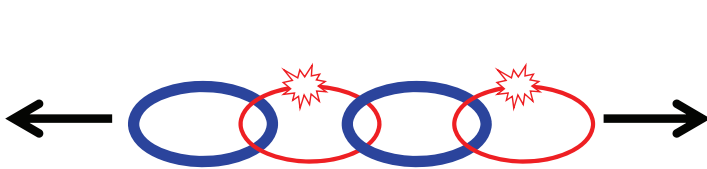


Gerarchia delle Resistenze

1 – resistenza maggiore agli elementi duttili



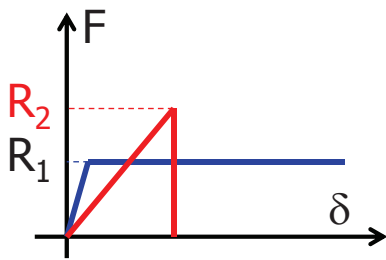
$$R_1 > R_2$$



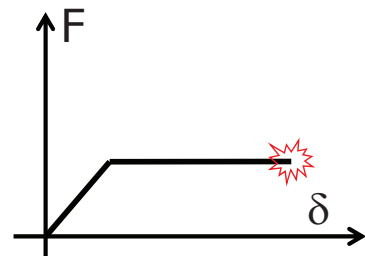
meccanismo ultimo di tipo fragile!

Gerarchia delle Resistenze

2 – resistenza maggiore agli elementi fragili



$$R_2 > R_1$$

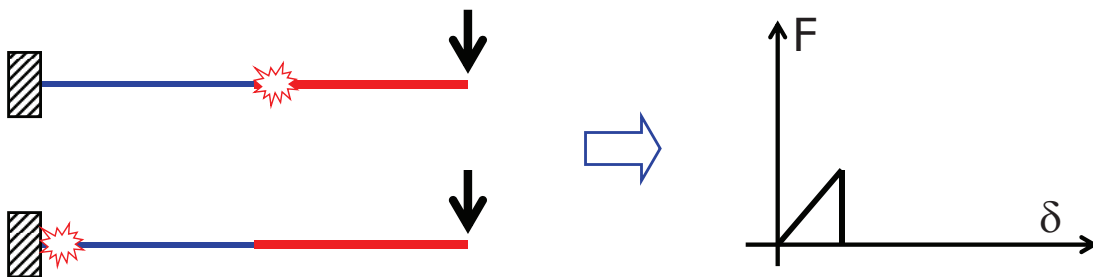


meccanismo ultimo di tipo duttile!

Gerarchia delle Resistenze

Attenzione: bisogna garantire la gerarchia delle resistenze a tutti i livelli strutturali

- MATERIALE
- SEZIONE
- ELEMENTO
- STRUTTURA



Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

acciaio → materiale responsabile della duttilità

B450C

È il tipo di acciaio da utilizzare per le strutture in cemento armato (§7.4.2.2)

B450A

Utilizzo in casi particolari:

- per le reti e i tralicci
- armatura trasversale di elementi in cui è impedita la plasticizzazione, elementi secondari di cui al § 7.2.3, strutture poco dissipative con fattore di struttura $q \leq 1,5$. (§7.4.2.2)

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

Cosa cambia tra le due classi di acciaio?

	B450C	B450A
Tensione nominale di snervamento ($f_{y,nom}$)	450 MPa	450 MPa
Tensione nominale di rottura ($f_{t,nom}$)	540 MPa	540 MPa
Tensione caratteristica di snervamento ($f_{y,k}$)	>450 MPa	>450 MPa
Tensione caratteristica di rottura ($f_{t,k}$)	>540 MPa	>540 MPa

sono gli stessi per le due classi

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

Cosa cambia tra le due classi di acciaio?

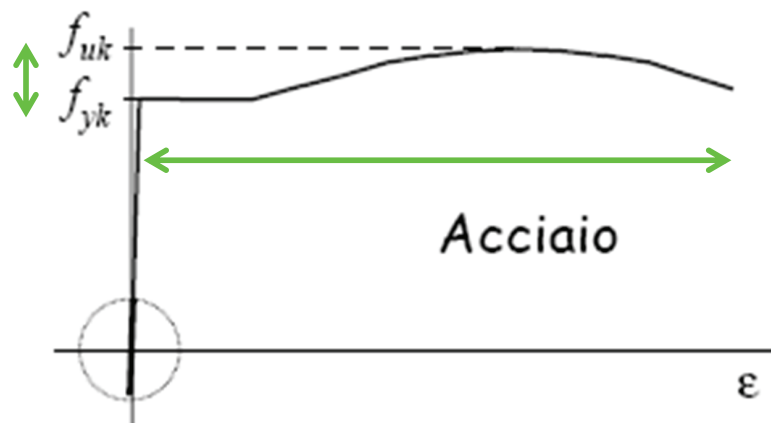
	B450C	B450A
Resistenza/snervamento $(f_t/f_y)_k$	≥ 1.15	≥ 1.05
Allungamento caratteristico $(A_{gt})_k$	$\geq 7.5\%$	$\geq 2.5\%$
Diametri consentiti	6-40mm	5-10mm

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

Fattori che caratterizzano le due classi di acciaio



Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

acciaio → materiale responsabile della duttilità

B450C

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{v, nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
	$< 1,35$	
$(f_v/f_{vnom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 ϕ	

B450A

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	$\geq f_{v, nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura f_{tk}	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,05$	10.0
$(f_v/f_{vnom})_k$	$\leq 1,25$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$:	$\geq 2,5 \%$	10.0

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

acciaio → materiale responsabile della duttilità

- I valori caratteristici devono essere dimostrati dal produttore
- direttore dei lavori → prelievo dei campioni in cantiere

B450C

$425 \leq f_y \leq 572$
 $A_{gt} \geq 6\%$
 $1.13 \leq f_t/f_y \leq 1.37$

B450A

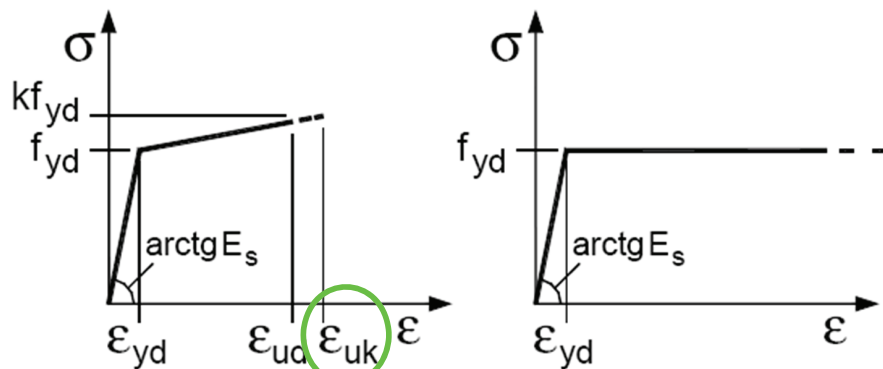
$425 \leq f_y \leq 572$
 $A_{gt} \geq 2\%$
 $f_t/f_y \leq 1.03$

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

MATERIALE

Come si traducono in fase di calcolo?



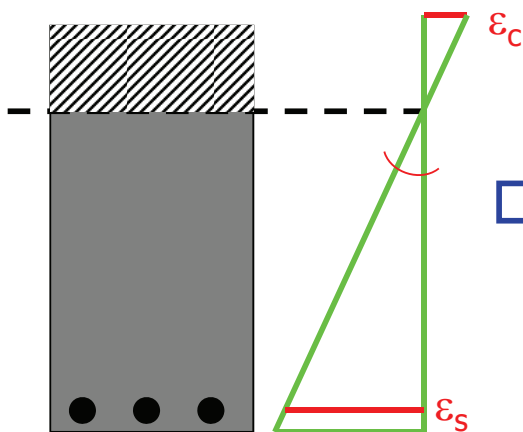
$$\epsilon_{ud} = 0.9 \epsilon_{uk} = 0.9 \cdot 7.5\% = \mathbf{6.75\%} > 1\%$$

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

Meccanismo duttile garantito dallo snervamento dell'acciaio → sezioni debolmente armate



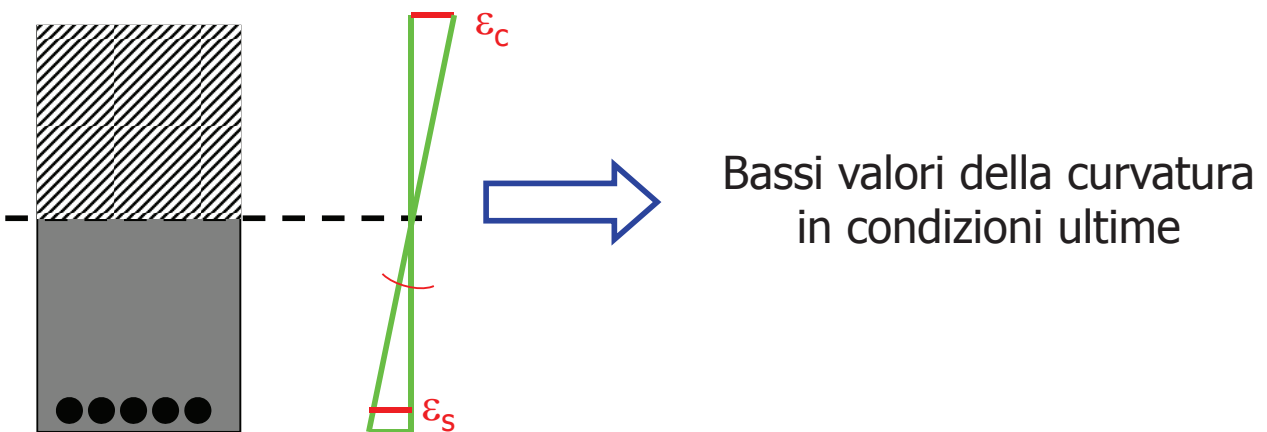
Valori elevati della curvatura in condizioni ultime

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

sezioni fortemente armate

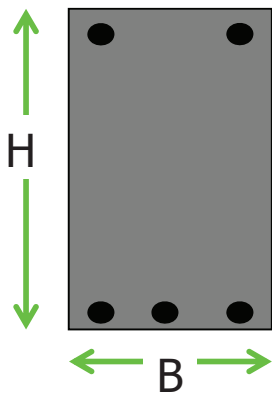


Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

D.M.08: Limitazioni sulle armature metalliche



$$\frac{1.4}{f_{yk}} \leq \rho \leq \rho_{comp} + \frac{3.5}{f_{yk}}$$

$$\rho = \frac{A_{tesa}}{B \cdot H}; \quad \rho_{comp} = \frac{A_{comp}}{B \cdot H}$$

B450C $\rho = 0.31\%$

$$\rho_{comp} \geq 0.25\rho; \quad \rho_{comp} \geq 0.5\rho \text{ [zone critiche]}$$

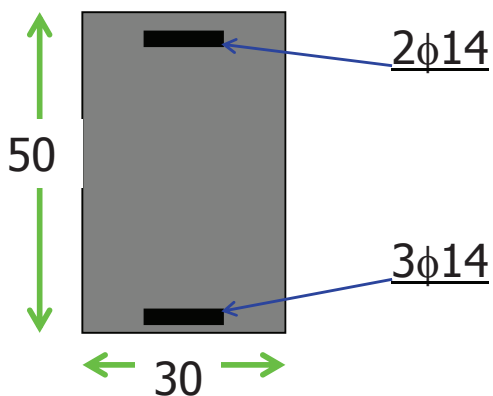
Limitazioni imposte sia all'armatura tesa sia all'armatura compressa

Gerarchia delle Resistenze

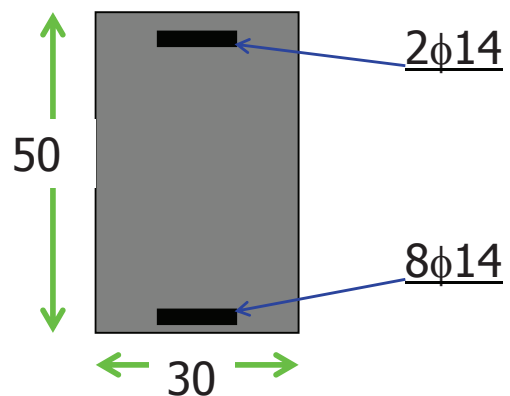
D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

esempio



$$\rho = 1.4/f_{yk}$$
$$\rho_{comp} = 0.66\rho$$



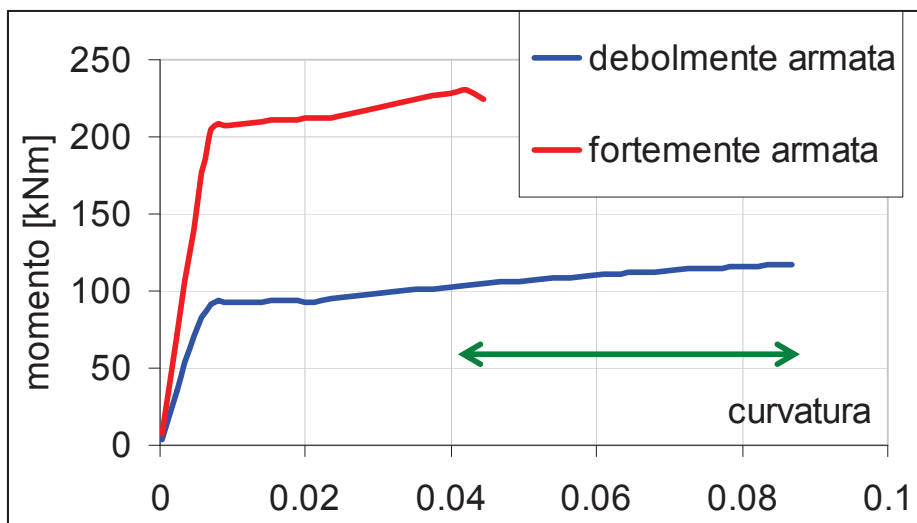
$$\rho = 3.5/f_{yk}$$
$$\rho_{comp} = 0.25\rho$$

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

esempio

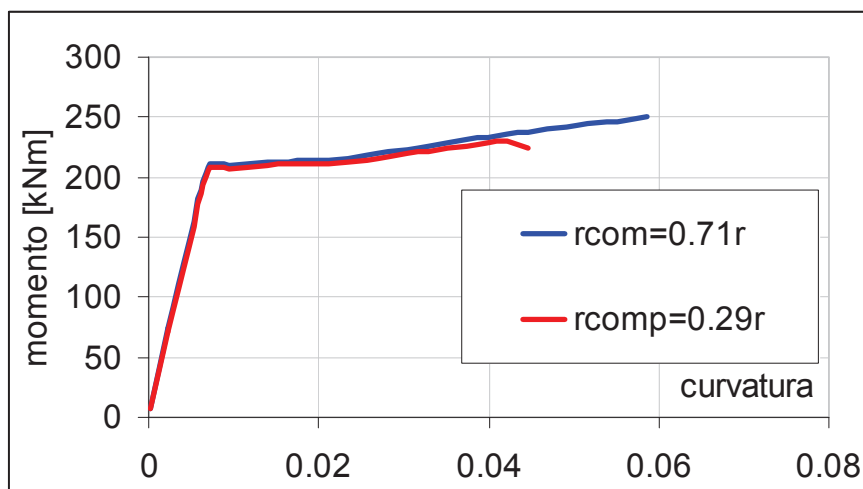


Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

Esempio: l'armatura compressa ha un effetto positivo sulla curvatura ultima

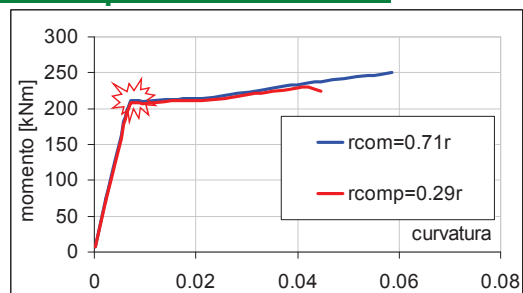
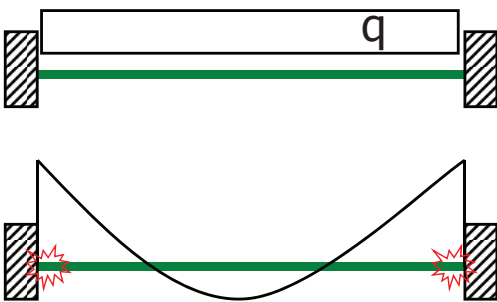


Gerarchia delle Resistenze

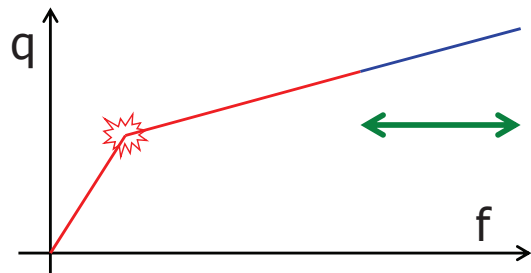
D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

Perché ci interessa la duttilità a questo livello?



La duttilità della sezione si riflette sul comportamento ultimo dell'elemento.



Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

Tale aspetto è così importante che la normativa
inserisce una verifica di duttilità specifica

μ_{ϕ} = curvatura ultima / curvatura al limite di snervamento

fattore di duttilità in curvatura

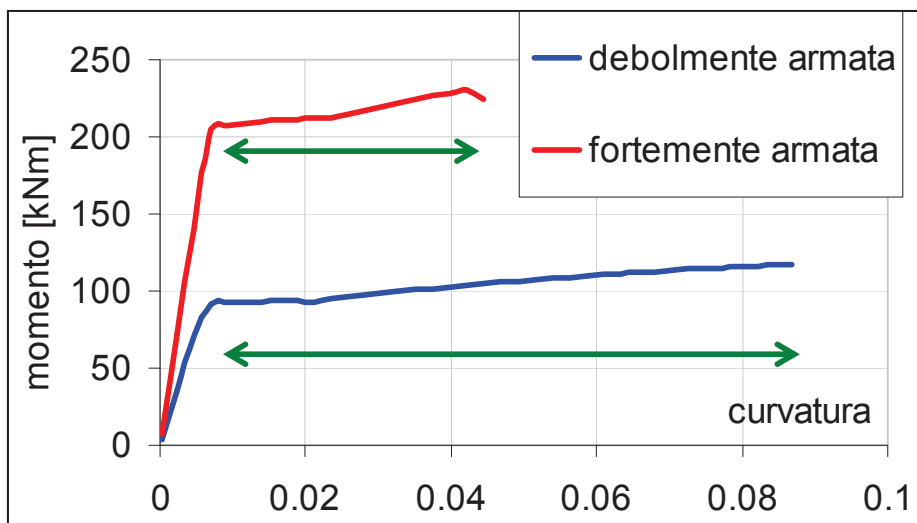
Le limitazioni imposte dalla normativa sono funzione
della duttilità globale della struttura

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

SEZIONE

esempio



Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

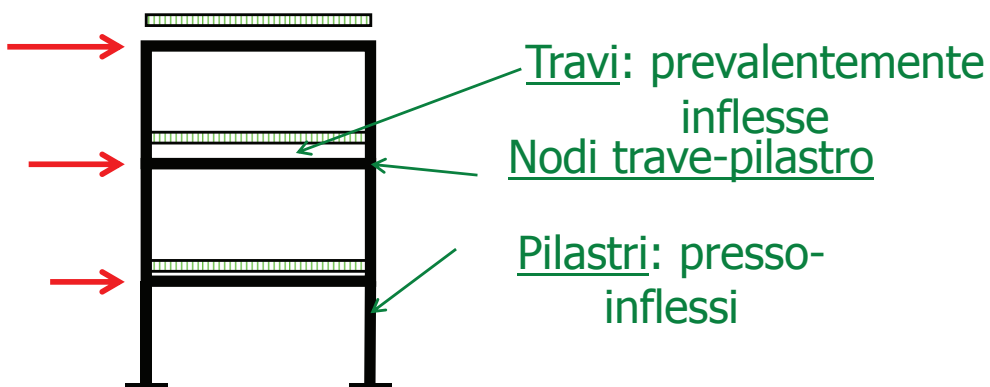


Per garantire un meccanismo ultimo duttile è necessario attribuire maggiore resistenza agli elementi "fragili".
Individuare nella struttura quali sono gli elementi caratterizzati da minori livelli di duttilità.
(Attenzione: dipende anche dalla tipologia strutturale)

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA



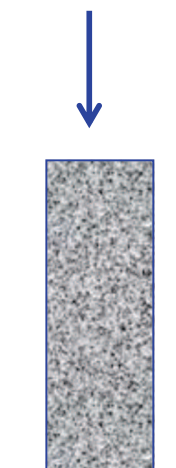
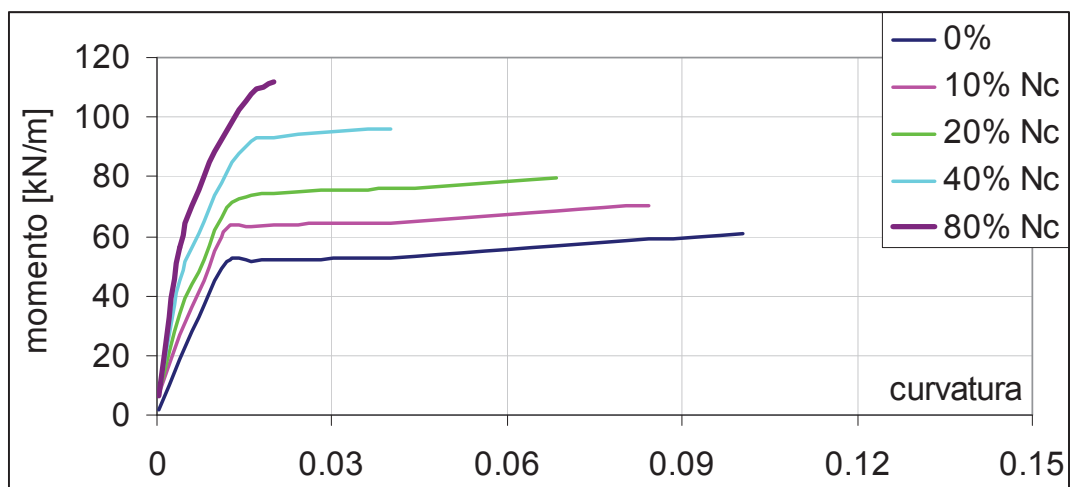
Entrambi gli elementi sono costituiti dagli stessi materiali di base e dalle stesse tipologie di armature metalliche.

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Cosa accade in termini di duttilità locale?



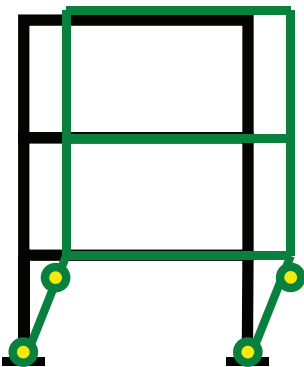
Effetto dello sforzo normale sulla curvatura ultima.

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

E in termini di duttilità globale?



Duttilità affidata ai pilastri

- numero ridotto di cerniere plastiche
- elevate richieste di rotazione plastica
- bassi livelli di duttilità locale e di dissipazione
- danneggiamento di elementi "importanti"

Maggiore resistenza alle travi rispetto ai pilastri

TRAVI FORTI – COLONNE DEBOLI

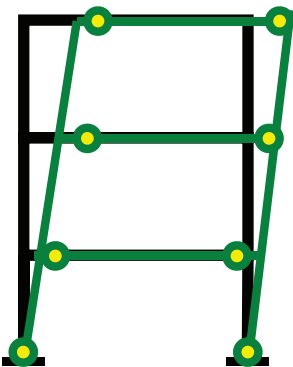
NO!

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

E in termini di duttilità globale?



Duttilità affidata alle travi

- numero elevato di cerniere plastiche
- basse richieste di rotazione plastica
- elevati livelli di duttilità locale e di dissipazione

Maggiore resistenza ai pilastri rispetto alle travi: OK!

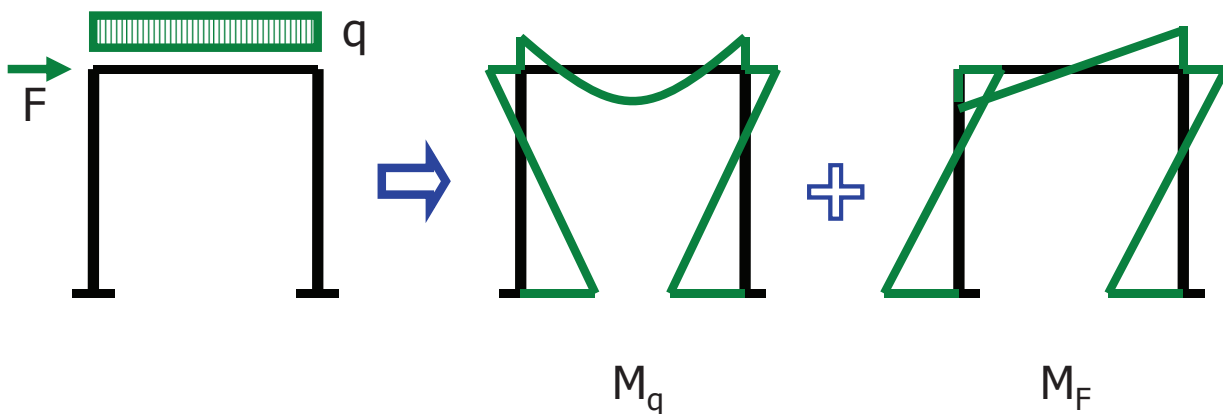
COLONNE FORTI – TRAVI DEBOLI

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Come si persegue questo obiettivo?



Sollecitazione di progetto: $M = M_q + M_F$

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Approccio classico – vecchie norme



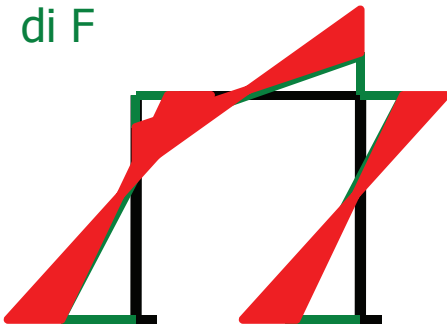
Travi: $M_{Rd} \geq M_{max}$

Pilastri: $M_{Rd}(N) \geq M_{max}(N)$



Resistenza > Sollecitazione

Non garantiamo però la gerarchia delle resistenze nei confronti di F



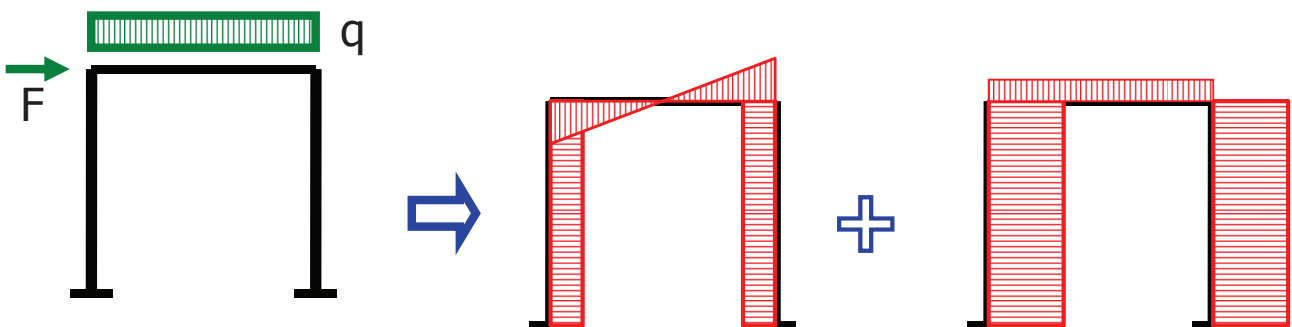
Al crescere di F può sopraggiungere sia la crisi delle travi sia quella dei pilastri!

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Approccio classico – vecchie norme



Inoltre, al crescere di F la crisi per taglio può avvenire prima di quella per flessione.

Questo meccanismo di crisi è particolarmente "fragile".

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Esempi di collasso per taglio



Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Approccio nuova normativa

Obiettivi

- crisi per flessione nelle travi preservando i pilastri
- evitare meccanismi di crisi per taglio

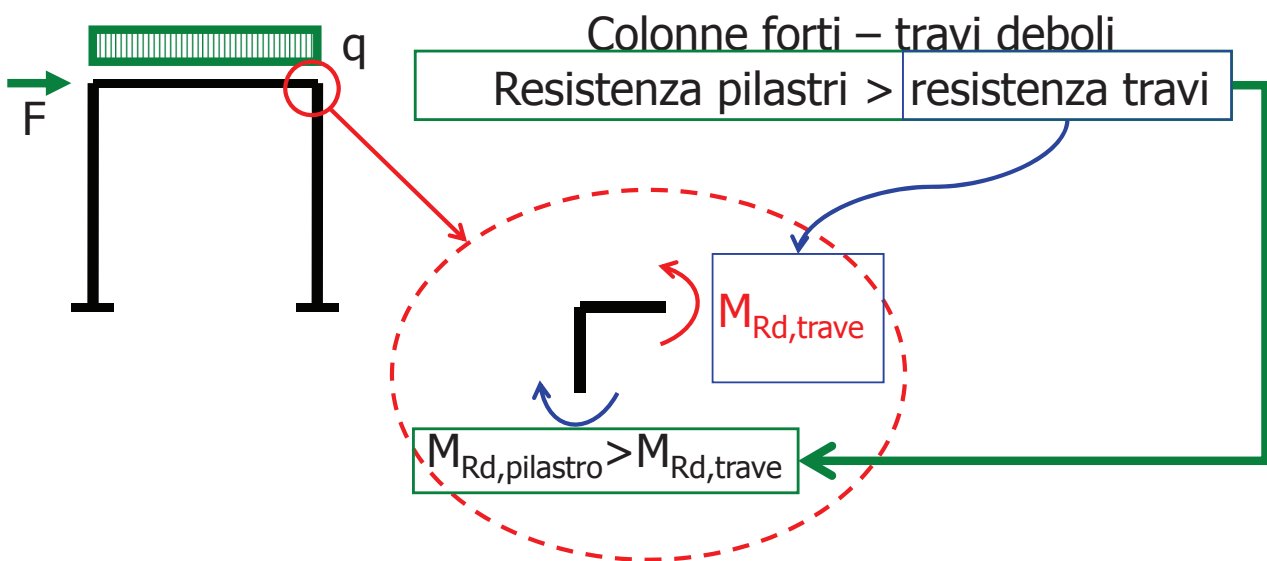
Quindi non solo è necessario garantire che la resistenza degli elementi sia maggiore della sollecitazione di progetto ma è necessario altresì garantire la gerarchia delle resistenze.

Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Approccio nuova normativa

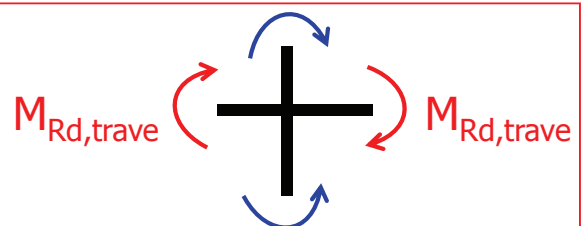
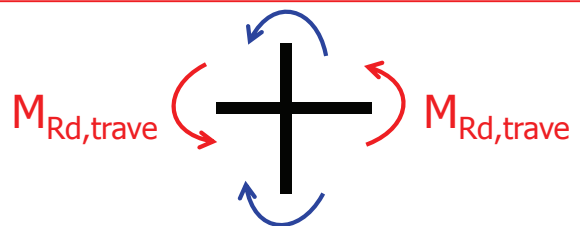
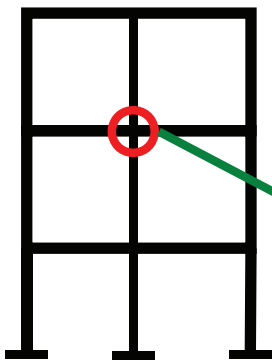


Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Approccio nuova normativa



$$\sum M_{Rd,colonna} \geq \gamma_{Rd} \sum M_{Rd,trave}$$

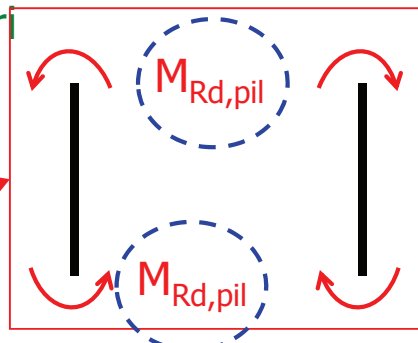
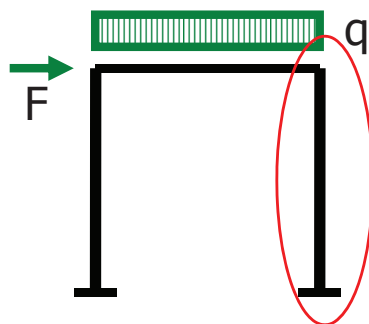
Gerarchia delle Resistenze

D.M.2008 - Strutture di cls

STRUTTURA

Approccio nuova normativa

Ciò vale anche per i pilastri



$$V = \frac{M_{Rd,sup}^i + M_{Rd,inf}^j}{L} \leq V_{Rd}$$