

Corso di aggiornamento

Progetto di strutture antisismiche
con pareti in c.a. ed in acciaio

**Problemi specifici nel progetto
di strutture antisismiche con pareti in c.a.**

1 - Introduzione

Imola

23-25 giugno 2011

Edoardo M. Marino

Edifici con pareti

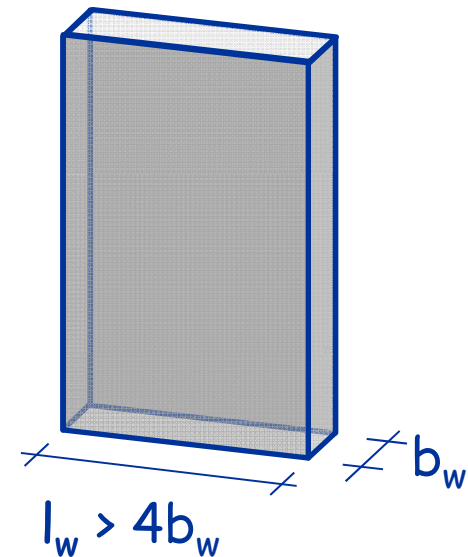
- *struttura a telaio*, nella quale le azioni verticali ed orizzontali sono sopportate da un insieme di travi e pilastri che costituiscono un telaio spaziale; si può parlare di struttura a telaio anche in presenza di pareti di modeste dimensioni, a condizione che la gran parte della resistenza ad azioni orizzontali (almeno il 65%) sia garantita dagli elementi a telaio;
- *struttura a pareti*, nella quale le azioni verticali ed orizzontali sono sopportate principalmente da pareti³; si può parlare di struttura a pareti anche in presenza di pilastri e travi, a condizione che la gran parte della resistenza ad azioni orizzontali (almeno il 65%) sia garantita dalle pareti;
- *struttura mista telaio-pareti*, nella quale le azioni verticali sono sopportate prevalentemente da un telaio spaziale, mentre quelle orizzontali sono affidate sia al telaio che a pareti in c.a.; in particolare, se almeno il 50% dell'azione orizzontale è affidata a pareti si parla di *struttura mista equivalente a pareti*, nel caso contrario di *struttura mista equivalente a telaio*;

La parete in cemento armato

Elemento strutturale la cui sezione trasversale presenta una dimensione (lunghezza l_w) preponderante rispetto all'altra (larghezza b_w)

Secondo le NTC 08 deve essere:

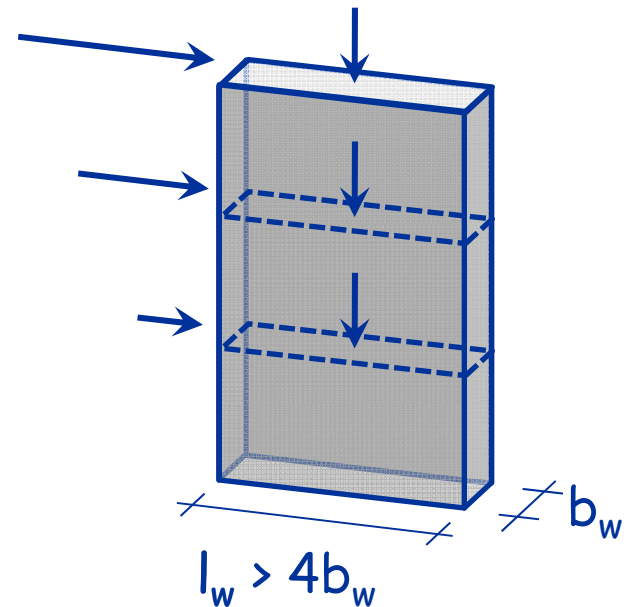
$$l_w > 4 b_w$$



Azioni agenti sulle pareti

All'interno di un edificio le pareti portano:

- Carichi verticali
hanno effetti rilevanti negli
edifici molto alti
- Azioni orizzontali parallele
al lato lungo
I loro effetti sono sempre
rilevanti



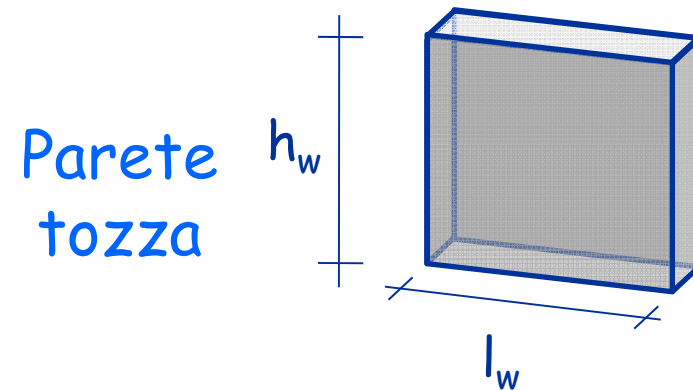
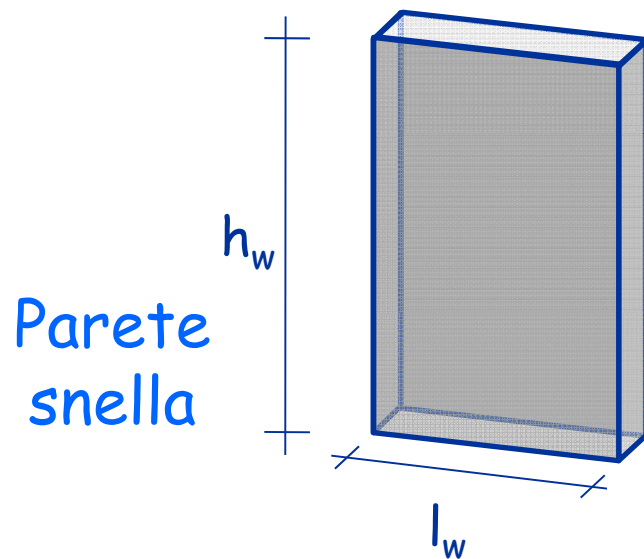
Effetti delle azioni

Quando $h_w \gg l_w$ (parete snella)

Gli effetti delle azioni sono simili a quelli delle travi

Quando h_w è paragonabile l_w (parete tozza)

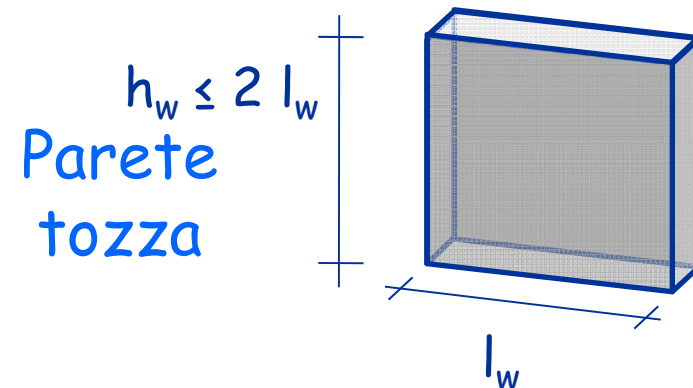
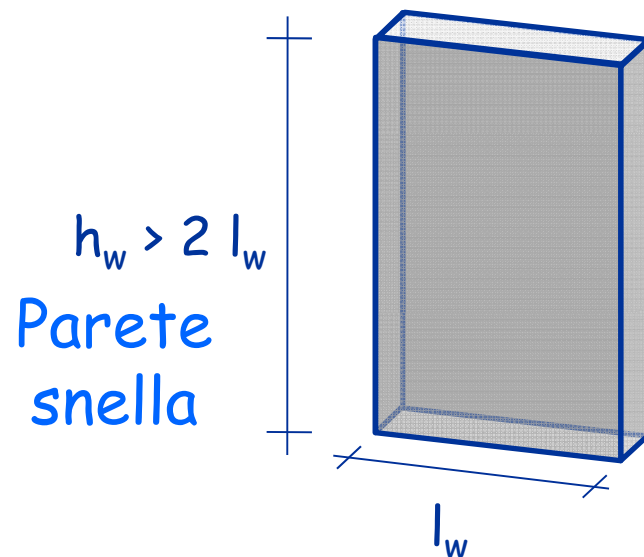
Sono necessari modelli ad hoc



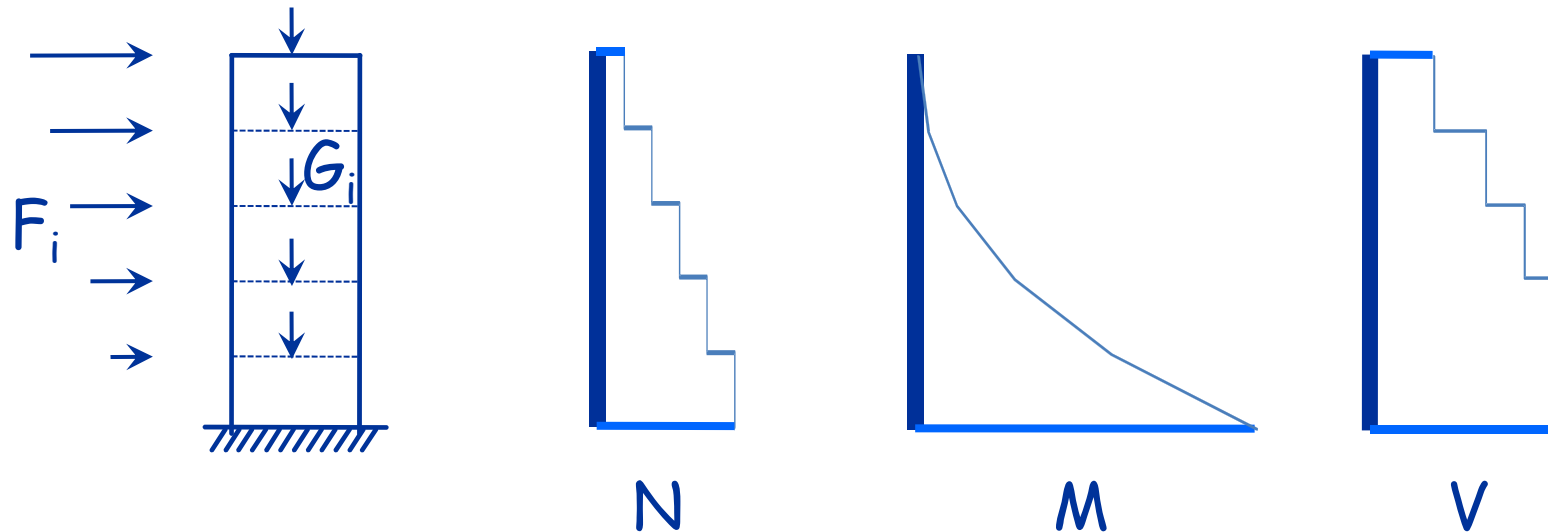
Classificazione delle pareti

Secondo le NTC 08 la parete è:

- snella quando $h_w > 2 l_w$
- tozza quando $h_w \leq 2 l_w$



Stato di sollecitazione di pareti snelle



Flessione composta

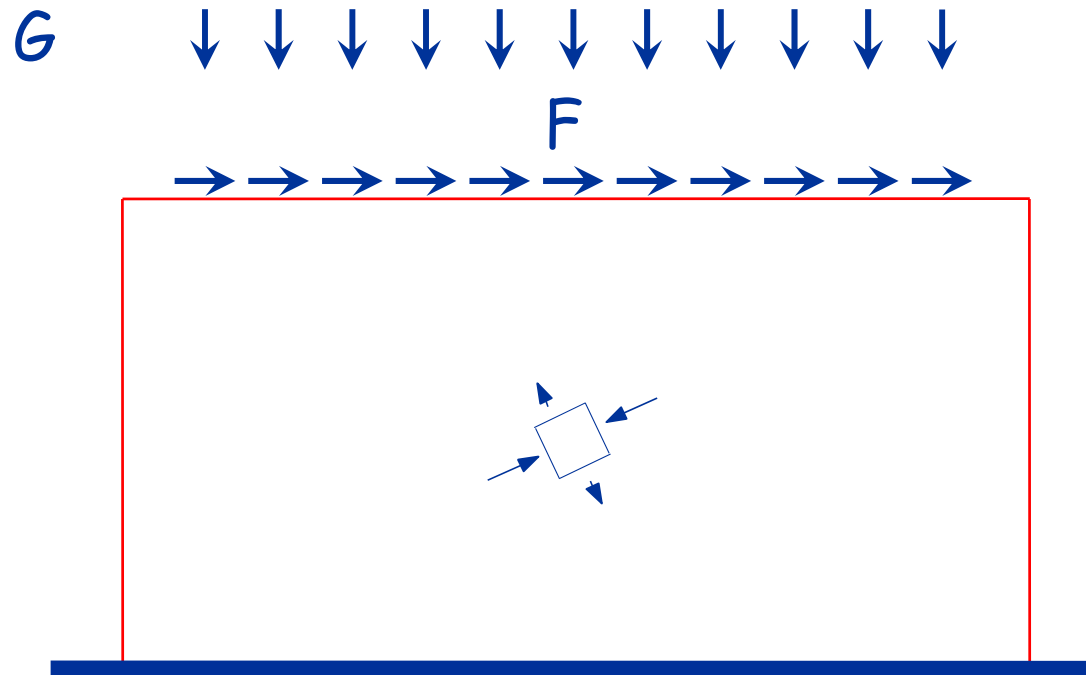
Sforzo normale dovuto ai carichi verticali

Momento flettente dovuto alle azioni orizzontali

Taglio

Dovuto alle azioni orizzontali

Stato di sollecitazione di pareti tozze

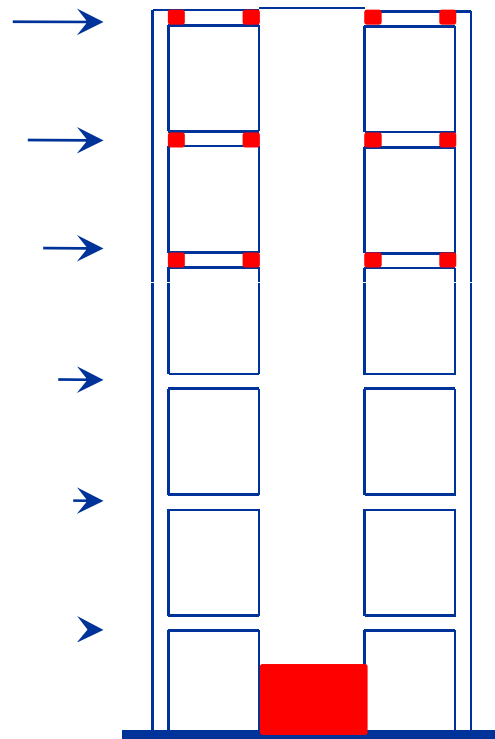


Si adottano i modelli di comportamento per elementi strutturali tozzi derivanti da:

- analisi dello stato tensionale;
- risultati della sperimentazione.

Meccanismi di collasso di edifici con pareti

La struttura è ritenuta meno dissipativa di quella intelaiata e dunque le NTC08 (anche EC8) le assegnano un fattore di struttura q minore



Plasticizzazione per flessione delle
sezioni di estremità delle travi

Plasticizzazione per flessione alla base
della parete

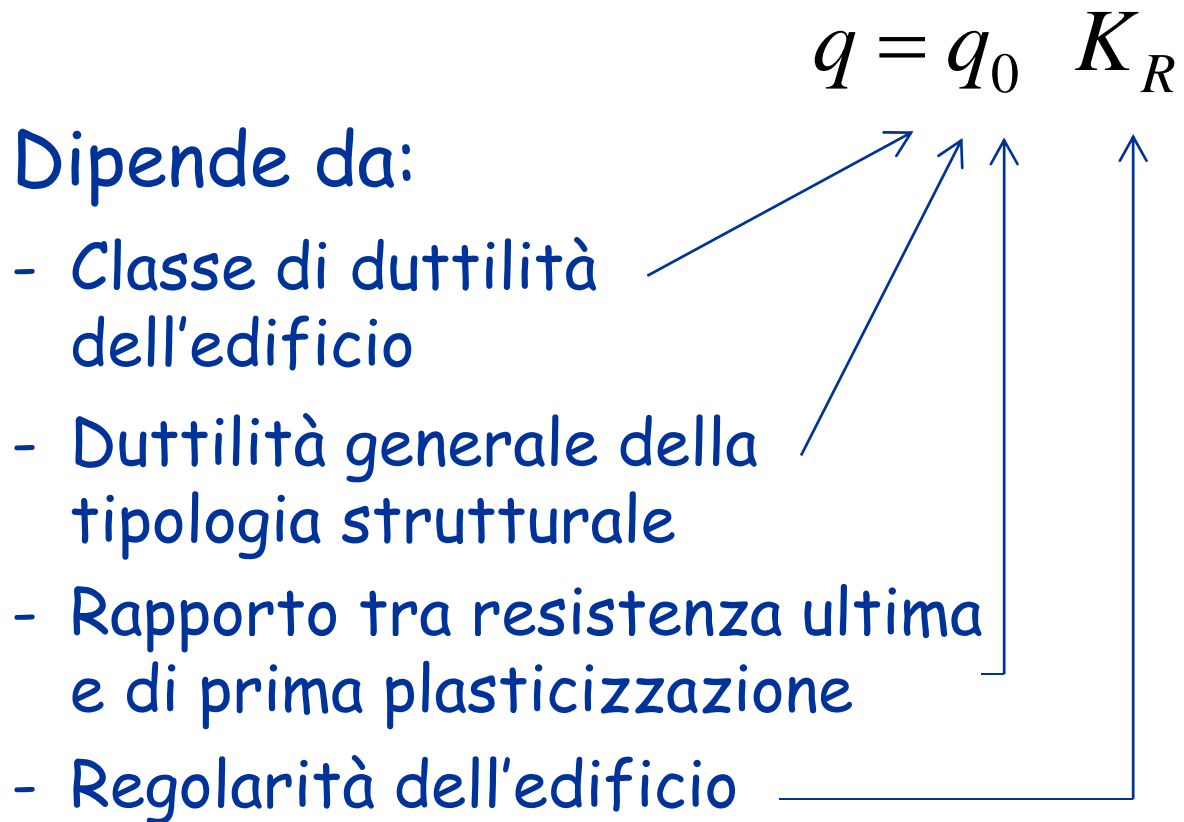
È la principale fonte di dissipazione

Fattore di struttura

Le ordinate dello spettro di progetto sono ottenute dividendo quelle dello spettro di risposta elastica per il fattore di struttura q

Il fattore di struttura tiene conto della duttilità delle sezioni ma anche del comportamento globale della struttura

Fattore di struttura



Classe di duttilità (comportamento globale e duttilità locale)

Classe di duttilità alta: CD"A"

Richiede maggiori accorgimenti e maggiori coefficienti di sicurezza nel calcolo ed impone dettagli costruttivi più severi

Classe di duttilità bassa: CD"B"

Forze di calcolo maggiori

Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)

q_0

Tipologia	CD"B"	CD"A"
Strutture a telaio, strutture miste telaio-pareti, strutture a pareti accoppiate	$3.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$	$4.5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Strutture a pareti non accoppiate	3.0	$4.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Strutture torsionalmente deformabili	2.0	3.0
Strutture a pendolo inverso	1.5	2.0

- *struttura a pareti*, nella quale le azioni verticali ed orizzontali sono sopportate principalmente da pareti ; si può parlare di struttura a pareti anche in presenza di pilastri e travi, a condizione che la gran parte della resistenza ad azioni orizzontali (almeno il 65%) sia garantita dalle pareti;

Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)

q_0

Tipologia	CD"B"	CD"A"
Strutture a telaio, strutture miste telaio-pareti, strutture a pareti accoppiate	$3.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$	$4.5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Strutture a pareti non accoppiate	3.0	$4.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$
Strutture torsionalmente deformabili	2.0	3.0
Strutture a pendolo inverso	1.5	2.0

Pareti accoppiate: due pareti vicine tra loro, collegate ai vari piani da una trave rigida. La trave è molto sollecitata a taglio e questo diventa sforzo normale nelle pareti. Il momento ribaltante dell'azione sismica è assorbito in buona parte dalla coppia di sforzi normali.

Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)

Per prevenire il collasso delle strutture a seguito della rottura delle pareti, i valori di q_0 devono essere ridotti mediante il fattore k_w

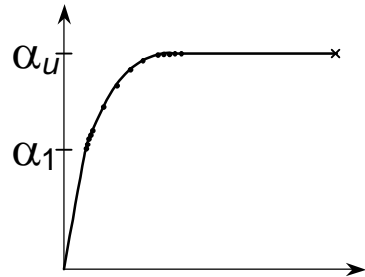
$$k_w = \begin{cases} 1,00 & \text{per strutture a telaio e miste equivalenti a telai} \\ 0,5 \leq (1+\alpha_0)/3 \leq 1 & \text{per strutture a pareti, miste equivalenti a pareti, torsionalmente deformabili} \end{cases}$$

dove α_0 è il valore assunto in prevalenza dal rapporto tra altezze e larghezze delle pareti. Nel caso in cui gli α_0 delle pareti non differiscano significativamente tra di loro, il valore di α_0 per l'insieme delle pareti può essere calcolato assumendo come altezza la somma delle altezze delle singole pareti e come larghezza la somma delle larghezze.

$$\alpha_0 = \frac{h_w}{l_w}$$

K_w è minore di 1 per pareti tozze ($h_w < 2 l_w$)

Rapporto tra resistenza ultima e di prima plasticizzazione



α_u / α_1

Strutture a telaio o strutture miste equivalenti a telaio	
– ad un solo piano	1.1
– a più piani ma ad una sola campata	1.2
– a più piani e più campate	1.3
Strutture a pareti o strutture miste equivalenti a pareti	
– solo due pareti non accoppiate per ogni direzione	1.0
– più pareti non accoppiate	1.1
– pareti accoppiate o strutture miste equivalenti a pareti	1.2

Nota: valori minori per strutture non regolari in pianta

Oppure effettuare analisi statica non lineare

Regolarità dell'edificio

	K_R
Edifici regolari in altezza	1.0
Edifici non regolari in altezza	0.8

Esempio (confronto alta bassa duttilità)

Edificio multipiano con pareti (e più campate),
regolare in altezza e ad alta duttilità

$$q = 4.0 \times 1.0 \times 1.0 = 4.0 \quad (5.85 \text{ per telaio})$$

Stesso edificio, ma a bassa duttilità

$$q = 3.0 \times 1.0 \times 1.0 = 3.00 \quad (3.90 \text{ per telaio})$$

Quindi le forze sono maggiori di circa il 33%

Esempio (confronto alta bassa duttilità)

Edificio multipiano con pareti (e più campate),
regolare in altezza e ad alta duttilità

$$q = 4.0 \times 1.0 \times 1.0 = 4.0 \quad (5.85 \text{ per telaio})$$

Stesso edificio, ma a bassa duttilità

$$q = 3.0 \times 1.0 \times 1.0 = 3.00 \quad (3.90 \text{ per telaio})$$

Vantaggi delle strutture con pareti

Elevata rigidezza

- effetti del secondo ordine ridotti (migliora il comportamento a collasso);
- Riduce il danno agli elementi non-strutturali

Elevata resistenza

Capacità di mantenere la capacità di portare i carichi verticali anche dopo danni significativi

Minore sensibilità alla distribuzione non regolare degli elementi non-strutturali

Argomenti trattati

- Comportamento e verifica delle pareti
- Concezione dell'edificio con pareti
- Criteri di predimensionamento
- Modellazione e analisi sismica
- Valutazione globale del comportamento strutturale
- Progetto delle armature

Norme di riferimento

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (NTC08)
D.M. 14/1/08
Circolare 2/2/09 n. 617
 - Capitolo 3: Azioni sulle costruzioni
 - Capitolo 4, par. 1: Costruzioni di calcestruzzo
 - Capitolo 7: Progettazione per azioni sismiche
 - Capitolo 11: Materiali e prodotti per uso strutturale
- EN 1990: Criteri generali di progettazione strutturale
- EN 1991 (Eurocodice 1): Azioni sulle strutture

Norme di riferimento

- EN 1992 (Eurocodice 2), parte 1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici
- EN 1998 (Eurocodice 8), parte 1-1: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici

Materiali utilizzati negli esempi numerici

Calcestruzzo C25/30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$

$$E_c = 22000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0.3} = 31475 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 0.30 \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 2.56 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 1.80 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 14.17 \text{ MPa}$$

Acciaio

B450C

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 391.3 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{391.3}{210000} = 1.86 \times 10^{-3}$$