

Corso di aggiornamento
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

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

1 - Introduzione

Bologna

10 gennaio 2013

Edoardo M. Marino

Pareti in c.a.

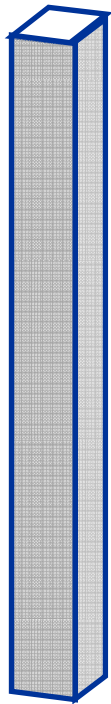
Perché parlarne ?

- Problemi relativi all'elemento strutturale "parete"
 - Comportamento
 - Modellazione
- Problemi relativi alla tipologia strutturale di edifici con pareti
 - Possibili tipologie
 - Comportamento
 - Modellazione

Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro



Pilastro:

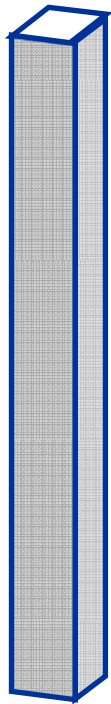
Asta che rispetta i
requisiti di De Saint
Venant

La dimensione longitudinale
è nettamente prevalente
rispetto alle dimensioni
della sezione

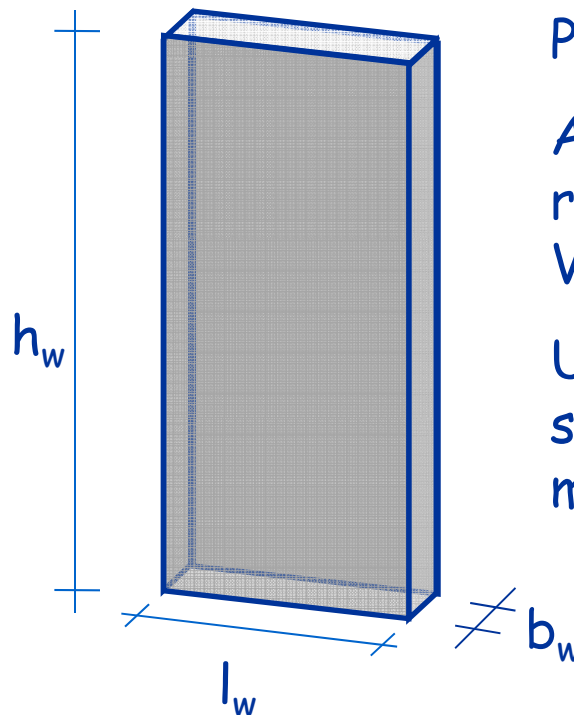
Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro



Parete



Parete:

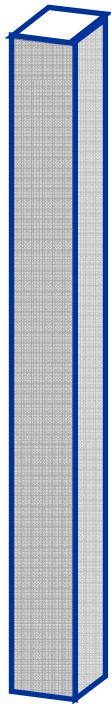
Asta che **non** rispetta i requisiti di De Saint Venant

Una dimensione della sezione è nettamente maggiore rispetto all'altra

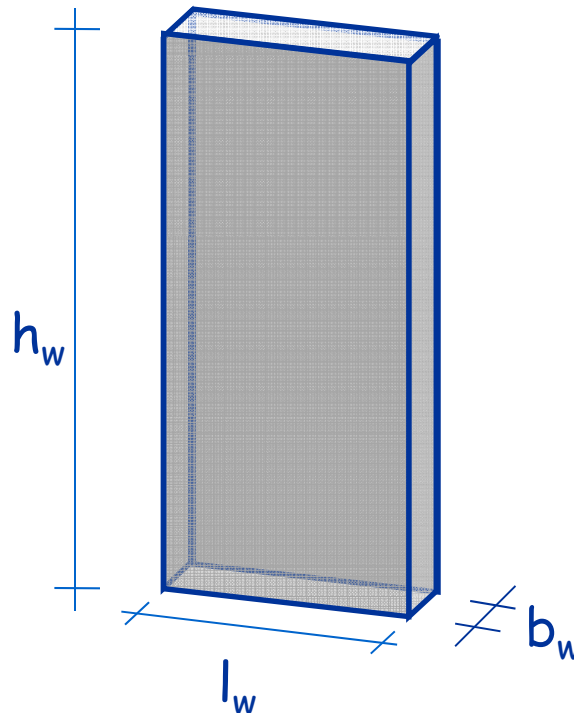
Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro

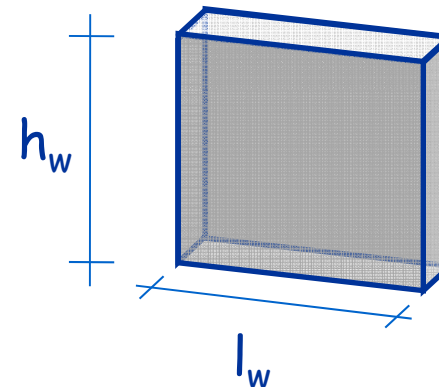


Parete snella



Parete tozza

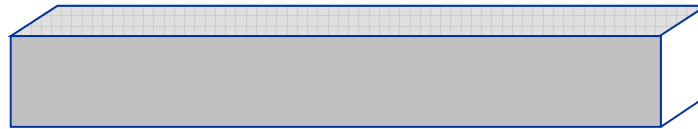
Ulteriori differenze a seconda del rapporto h_w / l_w



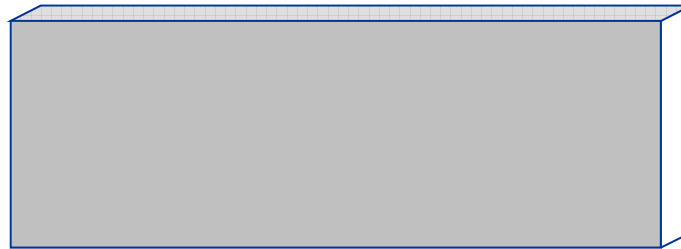
Elemento strutturale "parete"

- Ma un discorso analogo vale anche per le travi ...

Trave



Trave
parete



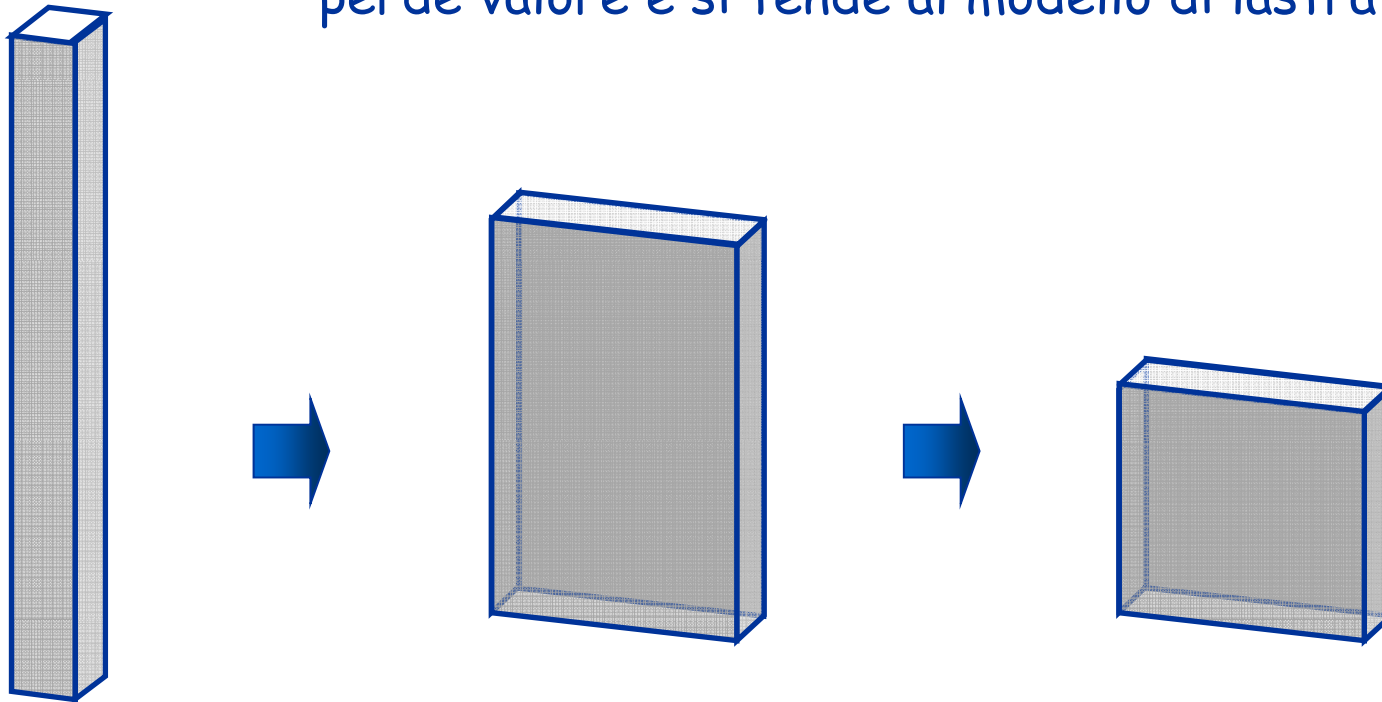
Esempio: trave realizzata come parapetto

Ma anche: travi a spessore molto larghe,
travi di fondazione molto alte

Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

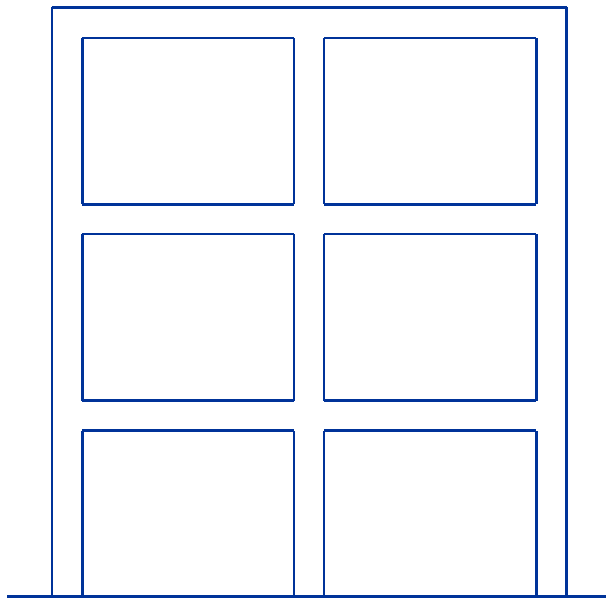
Via via il modello di trave di De Saint Venant perde valore e si tende al modello di lastra



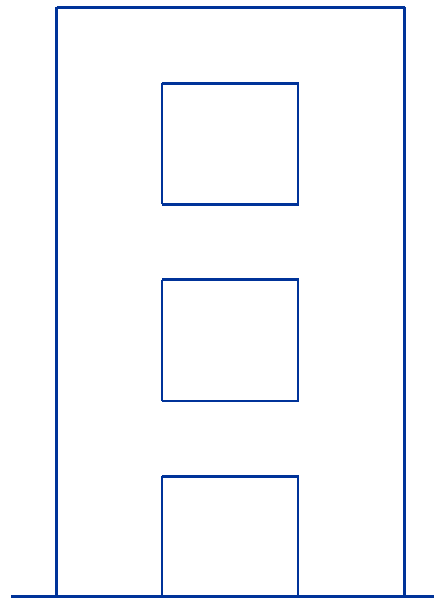
Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti

Telaio



Pareti accoppiate

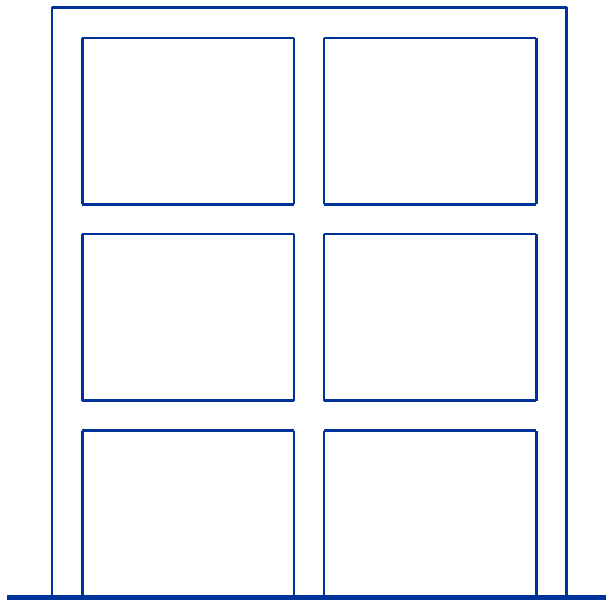


Pareti accoppiate: due pareti vicine tra loro, collegate ai vari piani da una trave rigida. La trave è molto sollecitata a taglio e questo diventa sforzo normale nelle pareti. Il momento ribaltante dell'azione sismica è assorbito in buona parte dalla coppia di sforzi normali

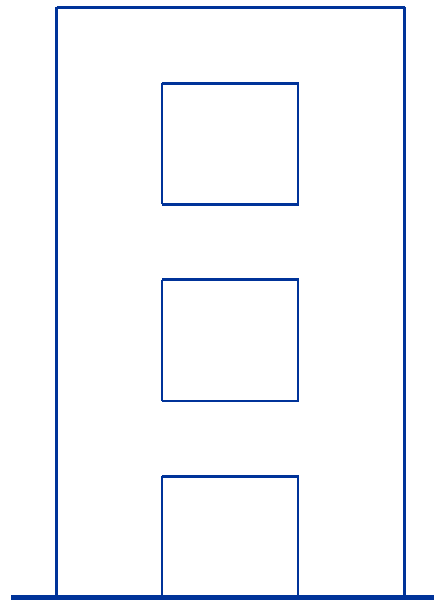
Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti

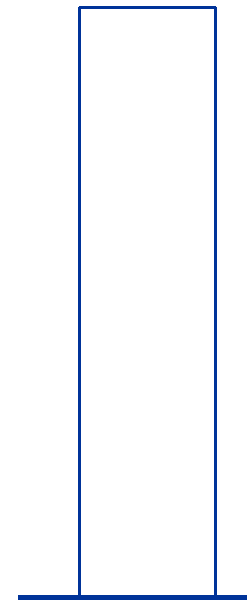
Telaio



Pareti
accoppiate



Pareti
singole



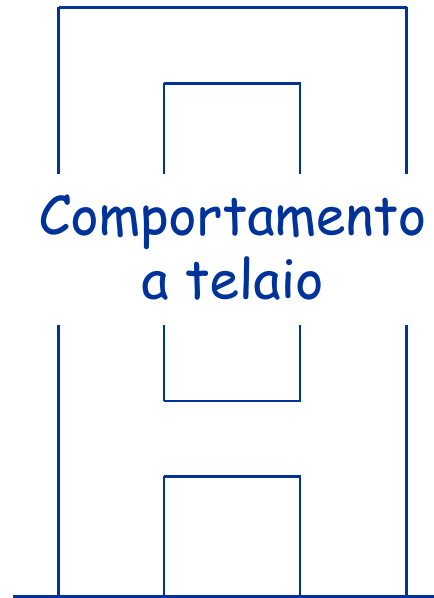
Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti

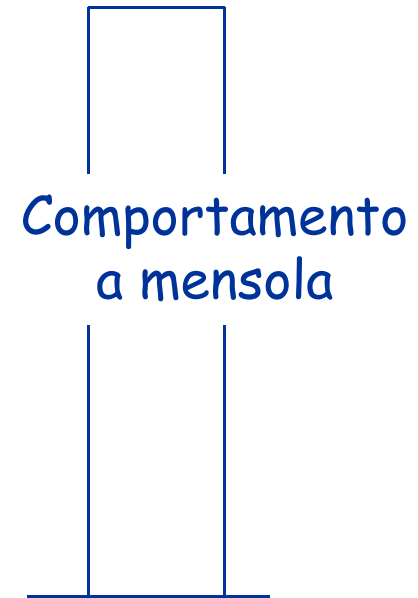
Telaio



Pareti accoppiate



Pareti singole



... e quindi

1. Problemi specifici dell'elemento, man mano che cambia il rapporto tra le tre dimensioni (lunghezza, base e altezza della sezione)
 - Il passaggio è graduale, qualunque limite è convenzionale

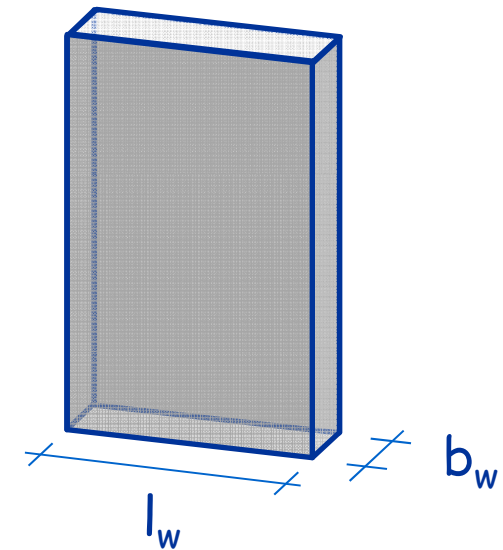
Secondo la normativa: parete in cemento armato

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:

$$l_w > 4 b_w$$

Il limite è solo orientativo, se il rapporto è 3.9 o 4.1 non cambia gran ché ...



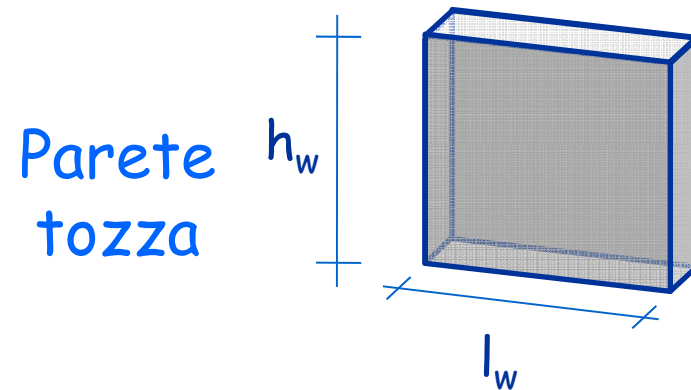
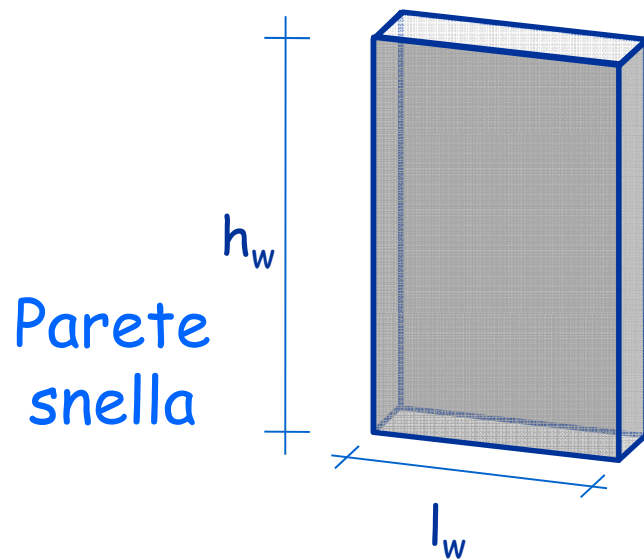
Secondo la normativa: classificazione delle pareti

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

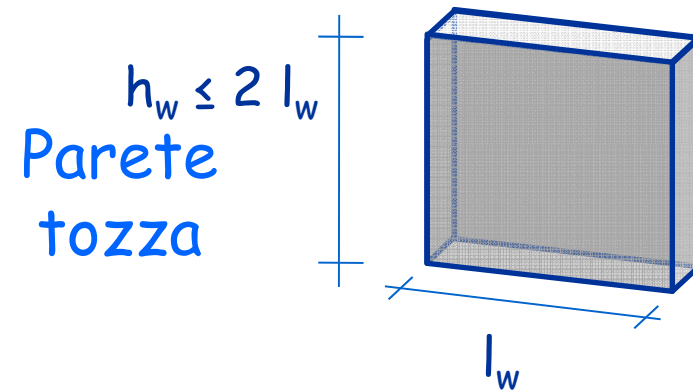
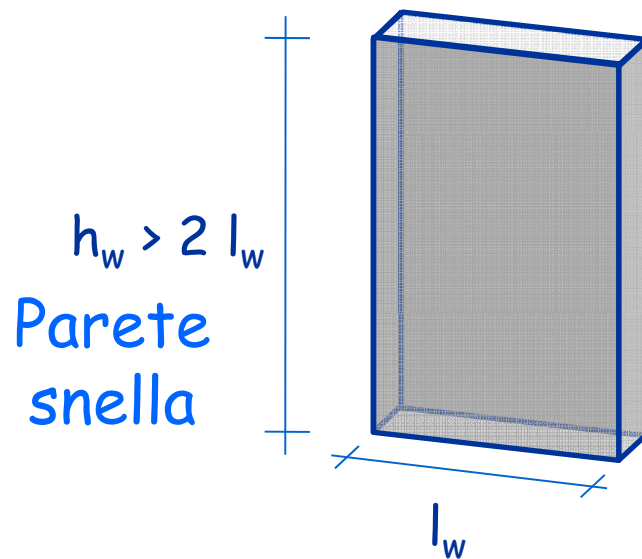


Secondo la normativa: classificazione delle pareti

Secondo le NTC 08 la parete è:

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

Limite convenzionale



Secondo la normativa: classificazione delle pareti

In realtà le NTC 08 specificano i criteri di verifica in funzione del rapporto α_s

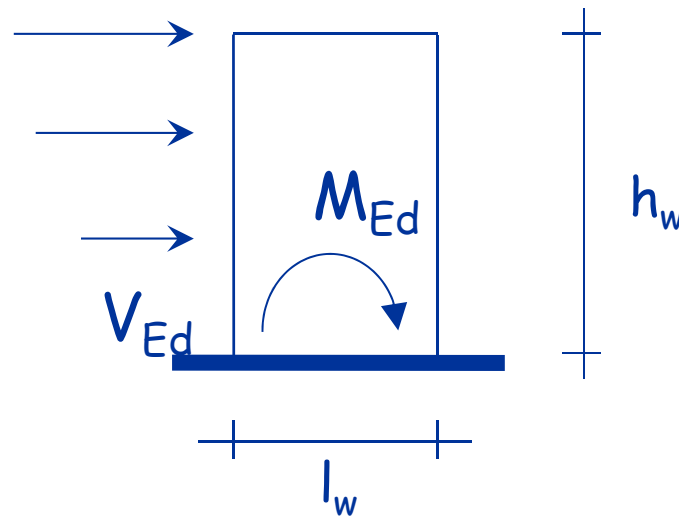
Pareti "snelle"

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} l_w} \geq 2$$

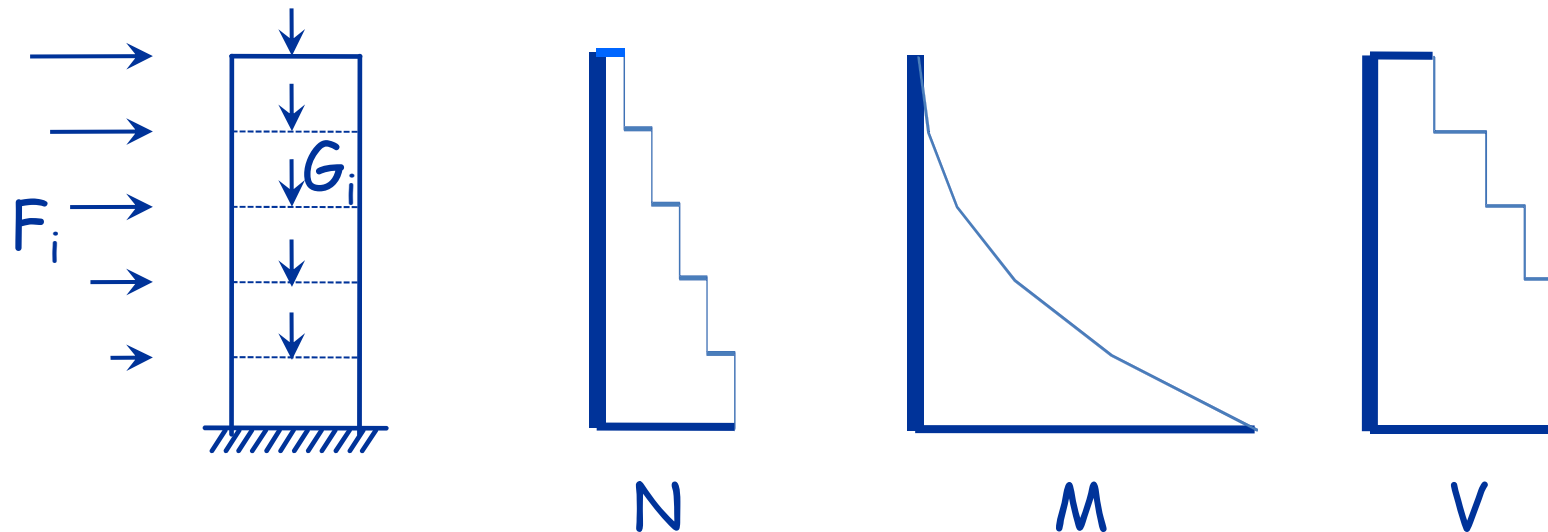
Pareti "tozze"

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} l_w} < 2$$

Qui compare
un altro limite



Stato di sollecitazione: pareti snelle



Flessione composta

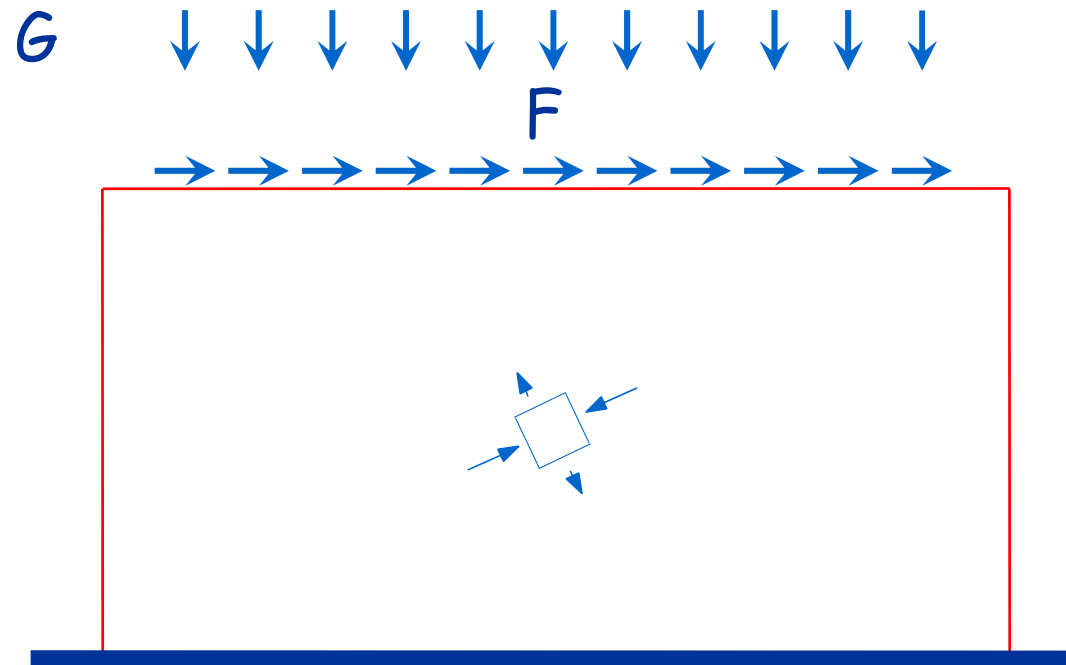
Sforzo normale dovuto ai carichi verticali

Momento flettente dovuto alle azioni orizzontali

Taglio

Dovuto alle azioni orizzontali

Stato di sollecitazione: pareti tozze



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

- analisi dello stato tensionale;
- risultati della sperimentazione.

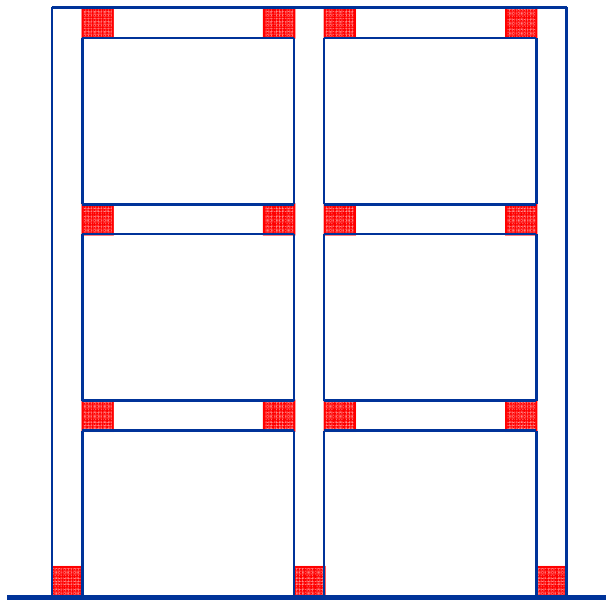
... e quindi

1. Problemi specifici dell'elemento, man mano che cambia il rapporto tra le tre dimensioni (lunghezza, base e altezza della sezione)
 - Il passaggio è graduale, qualunque limite è convenzionale
2. Problemi specifici della tipologia strutturale, man mano che si passa da uno schema fortemente iperstatico (telaio con molti piani e molte campate) ad uno schema sostanzialmente isostatico (mensola)

Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Il meccanismo di collasso è legato alla tipologia

Telaio



Telaio:

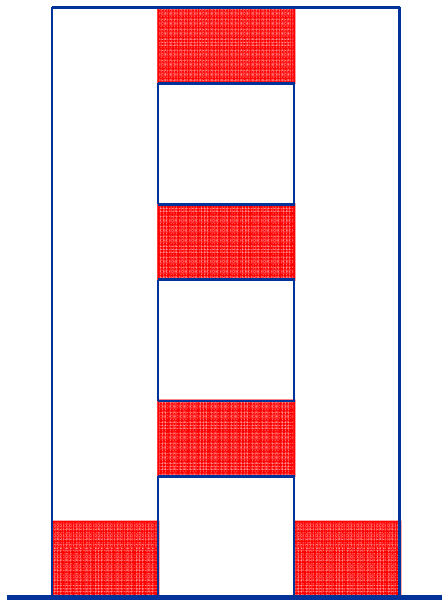
Formazione di cerniere agli
estremi delle travi (e al
piede dei pilastri del primo
ordine)

Meccanismo molto
dissipativo, buona duttilità
globale

Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

Pareti
accoppiate



Pareti accoppiate:

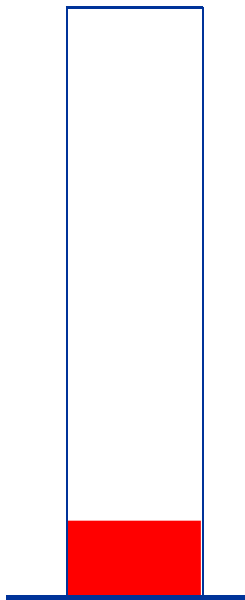
Completa plasticizzazione delle
travi di accoppiamento (e della
sezione di base delle pareti)

Meccanismo molto dissipativo,
buona duttilità globale

Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

Pareti
singole



Pareti singole:

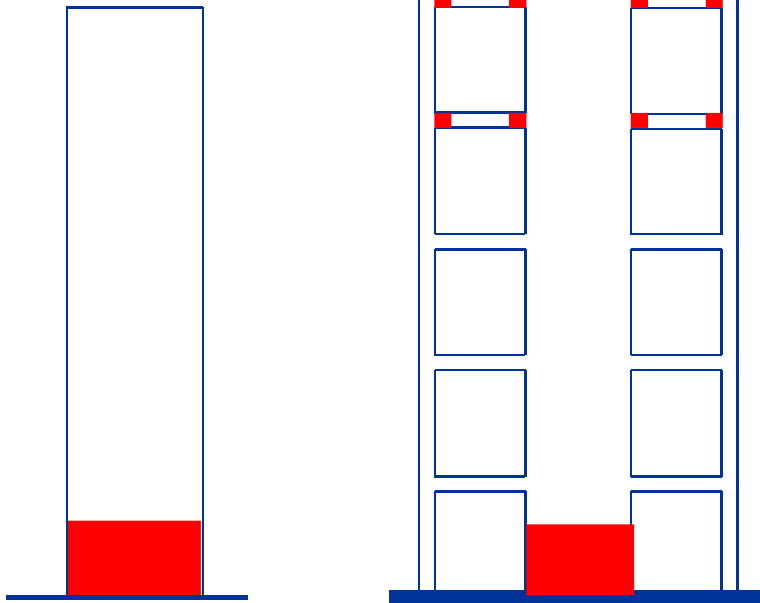
Plasticizzazione della sezione
di base delle pareti, con rischio
di rottura a taglio (da evitare)

Meccanismo poco dissipativo,
modesta duttilità globale

Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

Pareti
singole



Pareti singole:

La contemporanea presenza di pilastri e travi introduce qualche altra plasticizzazione, ma la sostanza non cambia

Meccanismo poco dissipativo, modesta duttilità globale

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie

- *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*;

Commento

alle indicazioni di normativa

- I limiti indicati (65%, ecc.) sono puramente convenzionali
- L'inserimento della tipologia "struttura mista telaio-pareti (con l'ulteriore distinzione "equivalente a telaio" ed "equivalente a pareti") serve solo per confondere le idee



- L'importante è capire se il comportamento tende a quello di una struttura fortemente iperstatica (telaio a molte campate e molti piani) o sostanzialmente isostatica (singole mensole)
- Il progettista deve impostare la struttura facendo una scelta chiara tra le due possibilità

Commento

alle indicazioni di normativa

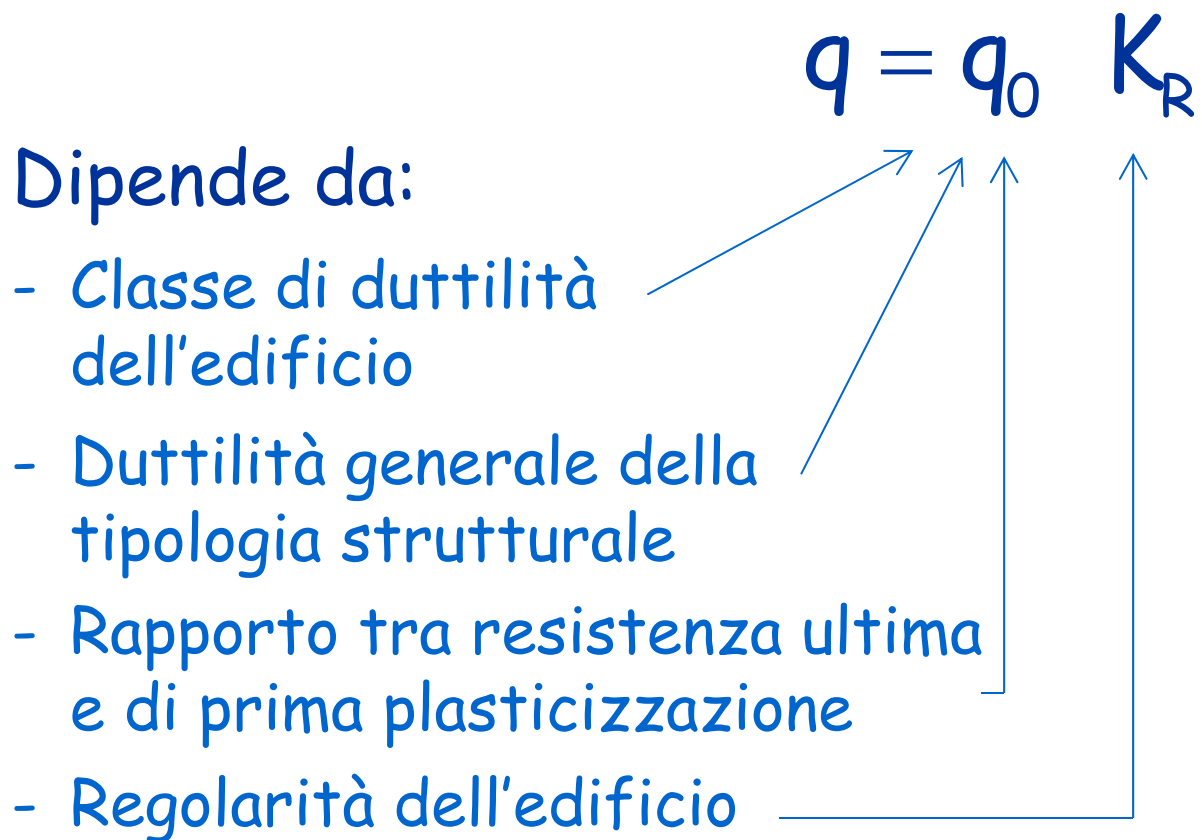
- La classificazione della normativa è poco chiara e po' essere fuorviante
- Meglio distinguere chiaramente:
 - Strutture a pareti accoppiate
Hanno un comportamento simile a quello dei telai
 - Strutture a pareti non accoppiate
Hanno un comportamento specifico, a mensola
Sono sempre accoppiate a pilastri e travi
- La scelta progettuale deve essere chiara:
 - Se vi sono pareti non accoppiate queste devono portare (alla base) la quasi totalità dell'azione sismica
 - Strutture "miste" che abbiano un comportamento non ben definito devono essere sempre evitate

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

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

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

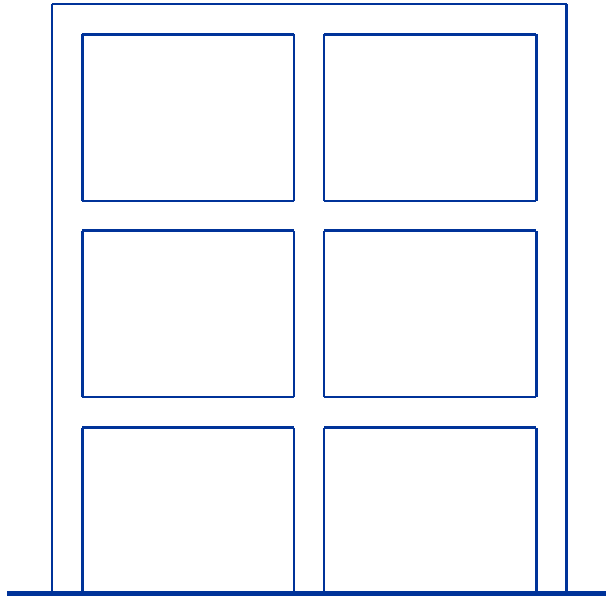


Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

- Classe di duttilità alta: CD"A"
 - Per garantire questa duttilità, richiede maggiori accorgimenti e maggiori coefficienti di sicurezza nel calcolo ed impone dettagli costruttivi più severi
 - Ha senso usarla per strutture a telaio e per strutture a pareti accoppiate
- Classe di duttilità media: CD"B"
 - Richiede forze di progetto maggiori
 - Ha senso usarla per strutture a pareti isolate, perché questa tipologia è intrinsecamente meno duttile

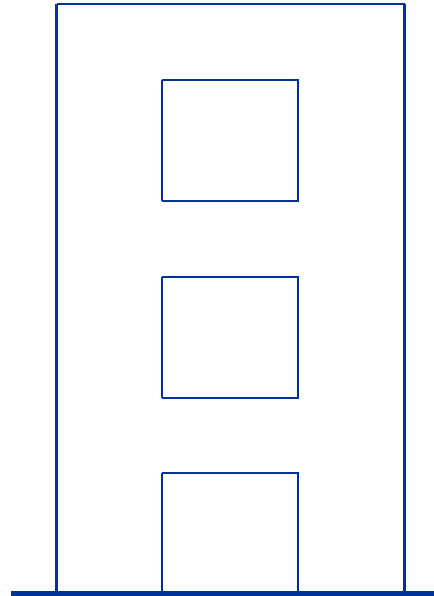
Comportamento e fattore di struttura q

Telaio

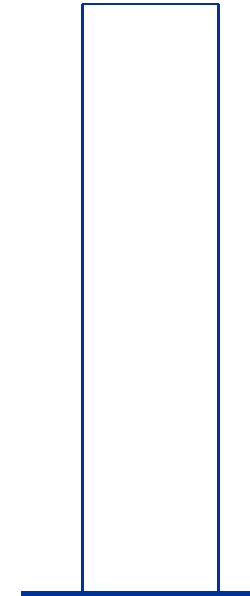


Comportamento dissipativo:
 q maggiore

Pareti
accoppiate



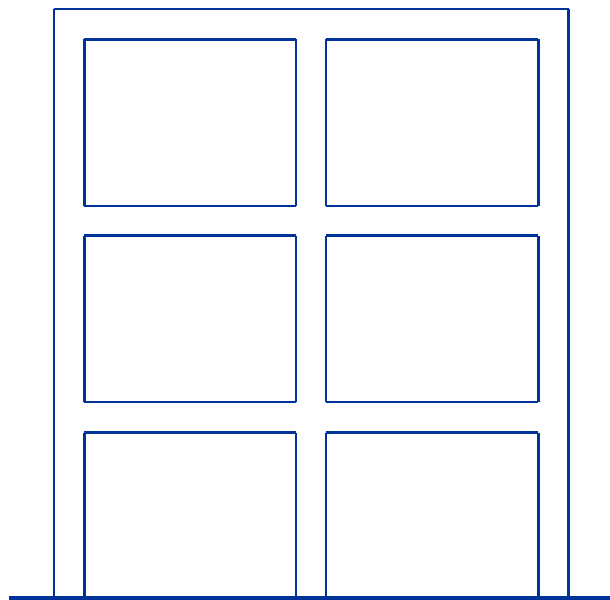
Pareti
singole



Poco dissipativo:
 q più basso

Comportamento e fattore di struttura q

Telaio



Comportamento dissipativo:
 q maggiore

CD "B"

$$q_0 = 3.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

Telai ad un solo piano

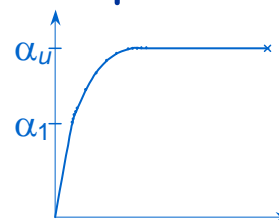
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$$

Telai a più piani ma
una sola campata

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2$$

Telai a più piani e più
campate

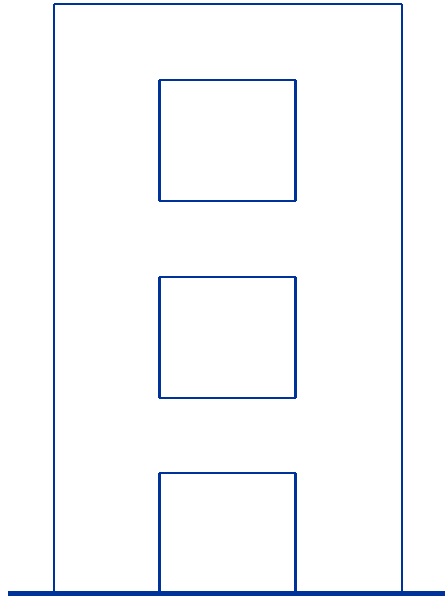
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.3$$



Potrebbe essere
determinato anche con
analisi non lineari

Comportamento e fattore di struttura q

Pareti
accoppiate



Comportamento dissipativo:
 q maggiore

CD "B"

$$q_0 = 3.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

Si usa sempre

CD "A"

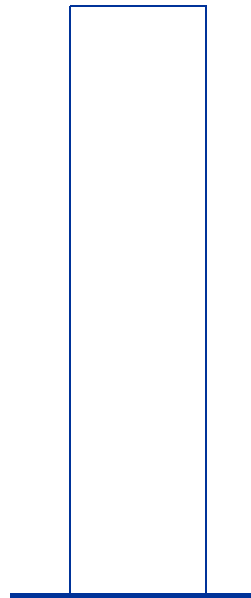
$$q_0 = 4.5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.2$$

Notare: sono, in sostanza,
telai a più piani ma una
sola campata

Comportamento e fattore di struttura q

Pareti
singole



Poco dissipativo:
 q più basso

CD "B"

$$q_0 = 3.0$$

Solo due pareti per
ogni direzione

Più di due pareti per
ogni direzione

CD "A"

$$q_0 = 4.0 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.0$$

$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$$

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

- Influenza della regolarità

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

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

- Ulteriori indicazioni:

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 ($h_w < 2 l_w$)

Vantaggi delle strutture con pareti

Elevata rigidezza

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

Minore sensibilità alla presenza ed alla eventuale distribuzione non regolare degli elementi non strutturali

Elevata resistenza

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

Importanti distinzioni

- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)
 - Le pareti devono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato
 - Le pareti possono essere considerate come "pareti estese debolmente armate"
- Edifici con pareti estese a tutta altezza
 - È questa la reale tipologia di "edificio a pareti"

Argomenti trattati

- Comportamento e verifica delle pareti
- Edificio con pareti solo al primo livello
 - Problematiche specifiche
- Problematiche di calcolo della tipologia a pareti non accoppiate
- Edificio con pareti non accoppiate
 - Criteri di dimensionamento
 - Modellazione e analisi sismica
 - Valutazione globale del comportamento strutturale
 - Progetto delle armature

Norme di riferimento italiane

- 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
- Bozza Norme Tecniche per le Costruzioni 2013

Norme di riferimento europee

- EN 1990: Criteri generali di progettazione strutturale
- EN 1991 (Eurocodice 1): Azioni sulle strutture
- 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