

Corsi di aggiornamento

Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

San Ponziano, Spoleto
aprile - settembre 2015

Organizzati da Aurelio Gherzi e APICE s.r.l.

Con il patrocinio di:
Ordini degli ingegneri delle province di
Perugia, Roma

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

**Le pareti in c.a. nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto

4-5 giugno 2015

Aurelio Ghersi, Edoardo Marino

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

Le pareti in c.a. nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente

Spoletto

4-5 giugno 2015

1 - Introduzione

Pareti in c.a.

Perché parlarne ?

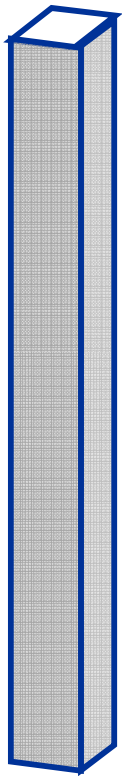
- Problemi relativi all'elemento strutturale "parete"
 - Comportamento
 - Modellazione
- Problemi relativi alla tipologia strutturale di edifici con pareti
 - Possibili tipologie
 - Comportamento
 - Modellazione

Elemento strutturale

Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro



Pilastro:

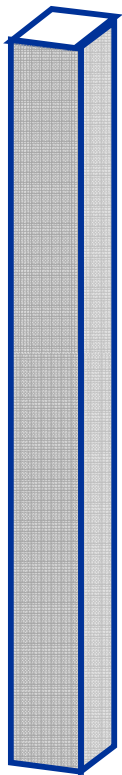
Asta che rispetta i
requisiti di De Saint
Venant

La dimensione longitudinale
è nettamente prevalente
rispetto alle dimensioni
della sezione

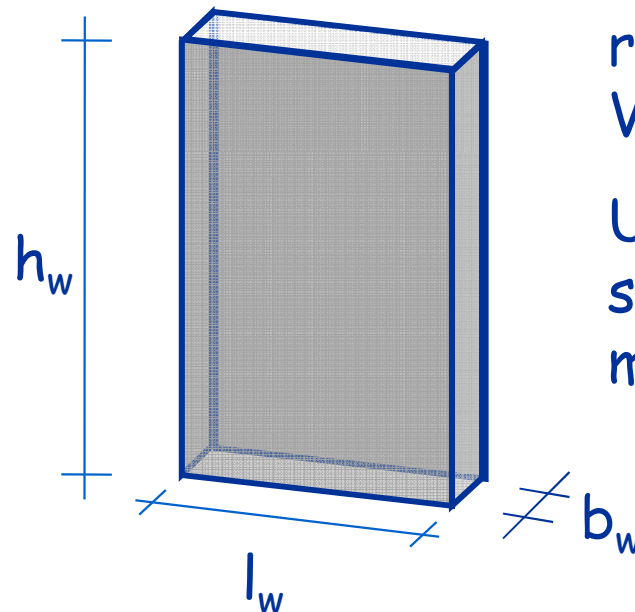
Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro



Parete



Parete:

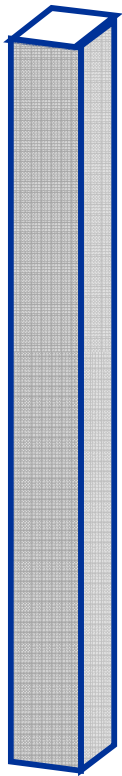
Asta che **non** rispetta i requisiti di De Saint Venant

Una dimensione della sezione è nettamente maggiore rispetto all'altra

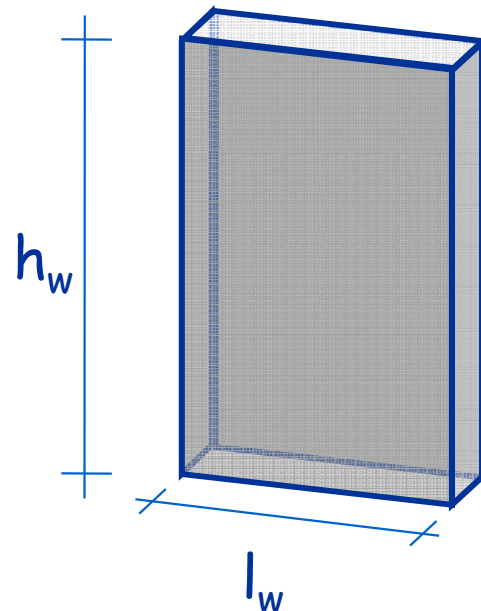
Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro

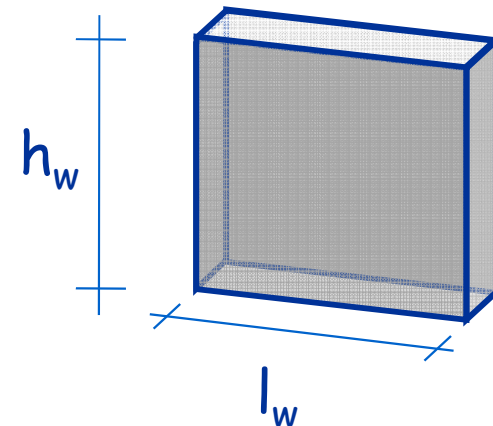


Parete snella



Parete tozza

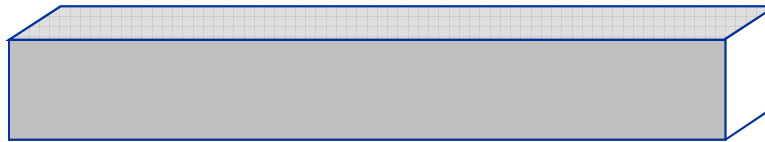
Ulteriori differenze a seconda del rapporto h_w / l_w



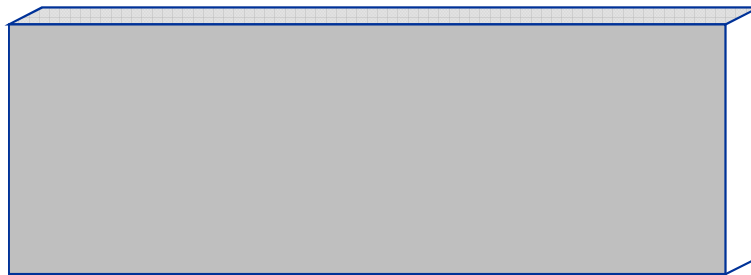
Elemento strutturale "parete"

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

Trave



Trave
parete



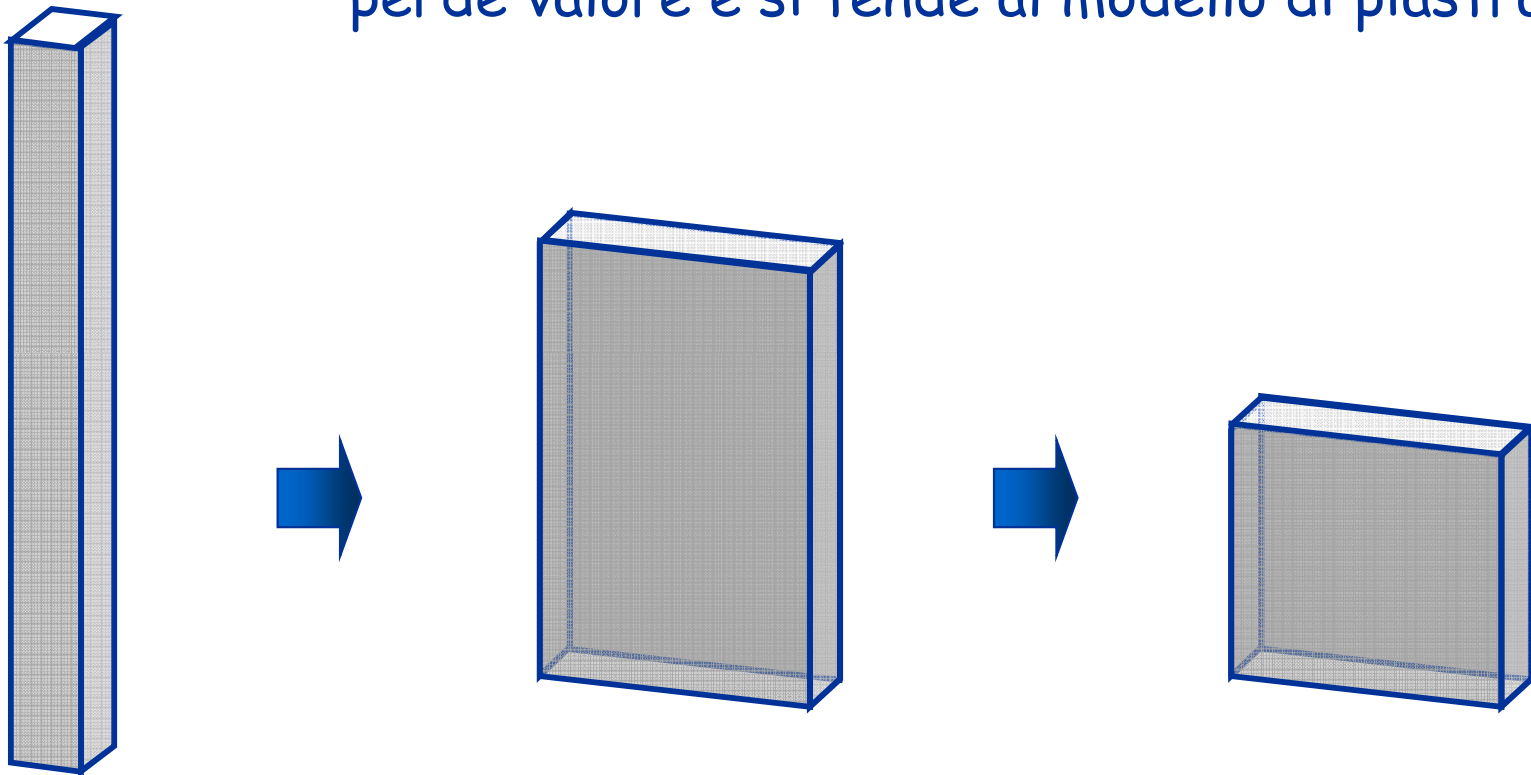
Esempio: trave realizzata come parapetto

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 piastra



... 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

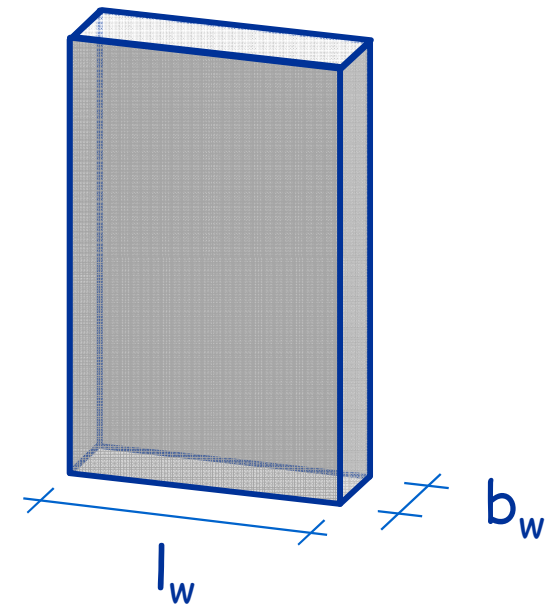
Secondo la normativa: parete in cemento armato

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: parete in cemento armato

Nella bozza di normativa vi è una ulteriore distinzione tra:

- Parete **semplice**
elemento con sezione rettangolare
- Parete **composta**
elemento con sezione costituita da più rettangoli

Nel caso di parete **composta** si considera resistente l'anima parallela alla direzione del sisma ed una parte «efficace» delle ali ortogonali all'anima

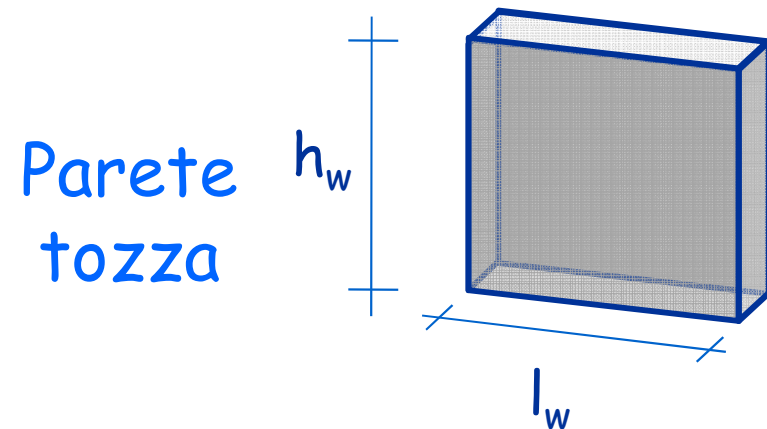
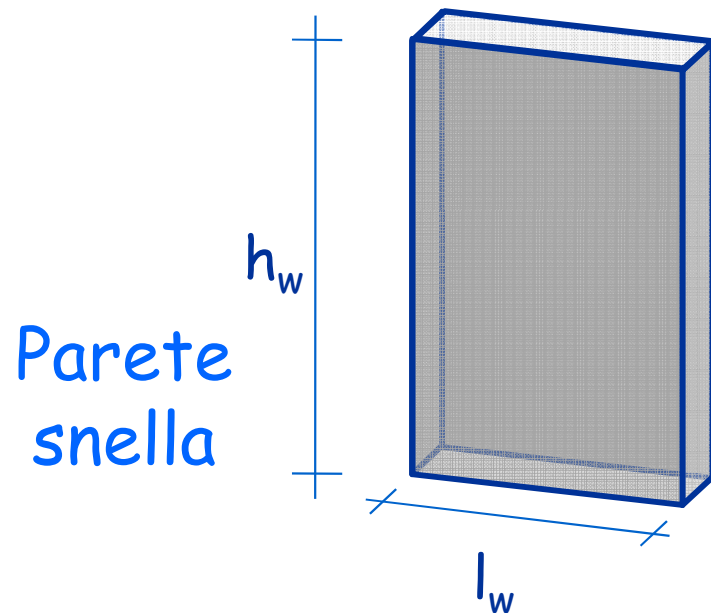
Secondo la normativa: classificazione delle pareti

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

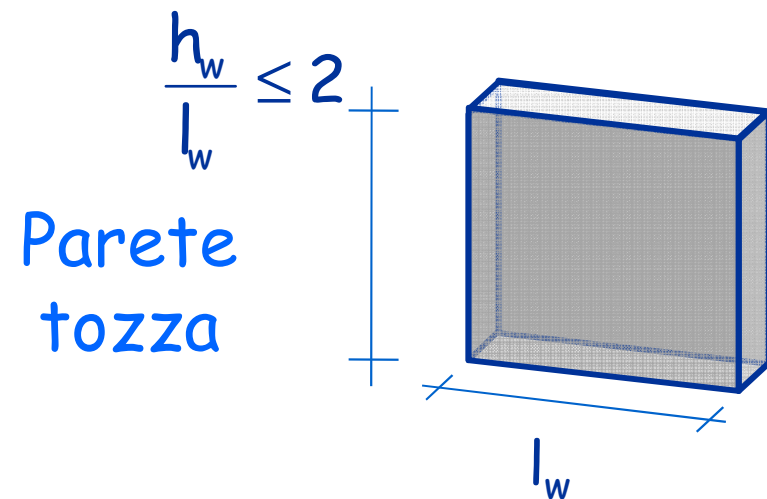
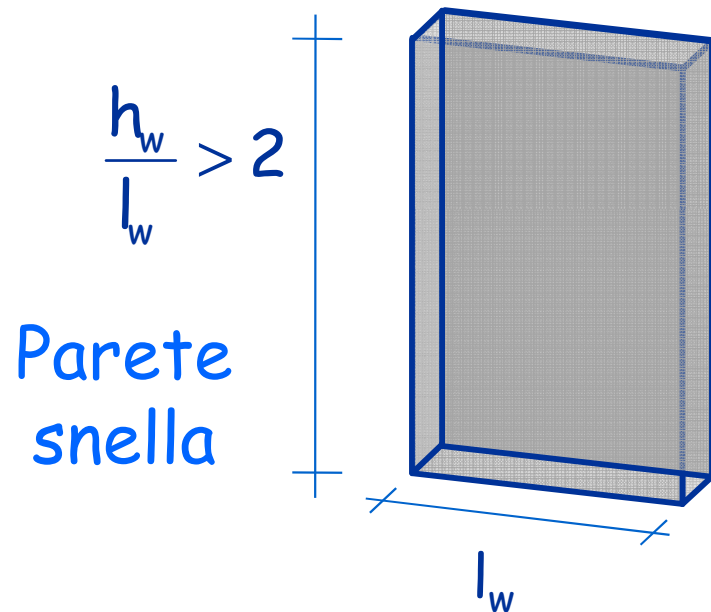


Secondo la normativa: classificazione delle pareti

Secondo le NTC 08 la parete è:

- snella quando $\frac{h_w}{l_w} > 2$
- tozza quando $\frac{h_w}{l_w} \leq 2$

Limite convenzionale



NTC 08, punto 7.4.4.5.1

NTC 15, punto 7.4.4.5

Secondo la normativa: classificazione delle pareti

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

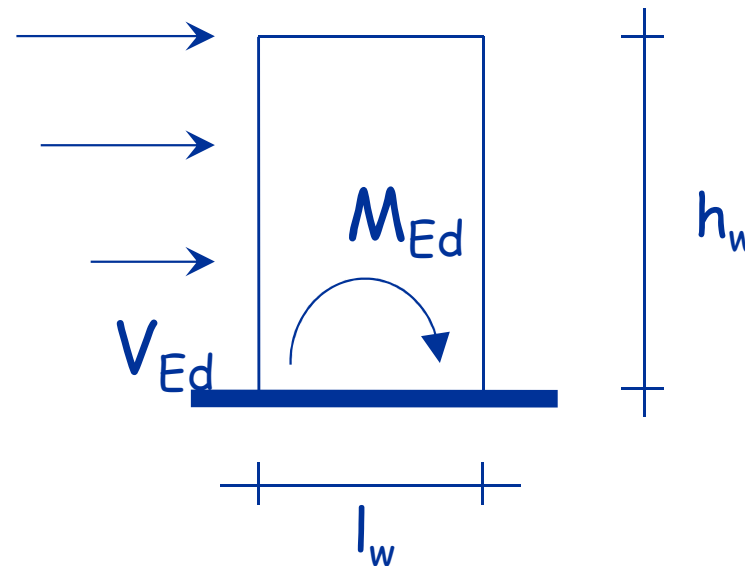
Pareti "snelle"

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

Pareti "tozze"

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

Il limite è utilizzato nella verifica a taglio-trazione



Questo limite coincide col precedente per pareti ad un solo piano

Secondo la normativa: classificazione delle pareti

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

Pareti "snelle"

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

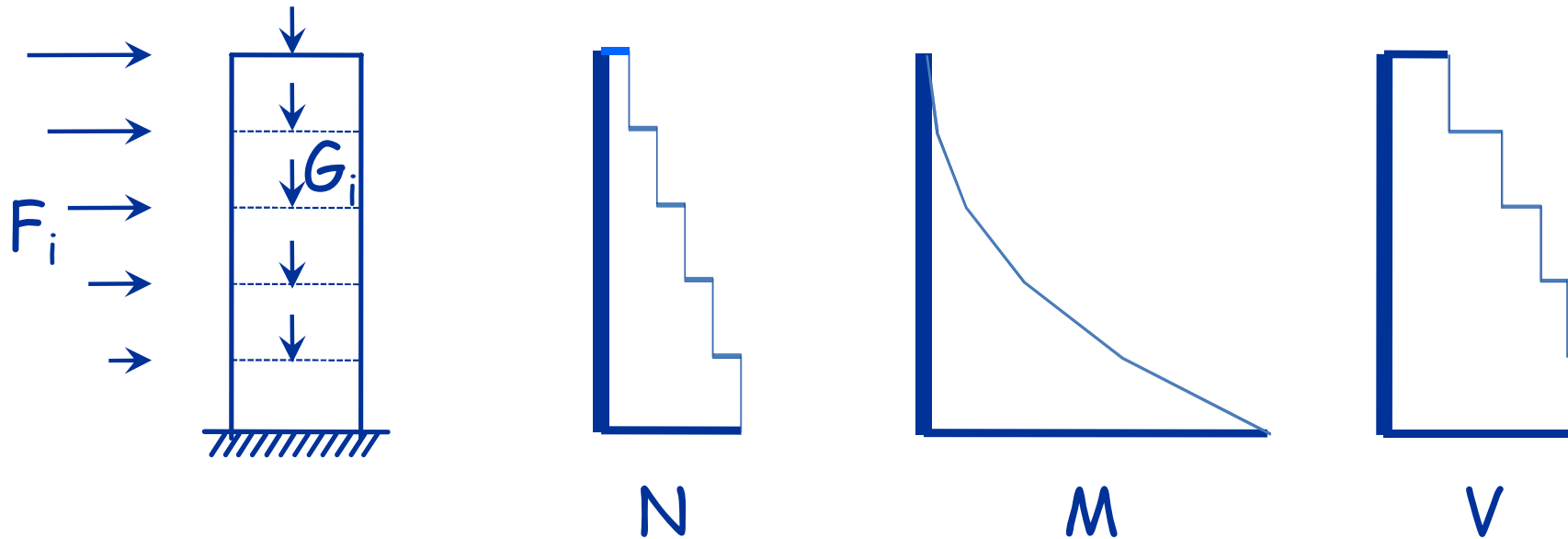
Pareti "tozze"

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

ATTENZIONE

il parametro α_s è un parametro globale della parete. Non ha senso parlare di valore di α_s a un piano

Stato di sollecitazione: pareti snelle



Flessione composta

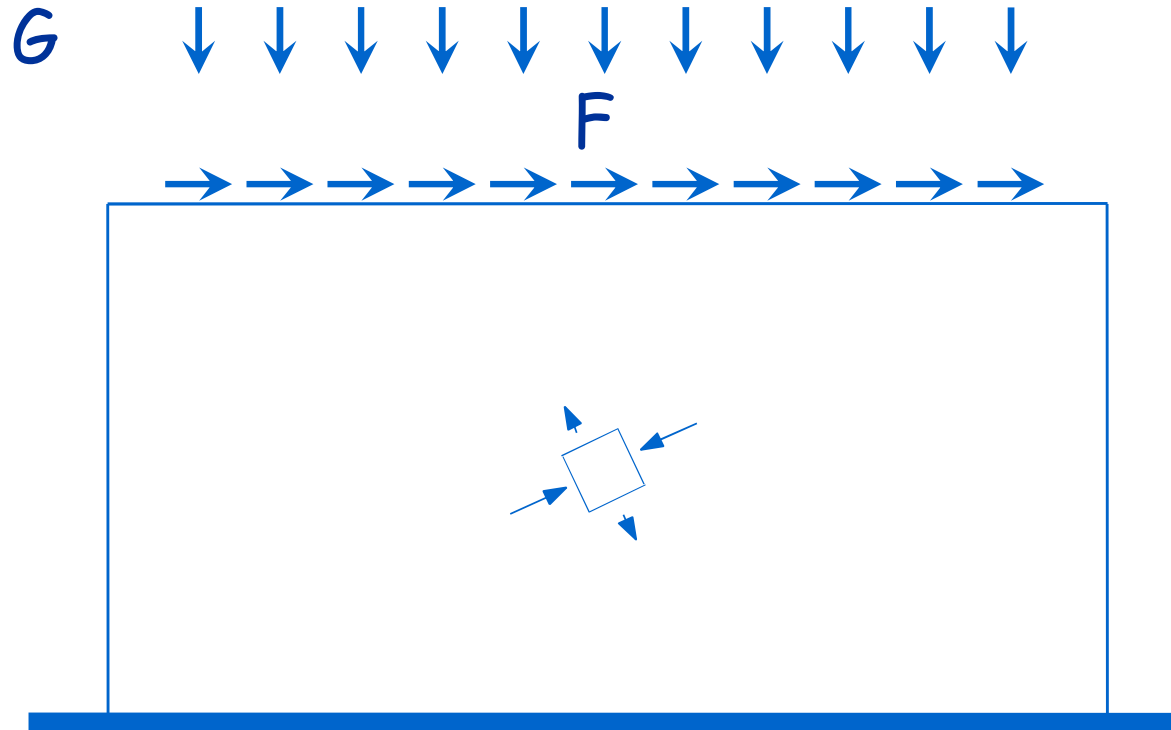
Sforzo normale dovuto ai carichi verticali

Momento flettente dovuto alle azioni orizzontali

Taglio

Dovuto alle azioni orizzontali

Stato di sollecitazione: pareti tozze



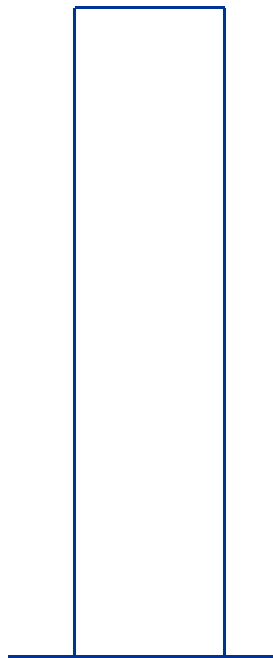
Si adottano i modelli di comportamento per elementi strutturali tozzi derivanti da:

- analisi dello stato tensionale;
- risultati della sperimentazione.

Elemento strutturale

- L'elemento strutturale:
definizioni dell'Eurocodice 8

Parete duttile



Parete duttile:

parete incastrata alla base in modo tale che **non sia permessa rotazione relativa della base** rispetto al resto del sistema strutturale, che è progettata e dotata di dettagli locali per **dissipare energia** in una zona con cerniera plastica flessionale appena sopra la sua base

Elemento strutturale

- L'elemento strutturale :
definizioni dell'Eurocodice 8

Parete debolmente armata



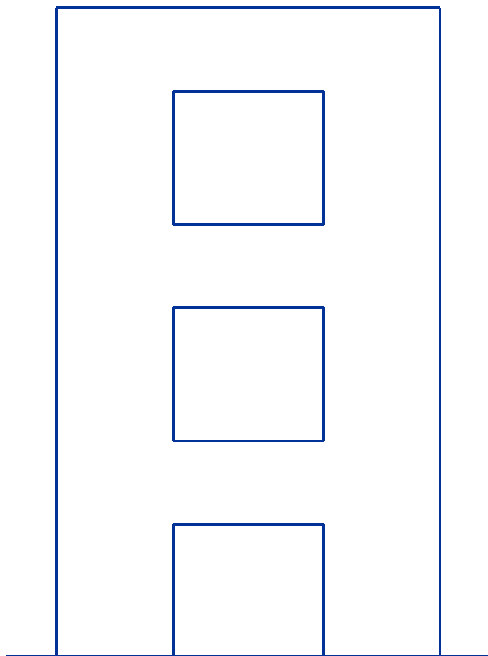
Parete debolmente armata:

parete con grandi dimensioni trasversali, cioè una dimensione orizzontale l_w almeno uguale a 4.00 m o due terzi dell'altezza h_w della parete, che ci si aspetta sviluppi una fessurazione ed un comportamento inelastico limitati sotto la situazione sismica di progetto

Elemento strutturale

- L'elemento strutturale:
definizioni dell'Eurocodice 8

Pareti accoppiate



Pareti accoppiate:

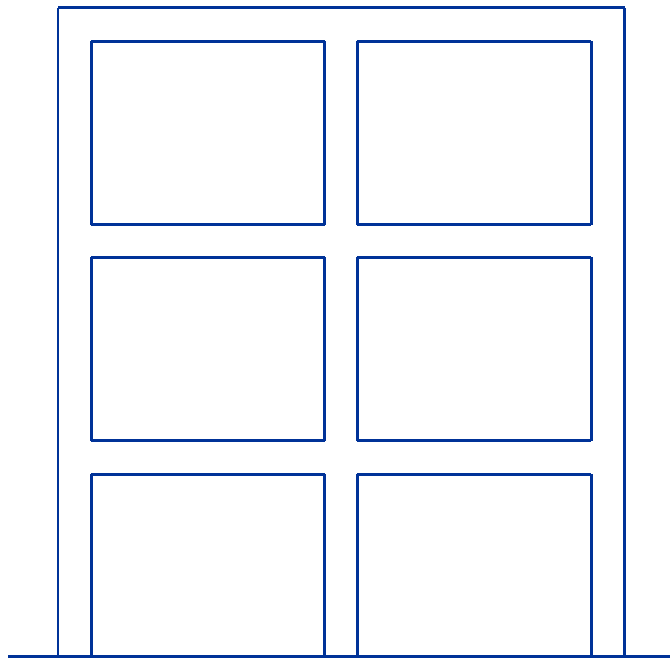
elemento strutturale costituito da due pareti singole connesse secondo uno schema regolare da travi adeguatamente duttili, in grado di ridurre almeno del 25% la somma dei momenti flettenti alla base delle singole pareti pensate come non collaboranti

Tipologia strutturale

Tipologia strutturale

- La tipologia strutturale: definizioni dell'Eurocodice 8

Sistema a telaio



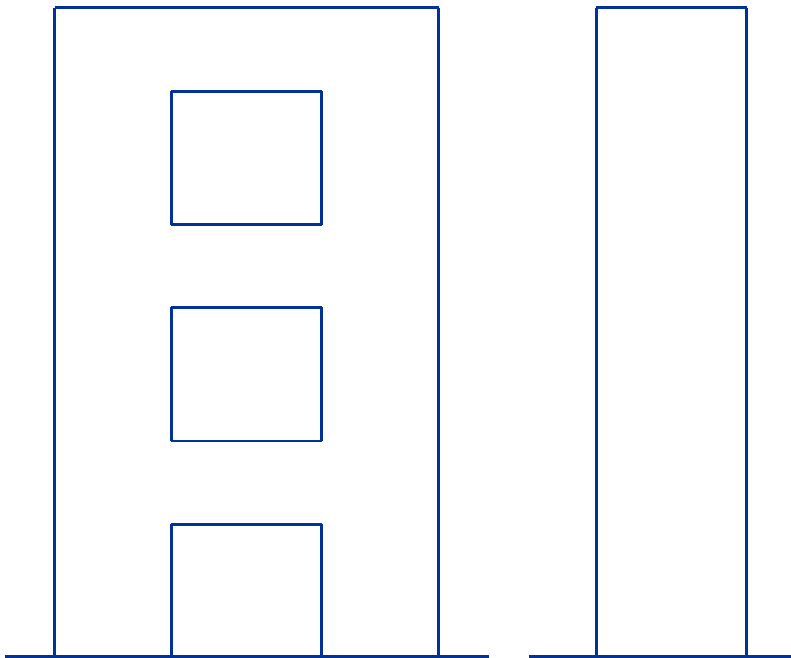
Sistema a telaio:

sistema strutturale nel quale i carichi sia laterali che verticali sono sopportati principalmente da telai spaziali (insiemi tridimensionali di travi e pilastri) la cui resistenza a taglio alla base dell'edificio è maggiore del 65% della resistenza a taglio dell'intero sistema strutturale

Tipologia strutturale

- La tipologia strutturale:
definizioni dell'Eurocodice 8

Sistema a pareti



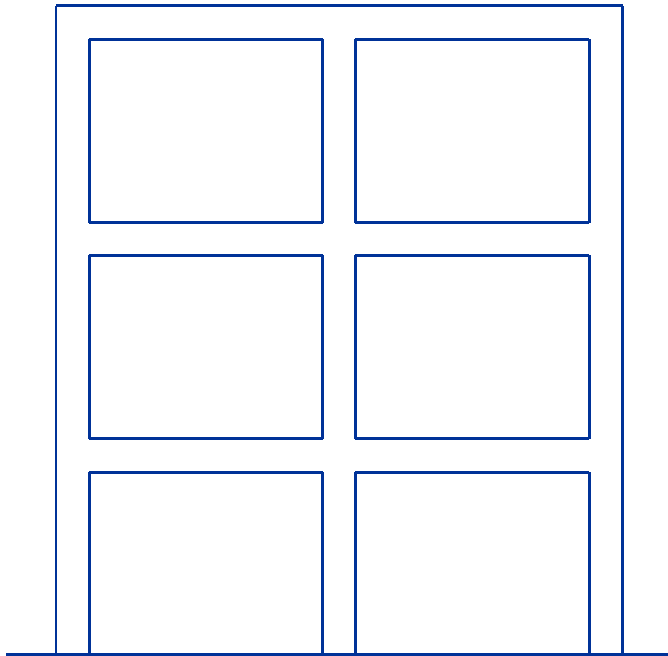
Sistema a pareti:

sistema strutturale nel quale i carichi laterali sono sopportati principalmente da pareti la cui resistenza a taglio alla base dell'edificio è maggiore del 65% della resistenza a taglio dell'intero sistema strutturale

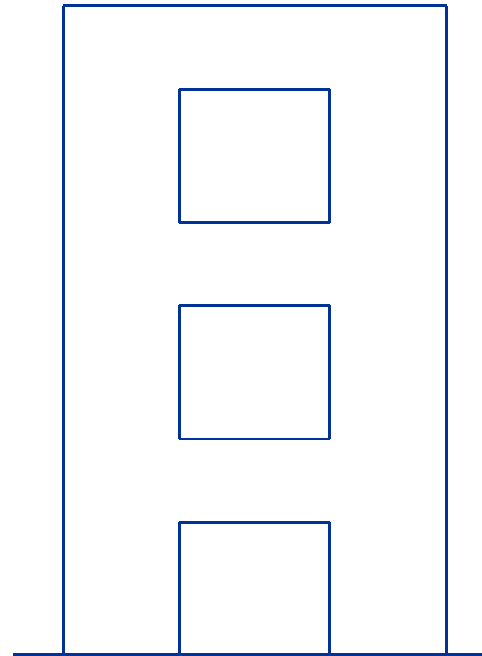
Tipologia strutturale

- Dal telaio alle singole pareti

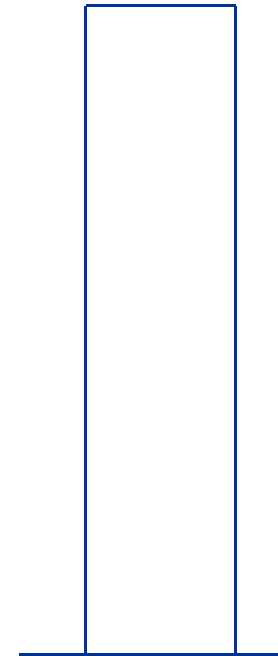
Telaio



Pareti
accoppiate



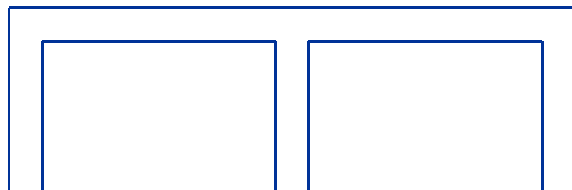
Pareti
singole



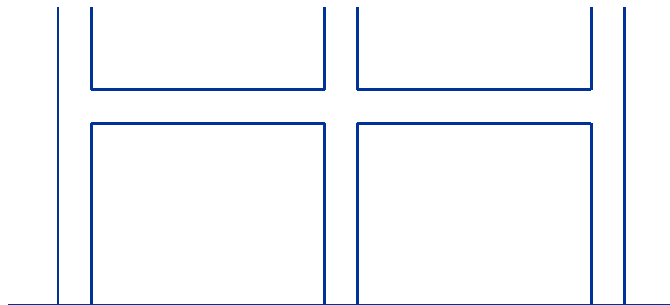
Tipologia strutturale

- Dal telaio alle singole pareti

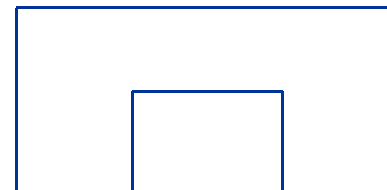
Telaio



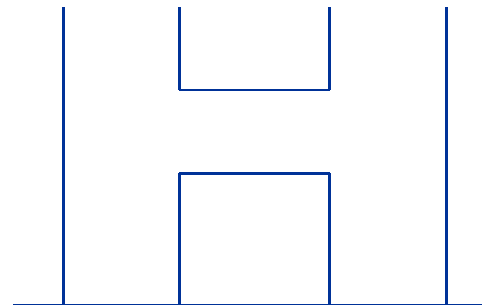
Comportamento
a telaio



Pareti
accoppiate



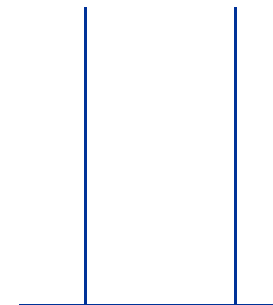
Comportamento
a telaio



Pareti
singole



Comportamento
a mensola



... e quindi

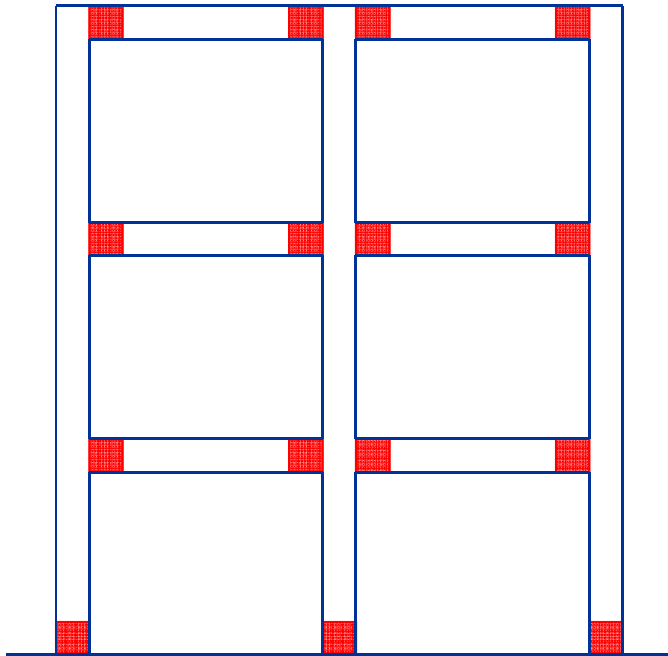
1. Problemi specifici dell'elemento, man mano che cambia il rapporto tra le tre dimensioni (lunghezza, base e altezza della sezione)
 - Il passaggio è graduale, qualunque limite è convenzionale
2. Problemi specifici della tipologia strutturale, man mano che si passa da uno schema fortemente iperstatico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

Tipologia strutturale

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)

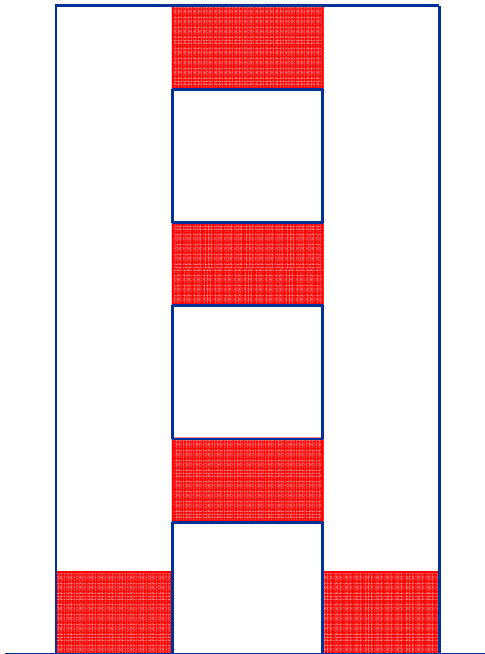
Meccanismo molto dissipativo, buona duttilità globale

Tipologia strutturale

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)

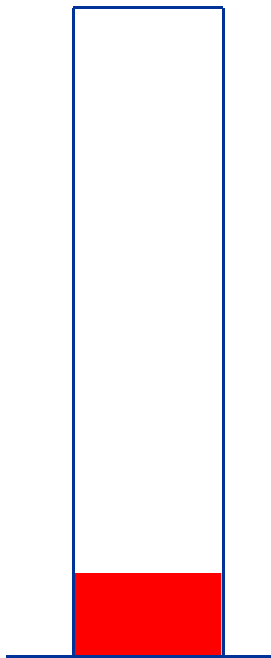
Meccanismo molto dissipativo,
buona duttilità globale

Tipologia strutturale

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)

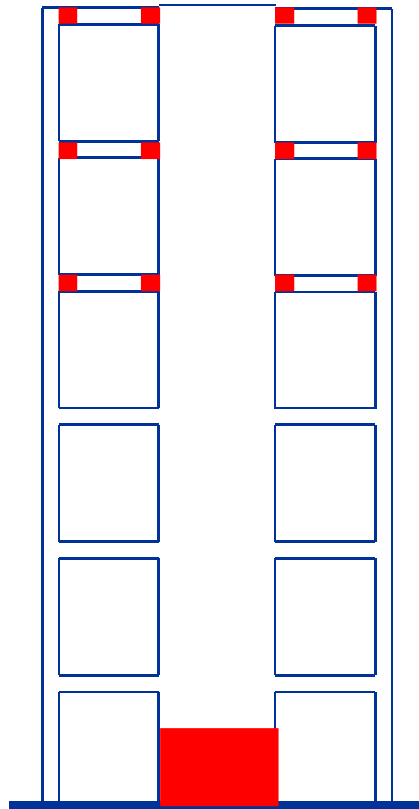
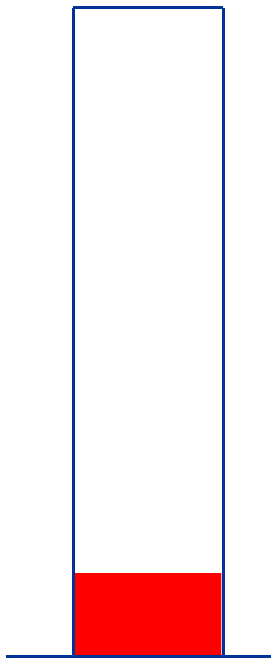
Meccanismo poco dissipativo, modesta duttilità globale

Tipologia strutturale

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*;

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie

- **strutture a telaio**, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a telai spaziali, aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale;
- **strutture a pareti**, nelle quali la resistenza alle azioni sia verticali che orizzontali è affidata principalmente a pareti (v. §7.4.4.5), aventi resistenza a taglio alla base $\geq 65\%$ della resistenza a taglio totale; le pareti, a seconda della forma in pianta, si definiscono semplici o composte (v. § 7.4.4.5), a seconda della assenza o presenza di opportune "travi di accoppiamento" duttili distribuite in modo regolare lungo l'altezza, si definiscono singole o accoppiate;
- **strutture miste telaio-pareti**, nelle quali la resistenza alle azioni verticali è affidata prevalentemente ai telai, la resistenza alle azioni orizzontali è affidata in parte ai telai ed in parte alle pareti, singole o accoppiate; se più del 50% dell'azione orizzontale è assorbita dai telai si parla di **strutture miste equivalenti a telai**, altrimenti si parla di **strutture miste equivalenti a pareti**;

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

Dipende da:

- Classe di duttilità dell'edificio
- Duttilità generale della tipologia strutturale
- Rapporto tra resistenza ultima e di prima plasticizzazione
- Regolarità dell'edificio

$$q = q_0 K_R$$

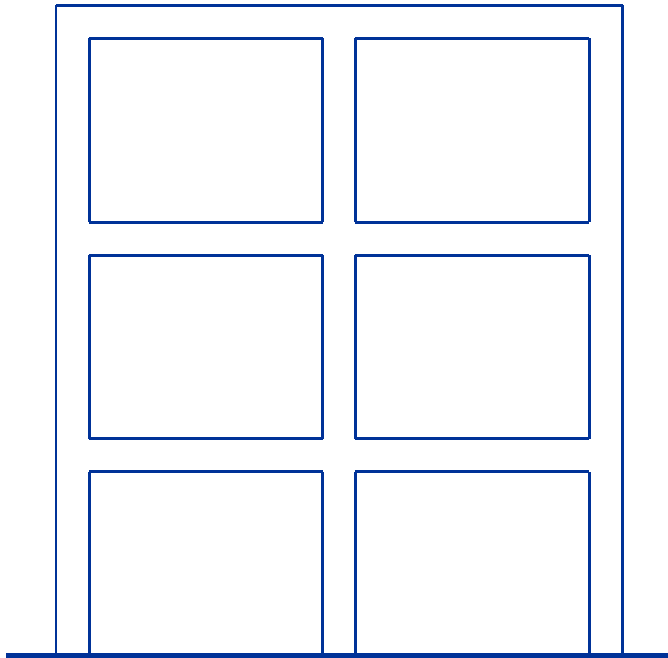


Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

- 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

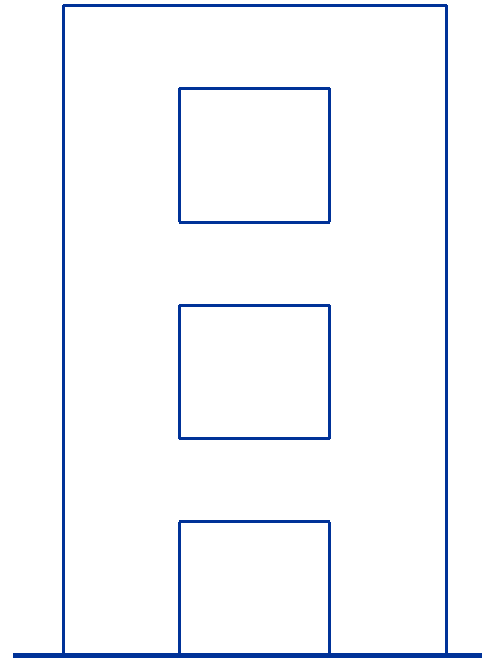
Comportamento e fattore di struttura q

Telaio

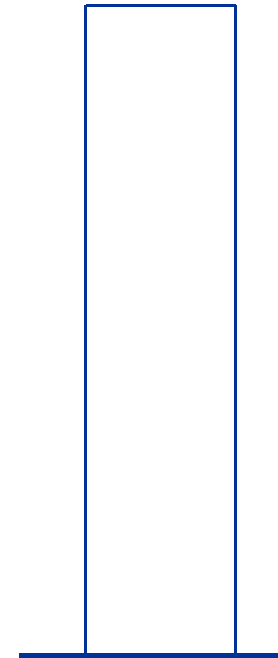


Comportamento dissipativo:
 q maggiore

Pareti
accoppiate



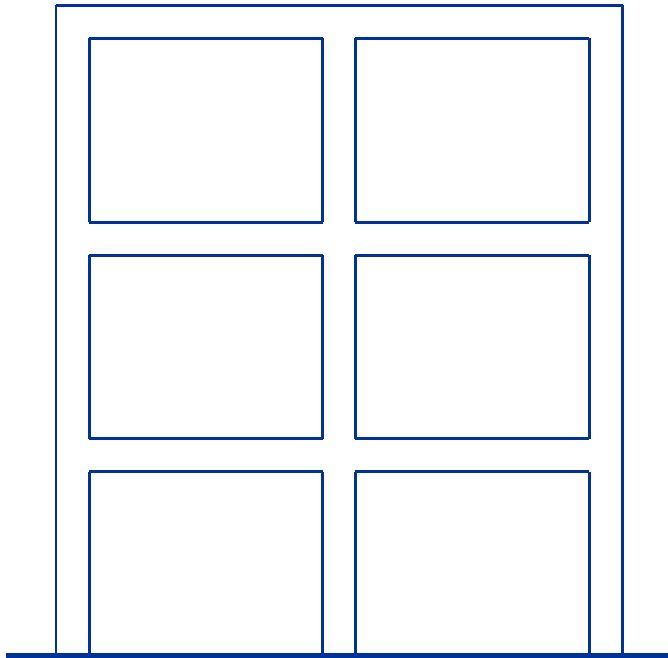
Pareti
singole



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

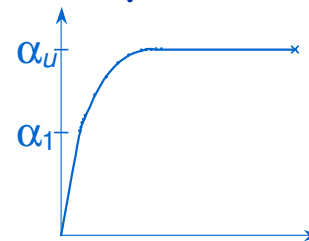
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$$

Telai a più piani ma
una sola campata

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

Telai a più piani e più
campate

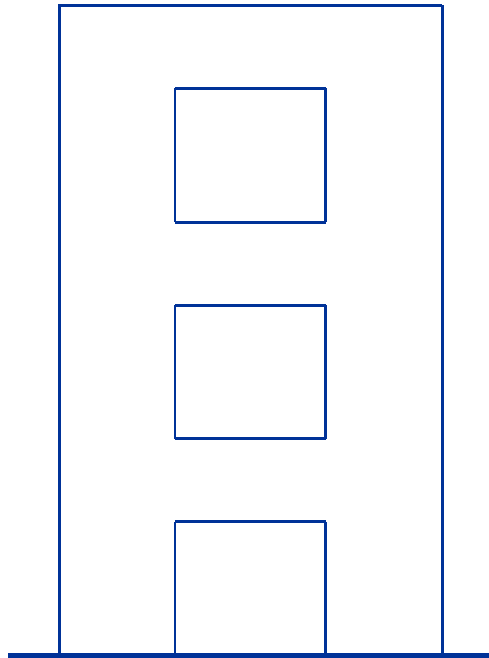
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.3$$



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

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

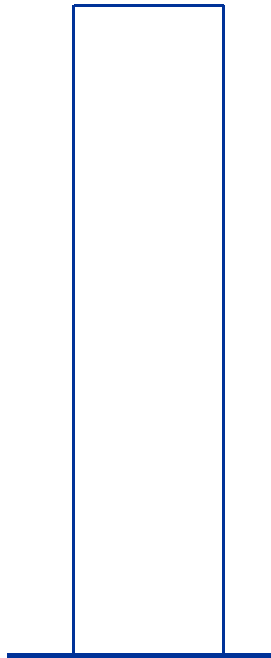
Notare: sono, in sostanza,
telai a più piani ma una
sola campata

CD "A"

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

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

- Ma sulla regolarità c'è molto da discutere;
ad esempio:
 - Influenza del comportamento mutuo telai-pareti

Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

- Ulteriori indicazioni:

Qualora nella costruzione siano presenti pareti di calcestruzzo armato, per prevenirne il collasso fragile, i valori di q_0 devono essere ridotti mediante il fattore k_w , con:

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

dove α_0 è il valore assunto in prevalenza dal rapporto tra altezza totale (dalle fondazioni o dalla struttura scatolare rigida di base fino alla sommità) e lunghezza 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, come lunghezza, la somma delle lunghezze.

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

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: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici