

Corsi di aggiornamento

Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Villa Redenta, Spoleto
febbraio - giugno 2012

Organizzati da Aurelio Gheresi

Con il patrocinio di:
Comune di Spoleto

Ordine degli ingegneri della provincia di Perugia
Ordini degli ingegneri delle province di Ancona, Catania,
Lecce, Messina, Oristano, Parma, Rimini, Siracusa, Viterbo
ATE, Associazione Tecnologi dell'Edilizia, Milano

Patrocinio



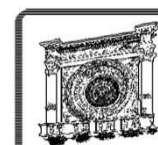
Comune di Spoleto



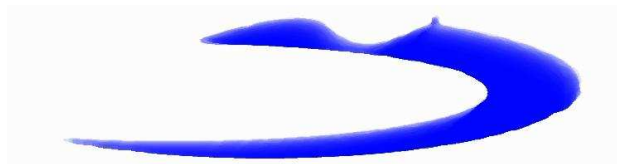
**ORDINE INGEGNERI
PROVINCIA PERUGIA**



provincia di ANCONA



**ordine
ingegneri
provincia
di lecce**



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Oristano



Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

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

1 - Introduzione

Spoletto
10-11 maggio 2012
Aurelio Gheresi

Pareti in c.a.

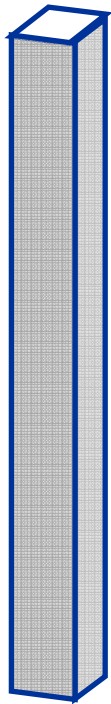
Perché parlarne ?

- 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:

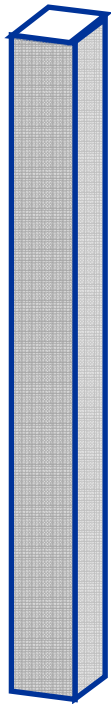
Asta che rispetta i
requisiti di De Saint
Venant

La dimensione longitudinale
è nettamente prevalente
rispetto alle dimensioni
della sezione

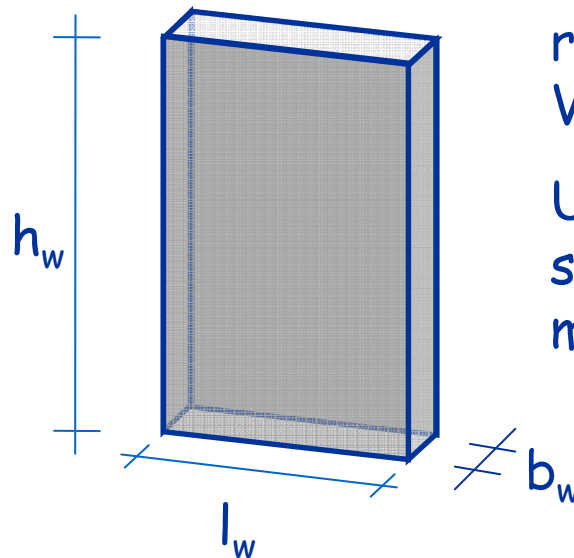
Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro



Parete



Parete:

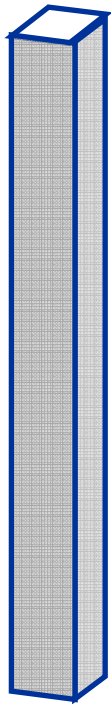
Asta che **non** rispetta i requisiti di De Saint Venant

Una dimensione della sezione è nettamente maggiore rispetto all'altra

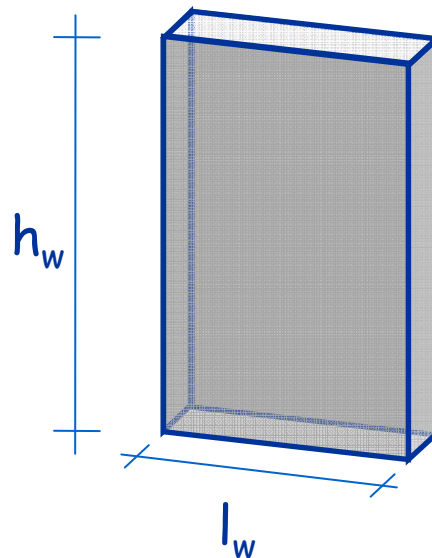
Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro

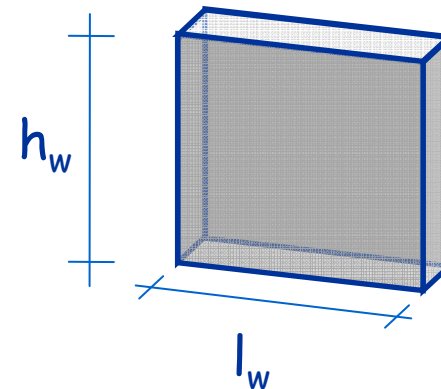


Parete snella



Parete tozza

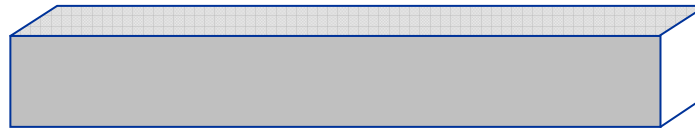
Ulteriori differenze a seconda del rapporto h_w / l_w



Elemento strutturale "parete"

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

Trave



Trave
parete



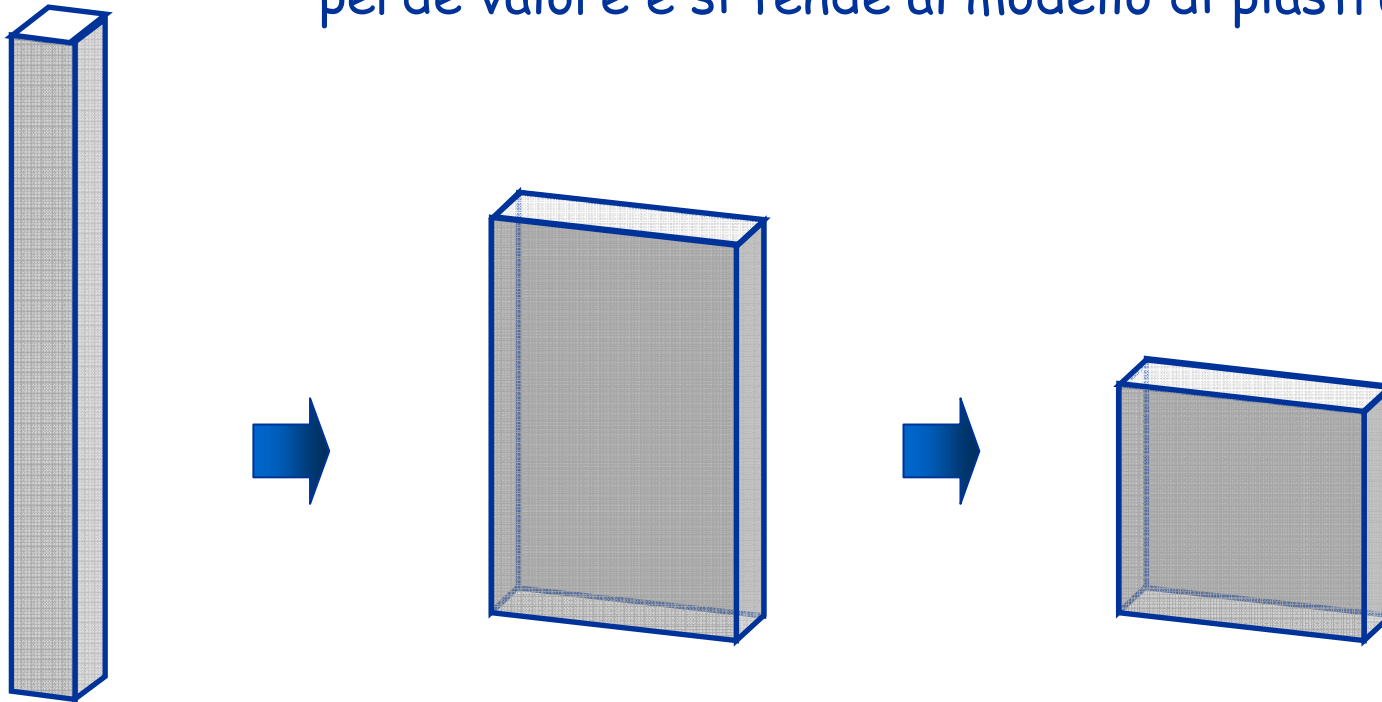
Esempio: trave realizzata come parapetto

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

Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

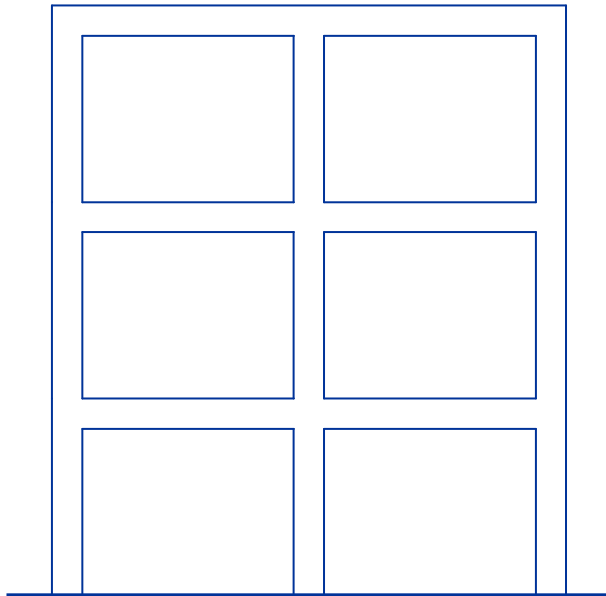
Via via il modello di trave di De Saint Venant perde valore e si tende al modello di piastra



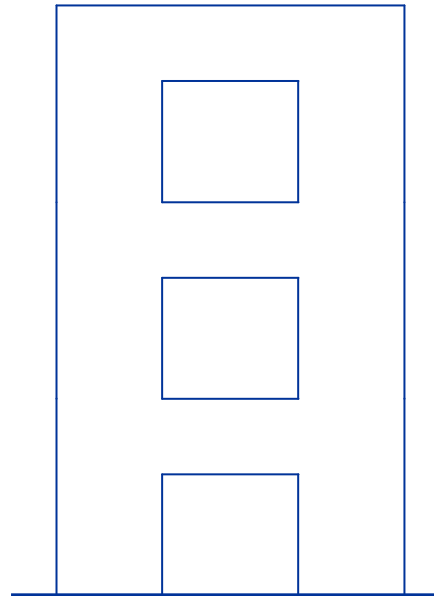
Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti

Telaio



Pareti accoppiate

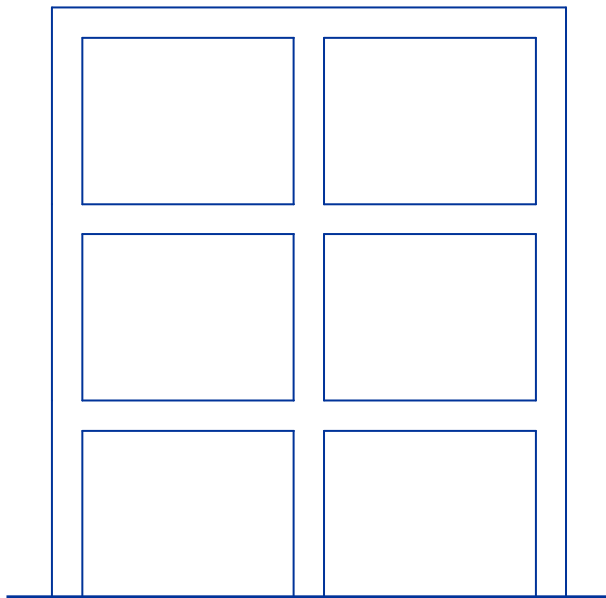


Pareti accoppiate: due pareti vicine tra loro, collegate ai vari piani da una trave rigida. La trave è molto sollecitata a taglio e questo diventa sforzo normale nelle pareti. Il momento ribaltante dell'azione sismica è assorbito in buona parte dalla coppia di sforzi normali

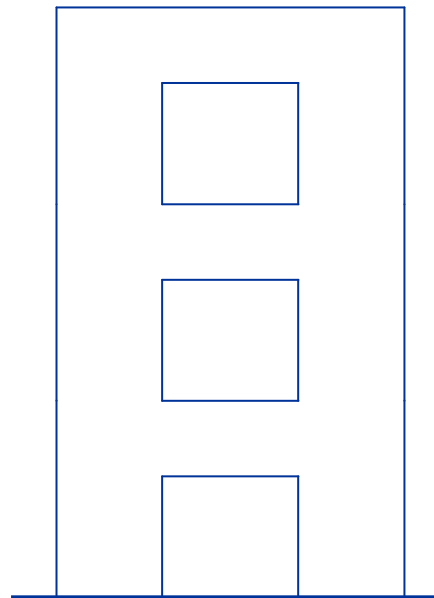
Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti

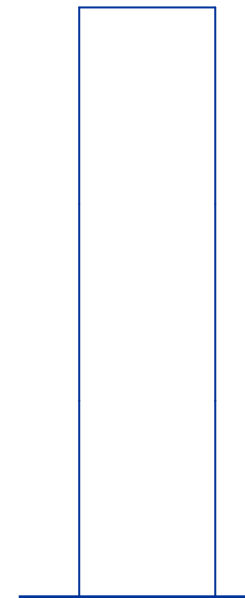
Telaio



Pareti
accoppiate



Pareti
singole



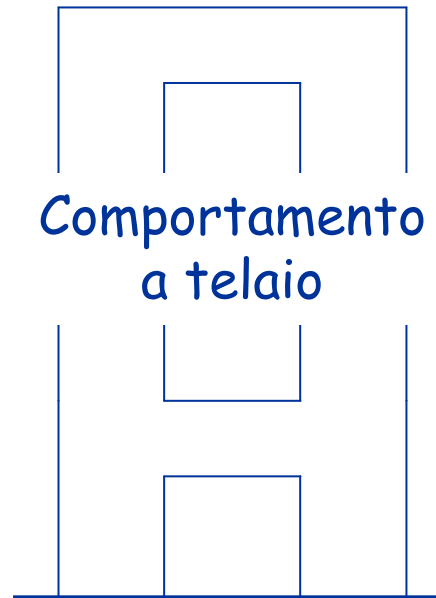
Tipologia strutturale con pareti

- 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

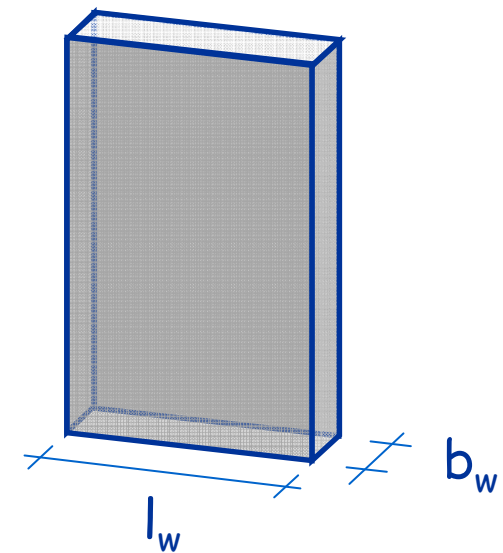
Secondo la normativa: parete in cemento armato

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 ...



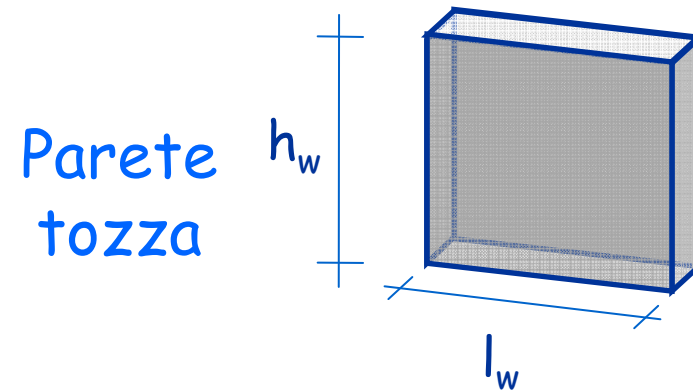
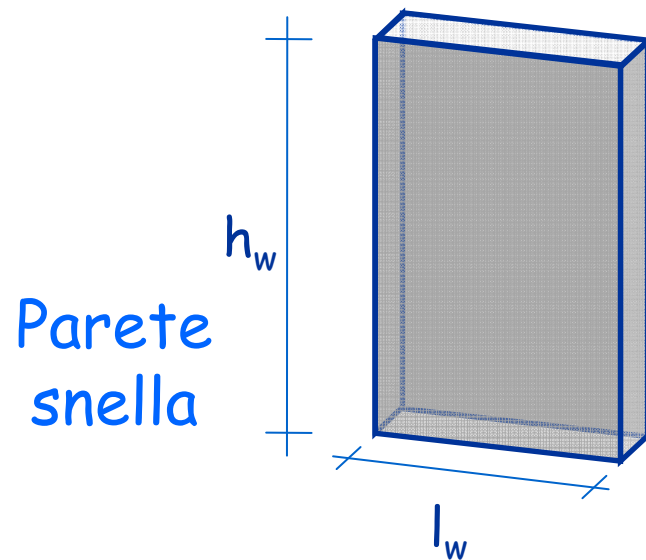
Secondo la normativa: classificazione delle pareti

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

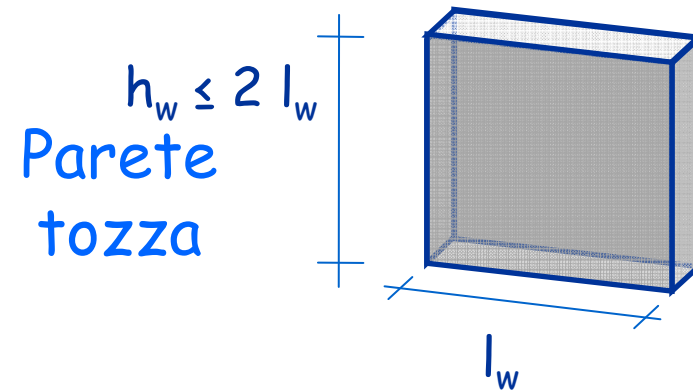
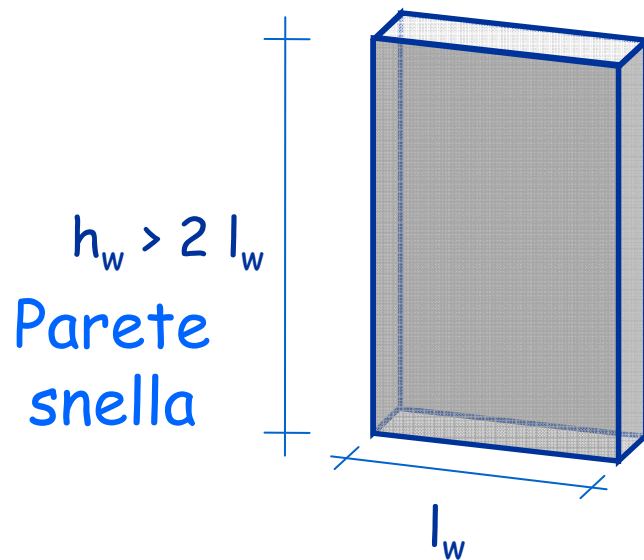


Secondo la normativa: classificazione delle pareti

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

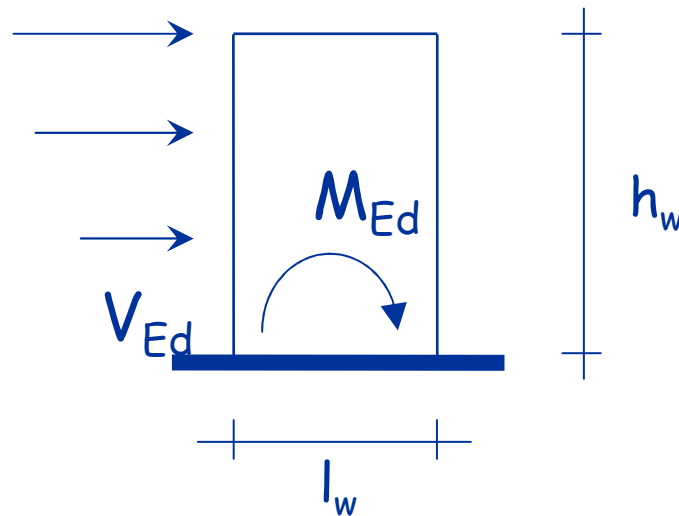
Pareti "snelle"

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

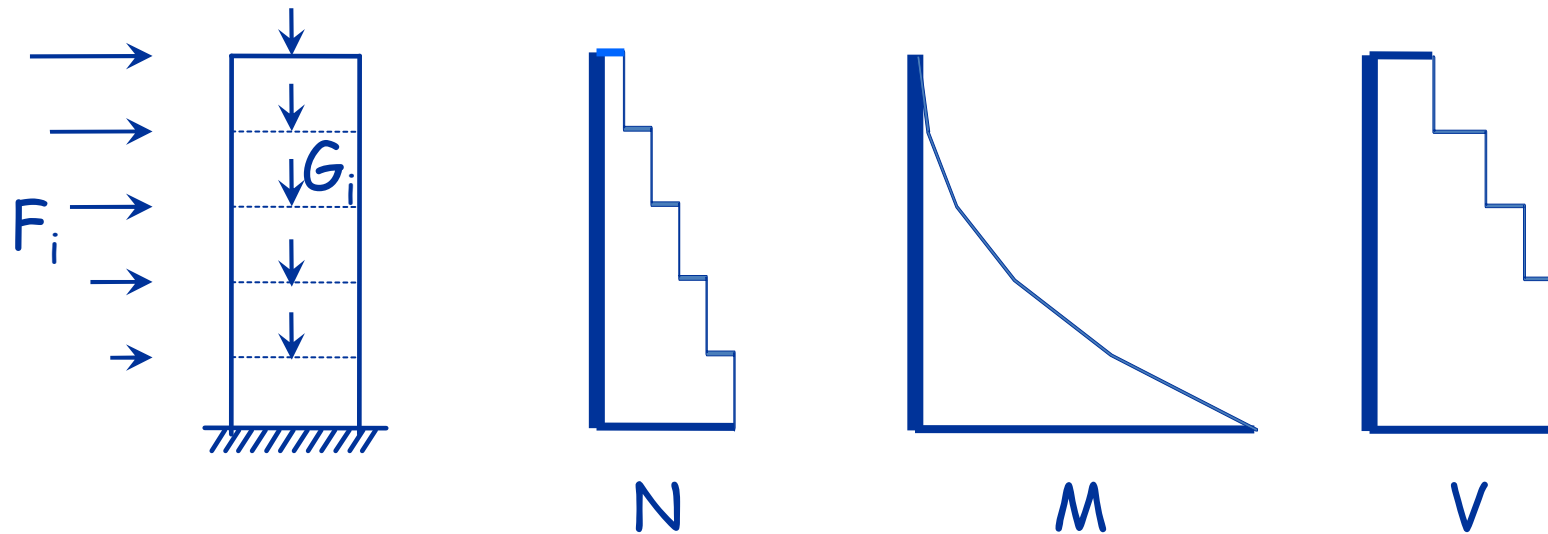
Pareti "tozze"

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

Qui compare
un altro limite



Stato di sollecitazione: pareti snelle



Flessione composta

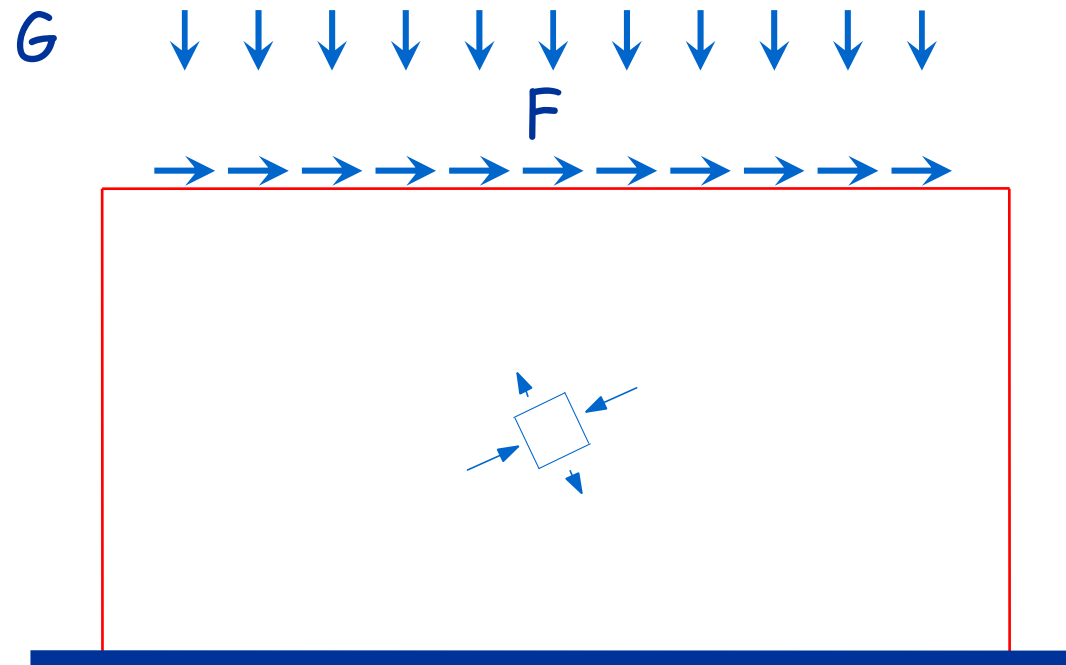
Sforzo normale dovuto ai carichi verticali

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.

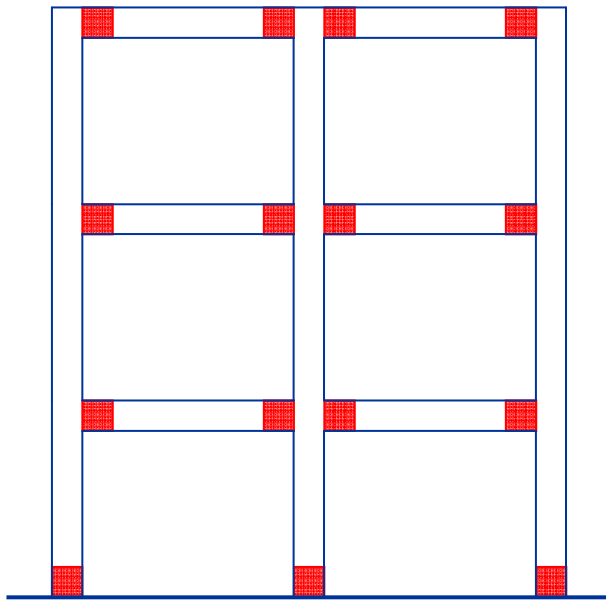
... e quindi

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:

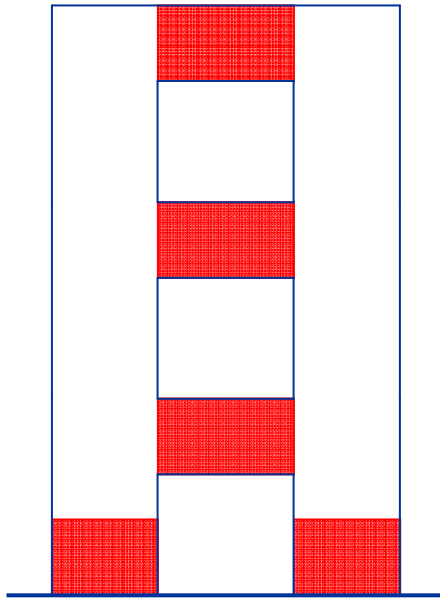
Formazione di cerniere agli
estremi delle travi (e al
piede dei pilastri del primo
ordine)

Meccanismo molto
dissipativo, buona duttilità
globale

Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

Pareti
accoppiate



Pareti accoppiate:

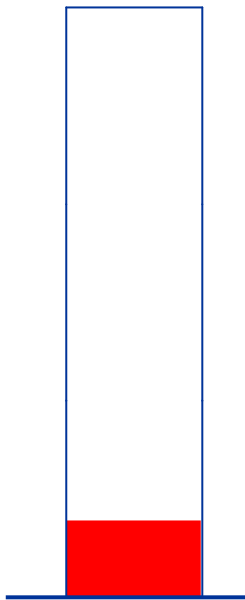
Completa plasticizzazione delle
travi di accoppiamento (e della
sezione di base delle pareti)

Meccanismo molto dissipativo,
buona duttilità globale

Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

Pareti
singole



Pareti singole:

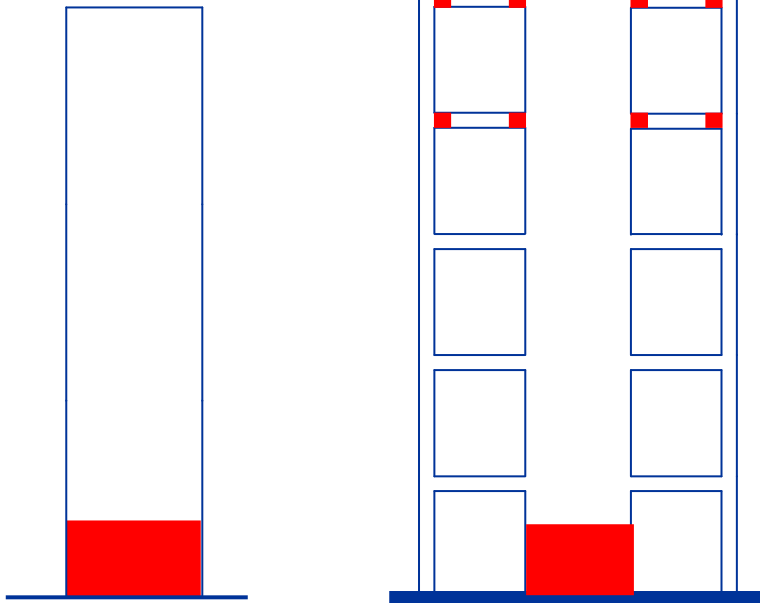
Plasticizzazione della sezione
di base delle pareti, con rischio
di rottura a taglio (da evitare)

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

$$q = q_0 K_R$$

Dipende da:

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

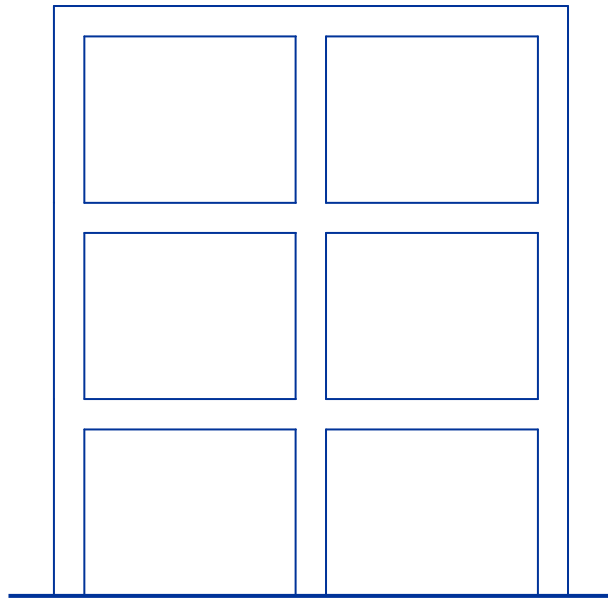


Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di q

- 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 poco senso usarla per strutture a pareti isolate, perché questa tipologia è intrinsecamente meno duttile

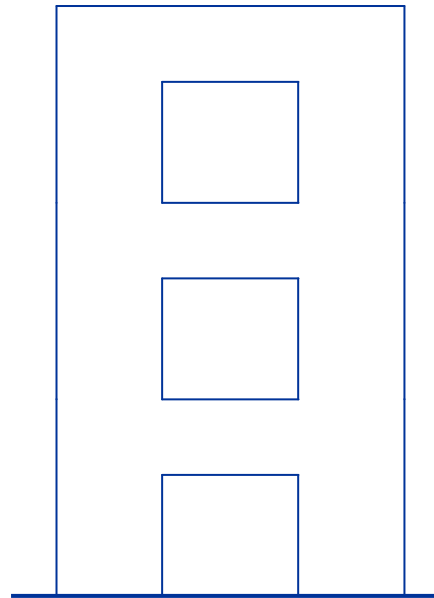
Comportamento e fattore di struttura q

Telaio

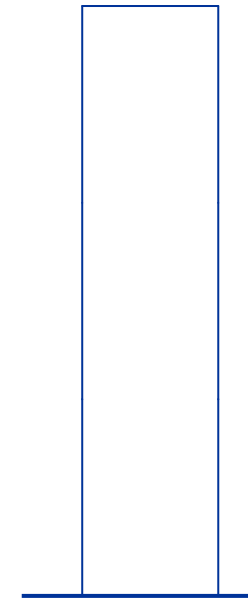


Comportamento dissipativo:
 q maggiore

Pareti
accoppiate



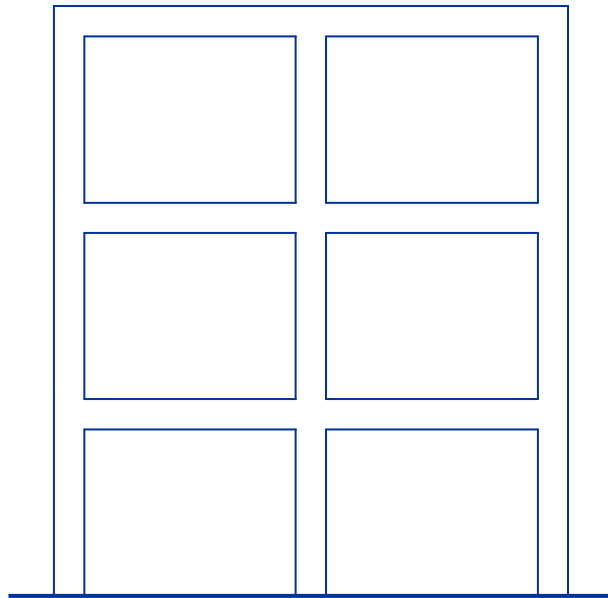
Pareti
singole



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

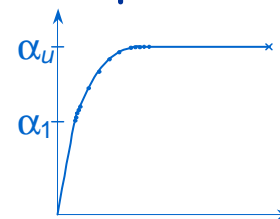
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.1$$

Telai a più piani ma
una sola campata

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

Telai a più piani e più
campate

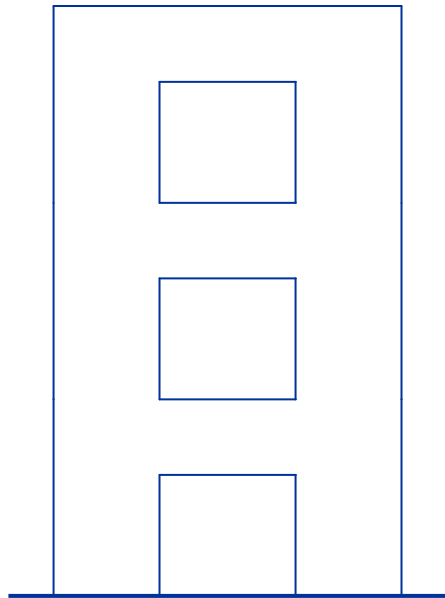
$$\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1.3$$



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"

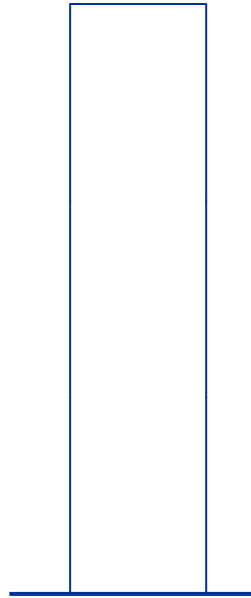
$$q_0 = 4.5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

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

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

- Ma anche qui c'è da discutere
 - Concentrazione di rigidità per pilastri corti e simili?

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

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

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

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