

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

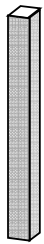
**Pareti in c.a.**  
Perché parlarne ?

- 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:

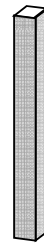
Asta che rispetta i  
requisiti di De Saint  
Venant

La dimensione longitudinale  
è nettamente prevalente  
rispetto alle dimensioni  
della sezione

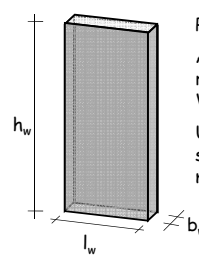
**Elemento strutturale "parete"**

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro



Parete



Parete:

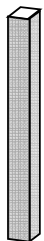
Asta che non rispetta i  
requisiti di De Saint  
Venant

Una dimensione della  
sezione è nettamente  
maggiore rispetto all'altra

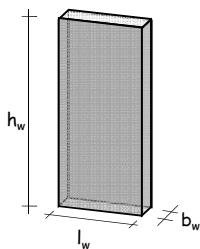
**Elemento strutturale "parete"**

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra

Pilastro

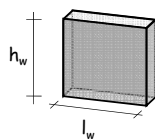


Parete  
snella



Parete  
tozza

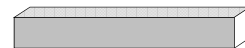
Ulteriori differenze a  
seconda del rapporto  
 $h_w / l_w$



**Elemento strutturale "parete"**

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

Trave



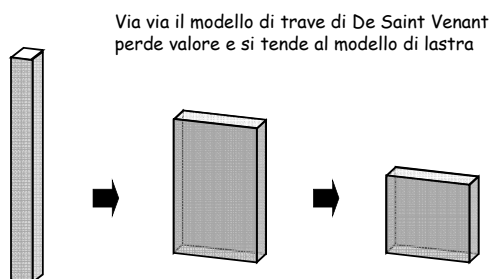
Trave  
parete



Esempio: trave realizzata come parapetto  
Ma anche: travi a spessore molto larghe,  
travi di fondazione molto alte

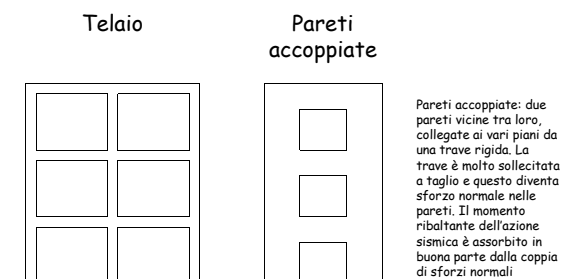
## Elemento strutturale "parete"

- Dalla trave di De Saint Venant alla piastra



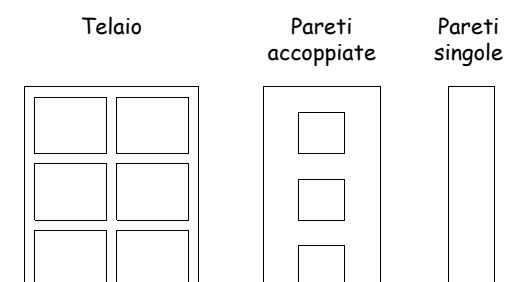
## Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti



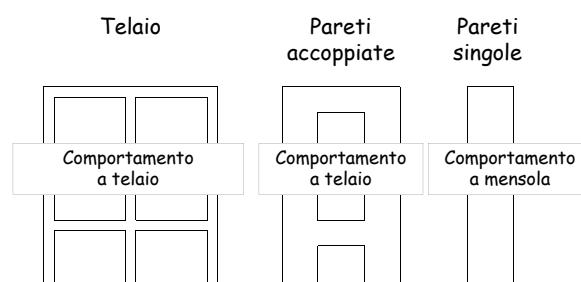
## Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti



## Tipologia strutturale con pareti

- Dal telaio alle singole pareti



## ... e quindi

- 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

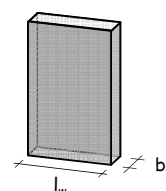
## Secondo la normativa: parete in cemento armato

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:

$$l_w > 4 b_w$$

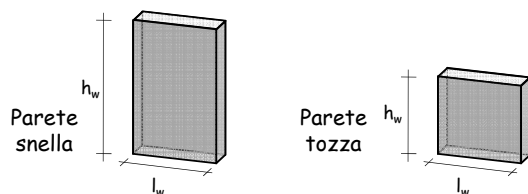
Il limite è solo orientativo, se il rapporto è 3.9 o 4.1 non cambia gran ché ...



NTC 08, punto 7.4.3.1

### Secondo la normativa: classificazione delle pareti

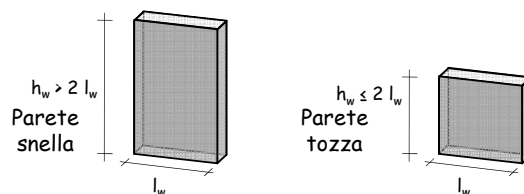
Quando  $h_w \gg l_w$  (parete snella)  
Gli effetti delle azioni sono simili a quelli delle travi  
Quando  $h_w$  è paragonabile  $l_w$  (parete tozza)  
Sono necessari modelli ad hoc



### 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



NTC 08, punto 7.4.4.5.1

### Secondo la normativa: classificazione delle pareti

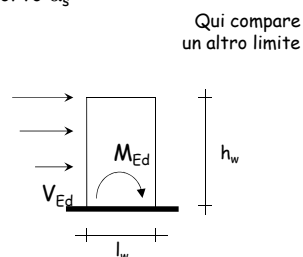
In realtà le NTC 08 specificano i criteri di verifica  
in funzione del rapporto  $\alpha_s$

Pareti "snelle"

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

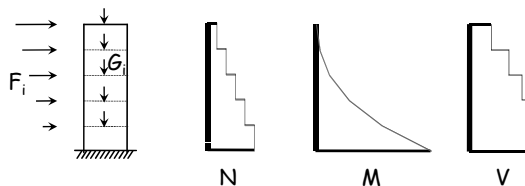
Pareti "tozze"

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



NTC 08, punto 7.4.4.5.2.2

### Stato di sollecitazione: pareti snelle



Flessione composta

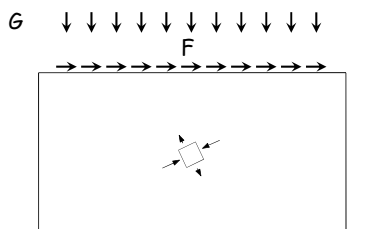
Sforzo normale dovuto ai carichi verticali

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.

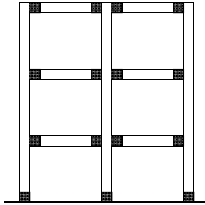
### ... e quindi

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:

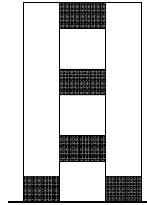
Formazione di cerniere agli estremi delle travi (e al piede dei pilastri del primo ordine)

Meccanismo molto dissipativo, buona duttilità globale

### Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

#### Pareti accoppiate



#### Pareti accoppiate:

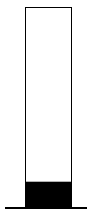
Completa plasticizzazione delle travi di accoppiamento (e della sezione di base delle pareti)

Meccanismo molto dissipativo, buona duttilità globale

### Tipologia strutturale con pareti meccanismo di collasso

- Dal telaio alle singole pareti

#### Pareti singole



#### Pareti singole:

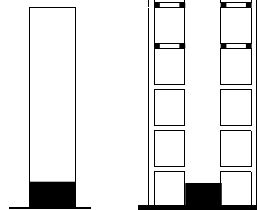
Plasticizzazione della sezione di base delle pareti, con rischio di rottura a taglio (da evitare)

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 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;
- *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 $q$

Dipende da:

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

$$q = q_0 K_R$$

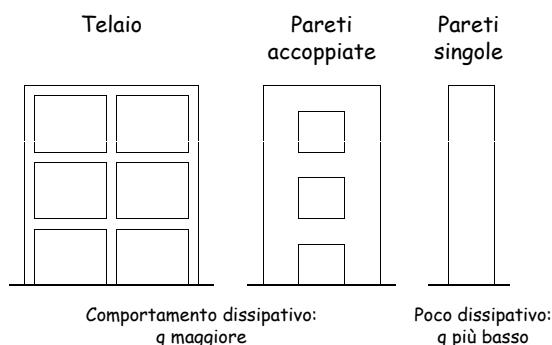
NTC 08, punto 7.3.1

### Secondo la normativa: classificazione delle tipologie e valori di $q$

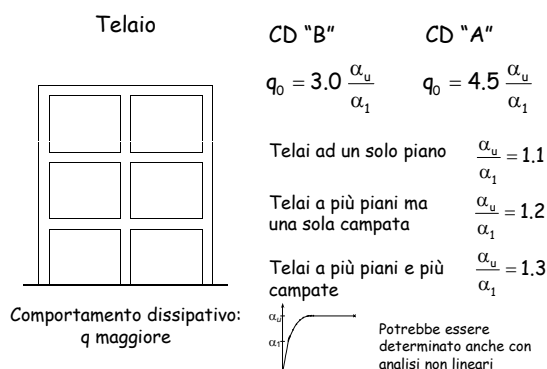
- Classe di duttilità alta: CD "A"
  - Per garantire questa duttilità, richiede maggiori accorgimenti e maggiori coefficienti di sicurezza nel calcolo ed impone dettagli costruttivi più severi
  - Ha senso usarla per strutture a telaio e per strutture a pareti accoppiate
- Classe di duttilità media: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

NTC 08, punto 7.2.1

### Comportamento e fattore di struttura $q$

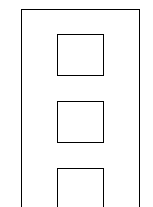


### Comportamento e fattore di struttura $q$



### 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"

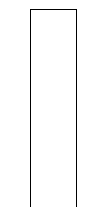
$$q_0 = 4.5 \frac{\alpha_u}{\alpha_1}$$

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

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"

$$q_0 = 3.0$$

CD "A"

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

Solo due pareti per  
ogni direzione

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

Più di due pareti per  
ogni direzione

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

### 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  $\alpha_0$  è il valore assunto in prevalenza dal rapporto tra altezze e larghezze delle pareti. Nel caso in cui gli  $\alpha_0$  delle pareti non differiscano significativamente tra di loro, il valore di  $\alpha_0$  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 ( $h_w < 2 l_w$ )

NTC 08, punto 7.4.3.2

### 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