

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

Villa Redenta, Spoleto  
settembre 2010 - maggio 2011

Organizzati da Aurelio Ghersi

Con il patrocinio degli Ordini degli ingegneri delle province di  
Perugia, Oristano, Parma, Ascoli Piceno, Ancona, Rimini, Teramo,  
Terni e dell'ATE, Associazione Tecnologi dell'Edilizia



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

Spoleto  
3-4 febbraio 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 pareti<sup>3</sup>; 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*;

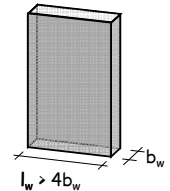
3/25

## 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:

$$l_w > 4 b_w$$



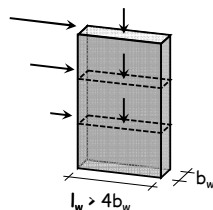
NTC 08, punto 7.4.3.1

4/25

## 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



5/25

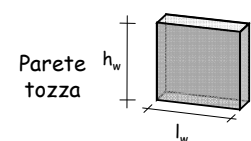
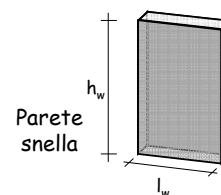
## Effetti delle azioni

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

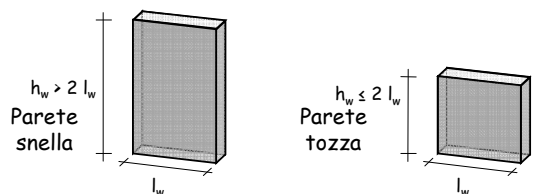


6/25

## Classificazione delle pareti

Secondo le NTC 08 la parete è:

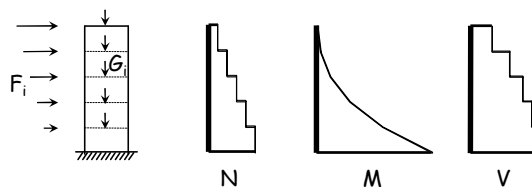
- snella quando  $h_w > 2 l_w$
- tozza quando  $h_w \leq 2 l_w$



NTC 08, punto 7.4.4.5.1

7/25

## Stato di sollecitazione di pareti snelle



Flessione composta

Sforzo normale dovuto ai carichi verticali

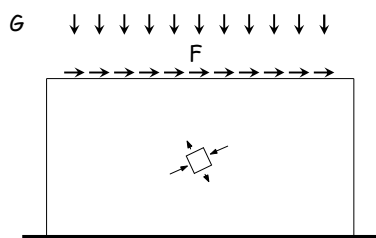
Momento flettente dovuto alle azioni orizzontali

Taglio

Dovuto alle azioni orizzontali

8/25

## Stato di sollecitazione di pareti tozze



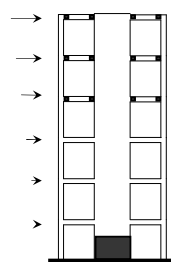
Si adottano i modelli di comportamento per elementi strutturali tozzi derivanti da:

- analisi dello stato tensionale;
- risultati della sperimentazione.

9/25

## 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

10/25

## 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

11/25

## Fattore di struttura

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

12/25

## 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<sup>1</sup>; 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.

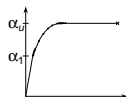
## Tipologia strutturale (edifici in cemento armato)

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  $\alpha_0$  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.

## Rapporto tra resistenza ultima e di prima plasticizzazione



$\alpha_u / \alpha_1$

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  
 $q = 4.0 \times 1.0 \times 1.0 = 4.0$  (5.85 per telaio)

Stesso edificio, ma a bassa duttilità  
 $q = 3.0 \times 1.0 \times 1.0 = 3.00$  (3.90 per telaio)  
Quindi le forze sono maggiori di circa il 33%

19/25

### Esempio (confronto alta bassa duttilità)

Edificio multipiano con pareti (e più campate),  
regolare in altezza e ad alta duttilità  
 $q = 4.0 \times 1.0 \times 1.0 = 4.0$  (5.85 per telaio)

Stesso edificio, ma a bassa duttilità  
 $q = 3.0 \times 1.0 \times 1.0 = 3.00$  (3.90 per telaio)

20/25

### 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

21/25

### 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

22/25

### 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

23/25

### 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

24/25

## 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**

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

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

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