

Corsi di aggiornamento

Progettazione in zona sismica

**Procedure semplificate e calcoli manuali
per il controllo dell'ordine di grandezza
dei risultati ottenuti dal programma di calcolo**

09 - Edifici in cui sono presenti pareti

Vasto

30 settembre - 1 ottobre 2016

Aurelio Ghersi

Pareti presenti solo al primo livello

Tipologia in esame

- 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

Nota: le pareti di solito sono quelle che servono da contenimento al terreno



Se le pareti non possono costituire una scatola rigida che impedisce spostamenti e rotazioni del primo impalcato è indispensabile staccarle dalla struttura

Ovvero: le pareti di contenimento del terreno devono essere arretrate e separate da pilastri, travi e impalcato

Tipologia in esame

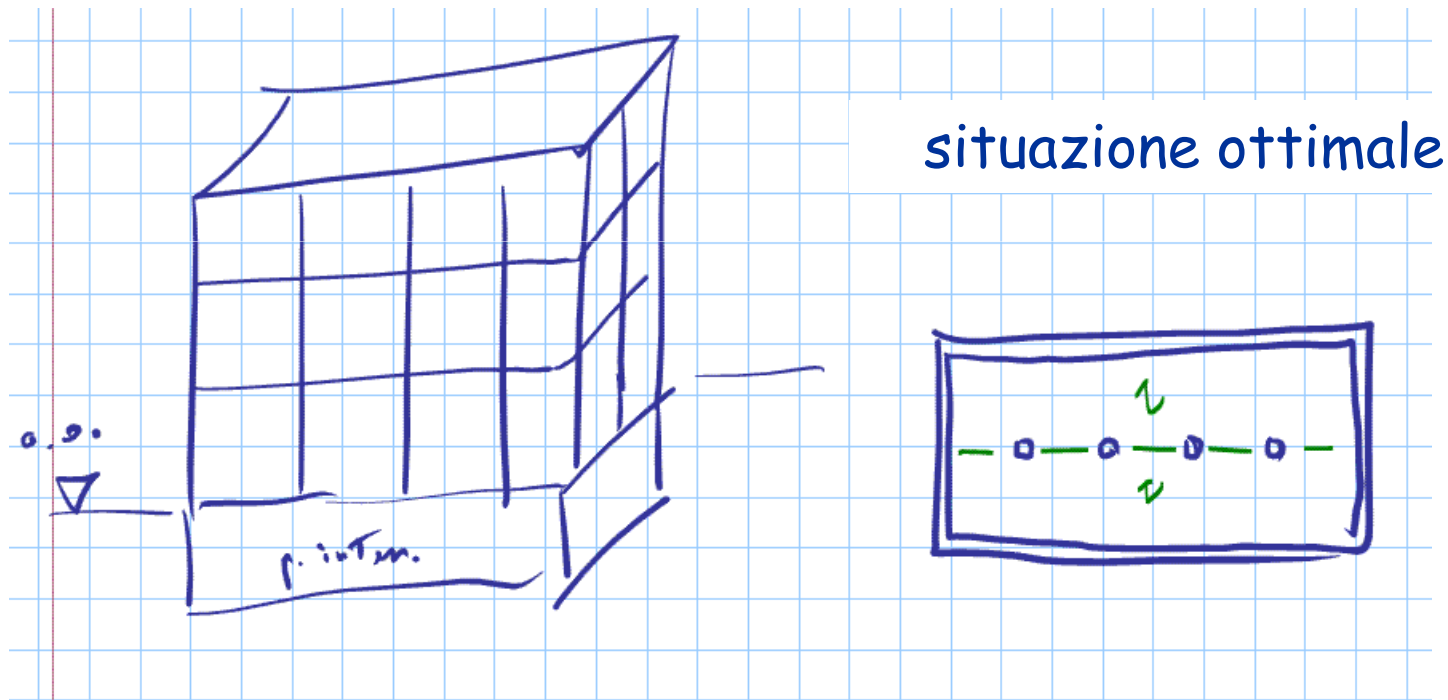
- Edifici con pareti presenti solo al primo livello (in genere interrato)

La nuova bozza di normativa ribadisce il concetto:

Qualora, immediatamente al di sopra della fondazione, sia presente una struttura scatolare rigida, purché progettata con comportamento non dissipativo, i controlli sulla regolarità in altezza possono essere riferiti alla sola struttura soprastante la scatolare, a condizione che quest'ultima abbia rigidezza rispetto alle azioni orizzontali significativamente maggiore di quella della struttura ad essa soprastante. Tale condizione si può ritenere soddisfatta se gli spostamenti della struttura soprastante la scatolare, valutati su un modello con incastri al piede, e gli spostamenti della struttura soprastante, valutati tenendo conto anche della deformabilità della struttura scatolare, sono sostanzialmente coincidenti.

Tipologia in esame

- 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

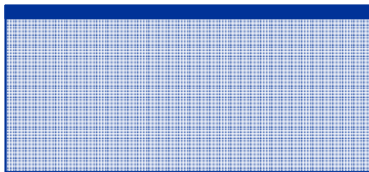


Tipologia in esame

- 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

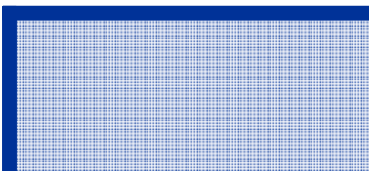
assolutamente

NO

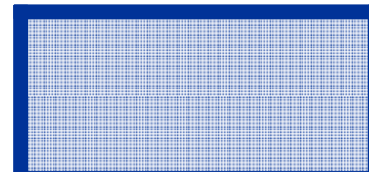


assolutamente

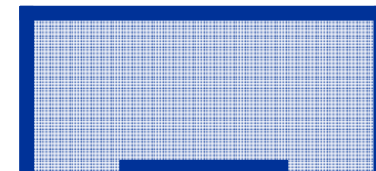
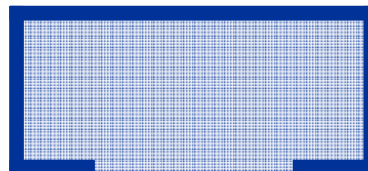
NO



potrebbe
andare



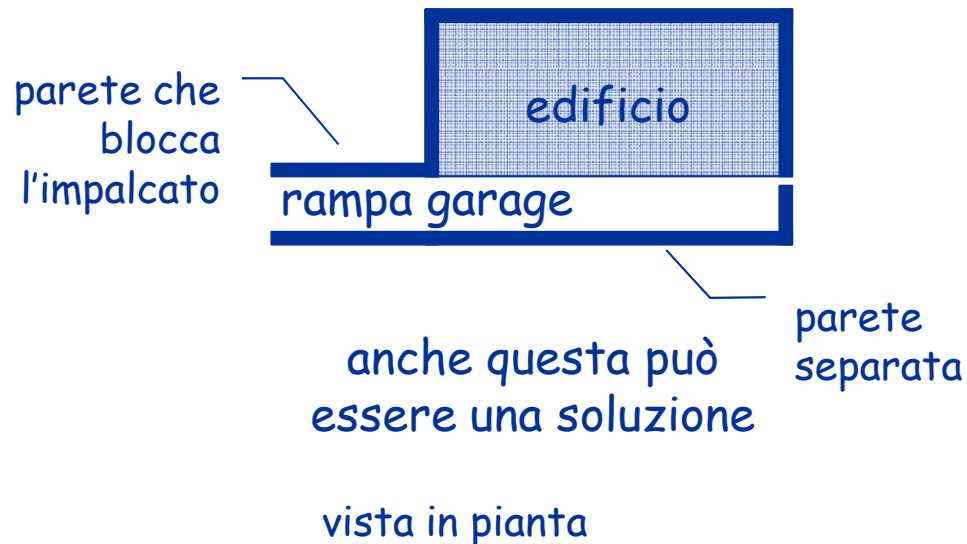
così va sicuramente meglio



vista in pianta

Tipologia in esame

- 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



Tipologia in esame

- 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"

Pareti estese debolmente armate

- Definizione di normativa

Per la singola direzione:

- Periodo fondamentale non superiore a T_c
- Almeno due pareti con $l_w \geq \text{MIN}(4.00 \text{ m}; 2/3 h_w)$
- Le pareti portano almeno il 20% del carico gravitazionale

Definizione poco significativa: in sostanza

- Devono essere estese
- Devono essere molto rigide (tanto da bloccare bene il primo impalcato)

Pareti estese debolmente armate

- Definizione di normativa

La nuova bozza di normativa chiarisce meglio il concetto:

Una struttura a pareti è da considerarsi come **struttura a pareti estese debolmente armate** se le pareti sono caratterizzate da un'estensione a buona parte del perimetro della pianta strutturale e sono dotate di idonei provvedimenti per garantire la continuità strutturale così da produrre un efficace comportamento scatolare. Inoltre, nella direzione orizzontale d'interesse, la struttura deve avere un periodo fondamentale, in condizioni non fessurate e calcolato nell'ipotesi di assenza di rotazioni alla base, non superiore a T_c

Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

Occorre esaminare in maniera distinta la struttura a pareti del primo livello e la struttura a telaio sovrastante

- Usare fattori di struttura diversi per le due strutture
- È possibile usare modelli geometrici distinti per le due strutture (ognuno col proprio q)
- Se più comodo, si può usare un unico modello geometrico che comprende entrambe le strutture, calcolandolo con i due diversi fattori di struttura (e usando per ciascuna struttura il calcolo appropriato)

Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

Pareti al primo livello

Sono sostanzialmente strutture a pareti non accoppiate di classe di duttilità B

- Fattore di struttura:

$$q_0 = 3 k_w$$

ma in questo caso $k_w = 0.5$ perché $l_w \gg h_w$

quindi $q_0 = 1.5$

inoltre $K_R = 1.0$ perché le pareti sono solo a un piano

quindi $q = 1.5$

Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

Pareti al primo livello

Sono sostanzialmente strutture a pareti non accoppiate di classe di duttilità B

- Fattore di struttura:

$$q = 1.5$$

- Amplificazione del taglio:

per pareti estese debolmente armate il taglio dovrebbe essere amplificato di $(q+1)/2$ e quindi di 1.25 (vedi più avanti, tipologia pareti non accoppiate)

questa mi sembra una cautela
eccessiva, ma comunque poco rilevante

Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

Struttura a telaio sovrastante

È a tutti gli effetti una struttura a telaio
(può essere di CD "A" oppure "B")

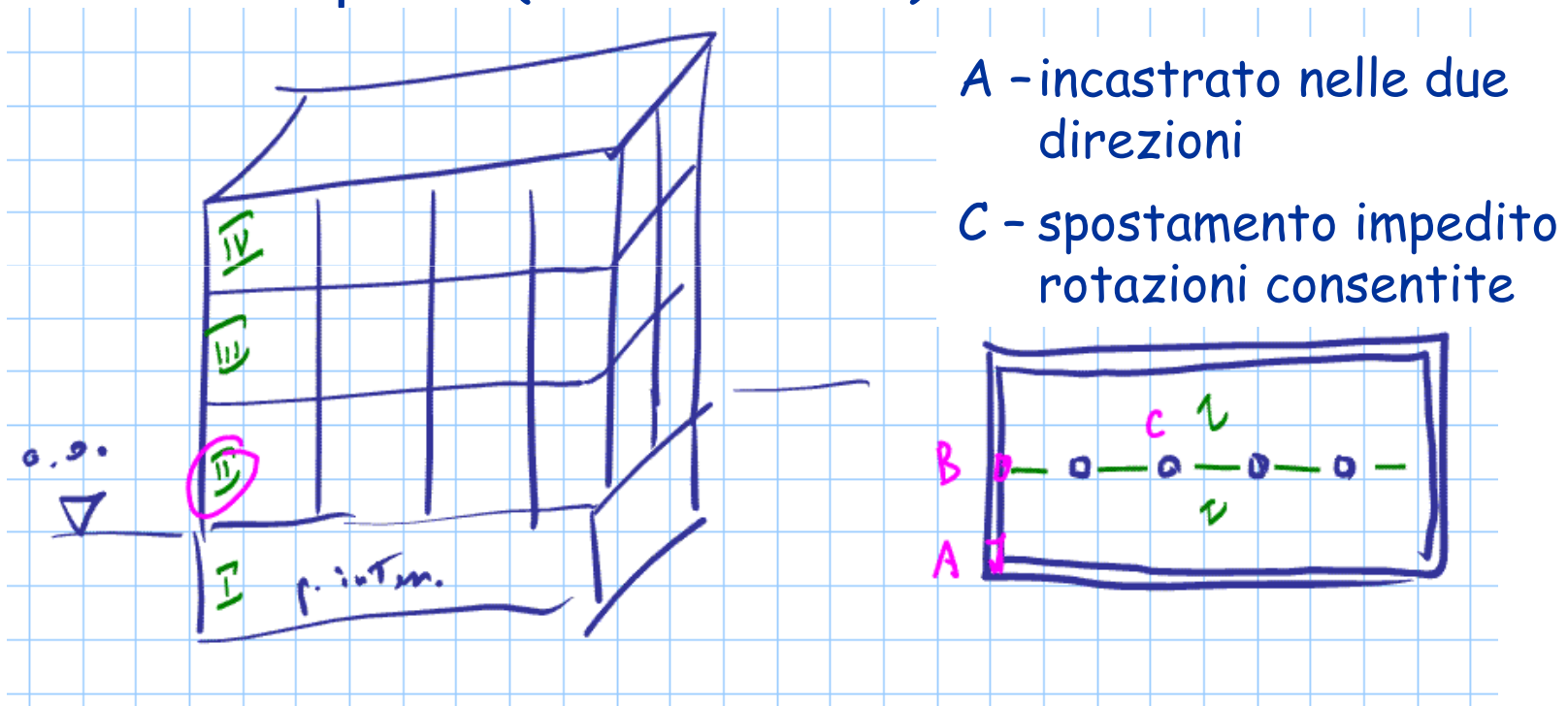
- Fattore di struttura:
come per una qualsiasi struttura a telaio
- Nel modello geometrico (e nel giudizio sulla regolarità) fare attenzione al diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

Struttura a telaio sovrastante

- Diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)



Edifici con pareti presenti solo al primo livello

- Modello geometrico e fattore di struttura

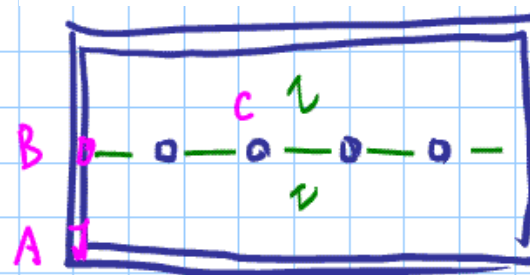
Struttura a telaio sovrastante

- Diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

La regolarità in pianta e la regolarità in altezza del telaio possono essere condizionate dal diverso comportamento dei pilastri in funzione del vincolo

A - incastrato nelle due direzioni

C - spostamento impedito
rotazioni consentite

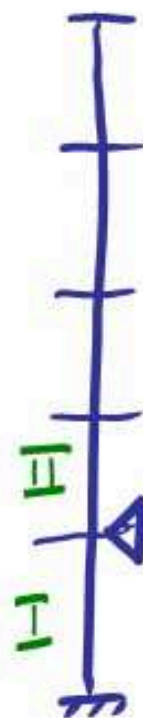


Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- Modellazione e comportamento



Incastro al piede
del II ordine:
maggiore rigidezza



Possibilità di
ruotare:
minore rigidezza

spostamento
impedito



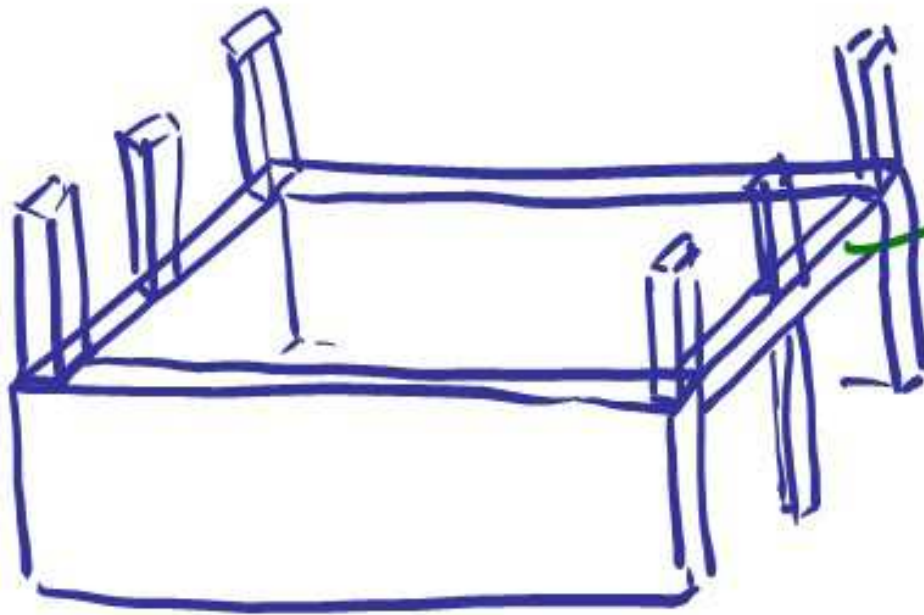
Non è un problema se
la cerniera si forma al
piede del II ordine
anzi è coerente col
modello voluto

Disporre una trave
rigida riduce la
rotazione e aumenta
la rigidezza



Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- Modellazione e comportamento



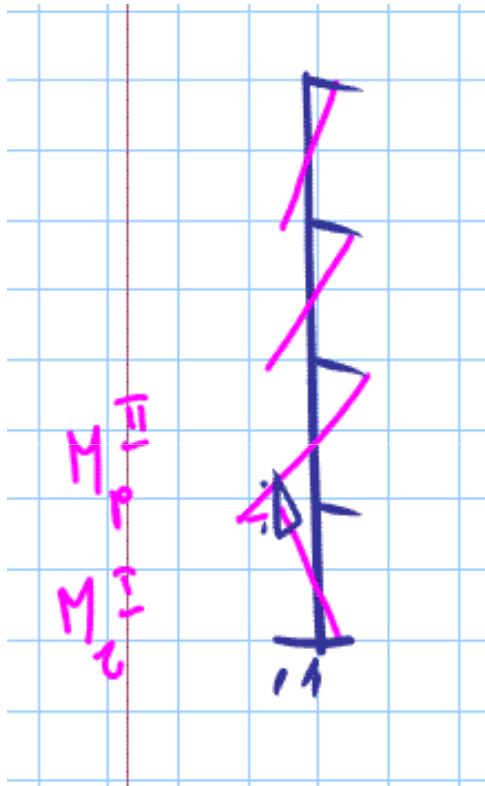
La trave rigida può
regolarizzare il
comportamento al
II ordine

Trave
rigida

La trave rigida non serve a
regolarizzare il comportamento
della "scatola"

Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- Modellazione e comportamento



Comportamento di un pilastro
che parte dal I ordine

Inversione del taglio (e della
pendenza del momento flettente)

Se le travi sono a spessore:

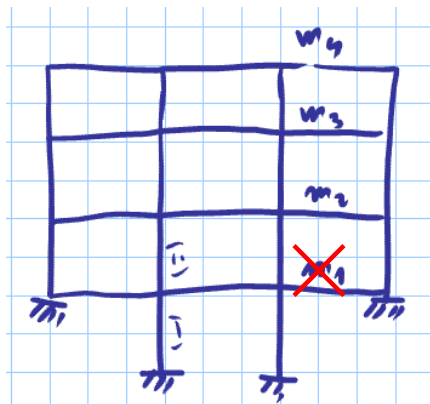
$$M_t^I \cong M_p^{II}$$

Se le travi sono rigide:

$$M_t^I \ll M_p^{II}$$

Comportamento dei pilastri in funzione del vincolo al piede (del 2° ordine)

- La struttura si comporta come se avesse un piano in meno, cioè come se partisse dal II ordine
- La previsione delle sollecitazioni (per la relazione secondo il capitolo 10) può essere fatta con un piano in meno
 - Nella ripartizione del taglio tra i pilastri occorre tenere conto della differenza di rigidezza dovuta al diverso grado di vincolo al piede del II ordine



Modellazione globale della struttura

È condizionata dal programma che si usa. Si possono seguire due vie:

1. Descrivere solo la struttura a telaio, inserendo opportuni vincoli che simulano l'effetto della scatola rigida al I ordine
2. Descrivere anche le pareti (ed il primo impalcato)

Modellazione globale della struttura

1. Solo telaio

- Pilastri che partono dalla parete:
 - Se al di sotto vi sono pareti che li bloccano nelle due direzioni, considerare alla base un incastro per entrambe le direzioni
 - Se la parete vincola in una sola direzione, mettere alla base un incastro per quella direzione e un incastro rotazionalmente cedevole per l'altra (la rigidezza rotazionale del vincolo può essere schematizzata con modelli semplici)

Modellazione globale della struttura

1. Solo telaio

- Pilastri che partono dalla fondazione:
 - Imporre alla base un vincolo coerente con la rigidezza della fondazione
 - Imporre in testa al primo ordine un vincolo che impedisce gli spostamenti orizzontali (per simulare l'effetto dell'impalcato bloccato) ma non le rotazioni
- Il primo impalcato non è descritto nel modello e le relative masse non sono assegnate allo schema

Modellazione globale della struttura

2. Anche le pareti

- a) Pareti modellate con elementi bidimensionali
- Gli elementi bidimensionali non vincolano i nodi alla rotazione (i pilastri che partono dalla parete risulterebbero incernierati). I programmi usano vari artifici per eliminare il problema
 - Gli elementi bidimensionali non danno un vincolo fuori piano. Anche per questo occorre usare artifici
 - Evitare di assegnare una massa alle pareti, perché questo darebbe luogo ad un numero elevatissimo di ulteriori modi di oscillazione libera, che farebbero solo confusione

Modellazione globale della struttura

2. Anche le pareti

b) Pareti modellate con elementi monodimensionali

- Si possono inserire aste verticali in prosecuzione dei pilastri sovrastanti, ma occorre scegliere opportunamente la sezione di queste aste
- È opportuno inserire anche aste orizzontali, a mo' di travi, per limitare le rotazioni dei nodi

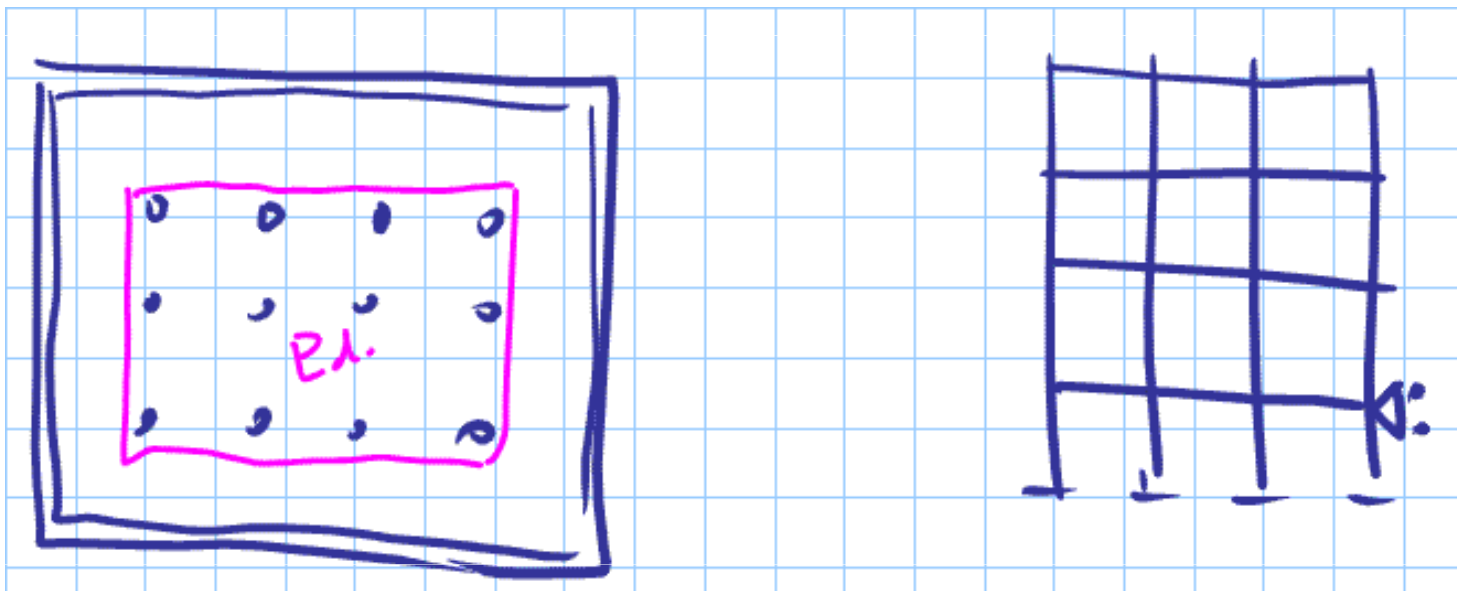
Modellazione globale della struttura

2. Anche le pareti

- Primo impalcato
 - Può essere modellato come vincolo mutuo tra i nodi, per rappresentare un impalcato indeformabile nel suo piano
 - Può essere preferibile non assegnare al primo impalcato la massa che gli compete. Se lo si fa, questa massa verrebbe eccitata solo dagli ultimi modi (che sono sicuramente irrilevanti) e si faticherebbe a raggiungere formalmente l'85% della massa partecipante

Edifici con base molto più estesa

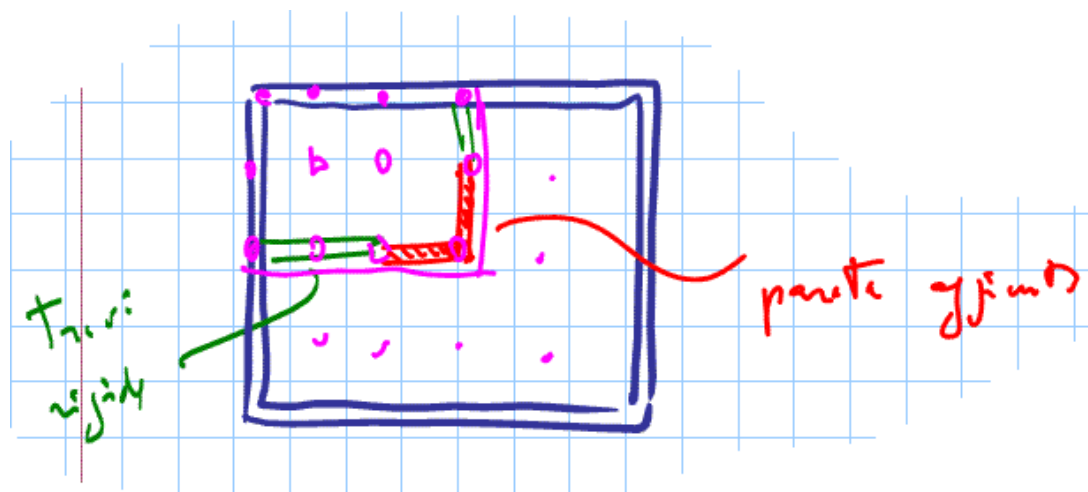
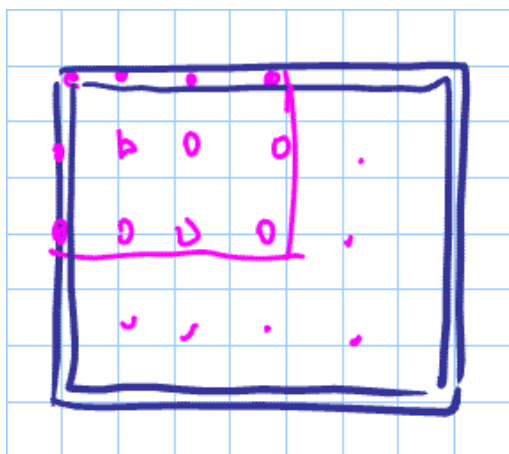
- Con l'edificio in posizione simmetrica



- Problemi:
 - Maggiori sollecitazioni nell'implacato
 - Rischio di cedimenti differenziali (maggiori al centro)
da evitare con fondazioni rigide

Edifici con base molto più estesa

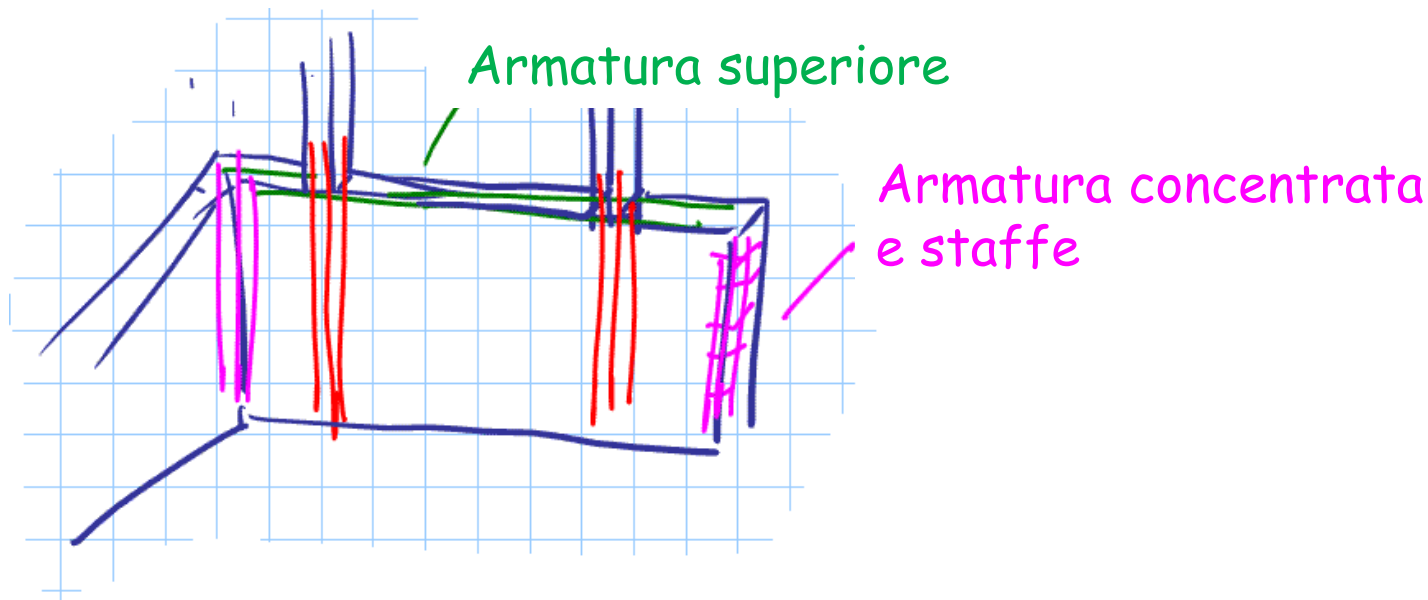
- Con l'edificio in posizione non simmetrica



- Ulteriori problemi:
 - Dissimmetria → rischio di rotazione del primo impalcato

Calcolo e armature pareti

- Le pareti sono sovrabbondanti
 - Il calcolo con $q=1.5$ (ma anche con $q=1$) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
 - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
 - Per la flessione:
 - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro



Calcolo e armature pareti

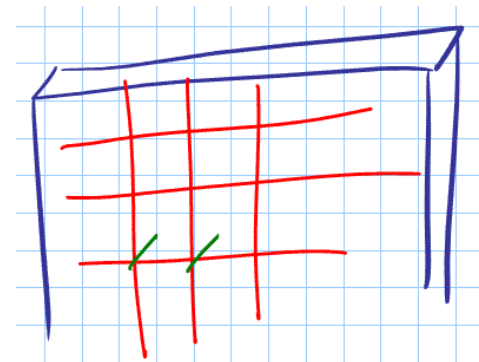
- Le pareti sono sovrabbondanti
 - Il calcolo con $q=1.5$ (ma anche con $q=1$) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
 - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
 - Per la flessione:
 - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro
 - Armature concentrate in corrispondenza dei pilastri sovrastanti (le stesse del piano di sopra)



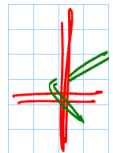
- Portare l'armatura di attesa fino al piede della parete
- Staffarla bene

Calcolo e armature pareti

- Le pareti sono sovrabbondanti
 - Il calcolo con $q=1.5$ (ma anche con $q=1$) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
 - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
- Armature
 - Per la flessione:
 - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro
 - Armature concentrate in corrispondenza dei pilastri sovrastanti (le stesse del piano di sopra)
 - Per il taglio:
 - Mettere armature diffuse (orizzontali e verticali) almeno pari allo 0.2% (per $b_w=30$ cm, 6 cm²/m)



Collegamenti
trasversali
9/m²



Calcolo e armature pareti

- Le pareti sono sovrabbondanti
 - Il calcolo con $q=1.5$ (ma anche con $q=1$) non dovrebbe fornire risultati che creano difficoltà
 - Si può armare anche basandosi sui minimi e sul buon senso
 - Armature
 - Per la flessione:
 - Armature concentrate negli spigoli e incroci di muro
 - Armature concentrate in corrispondenza dei pilastri sovrastanti (le stesse del piano di sopra)
 - Per il taglio:
 - Mettere armature diffuse (orizzontali e verticali) almeno pari allo 0.2% (per $b_w=30$ cm, 6 cm²/m)
 - Per lo scorrimento:
 - Attenzione se lo sforzo normale è basso
- Se occorre, mettere barre inclinate

Pareti presenti a tutti i livelli

Considerazioni generali

Quando sono presenti pareti a tutti i livelli:

- Le pareti non possono essere trascurate "a vantaggio di sicurezza", perché in ogni caso portano una parte rilevante dell'azione sismica e condizionano il comportamento complessivo
 - Ad esempio, la presenza di pareti in c.a. intorno al vano ascensore stravolge completamente la risposta sismica
- Le pareti devono essere concepite e dimensionate in maniera da sopportare sostanzialmente l'intera azione sismica

Impostazione della struttura

Pareti

- L'azione sismica deve essere affidata sostanzialmente alle pareti
- Le pareti devono essere presenti a tutti i piani e mantenere dimensioni costanti lungo l'altezza o variare con gradualità
- Le pareti devono avere dimensioni nettamente maggiori a quelle dei pilastri



La scelta della tipologia deve essere chiara. Non si può arrivare alle pareti aumentando via via, a tentativi, le dimensioni di alcuni pilastri

Impostazione della struttura

Pareti

- È preferibile che le pareti abbiano dimensioni tra loro comparabili

La rigidezza di ciascuna parete è legata sia al momento d'inerzia (deformabilità flessionale) che all'area (deformabilità tagliante).

Avere pareti di lunghezza molto diversa rende difficile stimare bene la loro rigidezza e valutare quale aliquota dell'azione sismica porterà ciascuna

Impostazione della struttura

Pareti

Quante pareti?

- Impostazione tradizionale:
un numero minimo di pareti, sufficientemente grandi (per esempio, due per ciascuna direzione)

Con le vecchie normative, poche pareti di dimensioni non eccessive erano in genere sufficienti

Con le norme attuali si rischia di avere pareti esageratamente grandi

Impostazione della struttura

Pareti

Quante pareti?

- Impostazione diffusa in alcune zone (Friuli):
un numero più alto di pareti, non particolarmente grandi (per esempio, 5-6 per ciascuna direzione)

Può risultare più semplice inserire pareti piccole nell'architettonico

È più semplice garantire un vincolo d'incastro alla base

Impostazione della struttura

Pareti

- Le pareti devono essere disposte in modo da garantire un comportamento bilanciato, anche quando la pianta non è simmetrica
- Le pareti devono essere disposte in modo da garantire una elevata rigidezza rotazionale. Devono quindi essere disposte perimetralmente

Impostazione della struttura

Pareti

- Le pareti devono avere un efficace vincolo al piede (sostanzialmente un incastro)

La pareti si comportano sostanzialmente come mensole. Una mensola senza incastro è labile



Come garantire l'incastro ?

Impostazione della struttura

Incastro alla base

L'incastro può essere realizzato con:

- Un reticolo di travi di fondazione
 - Le travi di fondazione (in particolare quella sotto ciascuna parete) devono avere una sezione di rigidezza e resistenza comparabile a quella della parete
 - Le travi ortogonali (che formano il reticolo) distribuiscono l'azione su un'area più grande ed aiutano a limitare i cedimenti

La soluzione è accettabile se le pareti hanno sezione non molto lunga; in caso contrario l'altezza delle travi di fondazione diventa improponibile

Impostazione della struttura

Incastro alla base

L'incastro può essere realizzato con:

- Travi di fondazione su pali
 - I pali saranno soggetti a forti trazioni/compressioni
 - Le travi di fondazione dovrebbero essere lunghe, per aumentare il braccio delle azioni sui pali, ma come conseguenza devono essere anche molto rigide e resistenti

La soluzione è accettabile solo in terreni che consentano di far lavorare bene i pali a trazione

Impostazione della struttura

Incastro alla base

L'incastro può essere realizzato con:

- Un insieme scatolare di pareti del cantinato
 - Se le pareti dell'edificio partono dalle pareti del cantinato l'incastro è facilmente garantito

È la soluzione preferibile sempre, ma in particolare quando le pareti hanno sezione molto lunga

Impostazione della struttura

Incastro alla base

L'incastro può essere realizzato con:

- Un insieme scatolare di pareti del cantinato
 - Se le pareti dell'edificio poggiano su una fondazione non rigida ma sono bloccate a livello del primo impalcato, fondazione e impalcato costituiscono due appoggi sostanzialmente equivalenti a un incastro

Problemi:

- Al primo ordine brusca variazione di M e quindi taglio molto forte, spesso inaccettabile
- Azione concentrata sull'impalcato, che risulta molto sollecitato e non può più essere considerato infinitamente rigido

Impostazione della struttura

Pareti e telai

Idealmente il compito di pareti e telai è ben definito:

- Le pareti portano l'azione sismica
- I telai (pilastri più travi) portano i carichi verticali

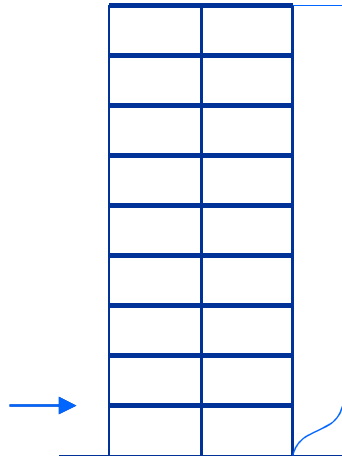
Questo consente di esaminarli separatamente nell'impostare la carpenteria

In realtà:

- Le pareti, che lavorano come mensole, ai piani superiori tendono ad appoggiarsi ai telai
- Agli ultimi piani i telai portano un'aliquota rilevante dell'azione sismica

Pareti e telai

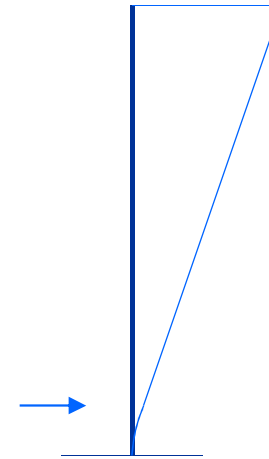
Comportamento a mensola e comportamento a telaio



Telaio (con travi rigide)

Forze applicate ai piani inferiori
provocano grossi spostamenti ...

... ma gli spostamenti non
aumentano ai piani superiori



Mensole (pareti)

Forze applicate ai piani inferiori
provocano piccoli spostamenti ...

... ma gli spostamenti aumentano
di molto ai piani superiori

Impostazione della carpenteria

Travi e pilastri portano principalmente i carichi verticali ma anche modeste azioni orizzontali (più rilevanti ai piani superiori)

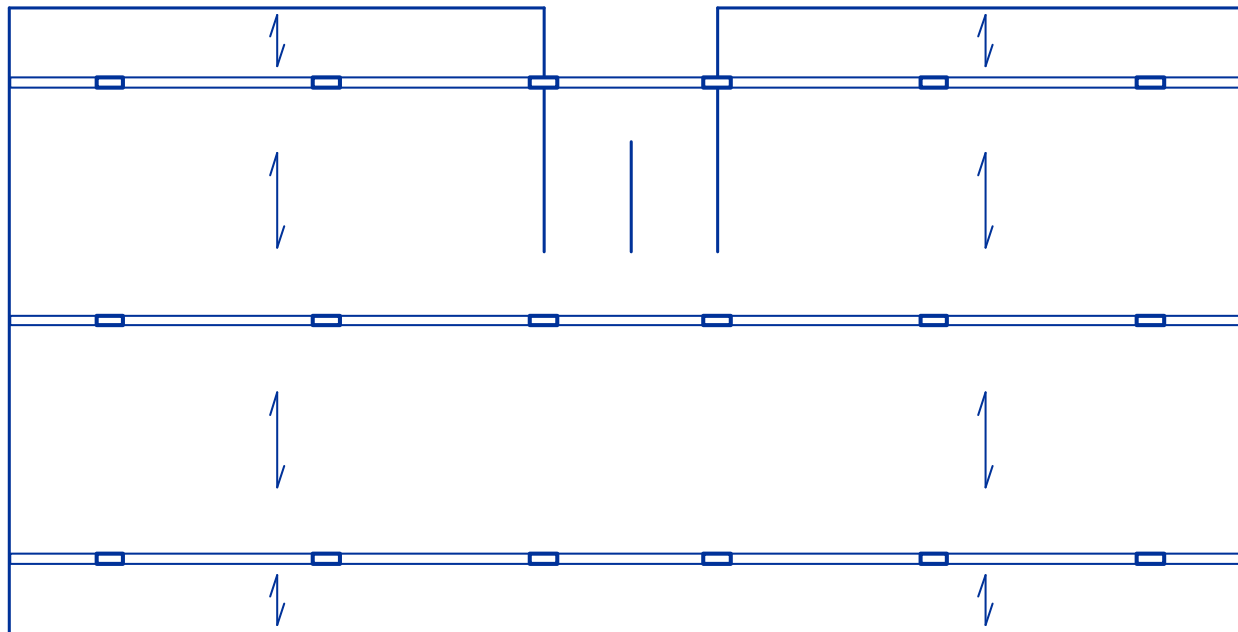
Può essere utile scindere il problema in due fasi:

1. Impostare la carpenteria pensando innanzi tutto ai soli carichi verticali
tenendo però presenti i criteri derivanti dalla contemporanea presenza di azioni orizzontali
2. Inserire le pareti in carpenteria per renderla idonea a sopportare azioni orizzontali

Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

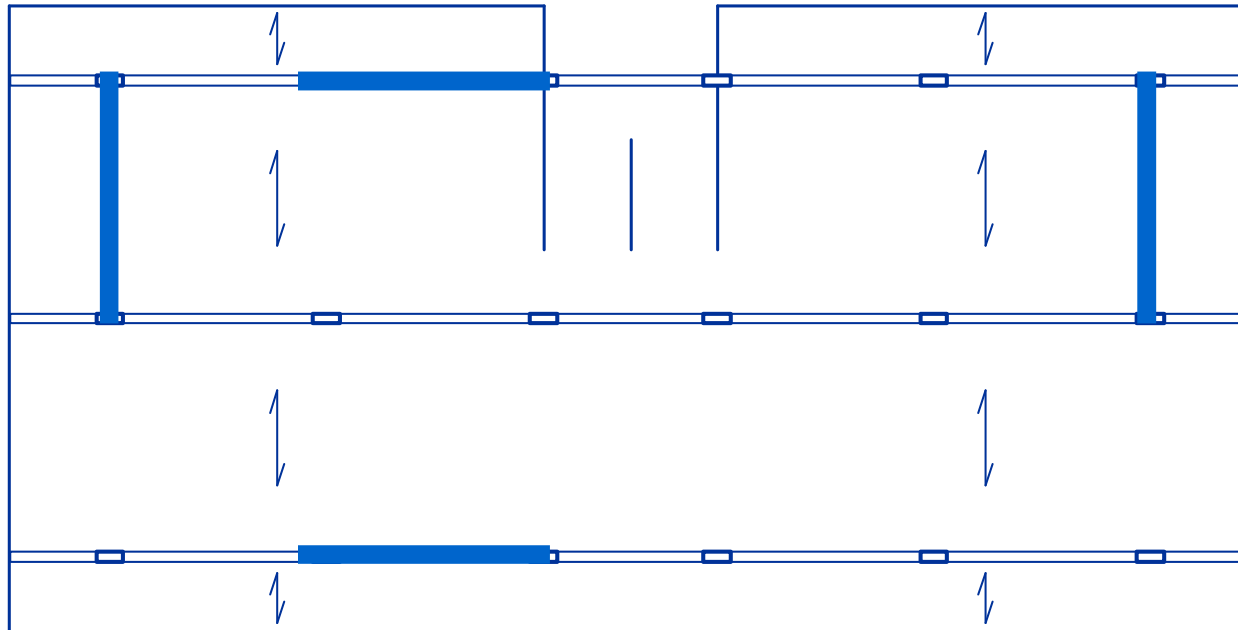
- Una carpenteria pensata per soli carichi verticali può, al limite, avere questo aspetto



Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

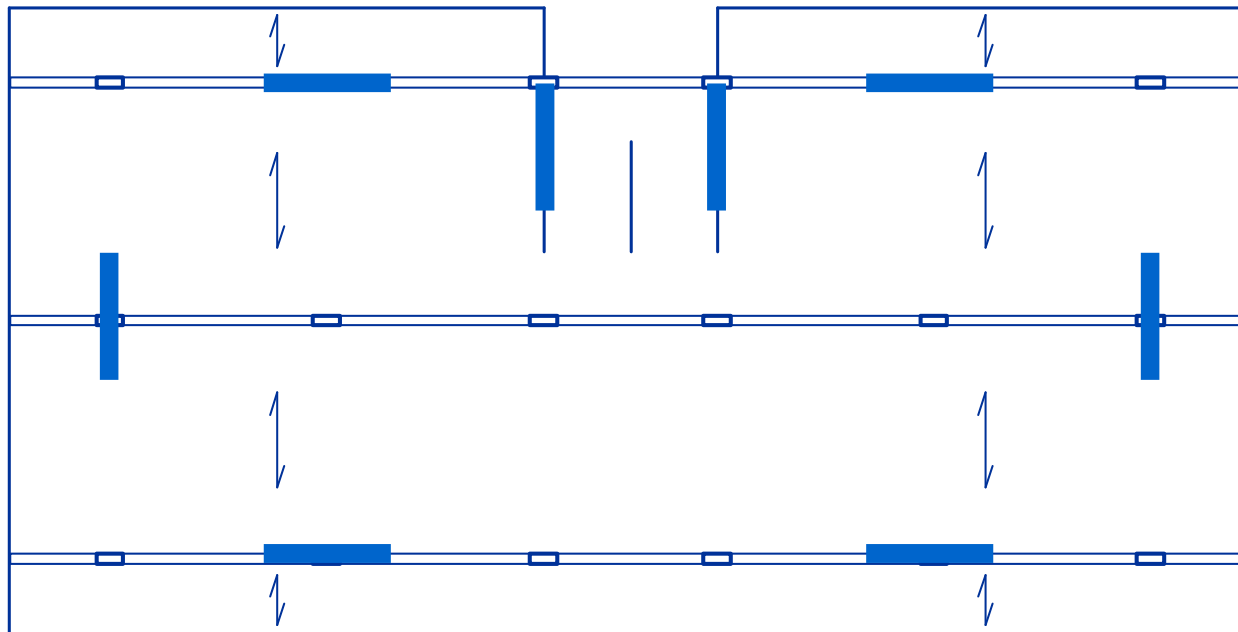
- Occorre inserire le pareti per le azioni orizzontali
 - Le pareti sono molto resistenti e rigide e quindi ne potrebbero bastare poche



Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

- Occorre inserire le pareti per le azioni orizzontali
 - Sono condizionanti la posizione delle aperture e quella dei pilastri già previsti

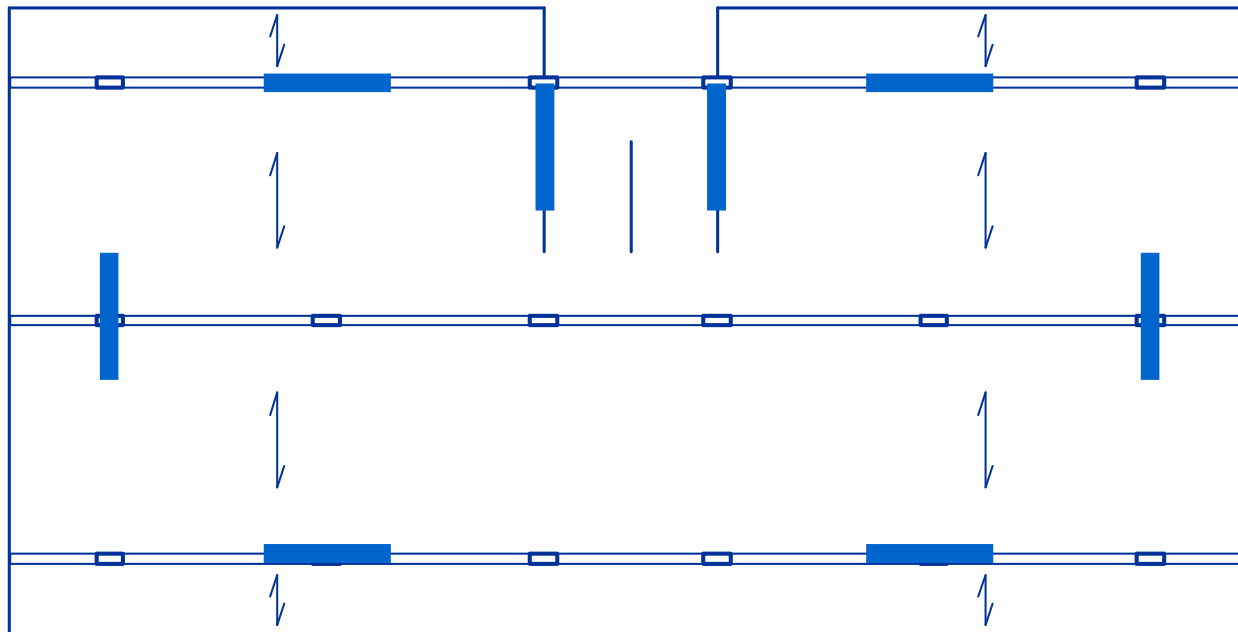


Può essere più semplice disporre un numero più alto di pareti, di dimensioni minori

Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

- Occorre inserire le pareti per le azioni orizzontali
 - È bene conferire uguale rigidezza nelle due direzioni

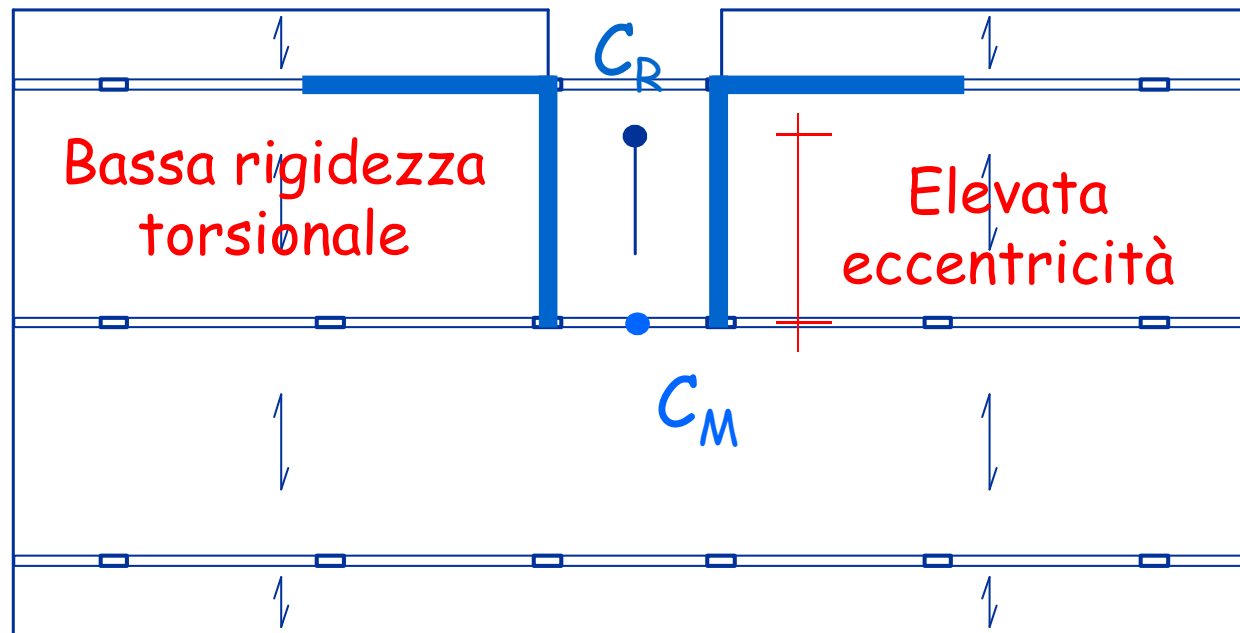


... e contemporaneamente garantire il bilanciamento e una buona rigidezza rotazionale

Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

- Occorre inserire le pareti per le azioni orizzontali
 - La configurazione delle pareti deve essere bilanciata, per evitare un cattivo comportamento rotazionale

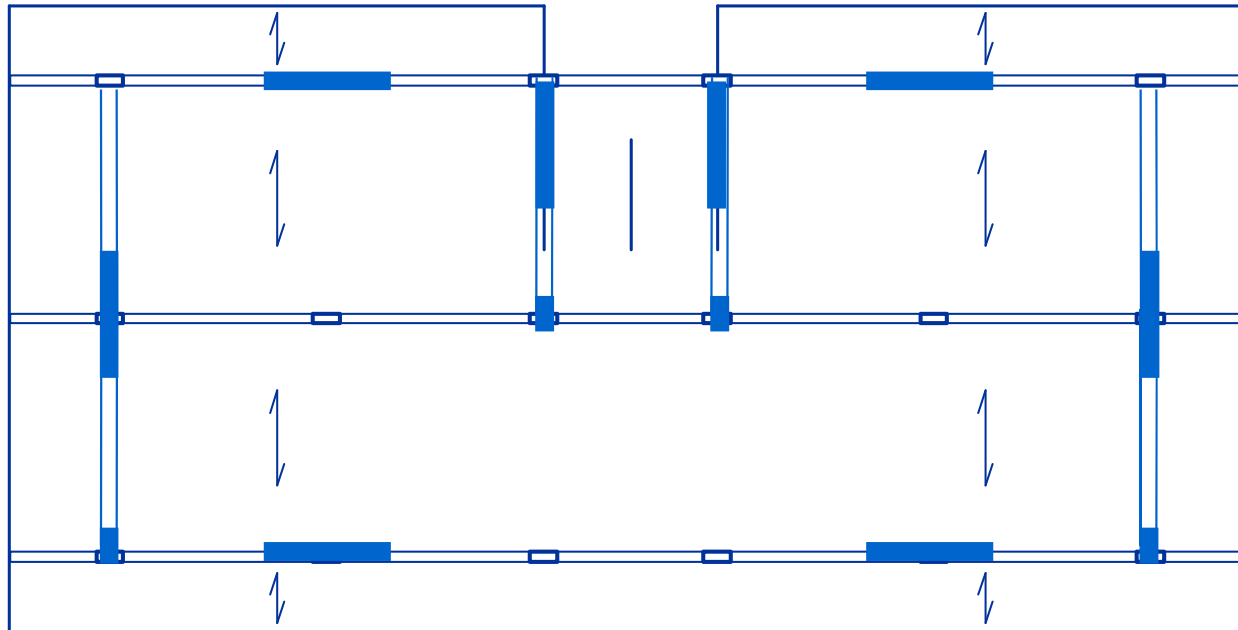


Questa configurazione non va bene

Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

- Completare la struttura
 - Cercare di realizzare una configurazione bilanciata anche per i pilastri



Agli ultimi piani questo potrebbe essere importante

Carpenteria

da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

- Completare la struttura
 - Aggiungere altre travi, a spessore, che sono però irrilevanti ai fini sismici

