

# Progettazione strutturale 2M A

---

Progetto di una struttura:  
predimensionamento,  
analisi dei carichi

Ing. Davide Lavorato  
davide.lavorato@uniroma3.it

# Progetto struttura

---

- Studiare il progetto Architettonico
- Considerare i vincoli funzionali, le destinazioni d'uso, ....
- Ipotizzare una tipologia e una maglia strutturale
- ES NEL CORSO! Progettare in classe di duttilità A (grande dissipazione dell'energia sismica in ingresso)
- Pre-dimensionare la geometria degli elementi strutturali (travi, piastre, pilastri, setti e fondazioni)
- Definire i carichi sulla struttura (sismici e non sismici, elementari e loro combinazioni)

# Progetto struttura

---

- ❑ Modellare la struttura (asse degli elementi, elementi frame e shell (reali geometrie scale e nuclei) nodi “speciali” dove concentrare le masse nei baricentri di piano)
- ❑ Definire i materiali (rigidezze ridotte per fessurazione, riduco il modulo elastico del calcestruzzo)
- ❑ Calcolare la posizione dei baricentri di piano
- ❑ Calcolare le masse di piano (es. due traslazionali e una rotazionale)
- ❑ Studiare la regolarità in pianta e in elevazione della struttura
- ❑ Verificare la tipologia strutturale ipotizzata (attenzione a strutture deformabili torsionalmente!!! Valutare bene strutture miste telaio pareti)
- ❑ Modificare la struttura per regolarizzarla e/o cambiarne la tipologia! (possibile beneficio in termini di maggior dissipazione e quindi forze di progetto più basse ma attenzione agli spostamenti!!!)

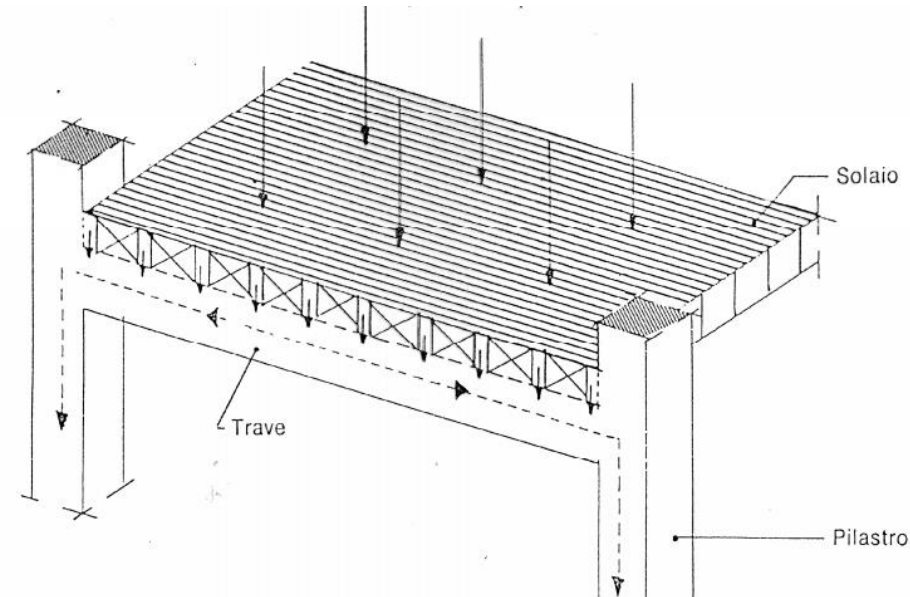
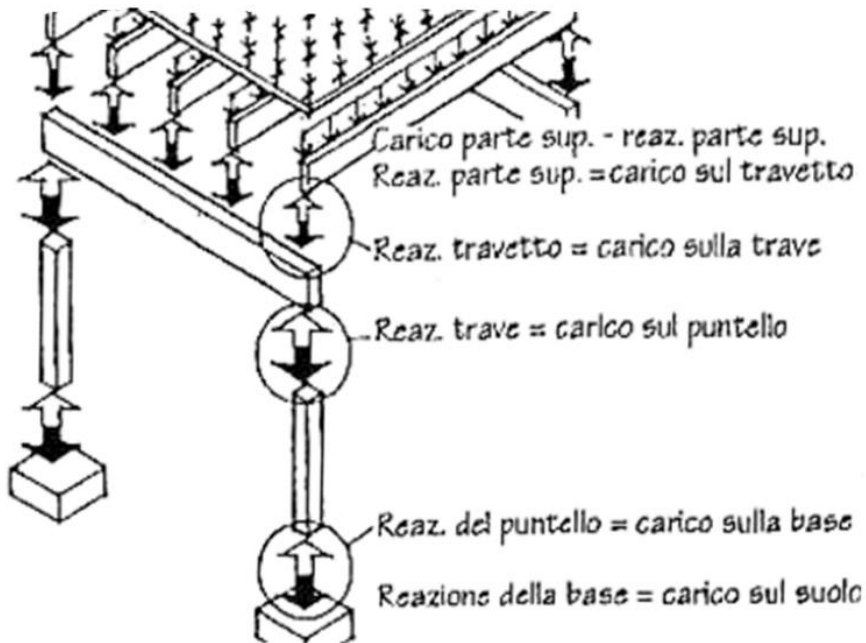
# Progetto struttura: modellazione

---

- ❑ Se strutture complesse, irregolari in pianta e/o molto estese lungo una direzione, considerare divisione in diversi corpi strutturali (giunti se necessari! anche per la regolarità strutturale)
- ❑ Definire per ogni corpo strutturale una tipologia e un modello strutturale.
- ❑ Individuare le travi princ., le travi second., i pilastri, i setti, il nucleo ascensore, la struttura delle scale (trave a ginocchio o soletta), pianerottoli, balconi....)
- ❑ Assegnare agli elementi le geometrie delle sezioni (no armature) e calcestruzzi con diversi moduli elastici per i diversi stati di fessurazione degli elementi!!!
- ❑ Attenzione si inizia con un predimensionamento degli elementi strutturali ma le geometrie possono essere modificate nel corso del progetto!!!

# Progetto struttura

- Il percorso delle azioni: le azioni dal solaio alla struttura!!!! Le azioni sismiche nei baricentri di piano!!! Carico sulle travi nel modello; carico alcuni nodi per considerare il peso di pilastri e setti!!!



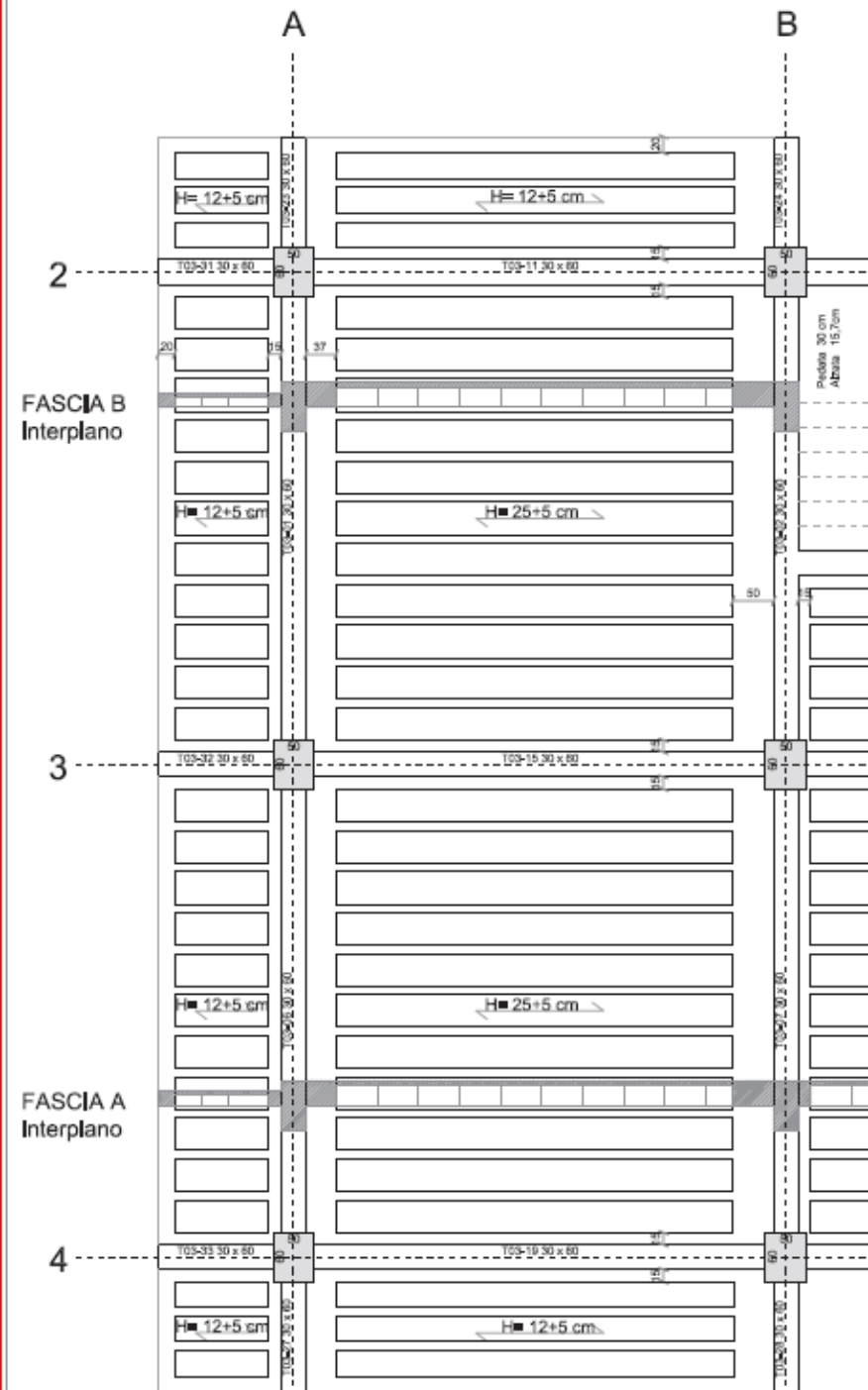
# Progetto struttura

□ Dal progetto dei solai sono noti:

- i carichi elementari  $g1k$ ,  $g2k$  e  $qk$  (KN/m<sup>2</sup>)
- le geometrie delle fasce piene (ali delle sezioni delle travi)
- Travi principali

□ Abbiamo inoltre definito:

- Tamponature esterne
- piastre e solai per i pianerottoli e i balconi a sbalzo da travi secondarie



# Predimensionamento struttura

## □ Minimi geometrici travi

### 7.4.6 DETTAGLI COSTRUTTIVI

Le indicazioni fornite nel seguito in merito ai dettagli costruttivi si applicano sia alle strutture in c.a. gettate in opera che alle strutture in c.a. prefabbricate. I dettagli costruttivi sono articolati in termini di:

- limitazioni geometriche
- limitazioni di armatura

#### 7.4.6.1 Limitazioni geometriche

##### 7.4.6.1.1 *Travi*

La larghezza  $b$  della trave deve essere  $\geq 20$  cm e, per le travi basse comunemente denominate “a spessore”, deve essere non maggiore della larghezza del pilastro, aumentata da ogni lato di metà dell’altezza della sezione trasversale della trave stessa, risultando comunque non maggiore di due volte  $b_c$ , essendo  $b_c$  la larghezza del pilastro ortogonale all’asse della trave.

Il rapporto  $b/h$  tra larghezza e altezza della trave deve essere  $\geq 0,25$ .

Non deve esserci eccentricità tra l’asse delle travi che sostengono pilastri in falso e l’asse dei pilastri che le sostengono. Esse devono avere almeno due supporti, costituiti da pilastri o pareti. Le pareti non possono appoggiarsi in falso su travi o solette.

# Predimensionamento struttura

## □ Minimi geometrici pilastri, nodi e setti

### *7.4.6.1.2 Pilastri*

La dimensione minima della sezione trasversale non deve essere inferiore a 250 mm.

256

### *7.4.6.1.3 Nodi trave-pilastro*

Sono da evitare per quanto possibile eccentricità tra l'asse della trave e l'asse del pilastro concorrenti in un nodo. Nel caso che tale eccentricità superi  $1/4$  della larghezza del pilastro la trasmissione degli sforzi deve essere assicurata da armature adeguatamente dimensionate allo scopo.

### *7.4.6.1.4 Pareti*

Lo spessore delle pareti deve essere non inferiore al valore massimo tra 150 mm, (200 mm nel caso in cui nelle travi di collegamento siano da prevedersi, ai sensi del § 7.4.4.6, armature inclinate), e  $1/20$  dell'altezza libera di interpiano.

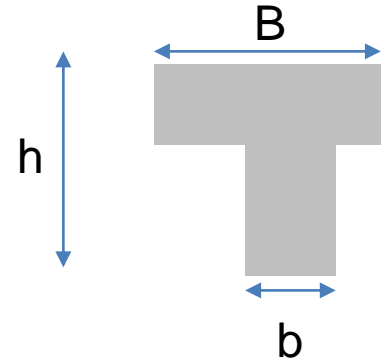
Possono derogare da tale limite, su motivata indicazione del progettista, le strutture a funzionamento scatolare ad un solo piano non destinate ad uso abitativo.

Devono essere evitate aperture distribuite irregolarmente, a meno che la loro presenza non venga specificamente considerata nell'analisi, nel dimensionamento e nella disposizione delle armature.



# Predimensionamento struttura

## □ Predimensionamento travi



- la dimensione della base ( $b$ ) secondo minimi di norma
- La  $b$  dipende anche dal ricoprimento e interfero delle armature (devono essere garantiti!!! attenzione a protezione staffe; i ferri più esterni!!!!)
- Ali della sezione definite dalle fasce piene solai (attenzione, solo se necessarie!!!!)
- Altezze ( $h$ ) delle sezioni in funzione dei carichi e della gerarchia delle resistenze con pilastri (vecchie regole per zona non sismica  $h=l/12$  con  $l$  luce della trave usate in modo critico!!!!)

# Predimensionamento struttura

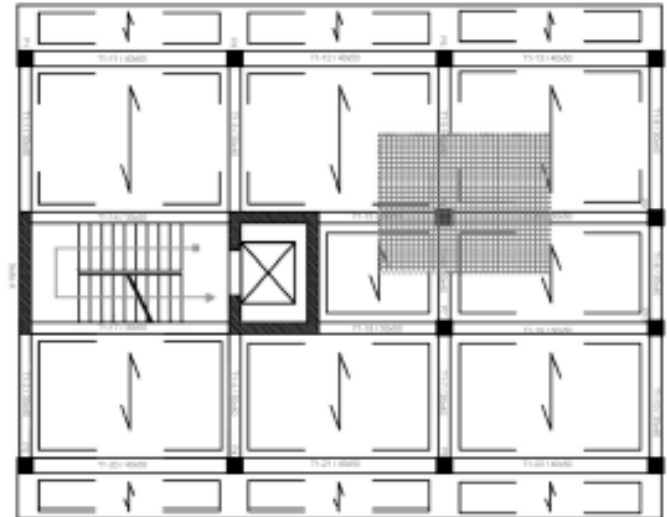
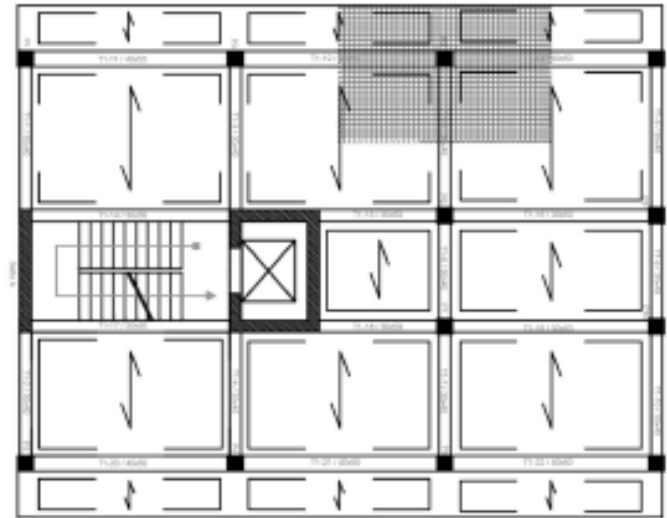
## □ Predimensionamento pilastri

$$N_u = 0.8 \cdot A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

- Predimensiono la sezione di base (vicino fondazione) di ogni pilastrata (Nd carichi di tutti i piani sopra; aree influenza!)
- Trascuro contributo delle armature
- Sostituisco 0.8 con 0.6 o 0.7 (parziale effetto del momento)
- Nd carico SLU con coeff. tutti sfavorevoli (1.3; 1.5)

$$A_c = N_d / (0.7 \cdot f_{cd})$$

$$N_d = \sum_i (N_{di})$$



# Predimensionamento struttura

---

## ☐ Predimensionamento pilastri (NTC2008)

### *7.4.4.2.2.1 Presso-flessione*

Per le strutture in CD “B” ed in CD “A” la sollecitazione di compressione non deve eccedere, rispettivamente, il 65% ed il 55% della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.

- ☐ Peso proprio pilastri come forza concentrate alla base del pilastro per ogni piano (pilastro tra due piani)!!!! Ipotizzare per peso del pilastro nel predimensionamento ( $N_d$ ), una dimensione minima per la sezione del pilastro 30 x 30 cm
-

# Predimensionamento struttura

---

## □ Predimensionamento scale

- Gradini con alzata e pedata opportune!!!!
- Se travi a ginocchio: simili a travi ma attenzione alla torsione (armature longitudinali anche sui lati della trave)
- Se a soletta piena: soletta di almeno 15 o 20 cm di spessore ma attenzione anche al ricoprimento per due livelli di armature longitudinale più la armatura trasversale!!!
- Attenzione per una struttura di classe A di duttilità al progetto delle scale (travi scale progettate per possibili azioni elastiche!!!! Forse altezze maggiori rispetto ad altre travi!!!)

# Predimensionamento struttura

## □ Predimensionamento setti o pareti

- Setto con spessore tale da garantire due livelli di armature e ferri trasversali con opportuni ricoprimenti
- Setto con dimensioni tali da garantire buon collegamento con travi che in esso convergono
- Setto che porta non più del 35% del carico verticale sismico (CD A)

### *7.4.6.2.4 Pareti*

Le armature, sia orizzontali che verticali, devono avere diametro non superiore ad 1/10 dello spessore della parete, devono essere disposte su entrambe le facce della parete, ad un passo non superiore a 30 cm, devono essere collegate con legature, in ragione di almeno nove ogni metro quadrato.

### *7.4.4.5.2.1 Presso-flessione*

Per tutte le pareti, la forza normale di compressione non deve eccedere rispettivamente il 40% in CD''B'' e il 35% in CD''A'' della resistenza massima a compressione della sezione di solo calcestruzzo.

# Predimensionamento struttura

---

- ❑ Peso proprio setti come forze concentrate alla base dei setti per ogni piano (parte setto tra due piani, analogo a pilastri)!!!!
  - ❑ Modello setti con le shell!!! ma attenzione a dividere le shell in elementi di 25x25 cm
  - ❑ Shell possono avere locali infittimenti della maglia per connettere le eventuali scale o elementi strutturali che si inseriscono nei setti
  - ❑ Peso setto nei nodi di piano del setto: una serie di pilastri affiancati ciascuno che insiste su un nodo di piano della shell
-

# Predimensionamento struttura

## □ Predimensionamento Nodi

### 7.4.4.3 Nodi trave-pilastro

- Si definisce nodo la zona del pilastro che si incrocia con le travi ad esso concorrenti.
- La resistenza del nodo deve essere tale da assicurare che non pervenga alla rottura prima delle zone della trave e del pilastro ad esso adiacenti.
- Sono da evitare, per quanto possibile, eccentricità tra l'asse della trave e l'asse del pilastro concorrenti in un nodo.

### 7.4.6.2.3 Nodi trave-pilastro

Indipendentemente da quanto richiesto dalla verifica nel § 7.4.4.3.1, lungo le armature longitudinali del pilastro che attraversano i nodi non confinati devono essere disposte staffe di contenimento in quantità almeno pari alla maggiore prevista nelle zone del pilastro inferiore e superiore adiacenti al nodo. Questa regola può non essere osservata nel caso di nodi interamente confinati.

# Predimensionamento struttura

---

- ❑ Confronto travi e pilastri per garantire gerarchia della resistenza: pilastri con momenti resistenti (pressoflessione) più grandi di quelli delle travi (flessione semplice)
- ❑ Travi secondarie non troppo diverse dalle principali per garantire opportuna resistenza sismica della struttura nelle due direzioni; cmq verificare opportuna rigidità struttura nelle due direzioni
- ❑ Prevedere setti o pilastri orientati e disposti nella maglia strutturale in modo opportuno, al fine di regolarizzare la distribuzione delle rigidità (evitare torsione struttura!!!!evitare strutture deformabili torsionalmente con fattore struttura basso e quindi forze progetto più alte!!!)



# Progetto struttura

## □ schema strutturale

### **C7.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE**

#### **C7.2.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE**

In ragione della necessità che la costruzione sia dotata di sistemi strutturali capaci, con costi accettabili, di soddisfare i requisiti di sicurezza nei confronti sia dei carichi verticali che dell'azione sismica, in siti a sismicità significativa i criteri di progettazione nei confronti delle azioni sismiche devono essere considerati già nell'impostazione della progettazione strutturale.

La costruzione deve essere dunque dotata di sistemi resistenti lungo almeno due direzioni e capaci di garantire un'adeguata resistenza e rigidezza nei confronti sia dei moti traslazionali, sia dei moti torsionali dovuti all'eccentricità tra il centro di massa ed il centro di rigidezza dell'intera struttura o anche solo di una sua porzione.

# Progetto struttura

## □ schema strutturale

### **C7.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE**

#### **C7.2.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE**

In ragione della necessità che la costruzione sia dotata di sistemi strutturali capaci, con costi accettabili, di soddisfare i requisiti di sicurezza nei confronti sia dei carichi verticali che dell'azione sismica, in siti a sismicità significativa i criteri di progettazione nei confronti delle azioni sismiche devono essere considerati già nell'impostazione della progettazione strutturale.

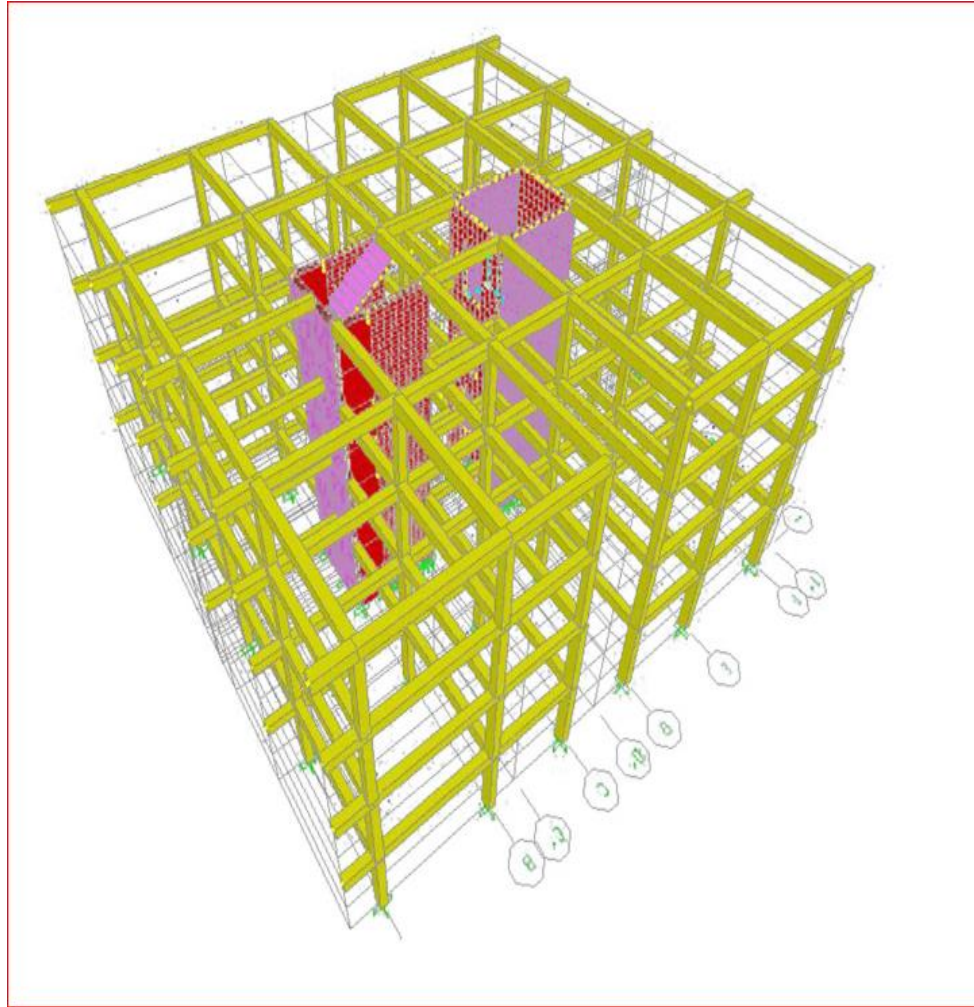
La costruzione deve essere dunque dotata di sistemi resistenti lungo almeno due direzioni e capaci di garantire un'adeguata resistenza e rigidità nei confronti sia dei moti traslazionali, sia dei moti torsionali dovuti all'eccentricità tra il centro di massa ed il centro di rigidità dell'intera struttura o anche solo di una sua porzione.

# Progetto struttura

---

- ❑ Individuare le “aree di influenza” per caricare le travi princ. e second. (ATTENZIONE questa è una delle possibili modellazioni!!! Ha pregi e difetti!!!)
  - ❑ Le travi a ginocchio o con balcone perpendicolare a tessitura solaio interno hanno torsione distribuita oltre ai carichi verticali distribuiti
  - ❑ Calcolare peso pilastri e setti da mettere nei nodi alla base di questi elementi per ogni piano
  - ❑ Calcolare le masse di piano e la posizione dei baricentri di piano (analisi sismica e comportamento della struttura)
  - ❑ Modello 3D della struttura completo (scale, setti, nuclei ascensore...) in un programma agli elementi finiti ad es. SAP2000. “Modello a fil di ferro sulla base degli assi degli elementi” inserendo masse con gli special joint e simulando i vincoli di piano.
  - ❑ Piastre (setti, scale etc) modellate con delle shell!!!!
-

# Progetto struttura



# Progetto struttura: carichi

## 2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{33} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6):

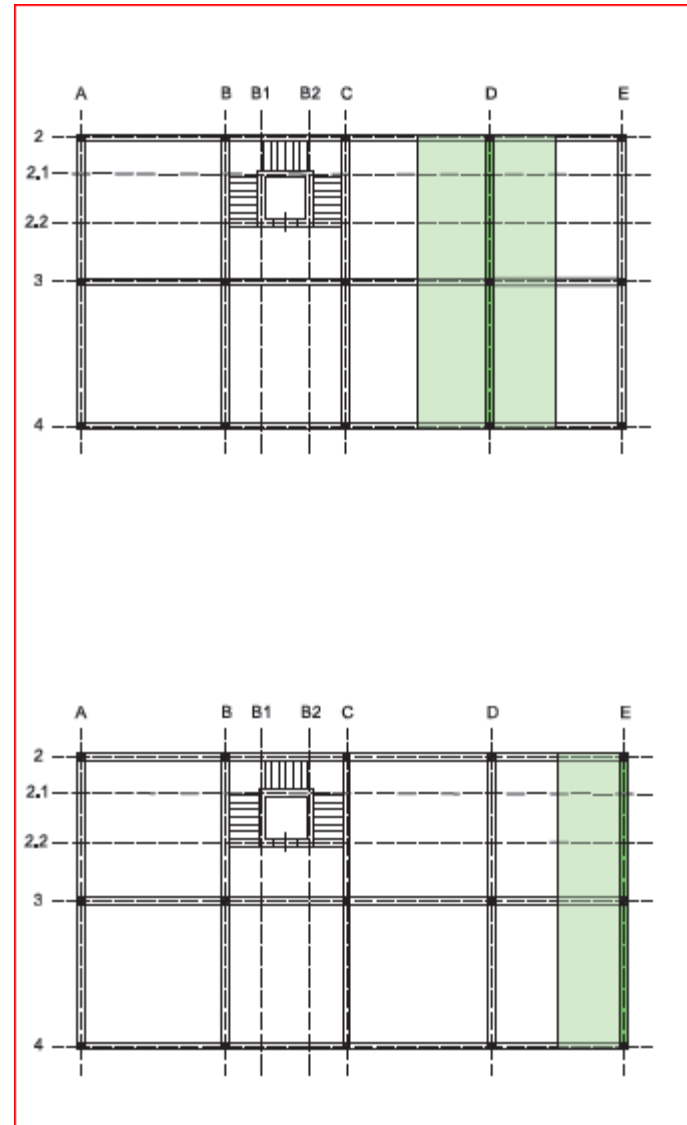
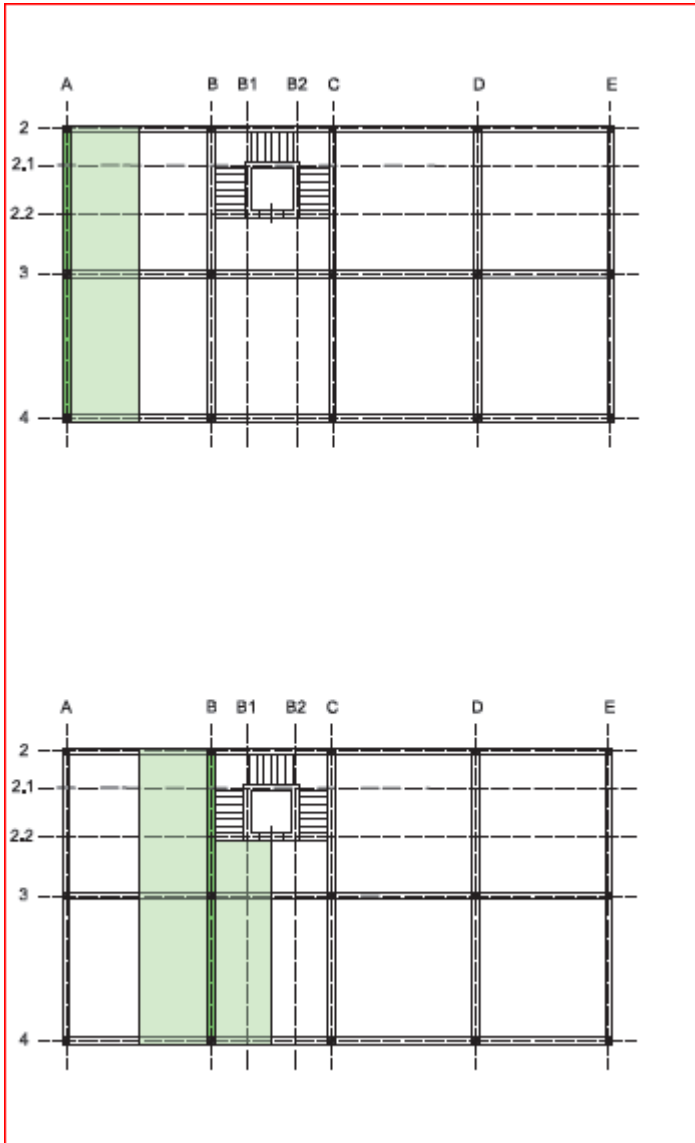
$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omissi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

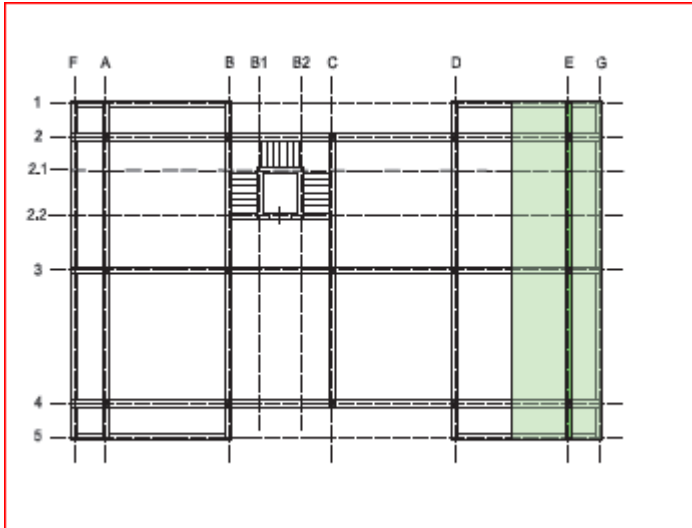
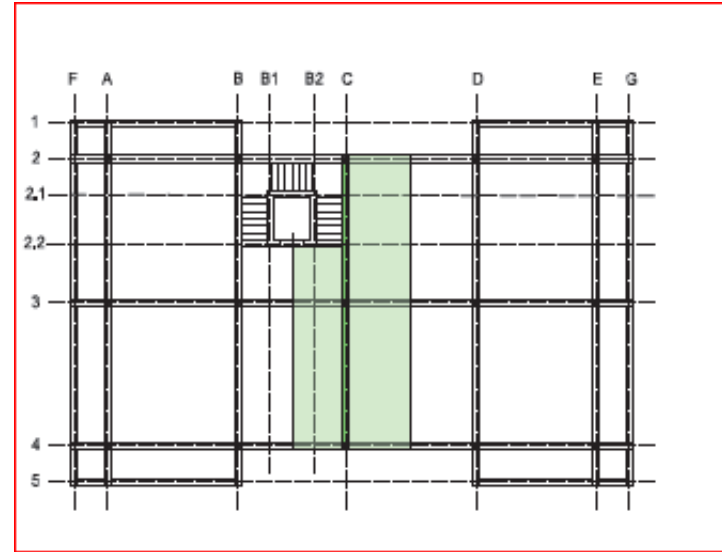
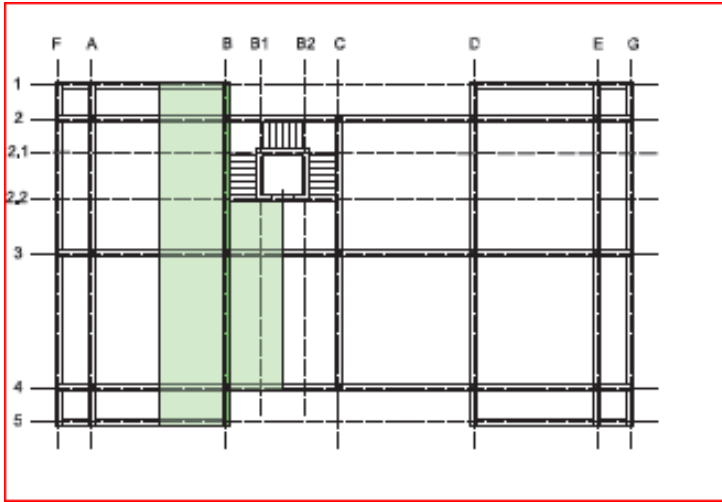
2 combinazioni a scacchiera e 1 combinazione “tutto caricato” per i carichi verticali (SLU e SLE hanno diversi coeff.)

“Tutto caricato” per i carichi verticali sismici (coeff. carichi sismici) “+” E ossia diverse combinazioni per le azioni orizzontali sismiche (sistema di forze orizzontali lungo x e y nel piano orizzontale)

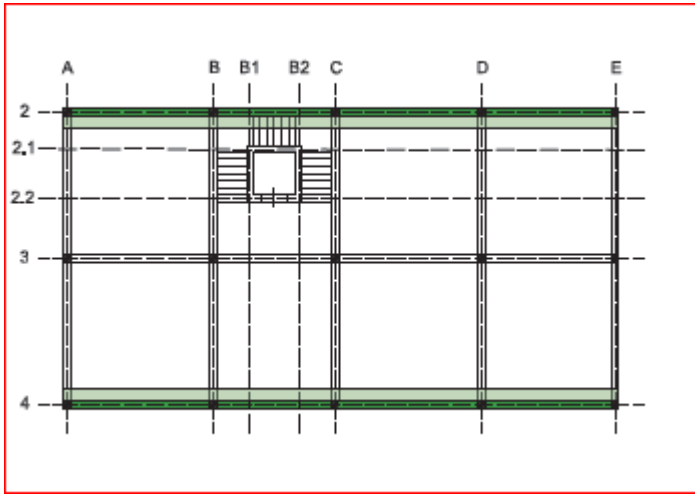
# Progetto struttura: carichi travi principali



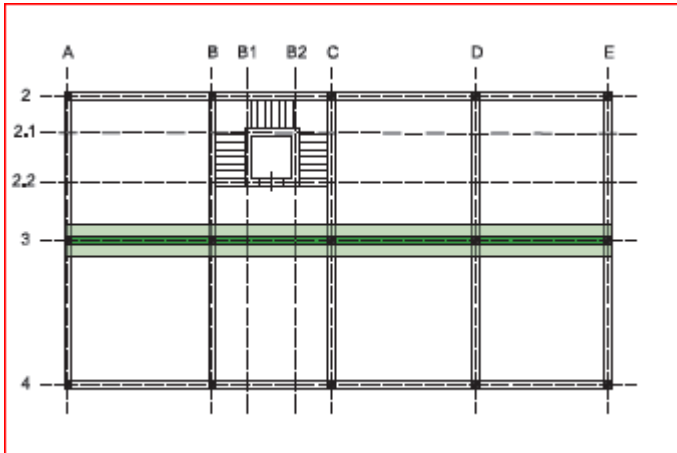
# Progetto struttura: carichi travi principali



# Progetto struttura: carichi travi secondarie



- ❑ Fascia di solaio da 50cm per lato, eventuali tamponature esterne e/o balconi!!!!





# Progetto struttura

---

- ❑ Attenzione a considerare aperture nelle tamponature per finestre e porte!!! Il carico delle tamponature è più basso. Si considera una percentuale del carico della tamponatura alta quanto l'interpiano!
  - ❑ Attenzione tamponature scale!!! Parte su trave di piano e parte su trave a ginocchio (stesso per soletta)
  - ❑ Non vanno caricati i baricentri di piano!!!! In questi punti vanno messe solo le masse!!!
-

# Progetto struttura: combinazioni carichi

---

## ☐ Analisi allo SLU non sismica:

- carichi verticali ( $G_1, G_2, Q$ ), neve, vento moltiplicati per gli opportuni coeff. per lo SLU secondo Norma Tecnica Nazionale (NTC)
- Combinazioni: 2 comb. a scacchiera e 1 comb. tutto caricato

# Progetto struttura: combo carichi

---

## □ Analisi allo SLU sismica:

- I carichi verticali ( $G_1, G_2, Q$ ) sono moltiplicati per gli opportuni coeff. per lo SLU SISMICO secondo NTC2008
  - I carichi verticali sismici sono applicati sempre su tutti gli elementi senza combinazioni a scacchiera
  - Le azioni orizzontali sono calcolate per ogni piano lungo due direzioni orizzontali  $x$  e  $y$  in funzione della massa di piano e della accelerazione letta sullo spettro di progetto allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV)
  - Le combinazioni sismiche per lo SLV hanno in comune i carichi verticali sismici applicati su tutti gli elementi ma hanno forze orizzontali lungo  $x$  e  $y$  combinate in modo diverso
-

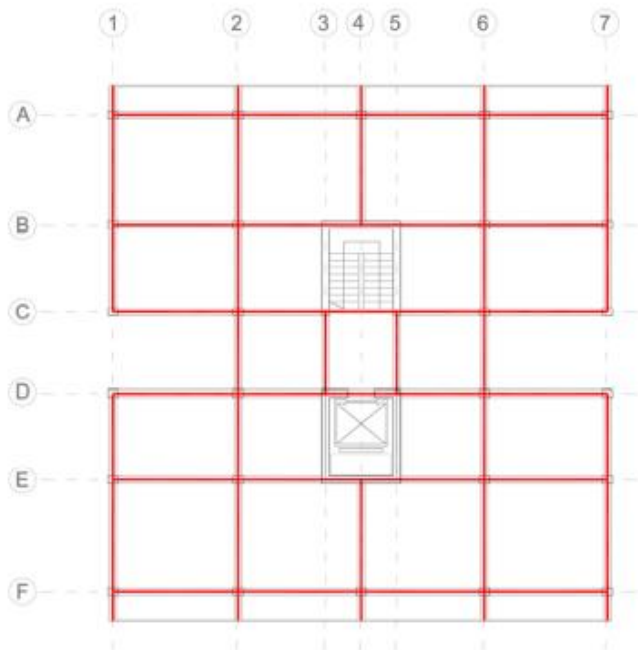
# Progetto struttura: SLU NON SISMICO

C1 = "scacchiera 1" telaio tutto caricato (coefficienti delle azioni sfavorevoli)

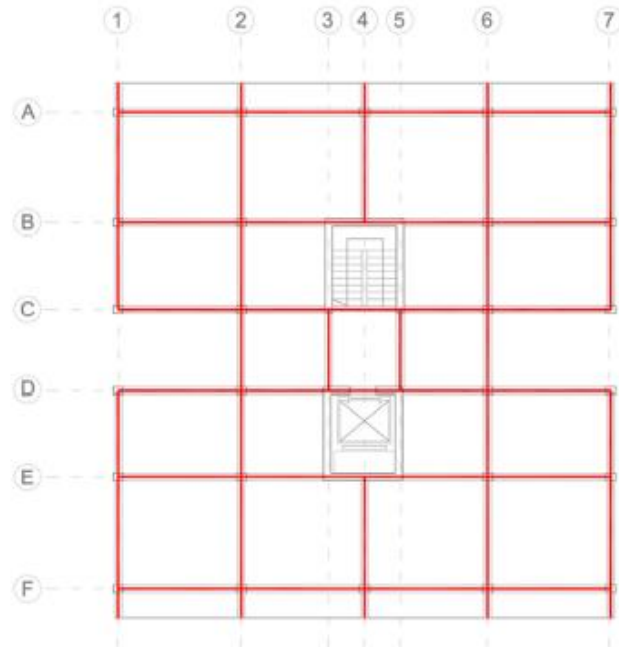
C2 = "scacchiera 2" (azioni favorevoli e sfavorevoli alternate)

C3 = "scacchiera 3" (azioni favorevoli e sfavorevoli alternate)

Scacchiera 1 (C1)



Piano 1 e 3



Piano 2 e copertura

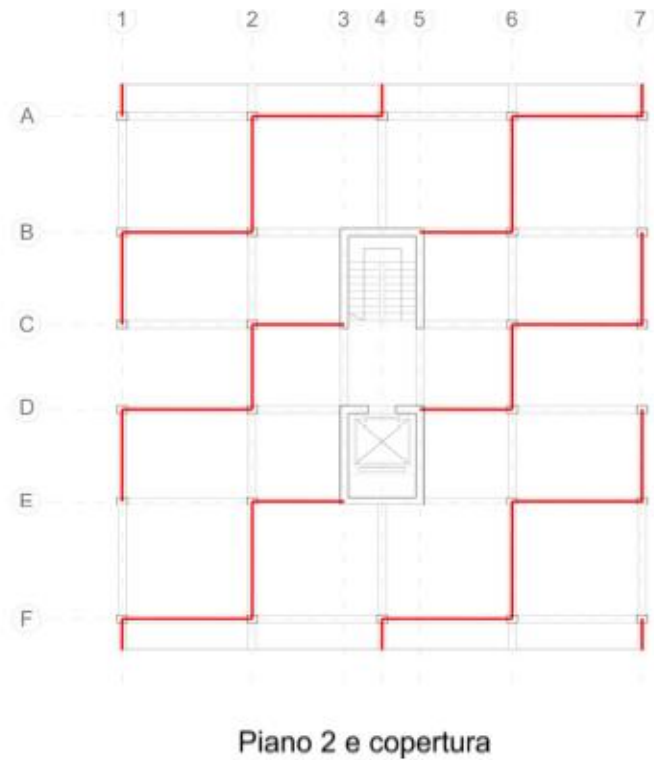
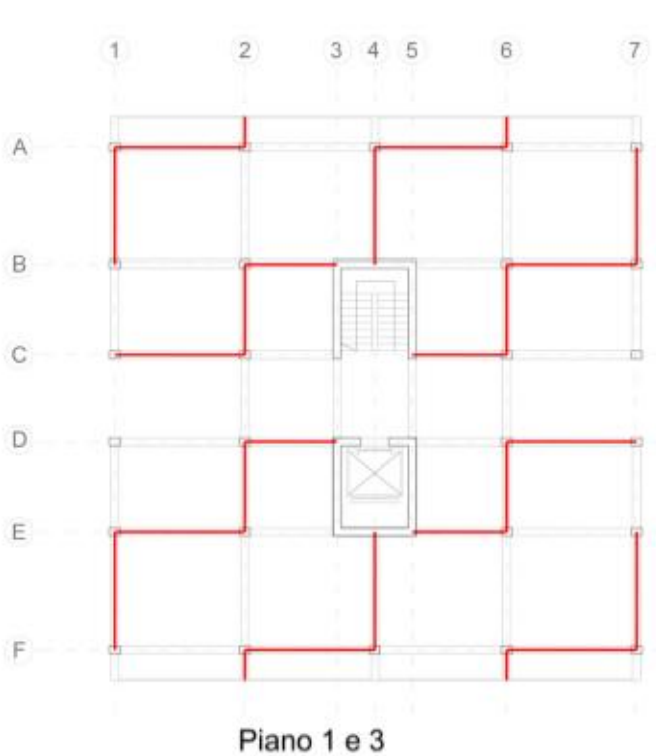
# Progetto struttura: SLU NON SISMICO

C1 = "scacchiera 1" telaio tutto caricato (coefficienti delle azioni sfavorevoli)

C2 = "scacchiera 2" (azioni favorevoli e sfavorevoli alternate)

C3 = "scacchiera 3" (azioni favorevoli e sfavorevoli alternate)

## Scacchiera 2 (C2)



# Progetto struttura: SLU NON SISMICO

C1 = "scacchiera 1" telaio tutto caricato (coefficienti delle azioni sfavorevoli)

C2 = "scacchiera 2" (azioni favorevoli e sfavorevoli alternate)

C3 = "scacchiera 3" (azioni favorevoli e sfavorevoli alternate)

## Scacchiera 3 (C3)

