

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

Validazione del progetto strutturale
secondo le indicazioni del capitolo 10 delle NTC08

1 - Esame visivo della struttura

Aula magna dell'ITCG G. Spagna, Spoleto
1 febbraio 2012
Aurelio Ghersi

Preliminarmente ...

Ubicazione dell'edificio e caratteristiche del sito

Individuare (e precisare nella relazione generale)

- Dove è ubicato l'edificio
- La destinazione d'uso dell'edificio
- Le caratteristiche del terreno
- I parametri sismici del sito

Ubicazione dell'edificio e caratteristiche del sito

Esempio:

- Edificio ubicato a Messina in via xxxxxxxx
- Destinazione d'uso: abitazione
- Terreno classificabile come suolo di tipo C
- Parametri sismici del sito (diretti e derivati)

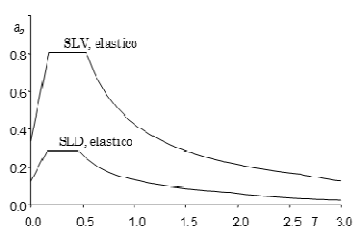
T_r [anni]	a_r [g]	F_e	T_c^*
30	0.061	2.360	0.280
50	0.082	2.315	0.292
475	0.250	2.410	0.360
975	0.339	2.445	0.383

Stato limite	S	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
SLD	1.500	0.155	0.400	1.928
SLV	1.339	0.177	0.550	2.600

Ubicazione dell'edificio e caratteristiche del sito

Esempio:

- Dare particolare rilievo agli spettri di risposta elastica



Esame visivo della carpenteria
e giudizio qualitativo

Carpenteria e fondazione

- Esaminare l'orditura dei solai, la posizione di travi e pilastri (ed anche la fondazione)
- La struttura deve essere idonea a portare
 - i carichi verticali
 - le azioni orizzontali equivalenti al sisma
- La fondazione deve essere idonea a evitare
 - cedimenti verticali
 - spostamenti relativi del piede dei pilastri

Obiettivi generali

La struttura dovrebbe essere il più regolare possibile

In particolare, la struttura deve essere regolare sia in pianta che in altezza

La normativa fornisce indicazioni, che però non sempre sono significative

I problemi legati alla regolarità sono tanti

Occorrerebbe individuare prima i problemi e poi, in base a questi, definire la regolarità

Regolarità in pianta

- configurazione compatta e approssimativamente simmetrica
- rapporto tra i lati di un rettangolo in cui è inscritta la pianta inferiore a 4
- rientri o sporgenze non superiori al 25% della dimensione della pianta nella stessa direzione
- impalcati infinitamente rigidi nel loro piano

Criteri poco significativi e quasi non utilizzati

NTC 08, punto 7.2.2

Regolarità in altezza

I sistemi resistenti verticali si estendono per tutta l'altezza dell'edificio

Massa e rigidezza non variano bruscamente da un piano all'altro

Il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza di calcolo non varia molto da un piano all'altro

Principi generali = prestazione richiesta

NTC 08, punto 7.2.2

Regolarità in altezza

Andando dal basso verso l'alto:

- le variazioni di massa sono, al massimo, il 25%
- la rigidezza non si riduce più del 30% e non aumenta più del 10%
- il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza di calcolo varia di $\pm 20\%$

Regole applicative = prescrizioni (obbligatorie?)

NTC 08, punto 7.2.2

Regolarità in altezza

Si noti inoltre che:

- il controllo delle masse può essere effettuato *a priori*, all'inizio del calcolo
- il controllo sulla rigidezza e sulla resistenza può essere effettuato solo *a posteriori*, dopo aver effettuato il calcolo e la disposizione delle armature

Obiettivi generali

La struttura dovrebbe essere il più regolare possibile

Esaminare se è stata divisa in blocchi staticamente separati da giunti

Prestare molta attenzione alla scala

La soluzione con travi a ginocchio introduce elementi molto rigidi con conseguente:

- concentrazione delle sollecitazioni e riduzione della duttilità globale
- possibilità di introdurre una forte asimmetria nella distribuzione di rigidità

Anche la soletta rampante può dare problemi

Edifici con pareti o nuclei in c.a.

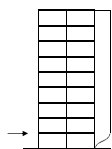
Compito dei diversi elementi:

- Le pareti portano l'azione sismica
 - Pilastri e travi portano i carichi verticali
- Impostazione separata, più semplice

Ma, attenzione:

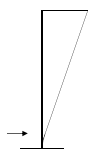
Ai piani superiori l'azione sismica è portata dai telai, più che dalle pareti

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



Mensola (pareti, oppure telaio con travi a spessore)

Forze applicate ai piani inferiori provocano piccoli spostamenti ...
... ma gli spostamenti aumentano di molto ai piani superiori

Edifici con pareti o nuclei in c.a.

Compito dei diversi elementi:

- Le pareti portano l'azione sismica
 - Pilastri e travi portano i carichi verticali
- Impostazione separata, più semplice

Ma, attenzione:

Ai piani superiori l'azione sismica è portata dai telai, più che dalle pareti

Le fondazioni richiedono uno studio particolare (e costi maggiori)

Edifici a struttura intelaiata

Travi e pilastri portano sia carichi verticali che azioni orizzontali

Esaminare separatamente:

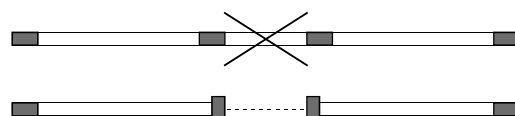
1. La carpenteria per quanto riguarda il modo in cui porta i carichi verticali
2. La carpenteria per quanto riguarda il suo comportamento nei confronti di azioni orizzontali

Edifici a struttura intelaiata

Stare attenti a:

- Luci di sbalzi, solai e travi molto forti e non uniformi

In particolare, sono da evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni



Edifici a struttura intelaiata

Stare attenti a:

- Luci di sbalzi, solai e travi molto forti e non uniformi

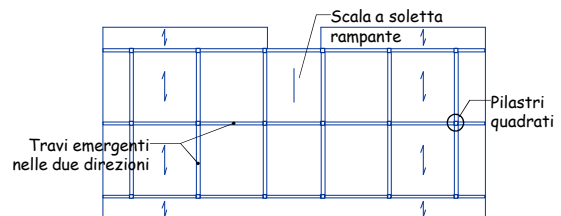
In particolare, sono da evitare campate di trave troppo corte, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni

- Forti disuniformità di carico verticale sui pilastri (carichi maggiori potrebbero richiedere sezioni maggiori, che provocherebbero concentrazione di sollecitazioni)

Edifici a struttura intelaiata

Nell'impostazione per azioni orizzontali:

- Garantire un irrigidimento uniforme nelle due direzioni, con elementi ben distribuiti in pianta



Elementi resistenti alle azioni orizzontali

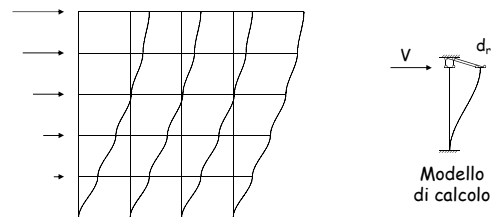
In realtà si hanno spesso travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari

I singoli elementi assorbono un'aliquota dell'azione sismica minore o maggiore in proporzione alla loro rigidezza

In che modo si può stimare la rigidezza?

Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio V e spostamento relativo d_r
- Se le travi sono infinitamente rigide



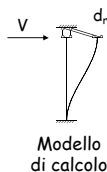
Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio V e spostamento relativo d_r
- Se le travi sono infinitamente rigide

$$d_r = \frac{V L_p^3}{12 E I_p}$$

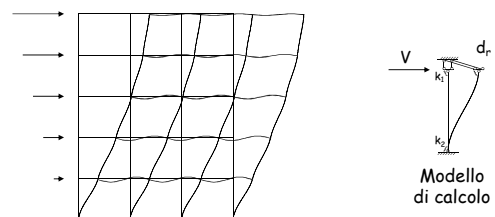
$$\text{rigidezza} = \frac{12 E I_p}{L_p^3}$$

La rigidezza è proporzionale al momento d'inerzia della sezione



Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio V e spostamento relativo d_r
- In realtà le travi sono deformabili



Rigidezza

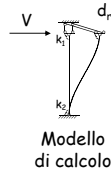
- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio V e spostamento relativo d_r
- In realtà le travi sono deformabili

$$k_1 = \frac{12 E I_{t,sup}}{L_t}$$

ma poiché la trave serve da vincolo anche al pilastro di sopra, prendo la metà

$$k_1 = \frac{6 E I_{t,sup}}{L_t} \quad k_2 = \frac{6 E I_{t,inf}}{L_t}$$

pongo $r_1 = \frac{E I_p}{L_p k_1} \quad r_2 = \frac{E I_p}{L_p k_2}$



Modello di calcolo

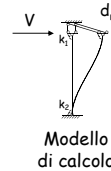
Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio V e spostamento relativo d_r
- In realtà le travi sono deformabili

$$d_r = \frac{V L_p^3}{12 E I_p} \left[1 + 3 \frac{r_1 + r_2 + 4 r_1 r_2}{1 + r_1 + r_2} \right]$$

$$\cong \frac{V L_p^3}{12 E I_p} [1 + 3 (r_1 + r_2)]$$

Lo spostamento dipende anche dalla rigidezza delle travi



Modello di calcolo

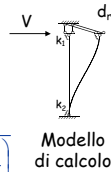
Rigidezza

- Rigidezza di un pilastro = rapporto tra taglio V e spostamento relativo d_r
- In realtà le travi sono deformabili

Spostamento e rigidezze si possono esprimere direttamente con

$$d_r \cong \frac{V L_p^3}{12 E I_p} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{E I_p / L_p}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,inf} / L_t} \right) \right]$$

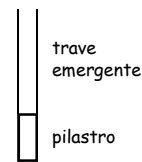
$$\text{rigidezza} = \frac{12 E I_p}{L_p^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{E I_p / L_p}{E I_{t,sup} / L_t} + \frac{E I_p / L_p}{E I_{t,inf} / L_t} \right)}$$



Modello di calcolo

Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



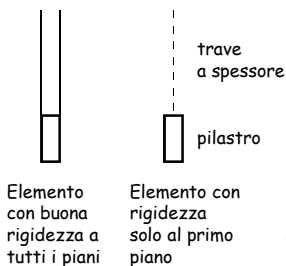
Elemento con buona rigidezza a tutti i piani

La resistenza all'azione sismica è affidata ai pilastri allungati nella direzione del sisma ed accoppiati a travi emergenti

Sisma

Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari

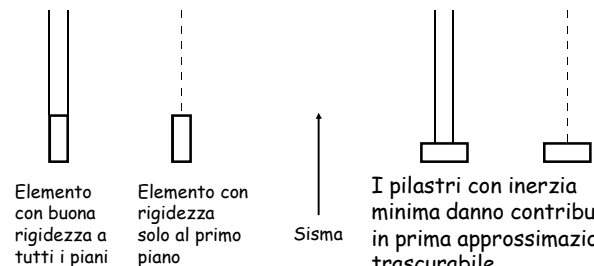


Un pilastro rigido accoppiato ad una trave a spessore fornisce un contributo basso a tutti i piani, tranne che al primo

Sisma

Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

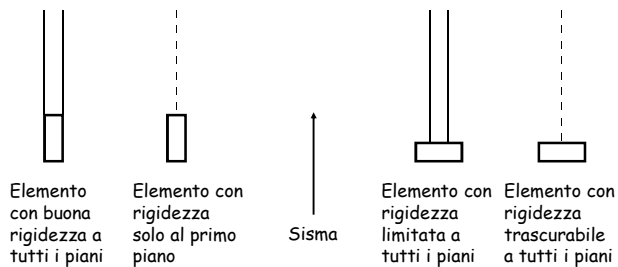
In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



Sisma

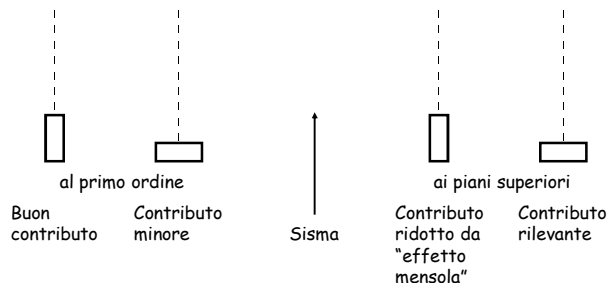
Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

In genere sono presenti in carpenteria travi sia emergenti che a spessore e pilastri rettangolari



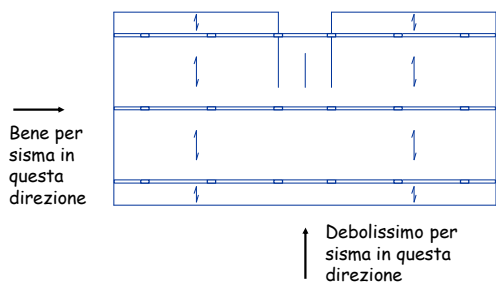
Individuare gli elementi che resistono alle azioni orizzontali

Se tutte le travi sono a spessore, il comportamento dei pilastri è un po' diverso



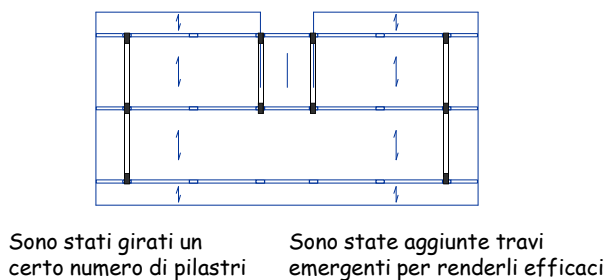
Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Carpenteria pensata per soli carichi verticali:



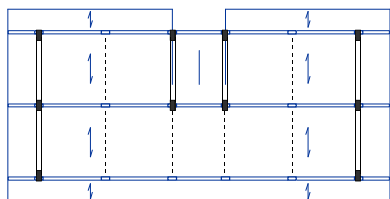
Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:



Carpenteria: da soli carichi verticali ad azioni orizzontali

Interventi, per azioni orizzontali:



Esempio

Edificio analizzato

Tipologia:
edificio adibito a civile abitazione, a 5 piani

Classe dell'edificio:
classe II (costruzione con normale affollamento, senza contenuti pericolosi e funzioni sociali essenziali)

Ubicazione:
zona sismica con $a_g = 0.25 g$ per SLV

Categoria di suolo:
categoria C (sabbie e ghiaie mediamente addensate)

Edificio analizzato

Struttura portante principale:
con struttura intelaiata in cemento armato

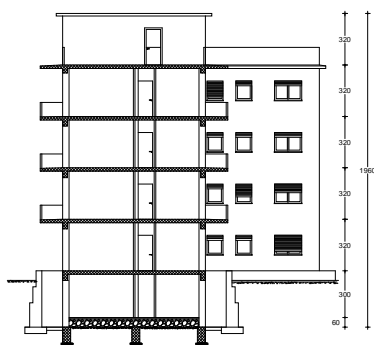
Solai:
in latero-cemento, gettati in opera

Scale:
a soletta rampante (tipologia "alla Giliberti")

Fondazioni:
reticolo di travi rovesce

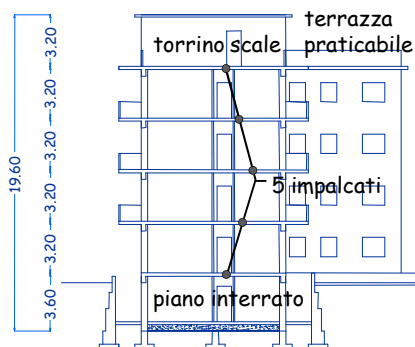
Materiali:
calcestruzzo C25/30 ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$, $R_{ck} = 30 \text{ MPa}$)
acciaio B450C

Edificio analizzato



Sezione

Edificio analizzato

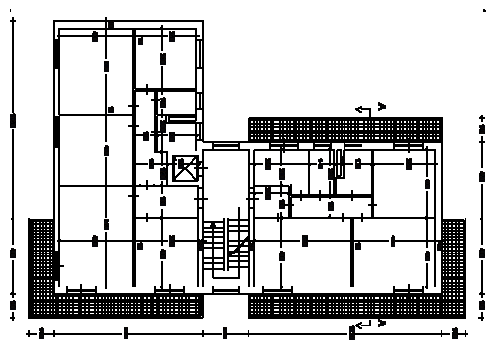


Sezione

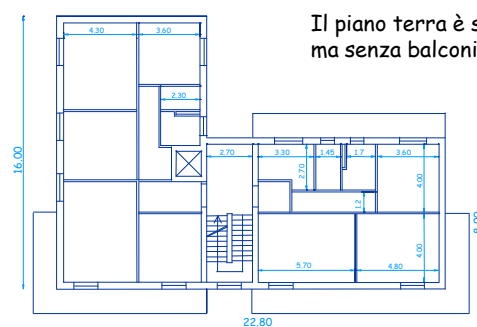
Sismicità media
= zona 2

Terreno
costituito da
sabbie e ghiaie
mediamente
addensate

Piano tipo

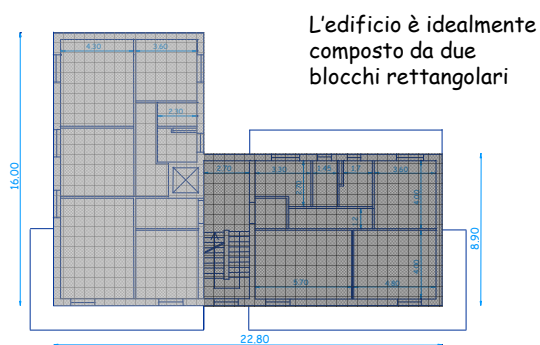


Piano tipo

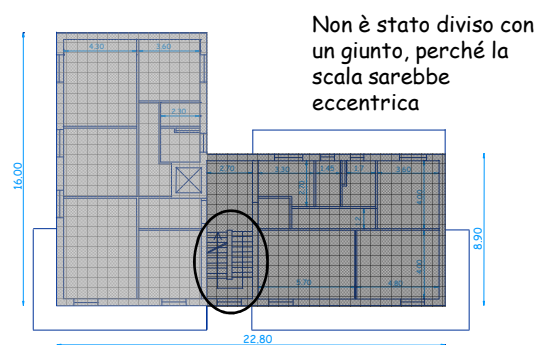


Il piano terra è simile,
ma senza balconi

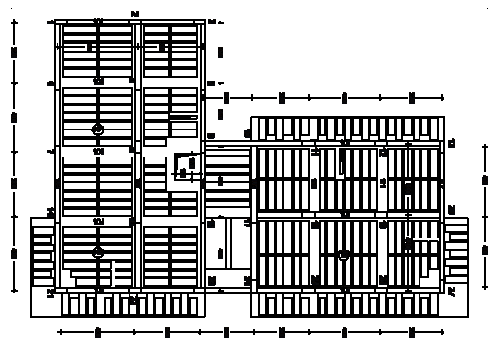
Piano tipo



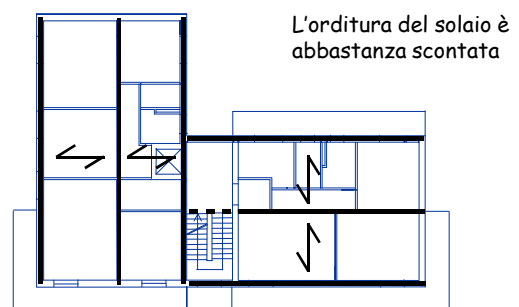
Piano tipo



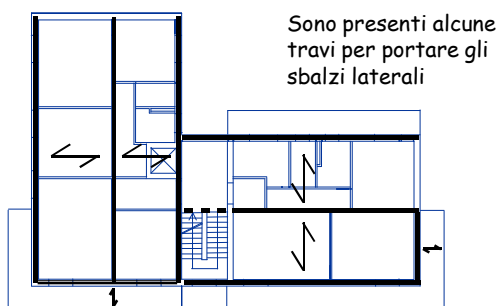
Carpenteria del piano tipo



Esame della carpenteria per quanto riguarda i carichi verticali



Esame della carpenteria per quanto riguarda i carichi verticali



Esame della carpenteria per quanto riguarda le azioni orizzontali



Controllo qualitativo delle dimensioni

- Solaio: spessore 22 cm
 - luce massima circa 5.00 m
 - struttura con numerose travi emergenti
 - non ci sono travi a spessore lunghe e molto caricate



lo spessore va bene

Nota: se tutte le travi fossero a spessore

- portare lo spessore almeno a 28 cm

Controllo qualitativo delle dimensioni

- Pilastri:
 - quasi tutti 30x70 (a tutti i piani)
 - i tre pilastri di destra sono 30x90
 - che sforzo normale portano?

Nell'esempio

Pilastro interno, porta
8 m di trave
21 m² di solaio

Carico al piano: 150 kN

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
830 kN



Nell'esempio

Pilastro laterale con sbalzo
pilastro d'angolo con sbalzi

Più o meno lo stesso

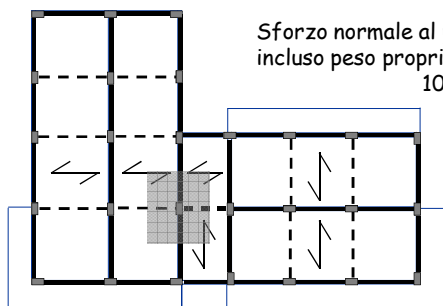
Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
830 kN



Nell'esempio

Pilastro interno in
corrispondenza della scala
Di più, a causa del torrino

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
1050 kN



Nell'esempio

Pilastro laterale privo di
sbalzo o d'angolo con uno
sbalzo

Carico al piano minore

Sforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
600 kN



Nell'esempio

Pilastro d'angolo
privo di sbalzoCarico al piano ancora
minoreSforzo normale al piede,
incluso peso proprio:
380 kN

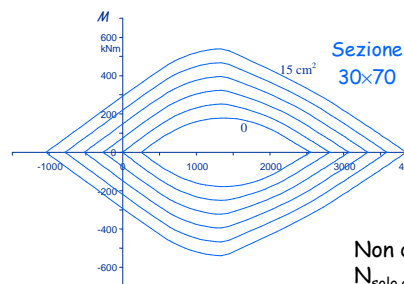
Pilastri

Tipo di pilastro	N_{Ed} (SLU con F)	N_{Ed} / A_c
Pilastri più caricati (20)	830 - 1050 kN	4.0 - 5.0 MPa
Pilastri perimetrali senza sbalzo (5)	600 kN	2.9 MPa
Pilastri d'angolo senza sbalzo (2)	380 kN	1.8 MPa

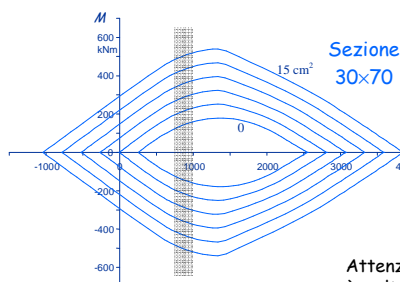
La tensione media vale, al massimo, circa $0.35 f_{cd}$

Controllo qualitativo delle dimensioni

- Pilastri:
 - sforzo normale al piede che va da 380 kN a 1050 kN
 - tensione media pari al massimo a circa $0.35 f_{cd}$ va bene ?

Possibili criteri
per le dimensioni dei pilastriIl massimo
momento
flettente può
essere portato
quando:

$$\frac{N}{A_c} \cong 0.5 f_{cd}$$

Non dimenticare che
 $N_{solo\ q} \cong 1.5 N_{q+sisma}$ Possibili criteri
per le dimensioni dei pilastriÈ opportuno
che nella
sezione sia:

$$\frac{N}{A_c} \leq 0.3 + 0.4 f_{cd}$$

A volte si può
arrivare a $0.5 f_{cd}$,
ma attenzioneAttenzione anche quando N/A_c
è molto bassoPossibili criteri
per le dimensioni dei pilastri

Consigli:

- È bene che la sezione del primo ordine abbia una tensione media N/A_c (in presenza di sisma) non superiore a:

$0.3-0.4 f_{cd}$ se si prevedono momenti flettenti non troppo elevati ($a_g=0.25\ g$, suolo C D E, q non troppo basso)

meno di $0.3 f_{cd}$ se si prevedono momenti flettenti molto più elevati

fino a $0.5 f_{cd}$ se si prevedono momenti flettenti bassi (a_g basso, suolo A B, q alto)

Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri

Consigli:

2. È preferibile usare per i diversi pilastri del primo ordine un numero basso di tipi di sezione (max 2 o 3) ed evitare eccessive differenze di momento d'inerzia

Quindi cercare di mantenere - più o meno - la stessa altezza delle sezioni e variare la base

Possibili criteri per le dimensioni dei pilastri

Consigli:

3. Bisogna evitare brusche variazioni di sezione andando verso l'alto

Limitare le variazioni di sezione, che sono sempre possibile causa di errori costruttivi

Evitare forti riduzioni di tutti i pilastri ad uno stesso piano

Mantenere una dimensione adeguata, non troppo piccola, anche ai piani superiori

Controllo qualitativo delle dimensioni

- Pilastri:
quasi tutti 30x70 (a tutti i piani)
 - sforzo normale al piede che va da 380 kN a 1050 kN
 - tensione media pari al massimo a circa $0.35 f_{cd}$
- solo tre pilastri hanno sezione maggiore, per bilanciare le rigidità

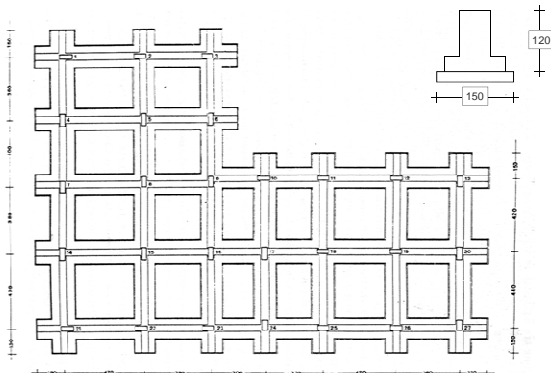
↓
va bene

Controllo qualitativo delle dimensioni

- Travi emergenti:
30x60 ai quattro impalcati inferiori
30x50 al quinto impalcato
 - le travi sono poco più piccole dei pilastri
 - variazione minima tra i diversi piani
- Solo due travi hanno sezione maggiore (perché in corrispondenza di pilastri di dimensione maggiore)

↓
la sezione andrebbe controllata
ma a occhio sembra poter andare bene

Pianta delle fondazioni



Giudizio qualitativo

- La struttura sembra sostanzialmente regolare
 - luci modeste e non molto diverse tra loro
 - pianta e carpenteria sostanzialmente uguali a tutti i piani
 - sezioni accettabili
 - rigidità uniforme nelle due direzioni
 - pilastri perimetrali che danno una buona rigidità torsionale
 - forse è debole il lato destro, ma su questo si è intervenuto aumentando le dimensioni di travi e pilastri

Giudizio qualitativo

... segue

- La fondazione appare adeguata
 - buona rigidezza
 - buon collegamento tra i pilastri
- L'impalcato è compatto (anche togliendo scala e ascensore)

