

Norme Tecniche per le Costruzioni

D.M.14/01/ 2008

Parte 2/4 – Aspetti particolari

Ordine ingegneri Bologna 29-maggio-2009

Ing. Angelo De Cocinis

Ing. Sara Ferrari

Distanza tra costruzioni contigue

Fenomeni di martellamento (Paragrafo 7.2.2)

• La **distanza tra costruzioni contigue** deve essere tale da evitare **fenomeni di martellamento** e comunque non può essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi determinati per lo *SLV*, calcolati per ciascuna costruzione secondo il paragrafo 7.3.3 (analisi lineare) o il paragrafo 7.3.4 (analisi non lineare);

• in ogni caso la distanza tra due punti che si fronteggiano non può essere inferiore ad $1/100$ della quota dei punti considerati misurata dal piano di fondazione, **moltiplicata per** $a_g \cdot S / 0,5g \leq 1$ dove *S* è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche (paragrafo 3.2.3.2.1)

• Qualora non si eseguano calcoli specifici, lo spostamento massimo di una costruzione non isolata alla base, può essere stimato in $1/100$ dell'altezza della costruzione moltiplicata per $a_g \cdot S / 0,5g \leq 1$:

$$d(h) = \frac{1}{100} \cdot h \cdot \frac{a_g \cdot S}{0,5g}$$

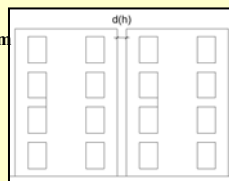
Edificio di altezza $h = 10$ m:

Bologna: $a_g = 0,1669$; $S = 1,460 \rightarrow d(h) = 0,048$ m = 4,8 cm

Castel San Pietro: $a_g = 0,1988$; $S = 1,460$

$\rightarrow d(h) = 0,058$ m = 5,8 cm

• Particolare attenzione va posta al dimensionamento dei distacchi se le costruzioni hanno apparecchi di isolamento sismico tenendo in conto le indicazioni riportate nel paragrafo 7.10.4 e nel paragrafo 7.10.6.



Distanza tra costruzioni contigue

Danno prodotto dal fenomeno del martellamento tra costruzioni contigue



Creazione di un giunto sismico tra costruzioni contigue



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Pilastri in falso

- La **componente verticale** dell'**azione sismica** deve essere considerata per edifici che presentano pilastri in falso

(Paragrafo 7.2.1)

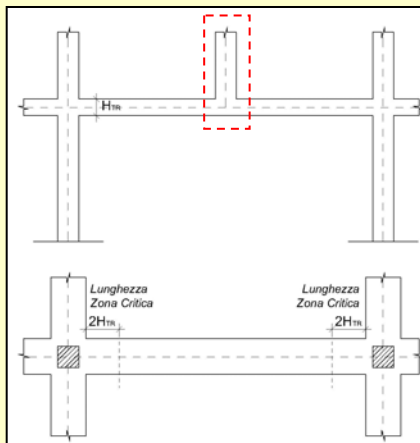
- Non** deve esserci **eccentricità** tra l'**asse delle travi** che sostengono pilastri in falso e l'**asse dei pilastri** che le sostengono.

Tali travi devono inoltre avere almeno due supporti, costituiti da pilastri o pareti. Le pareti non possono appoggiarsi in falso su travi o solette

(Paragrafo 7.4.6.1.1)

- Per travi che sostengono un pilastro in falso, si assume una lunghezza per la **zona critica** pari a 2 volte l'altezza della sezione misurata da entrambe le facce del pilastro

(Paragrafo 7.4.6.1.1)



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Effetti dei tamponamenti in una struttura a telaio in c.a.

Alcuni elementi strutturali possono venire considerati "secondari". Sia la rigidezza che la resistenza di tali elementi vengono ignorate nell'analisi della risposta e tali elementi vengono progettati per resistere ai soli carichi verticali. Tali elementi tuttavia devono essere in grado di assorbire le deformazioni della struttura soggetta all'azione sismica di progetto, mantenendo la capacità portante nei confronti dei carichi verticali; pertanto, limitatamente al soddisfacimento di tale requisito, agli elementi "secondari" si applicano i particolari costruttivi definiti per gli elementi strutturali.

In nessun caso la scelta degli elementi da considerare secondari può determinare il passaggio da struttura "irregolare" a struttura "regolare", né il contributo alla rigidezza totale sotto azioni orizzontali degli elementi secondari può superare il 15% della analoga rigidezza degli elementi principali.

Con l'esclusione dei soli tamponamenti interni di spessore non superiore a 100 mm, **gli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati.**

Qualora la **distribuzione** di tali elementi sia **fortemente irregolare in pianta**, gli effetti di tale irregolarità debbono essere valutati e tenuti in conto. Questo requisito si intende soddisfatto qualora si **incrementi di un fattore 2 l'eccentricità accidentale** di cui al § 7.2.6.

Qualora la **distribuzione** di tali elementi sia **fortemente irregolare in altezza** deve essere considerata la possibilità di forti concentrazioni di danno ai livelli caratterizzati da significativa riduzione del numero di tali elementi rispetto ai livelli adiacenti. Questo requisito si intende soddisfatto **incrementando di un fattore 1,4 le azioni di calcolo per gli elementi verticali (pilastri e pareti) dei livelli con riduzione dei tamponamenti.**

In ogni caso gli effetti degli elementi costruttivi senza funzione strutturale sulla risposta sismica dell'intera struttura vanno considerati nei modi e nei limiti ulteriormente descritti, per i diversi sistemi costruttivi, nei paragrafi successivi.

(Paragrafo 7.4.6.1.1)

Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Interazione fra telai e pannelli murari di tamponatura

Negli edifici con struttura portante costituita da un telaio in cemento armato, i pannelli di chiusura sono in grado di condizionare fortemente la risposta sismica globale in quanto sono capaci di irrigidire notevolmente l'intelaiatura portante.

A causa della loro intrinseca rigidezza, infatti, **le tamponature possono originare configurazioni irregolari e pregiudicare così la corretta conformazione strutturale**

PIANO SOFFICE: è una delle cause tipiche di danno da sisma. Esso si viene a creare quando un piano ha una rigidezza più debole degli altri.

• Situazioni della **torsione in pianta**: la risposta sismica è infatti influenzata dalla distribuzione delle masse all'interno di un organismo edilizio. Per conseguire risultati positivi è necessario che il baricentro delle rigidzze coincida con il baricentro delle masse, altrimenti si genera a seguito delle azioni sismiche una coppia e quindi un momento torcente.

↓
Crisi di strutture con distribuzione planimetrica regolare degli elementi portanti, ma con irregolarità nella posizione delle tamponature.

• Formazione di **meccanismi di piano soffice**, soprattutto nei piani intermedi ed inferiori a causa della irregolare distribuzione in altezza delle tamponature.



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

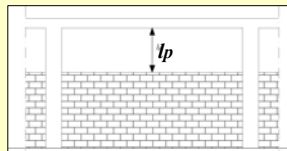
Interazione fra telai e pannelli murari di tamponatura

- Ulteriore problematica è relativa alla presenza di tamponature che hanno **limitata altezza** con il rischio che il pilastro, parzialmente confinato, si rompa per taglio.

“Se i tamponamenti non si estendono per l'intera altezza dei pilastri adiacenti, l'armatura risultante deve essere estesa per una distanza pari alla profondità del pilastro oltre la zona priva di tamponamento. Nel caso in cui l'altezza della zona priva di tamponamento fosse inferiore a 1,5 volte la profondità del pilastro, debbono essere utilizzate armature bi-diagonali.”

(Limitazioni di Armatura – 7.4.6.2.2 Pilastri)

$l_p < 1.5 \text{ profondità pilastro} \Rightarrow \text{armature bi-diagonali}$



← Esempio di riempimento a metà altezza: si notino le zone del pilastro che hanno ceduto. Praticamente la lunghezza utile del pilastro viene ridotta col riempimento di muratura; a causa di questa riduzione aumentano gli sforzi a taglio sulla parte libera del pilastro.



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Interazione fra telai e pannelli murari di tamponatura

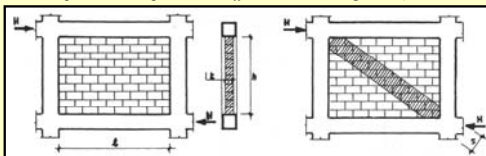
Se invece è la muratura ad essere meno rigida dei pilastri, in caso di evento sismico essa viene espulsa lasciando intatto il telaio strutturale dell'edificio



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Interazione fra telai e pannelli murari di tamponatura

Il comportamento di un telaio risente fortemente dell'effetto d'interazione prodotto dalle tamponature, se queste sono efficacemente collegate. (Circ. 1997 n.65 All.2)



Per valutare la deformabilità laterale di un sistema composto da **telaio e tamponatura**, ovvero per il calcolo della ripartizione delle forze sismiche orizzontali fra gli elementi resistenti, si può tener conto dell'effetto delle tamponature considerando il funzionamento di un **puntone diagonale equivalente**.

È **LECITO** riprodurre il comportamento di un elemento di telaio contenente una tamponatura muraria e sottoposto all'azione di una forza laterale come illustrato precedentemente quando siano soddisfatte le condizioni:

- il telaio è costituito da elementi di c.a. adeguatamente collegati fra loro nei nodi ed aderenti alla tamponatura. Questa deve essere collegata efficacemente all'intelaiatura.

- $0,5 \leq h/l \leq 2,0 \rightarrow h = 2,70 \text{ m} ; l = 4 \text{ m} \rightarrow h/l = 0,67$

- $h/l \leq 20$ dove $t = \text{sp. tamponamento (hp 30 cm)} \rightarrow h/t = 9$

- nel pannello di tamponatura non devono essere presenti aperture, salvo che queste siano delimitate da intelaiature in c.a.

Puntone Equivalente

Spessore = Spessore t muratura

Larghezza $s = 1/10$ lunghezza della diagonale



$$K = \frac{12 \cdot E \cdot \sum J}{h^3}$$

$$K_o = \frac{G \cdot A}{h \left(1,2 + \frac{2}{n} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^2 \right)}$$

Telaio:

I_2 : coeff. corrispondente alla sommità dei piedritti (si ipotizza che questa trasli rigidamente, in virtù della connessione fra le aste del telaio e fra questo e la muratura esistente);

E : modulo elasticità materiale

H : altezza dei piedritti

ΣJ : sommatoria momenti d'inerzia piedritti

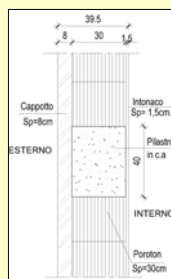
Muratura:

G : modulo di elasticità tang. Muratura (Circ. Min. LL.PP. N.21745 del 30-7-1997);

A : area sez. trasv. Muratura = $t \cdot l$;

H : altezza parete muraria

n : variabile da 3 a 12, a seconda del vincolo in sommità alla parete muraria (struttura sovrastante il vano). $n = 12$ nel caso di incastro scorrevole (struttura sovrastante rigida); $n = 3$ nel caso di mensola (struttura sovrastante flessibile);



Pacchetto tipo di tamponamento in muratura (blocchi Poroton 30 cm)

Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Interazione fra telai e pannelli murari di tamponatura

Forze assiali nei pilastri:

Si deve tener conto delle variazioni delle forze assiali nei pilastri che si calcolano applicando le forze sismiche orizzontali al modello di struttura comprendente i puntone equivalenti

Rottura per scorrimento orizzontale dovuta alle tensioni tangenziali agenti nella zona centrale della tamponatura

Forze di taglio nei pilastri:

Per la validità delle considerazioni svolte e delle formule indicate è essenziale che la rottura per taglio dei pilastri non preceda quella dei pannelli murari. Pertanto ciascun pilastro adiacente ad un pannello di tamponatura deve essere verificato per una forza tagliante pari al taglio su di esso calcolato, aumentato della forza orizzontale H_0 calcolata per la tamponatura.

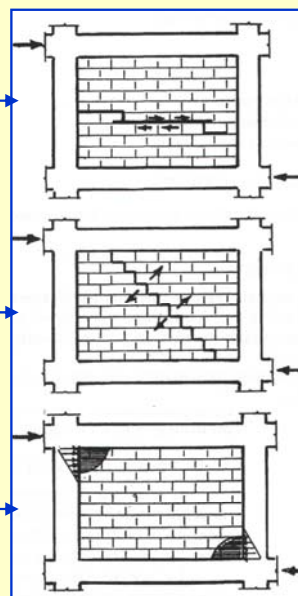
Rottura diagonale per trazione dovuta alle tensioni di trazione inclinate agenti anch'esse nella zona centrale della tamponatura

Flessione nei pilastri:

Ciascun pilastro che affianchi una tamponatura deve essere verificato per un momento flettente pari al momento flettente su di esso calcolato, aumentato del momento:

$$M = \frac{\pm H_0 \cdot h}{10}$$

Rottura per schiacciamento locale degli spigoli della tamponatura dovuta alla concentrazione delle forze orizzontali di interazione trasmesse dal telaio



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Regolarità strutturale ed Ellisse delle rigidzze

CENTRO DI TAGLIO per SEZIONI A PROFILO APERTO

Per gli elementi con sezione a profilo aperto sia le caratteristiche di sollecitazione che tutte le caratteristiche geometriche delle sezioni trasversali (momenti d'inerzia flessionali e torsionali, da cui dipendono le rigidzze) vanno riferite a un punto della sezione diverso dal baricentro, chiamato **CENTRO DI TAGLIO O CENTRO DELLE RIGIDZZE**.

Per tale punto passa la risultante delle tensioni tangenziali che si hanno sulla sezione se una sollecitazione di taglio ha retta d'azione che passa per il baricentro della sezione.

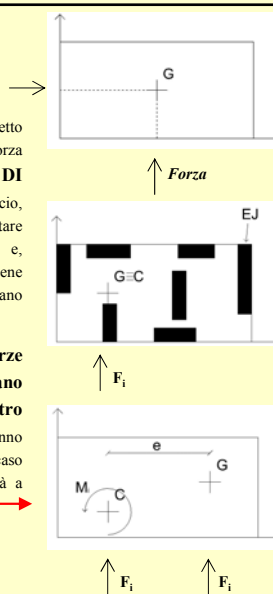
Se la sezione è dotata di un asse di simmetria, il centro di taglio si trova su tale asse, se ha due assi di simmetria, il centro di taglio coincide con il baricentro.

Il centro di taglio è il punto rispetto al quale si devono calcolare tutte le caratteristiche di sollecitazione, e anche il punto attorno a cui la sezione ruota se soggetta a torsione.

CENTRO DI TAGLIO NEGLI EDIFICI

Analogamente a quanto detto per una sezione, se una forza passa per il **CENTRO DI TAGLIO C** di un edificio, tale sezione trasla senza ruotare in direzione della forza e, analogamente, se le viene applicata una coppia il piano ruota senza traslare.

Se $C \equiv G$, le **forze sismiche**, che **passano sempre per il baricentro delle masse G**, produrranno solo degli spostamenti, nel caso contrario la sezione tenderà a ruotare



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Regolarità strutturale ed Ellisse delle rigidzze

REGOLARITÀ STRUTTURALE ed ELLISSE DELLE RIGIDZZE

Per il calcolo dell'inerzia complessiva degli elementi di controvento si deve fare l'ipotesi che gli stessi abbiano disposizione planimetrica tale da **minimizzare**, in presenza di forze orizzontali, gli **effetti torsionali** sull'edificio. Ciò è possibile solo se l'edificio presenta "**regolarità strutturale in pianta**", ovvero se il baricentro delle forze orizzontali **G** non dista in modo significativo dal baricentro delle rigidzze **C** degli elementi verticali. Essendo in tal caso poco significativi sia gli effetti torsionali che i relativi spostamenti, la struttura si può considerare dotata di rigidzza torsionale adeguata.

Per quanto riguarda la regolarità strutturale, un edificio può essere classificato come **regolare** o **non regolare** in verticale e in pianta. **Una struttura regolare contrasta con efficacia l'azione delle forze orizzontali**, presenta minor aleatorietà di comportamento e può essere studiata con modelli di calcolo semplificati.

Per valutare se una disposizione planimetrica degli elementi resistenti è accettabile, secondo l'**EUROCODICE 8**, si calcolano i **RAGGI D'INERZIA** del sistema strutturale e li si confrontano con le eccentricità e_0 delle forze agenti, calcolate rispetto al baricentro delle rigidzze.

$$r_x = \sqrt{\frac{K_T}{K_x}} \quad r_y = \sqrt{\frac{K_T}{K_y}}$$

Rappresentano i semiasse dell'**ellisse centrale d'inerzia** (figura geometrica che evidenzia come sono distribuite le rigidzze intorno al baricentro delle rigidzze).

Se tali raggi hanno ugual valore \Rightarrow l'**ellisse d'inerzia** assume una **forma circolare** \Rightarrow situazione **ottimale** in quanto si ha una distribuzione uniforme delle rigidzze in tutta la sezione

Definiti i raggi delle rigidzze, secondo l'EC8 le eccentricità e_{0x} , e_{0y} tra il centro delle rigidzze e le rette di azione delle forze esterne si considerano limitate se

Il rispetto di tali espressioni assicura che un edificio non subirà effetti torsionali significativi per effetto delle forze orizzontali

$$\frac{e_{0x}}{r_x} \leq 0,30 \quad \frac{e_{0y}}{r_y} \leq 0,30$$

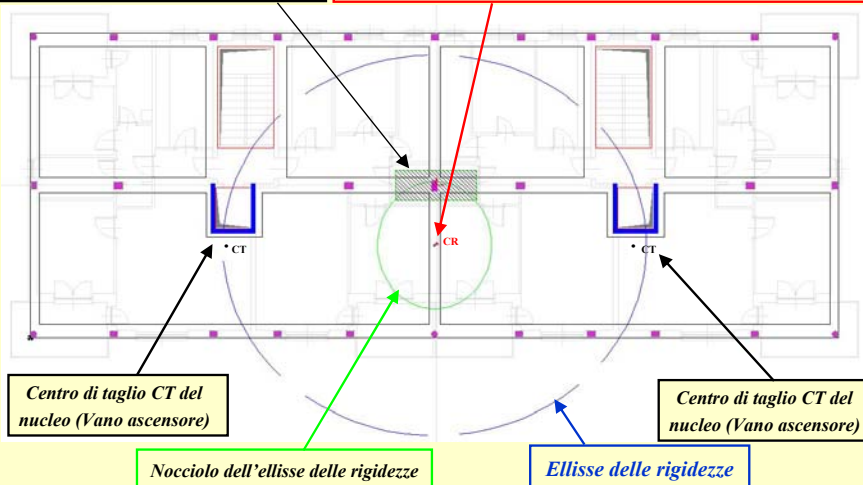
ovvero se il baricentro delle forze cade all'interno di un "noccio", di una zona limitata che si trova nell'intorno del baricentro delle rigidzze ed è estesa a circa il 9% della superficie di questa

Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Regolarità strutturale ed Ellisse delle rigidezze

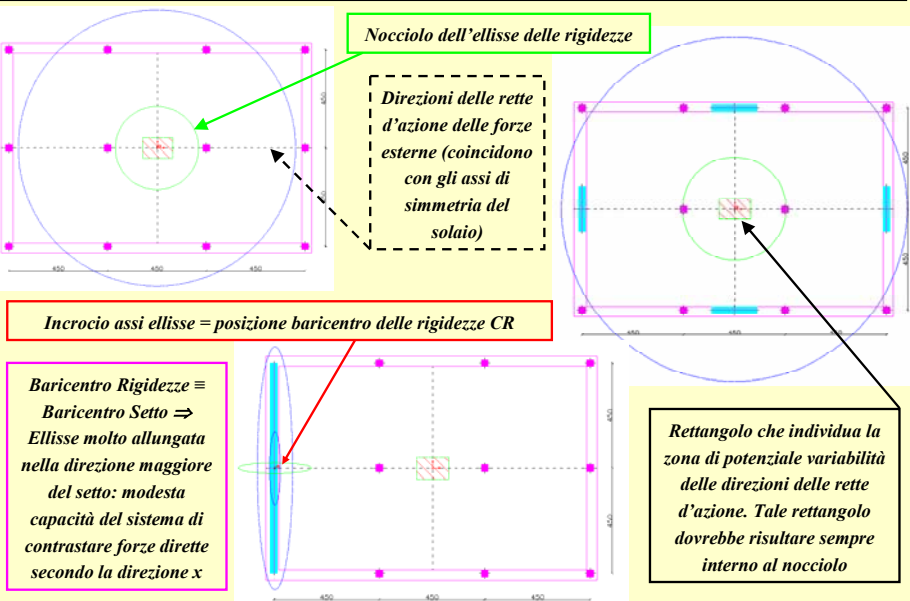
Rettangolo che individua la zona di potenziale variabilità delle direzioni delle rette d'azione. Tale rettangolo dovrebbe risultare sempre interno al nocciolo

L'incrocio degli assi dell'ellisse individua la posizione del **baricentro delle rigidezze CR** che si trova sull'asse di simmetria trasversale, ma stante la posizione dei centri di taglio dei vani ascensore, risulta spostato al di sotto dell'asse di simmetria longitudinale del fabbricato.



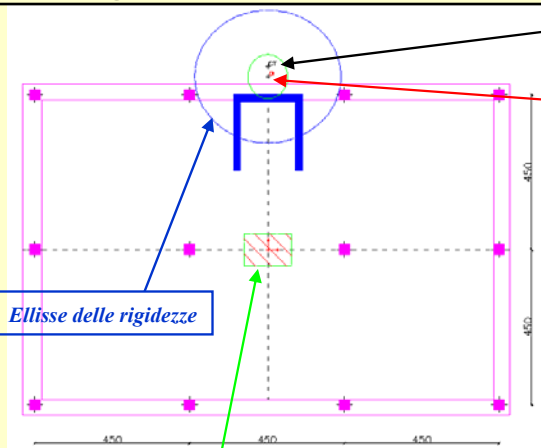
Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Regolarità strutturale ed Ellisse delle rigidezze



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Regolarità strutturale ed Ellisse delle rigidezze



Centro di taglio CT del nucleo in
c.a. (Vano ascensore)

Incrocio assi ellisse = posizione
baricentro delle rigidezze CR

Ellisse delle rigidezze

Rettangolo di tolleranza: regione entro la quale dovrebbe passare la retta d'azione delle forze esterne affinché, secondo l'EC8, il solaio possa essere considerato torsionalmente rigido, quindi con modeste rotazioni.

Nonostante la forma e le dimensioni dell'ellisse di rigidezze siano corrette, il rettangolo di tolleranza risulta lontano dal nocciolo, evidenziando quindi una non corretta disposizione planimetrica degli elementi.

LEGENDA

- Pilastrini
 - Setti
 - Nuclei
 - CT

 Centro di taglio
 - CR

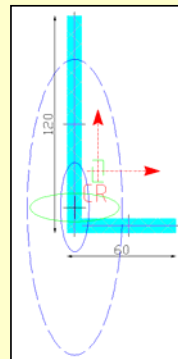
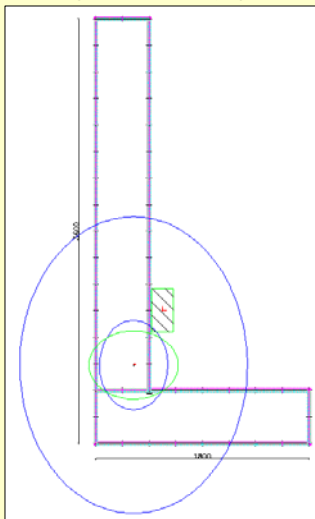
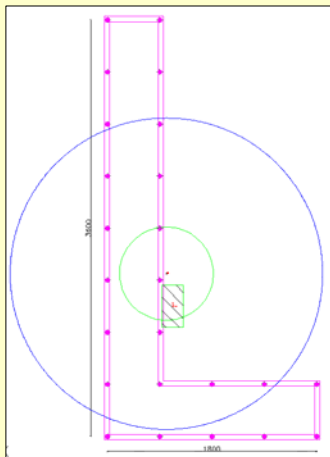
 Centro delle rigidezze
 - Retta azione forze
 - Raggio d'inerzia dell'impalcato
 - Tolleranza retta azione forze
- N.B. L'eccentricità è risultata trascurabile se l'ellisse è contenuta nel rettangolo

Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Regolarità strutturale ed Ellisse delle rigidezze

Edificio a telaio in c.a. privo di
pareti di tamponamento

Analogia fra l'ellisse e il centro delle rigidezze di un edificio a telaio in
c.a. con elementi irrigiditi di tamponamento e una sezione di
geometria simile (angolare a lati disuguali 60x120 mm)



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Non linearità geometriche

Le non linearità geometriche sono prese in conto, quando necessario, attraverso il fattore θ . In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui ad ogni orizzontamento risulti: (Paragrafo 7.3.1)

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0,1$$

dove:

- P = **carico verticale totale** della parte di struttura sovrastante l'orizzontamento in esame
- d_r = **spostamento orizzontale medio d'interpiano**, ovvero la differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante
- V = forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame (**taglio totale al piano**)
- h = distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante (**altezza di piano**)

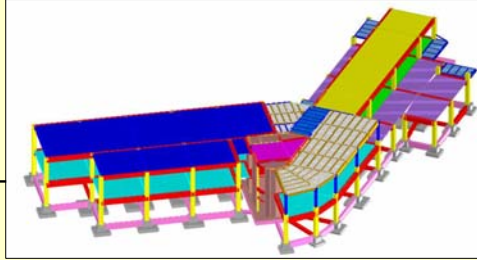
Quando:

- $0,1 \leq \theta \leq 0,2$ gli effetti delle non linearità geometriche possono essere presi in conto incrementando gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a $1/(1-\theta)$;
- θ non può comunque superare il valore 0,3.

Esempio:

Progetto della nuova Scuola materna a San Giovanni in Persiceto

Valore di $\theta = 0,07 < 0,1$



Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Non linearità geometriche

Implicazioni nella progettazione dei pilastri:

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0,1$$

Se $\theta > 0,1$ l'altezza della sezione non deve essere inferiore ad un decimo della maggiore tra le distanze tra il punto in cui si annulla il momento flettente e le estremità del pilastro.

Le problematiche derivanti da tale limitazione si riscontrano maggiormente nelle **strutture prefabbricate**

Esempio di pilastro prefabbricato

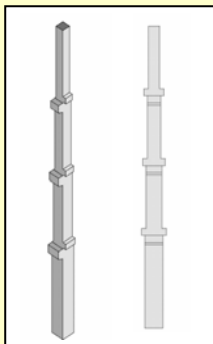
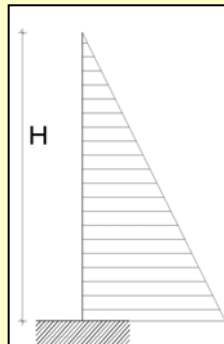
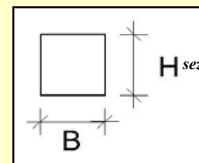


Diagramma del Momento Flettente



Sezione Pilastro



$$\text{Se } \theta > 0,1 \rightarrow H_{sez} \geq \frac{1}{10} H$$



$$hp \ H = 10 \ m \rightarrow \underline{H_{sez} = 1 \ m}$$

Ing. A. De Cocinis - Ing. S. Ferrari

Bibliografia

- D.M. 14-01-2008 - *Norme tecniche per le Costruzioni*
- Circolare 2-02-2009, n.617 - *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14-01-2008*
- EUROCODICE 8
- AutoCa - Programma per la determinazione dell'ellisse d'inerzia, sito: www.autoca.it