

REGOLARITA' STRUTTURALE

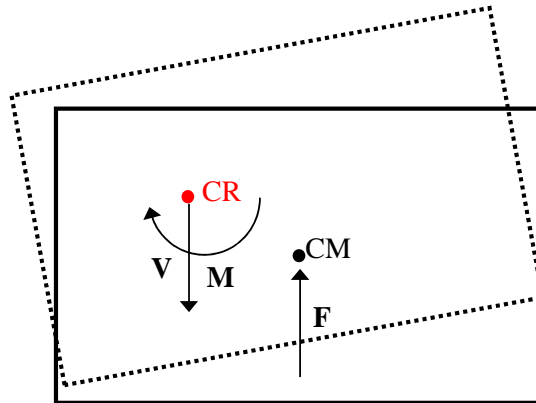
Richiamo:

Punto di applicazione della forza di inerzia è il *centro di massa*

Baricentro delle reazioni taglianti è il *centro di rigidezza*

Se CM e CR coincidono, il moto del piano conseguente all'applicazione di forze nelle due direzioni è puramente traslatorio

Se CM e CR non coincidono, nasce un momento torcente



REGOLARITA' STRUTTURALE

concetto di regolarità

- 1) punto di vista *planimetrico*
- 2) punto di vista *altimetrico*.

Per ciascuno dei due vengono in particolare esaminati:

- la forma
- la distribuzione delle rigidezze
- la distribuzione delle masse.

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi dimensionali

- piante di grande estensione determinano forze inerziali di piano elevate
- grandi dimensioni planimetriche rendono gli elementi perimetrali sensibili alle azioni torcenti
- moto non uniforme alla base della struttura
- minore rigidezza di piano

Possibili accorgimenti

- 1) la suddivisione del corpo strutturale mediante giunti di separazione
- 2) la realizzazione di strutture fondazionali adeguatamente irrigidite
- 3) l'irrigidimento dei diaframmi di piano
- 4) il raffittimento degli elementi resistenti verticali.

forma - distribuzione delle rigidezze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi dimensionali

Messico City, 1985 (M=8.1)



forma - distribuzione delle rigidezze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi dimensionali

*Ospedale San Angelo dei
Lombardi, 1980 (M=6.9)
Crollo parte terminale ala
allungata*



forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

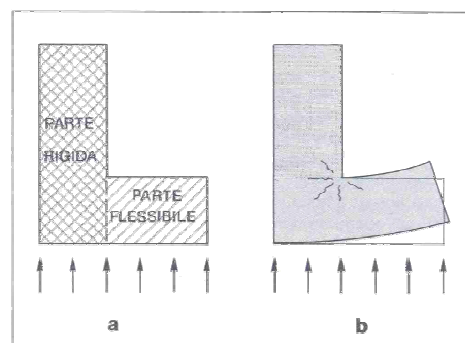
REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

forma regolare =
SIMMETRICA e SEMPLICE

FORMA	
CONVESSA	CONCAVA

angoli rientranti = zona di massima
debolezza nella costruzione
















forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

Forme complesse e livello di rischio

No.	Floor Plan	Remarks	fr_2
2.1		Symmetrical lay out. If no other aggravating factors are found the risk belongs to the best category.	1.0
2.2		Although this building is by itself regular, the non-uniform arrival of earthquake energy can lead to problems in long buildings.	1.2
2.3		Buildings with angles different from rectangular ones are sometimes found at street corners. Such plans invite torsional shaking.	1.3
2.4		Buildings with a yard in the center or a patio may increase damage probability if differential shaking between the limbs may cause dangerous distortions in the corner sections.	1.3-2
2.5		L-type floor plan with an enhanced risk of damage in the corner region.	1.3
2.6		T-type plan with increased damage probability at both sides of the intersection.	1.5
2.7		U-type plan which leads to an enhanced exposure in both corners.	1.8

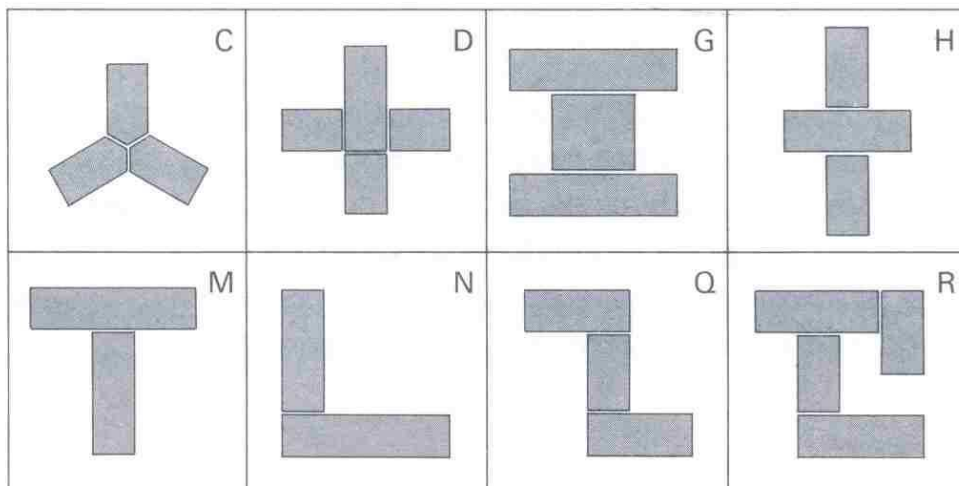
No.	Floor Plan	Remarks	fr_2
2.8		H-type plan with higher damage probability in the corner regions.	2
2.9		Complex floor plan. The more wings are interconnected to a «back-bone» building the more likely becomes damage in general and at places of intersection.	2.2
2.10		Floor plan for halls, auditoriums, theatres, etc. which increases the risk of torsional shaking.	1.3
2.11		Cylindrical buildings have become fashionable with some architects. If one of the towers is not stiffer or softer (special elevators or their arrangement), symmetry is good.	1.1
2.12		Example of an asymmetric connection of circular floor plans leading to torsional problems.	1.3
2.13		Curved buildings are asymmetric and in addition often long, both features increase exposure.	1.2

forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Possibili accorgimenti

suddivisione del complesso strutturale mediante giunti di separazione

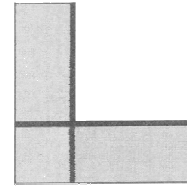


forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

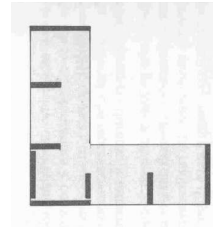
REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

Possibili accorgimenti

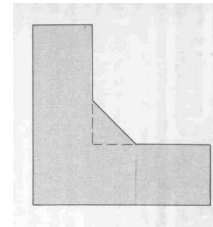
irrigidimento della zona d'angolo



distribuzione di elementi irrigidenti tale da uniformizzare lo stato deformativo della costruzione



modifica della forma planimetrica, sostituendo gli angoli retti con angoli ottusi



forma - distribuzione delle rigidezze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA FORMA

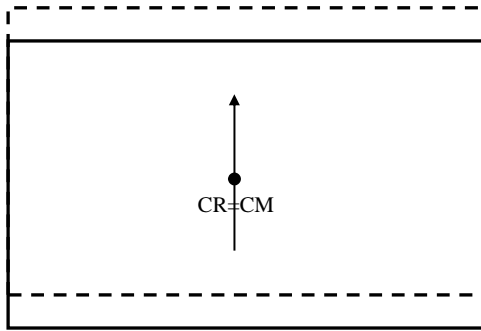
Problemi distributivi

Basilicata, 1980 (M=6.9)

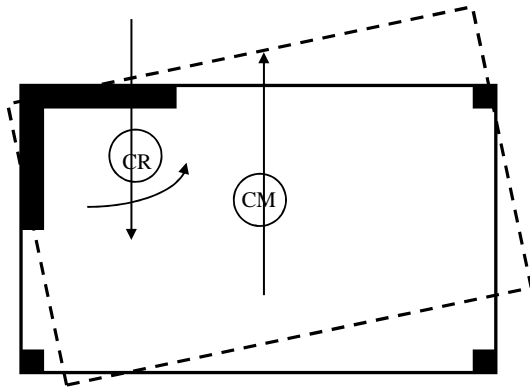


forma - distribuzione delle rigidezze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI



La forza inerziale del sisma, a livello di ogni singolo piano, agisce nel centro di massa; il baricentro delle reazioni taglianti è il centro di rigidezza.



Se centro di massa e di rigidezza non coincidono nascono effetti torcenti in pianta che inducono rotazioni intorno al centro di rigidezza e possono indurre un incremento della sollecitazione negli elementi più lontani.

forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

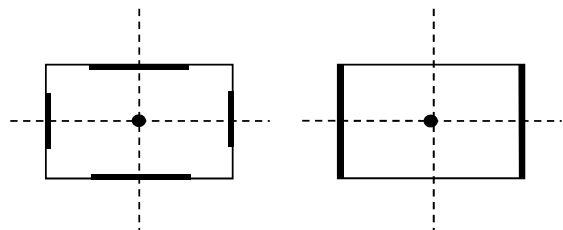
REGOLARITA' PLANIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Obiettivo: minimizzare eccentricità tra centro di massa e centro di rigidezza

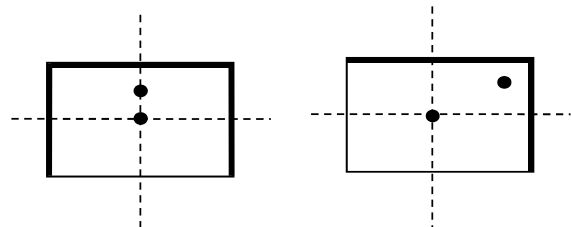
colonne di telai: maglia fitta, simmetrica ed uniforme

mensole di controvento: numero elevato di mensole parallele e distanziate

distribuzione perimetrale simmetrica:
CM coincide con CR



distribuzione perimetrale simmetrica:
CM non coincide con CR
→ momento torcente



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI



Alaska, 1964 (M=8.6)

Edificio di 5 piani regolare in pianta, con distribuzione a L dei controventi

forma - **distribuzione delle rigidzze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Obiettivo: minimizzare eccentricità tra centro di massa e centro di rigidezza

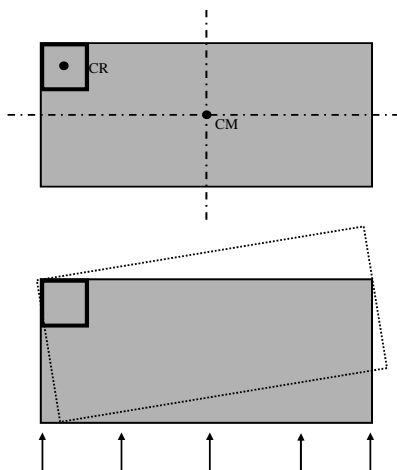
Nuclei in c.a.: elemento di rigidezza notevole.

in posizione perimetrale CM non coincide con CR

→ momento torcente elevatissimo

Guatemala City, 1985 (M=7.5)

150 Km dall'epicentro



forma - **distribuzione delle rigidzze** - distribuzione delle masse

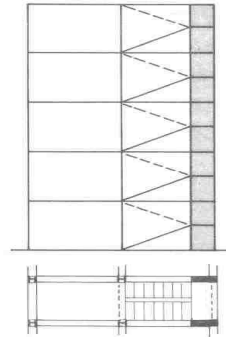
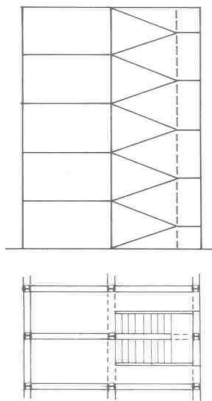
REGOLARITA' PLANIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Nuclei scala: problematiche:

- effetto irrigidente di difficile valutazione
- telaio che contiene la trave a ginocchio tende ad un controvento asimmetrico

Possibili accorgimenti

1) Inserimento di una coppia di pareti in cemento arma in corrispondenza dei pianerottoli intermedi



2) Realizzazione delle rampe a cavallo di un solo telaio. Questo comporta la formazione di un traliccio notevolmente più regolare

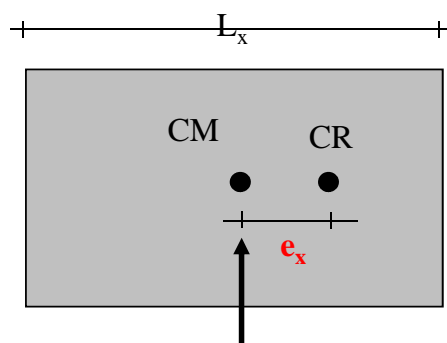
forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

EFFETTI TORSIONALI TESTO UNICO 2008

“in aggiunta all'eccentricità effettiva dovrà essere considerata un'eccentricità accidentale spostando il centro di massa di ogni piano, in ogni direzione considerata, di una distanza pari al 5% della dimensione massima del piano in direzione perpendicolare all'azione sismica”

$$E_x = 0.05 L_x \quad \text{per i soli edifici}$$

$$E_y = 0.05 L_y$$



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

EFFETTI TORSIONALI TESTO UNICO 2008

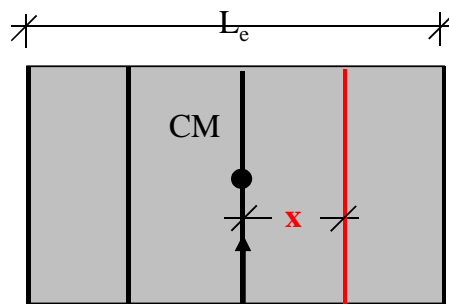
semplificazione ammessa

per edifici aventi massa e rigidezza simmetricamente distribuite in pianta è possibile considerare l'effetto dell'eccentricità accidentale come un'amplificazione delle forze da applicare a ciascun piano. Fattore di amplificazione:

$$\delta = 1 + 0.6 x / L_e$$

x = distanza dell'elemento considerato dal baricentro

L_e = distanza tra i due elementi resistenti più lontani



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' PLANIMETRICA DISTRIBUZIONE DELLE MASSE

Una distribuzione *uniforme* di massa determina una migliore ripartizione delle forze inerziali

Una distribuzione *simmetrica* di massa evita eccentricità tra centro di massa e di rigidezza

Cause di non-uniformità:

- presenza localizzata di apparecchiature pesanti
- grandi masse d'acqua contenute in serbatoi oppure in piscine
- impiego di parti di piano in qualità di archivi o di biblioteche

forma - distribuzione delle rigidezze - **distribuzione delle masse**

REGOLARITA' ALTIMETRICA FORMA

Problemi dimensionali

- elevata altezza comporta un innalzamento del baricentro strutturale cui corrisponde un aumento conseguente del momento ribaltante
- aumento della snellezza accentua la deformabilità strutturale
- insorgenza di effetti P- Δ
- danneggiamenti degli elementi secondari



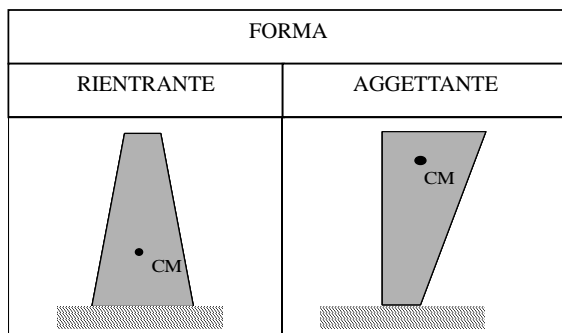
*Messico City, 1985 (M=8.1)
Edificio di 21 piani in acciaio*

forma - distribuzione delle rigidezze - distribuzione delle masse

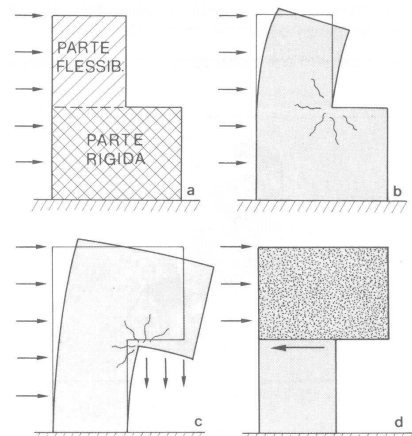
REGOLARITA' ALTIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

forma regolare =
RIENTRANTE, SIMMETRICA e SEMPLICE



angoli rientranti o aggettanti = zona di massima debolezza nella costruzione



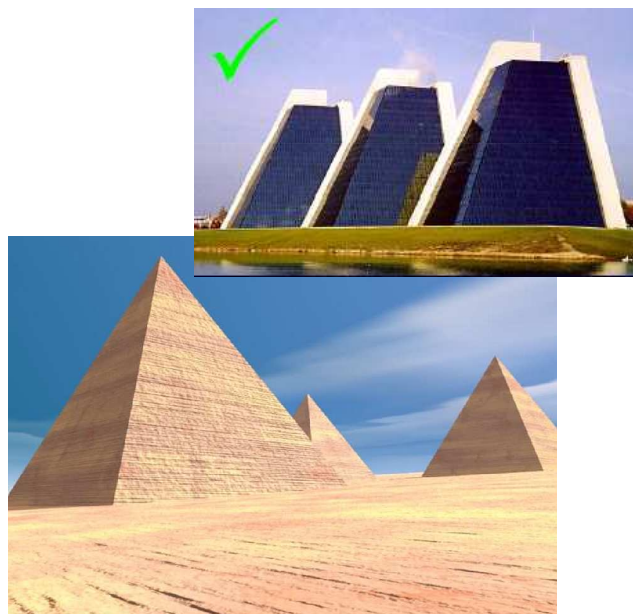
forma - distribuzione delle rigidezze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

forma regolare =

RIENTRANTE, SIMMETRICA e SEMPLICE



Piramidi antiche, moderne a Indianapolis e piramidi invertite a Dallas negli USA.

REGOLARITA' ALTIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

Forme complesse e livello di rischio

No.	Elevation	Remarks	fr ₁
1.1		Both views are absolutely regular and symmetrical. If this holds for the entire building's structure and important non-structural parts, and foundations the risk is best.	1.0
1.2		Building in the shape of a pyramid for one or both elevations. If symmetry is observed in all other aspects, risk is similar to 1.1, ore even slightly better.	1.0 0.8
1.3		Inverted pyramid, sometimes with vertical walls for the ground floor. This structure is top-heavy and therefore not the best risk.	1.3
1.4		L-shaped elevation which results in an elevation of exposure in the transition zone, particularly where the lower section is attached.	1.3
1.5		Building of the shape of an inverted T. Enhanced exposure at the regions where the lower parts meet the tower.	1.5
1.6		Building with several setbacks leading to transitions of masses, stiffness, and damping at various floors and higher exposure there.	1.8
1.7		Upper floor protruding. Frequent in rainy tropical regions for commercial buildings to cover part of the footwalk. Depending on relative importance of upper section risk may be increased quite substantially.	1.5-3

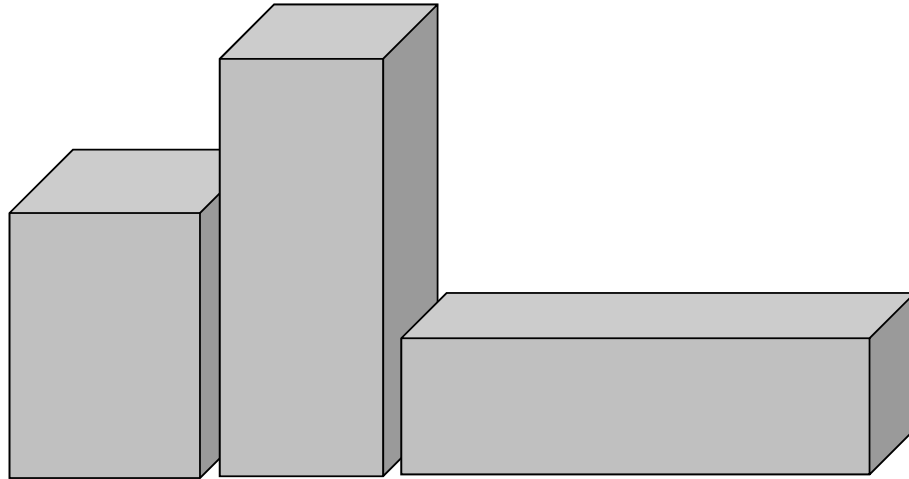
No.	Elevation	Remarks	fr ₁
1.8		Soft first floor on one side, more stiff on other one where walls fill space between columns. Depending on amount of irregularity this design can be dangerous.	1.5-5
1.9		Mostly free-standing columns on ground floor resulting in soft storey there and stiff, top-heavy structure on top. Dangerous design. Very dangerous in case of resonance.	3-10
1.10		Free standing columns on one side, protruding upper storeys on other one. Considerable asymmetry results in substantial exposure. Dangerous to very dangerous design.	3-10
1.11		Building on sloping ground. Considerable asymmetry results high risk of collapse.	5-10
1.12		Design found in halls, theatres, and the like. Substantial asymmetry can make serious failures of members quite probable.	3-10
1.13		Sport stadiums are sometimes of this shape. If an earthquake occurs when they are packed to capacity, the risk is substantial.	5-10

forma - distribuzione delle rigidzze - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA FORMA

Possibili accorgimenti

suddivisione del complesso strutturale mediante giunti di separazione
estensione dei giunti al complesso fondazionale



forma - distribuzione delle rigidità - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA FORMA

Problemi distributivi

Messico City, 1985 (M=8.1)



forma - distribuzione delle rigidità - distribuzione delle masse

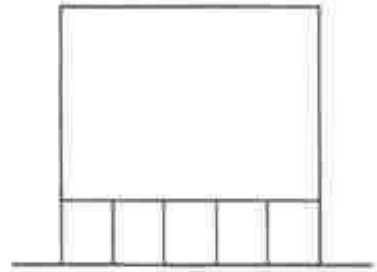
REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Obiettivo: minimizzare variazioni resistenti lungo la struttura

Problemi di particolare gravità

Piano debole: piano la cui resistenza o la cui rigidezza sono sensibilmente inferiori di quelle degli altri piani

- le colonne di un piano sono più lunghe e flessibili
- una parte degli elementi resistenti verticali è interrotta per motivi di destinazione d'uso
- muri di tamponamento sono interrotti in corrispondenza di un piano: box, vetrine, ecc..



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Piano debole

*Davao, Filippine, 1976 (M=7.8)
100 Km dall'epicentro*

Piano terra caratterizzato da colonne alte



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Piano debole

*Turchia, 1999 (M=7.4)
pilotis*



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

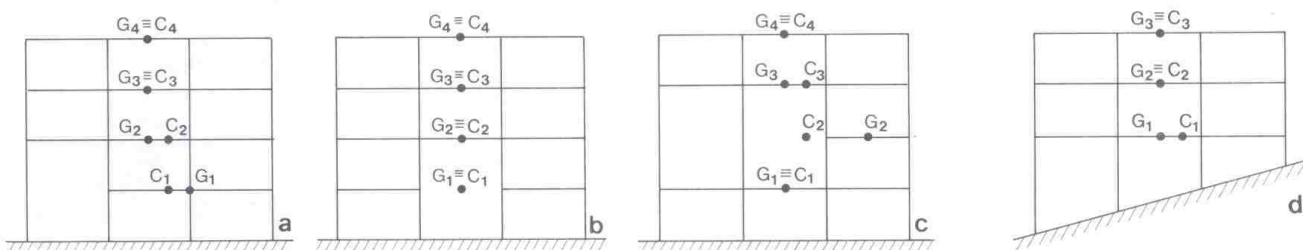
REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Problemi di particolare gravità

Zone deboli localizzate :

presenza di colonne di differente lunghezza.

- (a) e (b) edifici con porticati o gallerie pedonabili
- (c) gruppo di piani adibito ad un unico locale (aula magna o biblioteca);
- (d) strutture realizzate su terreni in pendio.



forma - **distribuzione delle rigidezze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

Zone deboli localizzate

Bar, Montenegro 1979 (M=7.04)

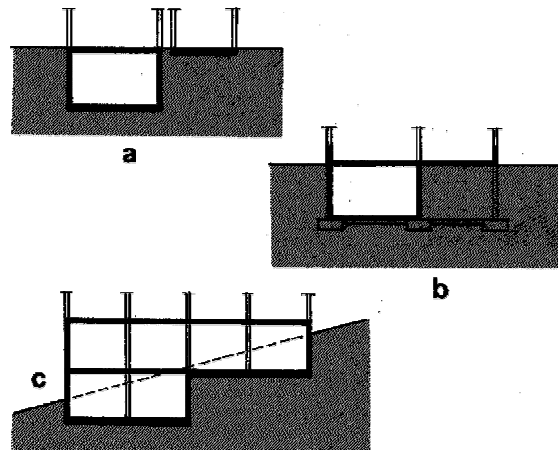


forma - **distribuzione delle rigidzze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA ELEMENTI RESISTENTI

PIANO DI POSA DELLA FONDAZIONE

è buona norma che il piano di posa venga realizzato alla medesima quota. Di fatto ciò risulta spesso non attuabile. In questa situazione si può ricorrere a accorgimenti quali:



suddivisione con giunti atti a creare corpi strutturali indipendenti

approfondimento di tutti gli elementi di fondazione fino al piano inferiore di posa. A questo livello è necessario realizzare un sistema di collegamento adeguato

esecuzione di un cassone in c.a. che costituisca un basamento rigido

forma - **distribuzione delle rigidzze** - distribuzione delle masse

REGOLARITA' ALTIMETRICA DISTRIBUZIONE DELLE MASSE

Una distribuzione *uniforme* di massa determina una migliore ripartizione delle forze inerziali evitando concentrazioni di sforzo

Cause di non-uniformità:

- presenza localizzata di apparecchiature
- serbatoi
- biblioteche

Iran, 1990 (M=7.7)

Serbatoio pieno



Serbatoio vuoto



REGOLARITA' TESTO UNICO 2008

“Un edificio è *regolare in pianta* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

1) la configurazione in pianta è compatta e approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali, in relazione alla distribuzione di masse e rigidzze;

2) il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui l'edificio risulta inscritto è inferiore a 4;

3) eventuali rientri o sporgenze non superano il 25 % della dimensione totale dell'edificio nella direzione del rientro o della sporgenza;

4) i solai possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali.

.....

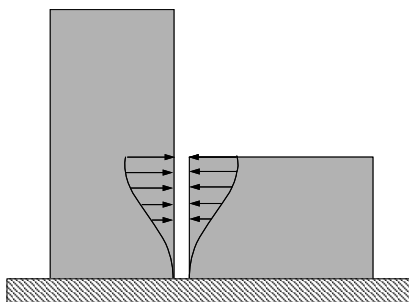
REGOLARITA' TESTO UNICO 2008

“Un edificio è *regolare in altezza* se tutte le seguenti condizioni sono rispettate:

- 1) tutti i sistemi resistenti verticali dell'edificio (quali telai e pareti) si estendono per tutta l'altezza dell'edificio ;
- 2) massa e rigidezza rimangono costanti o si riducono gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla cima dell'edificio (le variazioni da un piano all'altro non superano il 20 %) ;
- 3) il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per piani diversi ;
- 4) eventuali restringimenti della sezione dell'edificio avvengono in modo graduale”

ADIACENZA E MARTELLAMENTO

Corpi strutturali adiacenti soggetti a vibrazione di grande ampiezza possono causare reciproco martellamento



Conseguenze:

- 1) l'urto ripetuto dà luogo al danneggiamento localizzato delle parti a contatto
- 2) l'urto ripetuto dà luogo ad una coppia ribaltante di alta pericolosità nei riguardi degli elementi perimetrali



ADIACENZA E MARTELLAMENTO TESTO UNICO

distanze e altezze per gli edifici di nuova costruzione.

L'altezza risulta limitata in base alla larghezza della carreggiata prospiciente, in modo tale da assicurare uno spazio opportuno per i soccorsi in caso di vento sismico.

La distanza tra due edifici adiacenti è proporzionata in base ai loro spostamenti massimi a collasso e, in ogni caso, maggiore di 1/100 della quota dei punti considerati.

Osservazione: giunti di separazione devono dar luogo a due strutture separate → devono essere calcolati in base alla distanza minima di norma

ADIACENZA E MARTELLAMENTO

viene immediata l'associazione dei giunti sismici con i giunti di dilatazione dei ponti, i quali devono consentire spostamenti fra le travi adiacenti di molti centimetri.

SEPARAZIONE FISICA (??)

di fatto i giunti sismici devono consentire gli spostamenti delle strutture senza interferire con la risposta dinamica dell'edificio, ovvero non devono modificare le azioni che agiscono sulla struttura.

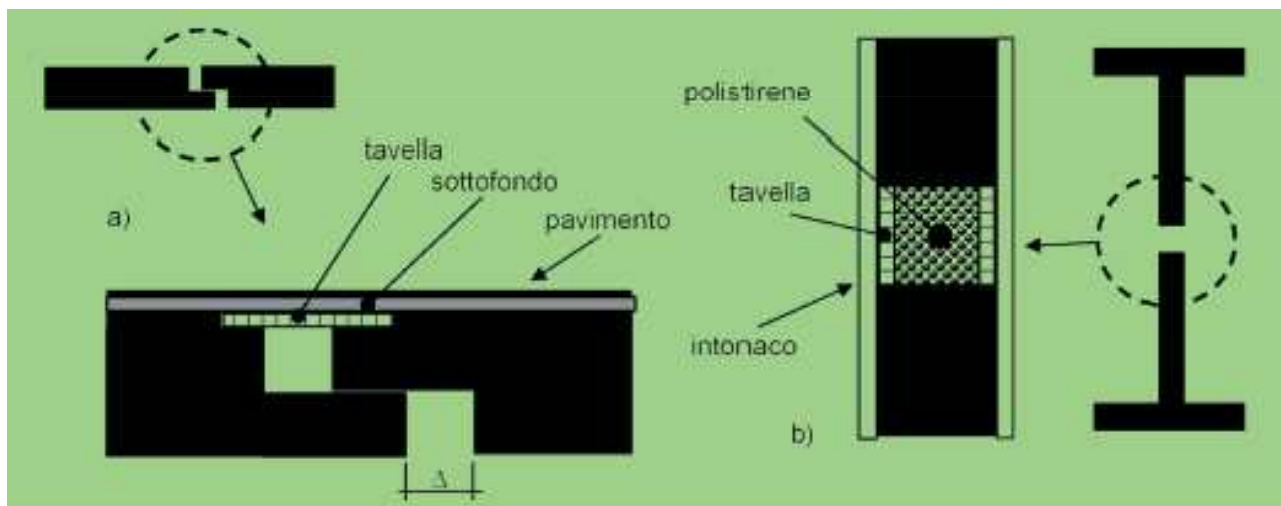


trasmettere ad essa azioni orizzontali inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto all'azione sismica.

Possono essere riempiti o scavalcati con mattoni forati, tavelle, polistirene,

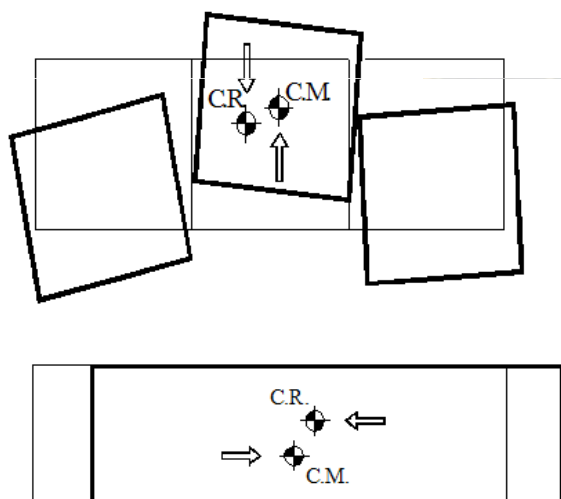
Le cavillature saranno nascoste con scuretti, profili coprigiunto ecc..

Le finiture eseguite sul giunto sono destinate a rompersi, ma questo non comprometterà l'agibilità della struttura



Tipi di giunti sismici: a) su trave; b) su parete.

Riadeguamento
sismico
quando il giunto
è insufficiente



METODI DI ANALISI TESTO UNICO

sono ammessi quattro metodi di analisi caratterizzati da complessità e precisione crescenti:

- 1) analisi statica lineare
- 2) analisi dinamica lineare
- 3) analisi statica non lineare
- 4) analisi dinamica non lineare

le norme definiscono metodo normale, per la definizione delle sollecitazioni di progetto, l'*analisi modale* associata allo spettro di risposta di progetto e applicata ad un *modello tridimensionale* dell' edificio.

METODI DI ANALISI OPCM 3274

Regolarità geometrica		Semplificazioni ammesse	
pianta	altezza	modello	analisi
si	si	piano	statica lineare
si	no	piano	dinamica modale
no	si	spaziale	statica lineare
no	no	spaziale	dinamica modale

**METODI DI ANALISI
OPCM 3274**

Regolarità geometrica		Semplificazioni ammesse	
pianta	altezza	modello	analisi
si	si	piano	statica lineare
si	no	piano	dinamica modale
no	si	spaziale	statica lineare
no	no	spaziale	dinamica modale

**METODI DI ANALISI
OPCM 3274**

Regolarità geometrica		Semplificazioni ammesse	
pianta	altezza	modello	analisi
si	si	piano	statica lineare
si	no	piano	dinamica modale
no	si	spaziale	statica lineare
no	no	spaziale	dinamica modale

**METODI DI ANALISI
OPCM 3274**

Regolarità geometrica		Semplificazioni ammesse	
pianta	altezza	modello	analisi
si	si	piano	statica lineare
si	no	piano	dinamica modale
no	si	spaziale	statica lineare
no	no	spaziale	dinamica modale

**METODI DI ANALISI
OPCM 3274**

Regolarità geometrica		Semplificazioni ammesse	
pianta	altezza	modello	analisi
si	si	piano	statica lineare
si	no	piano	dinamica modale
no	si	spaziale	statica lineare
no	no	spaziale	dinamica modale