

Quesito 34

**ECCENTRICITA DELLE AZIONI SISMICHE**

**ECCENTRICITA - 1**

L'eccentricità orizzontale è determinata dalla distanza in direzione ortogonale all' azione sismica tra il baricentro delle masse e quello delle rigidezze; pertanto tale azione la si applica nel baricentro delle masse, definito master joint del piano infinitamente rigido, insieme al momento torcente conseguente alla detta eccentricità; e ciò in due fasi separate tra loro nelle due direzioni.

Se il piano è dotato di simmetria o meglio non vi è eccentricità tra baricentro masse e baricentro rigidezze si applica una eccentricità convenzionale detta eccentricità accidentale (ovviamente applicata a tutti carichi sismici e non solo a quelli conseguenti ai carichi variabili, tra l'altro ridotti).

La relazione 7.3.7 é per l'applicazione ad ogni elemento rigido resistente dell'effetto di tale eccentricità singolarmente; tutti sanno che qualsiasi software risolve questo problema introducendo nel baricentro delle masse l'azione sismica e le torsione conseguente, mentre la relazione sopra citata comporta un forza incrementale su ogni elemento rigido resistente.

Occorre aumentare così di molto l'onere del calcolo strutturale; come si può indicare una eccentricità numerica (accidentale) alla forza sismica?

Domanda: è o non è obbligatorio seguire le Istruzioni emesse come circolare?

Risposta del 5.09.12

*la formula 7.3.7 è da applicare quando viene svolta un'analisi statica lineare; senza dubbio, l'applicazione di tale formula comporta un maggiore onere di calcolo strutturale. Per ridurre l'aggravio di calcolo (a favore di sicurezza) si potrebbe assumere un unico fattore delta, pari al massimo presente nella struttura.*

*In alternativa è possibile svolgere un'analisi lineare di tipo dinamico (analisi modale) che permette di evitare l'applicazione della formula 7.3.7: con gli attuali software a disposizione un'analisi modale con spettro di risposta (che fornisce risultati migliori rispetto ad un'analisi di tipo statico lineare) è di facile implementazione.*

*A rigore, il regolamento ad essere prescrittivo è il solo DM 14 gennaio 2008; la Circolare rappresenta un completamento dello stesso DM pertanto è "vivamente consigliato" l'utilizzo a supporto della Normativa*

**ECCENTRICITA - 2**

Per quanto riguarda il primo quesito è assodato che anche nella soluzione di una analisi lineare statica si modella la struttura e la si risolve mediante un adeguato software (certamente da validarne i risultati).

L' applicazione della azione sismica nel caso di solaio infinitamente rigido (come augurabile che si possa considerarlo tale) è sempre centrata nel baricentro della massa accompagnata dal momento torcente se vi è eccentricità tra baricentri massa e rigidezze; se coincidono si deve adottare l'espressione 7.3.7 che non si riesce ad usarla non essendo possibile scrivere il braccio della forza sismica; cioè non si riesce a scrivere il valore della coppia dovuta all'eccentricità; questa è una grave mancanza nella NTC8.

Mi sembra invece di capire, da quanto Lei cortesemente mi dice, che usando l'analisi lineare dinamica, nel caso di mancanza di eccentricità si applica la forza sismica nel comune baricentro delle masse e delle rigidezze.

Se è così il problema che Le ho posto è del tutto risolto; questo mi è sorto perché la forza sismica distribuita nelle varie rigidezze in base all'influenza delle masse, come si fa per i carichi di esercizio e per la spinta del vento, risulta difficile e problematica; il concentrare la totale azione sismica agente in ogni solaio nel baricentro della masse ed ivi aggiungere la copia dovuta alle eccentricità e lasciare la soluzione al software è molto più agevole.

Per il secondo quesito leggo diffusamente nelle Istruzioni la frase " si deve..." e non "è possibile..." ; cosa ne direbbe un ente di controllo pubblico o un collaudatore ?

Risposta del 5.09.2012

*ritengo che l'applicazione dell'espressione 7.3.7 debba essere fatta a valle dell'analisi strutturale "amplificando le sollecitazioni su ogni elemento" (citando la Norma) con il coefficiente delta (che dipende dalla posizione in pianta rispetto al baricentro geometrico dei vari elementi resistenti). Pertanto ottenute le azioni interne dall'analisi si amplificano le stesse e si procede con le verifiche sezionali.*

*Nel caso di analisi dinamica lineare è sempre comunque necessario tener conto degli effetti dell'eccentricità accidentale delle masse (si veda ultimo paragrafo di 7.2.6 di NTC08); in generale (per gli edifici) è necessario mettere in conto un'eccentricità accidentale pari a  $0,05 \cdot$ dimensione dell'edificio. Ora, le possibilità sono 2: a) sviluppare diverse analisi modali applicando la massa nel baricentro e in punti limitrofi eccentrici; b) in accordo con l'EC8-par. 4.3.3.3 applicare dei momenti torcenti ad ogni piano. Taluni programmi ad elementi finiti implementano il caso b), pertanto sviluppato il modello ad elementi finiti, svolgendo un'analisi modale singola (con massa nel baricentro, automaticamente posizionata dal programma MEF), gli effetti*

Quesito 34

**ECCENTRICITA DELLE AZIONI SISMICHE**

dell'eccentricità accidentale sono tenuti automaticamente in conto generando delle condizioni di carico aggiuntive (di tipo dinamico) che saranno poi da combinare opportunamente.

In base a queste considerazioni, si capisce che gli effetti torsionali dovuti all'eccentricità accidentale possono essere più facilmente messi in conto in presenza di un'analisi di tipo dinamico piuttosto che in una di tipo statico. Si evidenzia che l'approccio (semplificato) contenuto in par. 4.3.3.3.3 dell'EC8 è applicabile solo in presenza di analisi modale.

In merito al secondo quesito credo che nell'ambito di qualsiasi progetto sia sempre opportuno confrontarsi preliminarmente e durante lo sviluppo del lavoro con Committente e Collaudatore; ripeto, come detto in precedenza, l'uso della Circolare (così come degli altri documenti di comprovata validità quali Eurocodici, Istruzioni CNR, ...) è sempre auspicabile ad integrazione delle mancanze delle NTC08 che però rimangono il testo normativo di riferimento.

**ECCENTRICITA - 3**

meditando sulle Sue risposte mi vengono spontanee due domande:

caso dell'analisi statica lineare; struttura simmetrica: il delta della 7.3.7 darebbe come valore massimo  $d=1+0.6*(x/2x) = 1+0.6*0.5 = 1.30$  che è al maggiorazione del 30% delle sollecitazioni su pilastri di bordo per effetto della eccentricità accidentale convenzionale; tale aumento è da effettuarsi a posteriori della risoluzione della struttura; come posso passare ad una maggiorazione delle azioni in fase di implementazione della struttura come si usa fare solitamente quando vi sono delle vere eccentricità? Cioè come posso introdurre l'effetto della eccentricità accidentale nel caso di simmetria strutturale?

In caso generale è noto che si considera il piano del solaio rigido (se ne ve ne sono le condizioni) ed il centro delle masse è soggetto alla spinta sismica ed alla torsione causata della eccentricità tra baricentri masse e rigidezze,

Ciò lo si adotta anche nella analisi modale; invece, se ho ben capito, per strutture simmetriche la eccentricità accidentale, in tale analisi, non la si assume; è così?

Risposta del 7.09.2012

nel caso di analisi statica lineare, credo che la soluzione più semplice (e corretta) sia quello di applicare l'amplificazione a valle dell'analisi strutturale; in alternativa si potrebbe procedere con l'amplificazione delle forze statiche equivalenti e/o lo spostamento delle stesse rispetto al baricentro creando diverse condizioni di carico che permettano di generare l'amplificazione richiesta con il coefficiente delta; è comunque difficile scrivere una regola.

L'eccentricità accidentale deve essere sempre tenuta in conto, anche nel caso di edifici simmetrici. L'eccentricità accidentale è un parametro indipendente dall'eccentricità reale legata alla distribuzione di masse e rigidezze.

**ECCENTRICITA - 4**

Riprendendo brevemente l'argomento in oggetto Vi chiederei se l'interpretazione delle norme sotto riportata relativa allo stesso è valida o meno:

- nell'analisi statica equivalente (analisi semplificata) si applica la coppia torcente dovuta alla eccentricità tra centro della massa M del piano e baricentro delle rigidezze, incrementandola del, 5% delle massima dimensione dell'edificio misurata ortogonalmente alla direzione della azione sismica, oltre le azioni sismiche agenti nel centro delle masse;

- in quella dinamica (analisi modale) si tiene conto della forma dell'impalcato per mezzo delle inerzie rotazionali delle masse con:

$$I = \int_A dM*(x^2 + y^2) dA \text{ dove } dM \text{ è la massa unitaria del solaio}$$

I è assai prossimo a

$I = M * (B^2 + D^2)/12$  momento d'inerzia polare della massa M totale del solaio rispetto all'asse Z ortogonale al piano del solaio (Izz similmente alla determinazione del momento d'inerzia polare di sezioni resistenti irregolari),

dove M è la massa totale traslante del solaio applicata nel centro delle masse,

B e D sono le massime dimensione del rettangolo in cui si inscrive il solaio.

Nel piano x / y la distribuzione delle masse dovrebbe essere:  $M = M_x, M_y, 0,0,0,I_{zz}$

Ringrazio per la Vs. cortese attenzione, trattandosi anche di argomento che va oltre la corretta interpretazione delle norme.

Risposta del 24.09.2012

Gentile ingegnere,

in merito alla Sua interpretazione sulla Normativa, si presentano le seguenti considerazioni:

Quesito 34

**ECCENTRICITA DELLE AZIONI SISMICHE**

- *Analisi statica equivalente: la forza sismica deve essere applicata in 2 punti eccentrici (di +/- 0.05\*dimensione edificio perpendicolare alla direzione della forza) rispetto al baricentro delle masse per ognuna delle direzioni del sisma (generalmente 2 ortogonali).*
- *Analisi dinamica: non è chiaro quanto è stato richiesto.*

**ECCENTRICITA – 5**

ringraziandoLa per le Sue cortesi risposte alle mie domande ho da aggiungere alcuni miei chiarimenti alle stesse:

Analisi statica equivalente: a mio avviso l'implementazione del modello dipende dal software adottato; sono abituato a redigere il modello con Sap90 essendo abituato da decenni ad utilizzare la descrizione del modello per coordinate (dal Sap80) e con questo software la forza sismica dovuta alle masse esistenti (regolamentari) sul solaio agisce nel centro delle stesse e pertanto ha una eccentricità rispetto alle rigidezze del solaio che hanno un proprio baricentro; da ciò nasce un momento torcente sulle rigidezze rispetto all'asse ortogonale al piano il quale deve essere incrementato dalla eccentricità accidentale (dovuta a possibili errori di ubicazione delle masse e delle rigidezze); quindi a mio avviso non è sufficiente porre l'azione sismica orizzontale longitudinale in un punto distante dal centro delle masse di 0.05 della dimensione trasversale dell'edificio; non si può a mio avviso trascurare l'eccentricità geometrica tra masse e rigidezze.

Analogamente nell'analisi modale occorre tener conto di tale eccentricità per cui la distribuzione delle masse nel piano x-y è:  $M = M_x, M_y, 0, 0, 0, I_{zz}$  che ho indicato nel precedente mail, dove:

$M_x$  massa traslante in direzione X

$M_y$  massa traslante in direzione Y

0 massa traslante in direzione Z

0 momento d'inerzia delle masse rispetto all'asse X

0 momento d'inerzia delle masse rispetto all'asse Y

$I_{zz}$  momento polare delle masse rispetto all'asse Z

Chiaramente ciò va fatto nei due versi della direzione X ed anche nella direzione Y

Quanto sopra a chiarimento del mio precedente mail

Risposta del 27.09.2012

Gentile ingegnere,

*nell'analisi statica equivalente dell'eccentricità tra il baricentro delle masse e delle rigidezze bisogna tenerne conto qualora si decida di applicare la forza nel baricentro delle rigidezze; l'applicazione della forza nel baricentro delle masse comporta la sola necessità di tener conto dell'eccentricità accidentale.*

*Per l'analisi dinamica, in teoria, bisognerebbe studiare diversi MEF con il posizionamento delle masse eccentriche rispetto al loro baricentro: 1 con la "situazione reale" + 4 tenendo conto di eccentricità in direzione +/- x e +/- y delle masse. Dai risultati di queste 5 analisi (che presentano diversi modi di vibrare) bisognerebbe poi fare un inviluppo per ottenere le massime sollecitazioni. In alternativa, l'EC8 permette di evitare lo studio di 5 modelli indipendenti ma, partendo dalla "situazione reale" si può applicare un momento torcente che tiene conto delle possibili eccentricità accidentali (cfr. 4.3.3.3.3 UNI EN 1998-1:2004).*

**ECCENTRICITA – 6**

Le chiedo ancora qualche incremento di spiegazione al Suo messaggio, qui sotto riportato:

chiaramente con MEF Lei intende il metodo degli elementi finiti da adottarsi mediante uno dei tanti software ora esistenti, tra cui il Sap90; stabilito che tanto in caso di analisi statica che in quella dinamica il piano del solaio lo si ritiene rigido nel suo piano (quando ciò è possibile), l'azione sismica agisce nel centro delle masse G e la risposta avviene nel centro delle rigidezze R.

Prescindendo dalle modalità di determinazione dei due suddetti centri, se dovessi fare il calcolo a mano per trovare le sollecitazioni in ogni membratura del solaio dovrei caricarlo con l'azione orizzontale sismica  $F_x$  nel centro delle masse e con il momento (rotazionale)  $F_x \cdot e_y$  in cui  $e_y = (y_G - y_R + \text{l'eccentricità accidentale})$ , analogamente per  $F_y$  con  $F_y \cdot e_x$  in cui  $e_x = (x_G - x_R + e \text{ acc.})$  e ciò tanto in analisi statica che dinamica.

Aggiungo che a mio avviso la rigidità di ogni pilastro è  $12EJ/h^3$  per cui, per h ed E uguale per tutti i pilastri, si può trovare il centro delle rigidezze cercando il baricentro delle  $J_y$  quando si tratta di  $F_x$  ed il baricentro delle  $J_x$  quando si tratta di  $F_y$ .

Usando il SAP 90 o anche il SAP2000, versione 6 o 15, non dovrebbe cambiare la procedura rispetto al Sap90, come in effetti ho constatato.

Mi è tutto chiaro e condivisibile quanto da Lei esposto, eccetto quanto si riferisce alle eccentricità tra G ed R.

Quesito 34

### **ECCENTRICITA DELLE AZIONI SISMICHE**

#### Risposta del 28.09.2012

*... la forza sismica è una forza d'inerzia pertanto è applicata nel punto dove è presente la massa: il punto di applicazione, intensità e verso del vettore forza sollecitante dipende esclusivamente dalla massa e dalla sua posizione. Pertanto non si sviluppa nessun momento torcente se la forza è applicata nel punto dove nasce e si sviluppa.*

*Se invece si vuole considerare la forza d'inerzia applicata in un punto differente (e.g. il baricentro delle rigidezze) è necessario introdurre il momento torcente associato al "trasporto" della forza.*

#### **EPILOGO**

La ringrazio e condivido il Suo pensiero; in effetti la forza sismica è una forza come una qualsiasi altra, come ad es. il vento; operando quindi localmente, cioè sul generico nodo, il software risolve la struttura tenendo conto delle singole forze, della loro posizione e delle rigidezze con le loro singole posizioni nel modello.

Analogamente, pertanto, se il nodo master joint, al quale sono rigidamente connessi tutti i nodi dello stesso piano, è scelto nel baricentro delle masse, e quindi della risultante delle forze sismiche, non occorre inserire il momento torcente per effetto dell'eccentricità tra centro delle masse  $G$  e centro delle rigidezze  $R$  ma solamente l'eccentricità accidentale convenzionale.

Tuttavia ci sono dei software che impongono tale momento torcente, come ad esempio per la presenza di un setto disposto perimetralmente, e nelle costruzioni fortemente irregolari, ed alcuni che non lo richiedono,