

CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE DEGLI EDIFICI SOGGETTI AD AZIONE SISMICA *

Marco BOZZA **

* Il presente articolo fa riferimento alla normativa precedente all'entrata in vigore, a partire dal 2008, delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC): OPCM 3274 del 20 marzo 2003

** Ingegnere Strutturale, già Direttore della Federazione regionale degli Ordini degli Ingegneri del Veneto (FOIV), Amministratore di ADEPRON

OBIETTIVI DELLA PROGETTAZIONE

A livello europeo è stato predisposto, e già votato favorevolmente da tutti i Paesi Membri, Italia compresa, un sistema integrato di norme (Eurocodice 8, ovvero EC8) per la progettazione antisismica delle strutture di nuova costruzione (edifici, ponti, serbatoi, torri, fondazioni, opere geotecniche) e per la valutazione della sicurezza e l'adeguamento delle strutture esistenti. I principi e i metodi adottati dall'EC8 sono in completa armonia con quelli contenuti nelle norme dei Paesi a più alta attività sismica (USA, Cina, Giappone, Sud-Est Asiatico).

La differenza sostanziale tra le norme di nuova generazione, quali l'EC8, e quelle tradizionali (ormai non più in vigore in nessun Paese Europeo) consiste nell'abbandono del carattere convenzionale e puramente prescrittivo a favore di criteri esplicitamente prestazionali. In particolare gli obiettivi della progettazione vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati.

Il vantaggio di questa impostazione è duplice: fornisce al progettista la consapevolezza delle finalità e del rilievo di ogni singola operazione e consente alla Committenza di graduare le prestazioni richieste all'opera, in corso di progettazione, in relazione alle specifiche esigenze di natura sociale ed economica.

L'EC8, e con esso l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274/2003, si pone due obiettivi fondamentali (requisiti), con lo scopo di ottenere una protezione "adeguata" nei confronti di due condizioni limite:

- uno stato di danno strutturale accentuato che prelude al collasso, con possibile perdita di vite umane (REQUISITO DI NON-COLLASSO)

- uno stato di danno agli elementi non strutturali, con conseguenze di natura essenzialmente economica (REQUISITO DI LIMITAZIONE DEL DANNO)

L'elemento fondamentale nei confronti di questa protezione riguarda il valore dell'azione sismica utilizzato nel progetto. L'EC8 adotta come parametro preferenziale di scuotimento il valore di picco dell'accelerazione orizzontale al suolo a_g : sono raccomandati valori caratterizzati da periodi medi di ritorno pari a 475 anni e 95 anni per le due condizioni di collasso e di danno strutturale. Tali periodi di ritorno corrispondono al 10% di probabilità di superamento rispettivamente in 50 e 10 anni. Questi valori di a_g di ancoraggio dello spettro di risposta devono essere assunti costanti in un numero discreto di "zone sismiche" definite all'interno del territorio dalle Autorità Nazionali.

MECCANISMO DI PLASTICIZZAZIONE: IL CAPACITY DESIGN

È ampiamente dimostrato che le strutture progettate utilizzando le normative di nuova generazione posseggono margini di resistenza che consentono loro di resistere senza collasso ad azioni sismiche di livello ben superiore a quelle di progetto. Questi margini derivano sostanzialmente dall'applicazione in fase progettuale di due criteri fondamentali:

- GERARCHIA DELLE RESISTENZE
- REGOLE DI DUTTILITÀ

I criteri di gerarchia delle resistenze e le regole di duttilità sono i cardini principali che consentono, a parità dell'azione sismica di progetto di raggiungere senza extracosto apprezzabile livelli di protezione molto elevati, attraverso una visione globale ed una possibilità di controllo della risposta delle strutture sotto azione sismica di elevato livello.

Questi due criteri stanno a fondamento di una progettazione finalizzata ad ottenere un preciso meccanismo di plasticizzazione (*Capacity Design*).

Gerarchia delle resistenze

Questo criterio consiste nell'assegnare, in fase di progetto, una resistenza differenziata ai diversi elementi strutturali, in modo che il cedimento di alcuni preceda quello di altri. Questi ultimi, ossia quelli da proteggere, sono gli elementi il cui "cedimento" è critico nei confronti del collasso globale della struttura: esempio tipico i pilastri di un edificio. Il cedimento dei pilastri viene impedito fornendo ad essi una resistenza (di poco) superiore a quella delle travi che su di essi si

innestano. Il criterio ora esemplificato con riferimento ai pilastri si estende a tutti gli altri elementi e meccanismi il cui cedimento è necessario evitare.

In particolare i meccanismi di collasso fragile o altri meccanismi indesiderati (come ad esempio la rottura a taglio, il collasso di collegamenti trave-colonna, plasticizzazione delle fondazioni o di un qualsiasi altro elemento che avrebbe dovuto restare elastico) devono essere evitati definendo le sollecitazioni di progetto in particolari zone mediante condizioni di equilibrio che tengano conto della formazione delle cerniere plastiche e del relativo aumento di resistenza nelle zone adiacenti. Le cerniere plastiche devono essere distribuite lungo tutta la struttura senza che si concentrino su un unico impalcato e devono svilupparsi, con un'adeguata sicurezza, solo sulle travi e non lungo le colonne, eccetto che alla base dell'edificio.

Questo criterio è adottato da più di due decenni dalle norme sismiche internazionali di USA, Nuova Zelanda, Messico, ed è oggi universalmente diffuso.

Regole di duttilità

Con questo criterio si progettano gli elementi strutturali in modo tale che il loro "cedimento" non pregiudichi la loro capacità portante. Il cedimento di un elemento strutturale è il raggiungimento ed il superamento della fase elastica (reversibile), per entrare in quella delle deformazioni cicliche ripetute e di grande ampiezza in campo plastico. La capacità di deformazione plastica, e quindi di resistenza oltre i limiti elastici, viene detta duttilità.

Per garantire la duttilità globale della struttura le potenziali zone in cui possono formarsi cerniere plastiche devono possedere grandi capacità di compiere rotazioni plastiche. L'obiettivo di questo criterio è quello di consentire che tali deformazioni siano sopportate dagli elementi strutturali senza che essi perdano la loro integrità e la loro funzione statica, e va sotto il nome di "regole di duttilità".

Le regole di duttilità contenute nell'EC8 consentono di graduare con continuità questa caratteristica da conferire agli elementi strutturali, nella misura richiesta a ciascuno di essi dal suo ruolo nel meccanismo di deformazione globale della struttura.

Finalità del Capacity Design

Da quanto detto nei criteri fondamentali, l'obiettivo principale del Capacity Design è evitare la possibilità di formazione di meccanismi di rottura fragili e non desiderati (rottura a taglio di elementi strutturali, rottura di nodi trave-colonna, plasticizzazione delle fondazioni, ecc).

Questo lo si ottiene favorendo la distribuzione delle cerniere plastiche sull'intera struttura, senza concentrazioni su un unico piano con formazione di meccanismi a piano sofficе, bensì privilegiando i meccanismi a *travi deboli e pilastri forti*. Per ottenere queste finalità gli effetti delle azioni di progetto su zone selezionate della struttura devono essere ricavate non dai risultati dell'analisi strutturale, ma da condizioni di equilibrio quando le cerniere plastiche (tenuto conto delle possibili sovreresistenze) si siano già formate nelle aree adiacenti alle zone selezionate.

CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI EDIFICI

La possibilità che si verifichi un terremoto deve essere considerata come un'importante aspetto da tenere in conto nella fase di progettazione di un edificio in zona sismica. Come detto all'inizio, questo aspetto deve essere preso in considerazione fin dalle prime fasi dello sviluppo del progetto dell'edificio in modo da consentire la definizione di un modello strutturale che, a fronte di costi accettabili, sia in grado di soddisfare i requisiti fondamentali, ossia il *REQUISITO DI NON-COLLASSO* e il *REQUISITO DI LIMITAZIONE DEI DANNO*.

Il comportamento di una struttura durante un terremoto dipende, oltre che dalle caratteristiche dell'azione sismica, dalla qualità della struttura stessa, che è funzione della tipologia strutturale, della procedura di progettazione, del dettaglio degli elementi strutturali e della cura della realizzazione. I principi base della progettazione degli edifici specificati nell'Ordinanza 3274 hanno proprio lo scopo di orientare la progettazione verso questi obiettivi. Per tale motivo gli edifici devono avere quanto più possibile le seguenti caratteristiche generali:

- 1 - *semplicità strutturale;*
- 2 - *uniformità e simmetria;*
- 3 - *iperstaticità;*
- 4 - *regolarità strutturale.*

Come però specificato meglio nell'EC8, i principi guida che devono governare l'approccio progettuale delle costruzioni in zona sismica comprendono anche:

- 5 - *resistenza e rigidità bidirezionale;*
- 6 - *resistenza e rigidità torsionale;*
- 7 - *azioni membranali sugli impalcati;*
- 8 - *strutture di fondazione adeguate.*

L'obiettivo fondamentale di questi principi guida è quello di concepire un edificio nel quale le forze laterali possano essere facilmente trasferite a terra senza eccessive deformazioni e con un comportamento duttile che ne assicuri il buon funzionamento sotto l'azione sismica.

1 - Semplicità strutturale

La semplicità strutturale, caratterizzata dall'esistenza di percorsi chiari e diretti per la trasmissione delle forze sismiche, è un'importante obiettivo da perseguire poiché la modellazione, l'analisi, il dimensionamento, la definizione dei particolari e la costruzione di strutture semplici sono soggette a minori incertezze e quindi la previsione del loro comportamento durante un evento sismico può essere ipotizzata in maniera molto più realistica.

2 - Uniformità e simmetria

L'uniformità, che in qualche modo è collegata alla semplicità, è caratterizzata da una regolare distribuzione degli elementi strutturali che, quando realizzata in pianta, permette una trasmissione rapida e diretta delle forze di inerzia prodotte dalle masse distribuite dell'edificio. Se necessario questa uniformità può essere ottenuta dividendo l'intero edificio mediante appositi elementi di collegamento in unità dinamicamente indipendenti.

L'uniformità dell'edificio nel suo sviluppo verticale è altrettanto importante poiché in tal modo si tende ad eliminare la formazione di zone ove vi sia una grande concentrazione di sforzi o notevoli richieste di duttilità che potrebbero essere causa di un prematuro collasso. Uno stretto rapporto tra la distribuzione delle masse e delle rigidezze elimina automaticamente le eccentricità eccessive fra le masse e le rigidezze.

In edifici caratterizzati da configurazioni simmetriche o quasi-simmetriche, la simmetria strutturale e il corretto sviluppo in pianta sono le soluzioni più ovvie per il raggiungimento dell'uniformità.

L'utilizzo di elementi strutturali distribuiti con regolarità aumenta la ridondanza e permette una più favorevole ridistribuzione degli effetti dovuti all'azione sismica, nonché una maggiore dissipazione di energia da parte dell'intera struttura.

3 - Iperstaticità

La struttura iperstatica dotata di sufficiente duttilità globale ha un comportamento sismico decisamente migliore nei confronti dell'azione tellurica rispetto a quella che non lo è, in quanto, consente la formazione di meccanismi dotati di zone critiche (cerniere plastiche) con conseguenti ridistribuzioni delle sollecitazioni. Infatti, un elevato grado di iperstaticità accompagnato dalla capacità di ridistribuzione consente una più diffusa dissipazione di energia e ne incrementa il valore totale. La necessaria capacità di ridistribuzione è raggiunta mediante le disposizioni che mirano a garantire una sufficiente duttilità locale in termini di rotazione plastica (curvatura) in tutte le zone critiche dove potenzialmente possono formarsi le cerniere plastiche.

4 - Regolarità strutturale

I requisiti di regolarità di un edificio sono importanti poiché a seconda che siano verificati o meno sono richieste scelte diverse in relazione al metodo di analisi e ad altri parametri di progetto. Le regolarità che l'Ordinanza 3274 considera sono quelle in pianta e in altezza.

Regolarità in pianta

- La struttura dell'edificio deve essere approssimativamente simmetrica in pianta rispetto a due direzioni ortogonali per quanto riguarda la rigidezza laterale e la distribuzione della massa. La configurazione della pianta deve essere compatta, non deve cioè presentare forme ad H, I, X ecc.
- Il rapporto tra il lato maggiore e minore del rettangolo in cui può essere iscritto l'edificio è inferiore a 4.
- Eventuali rientranze o sporgenze non superiori al 25% della dimensione totale dell'edificio nella direzione del rientro o della sporgenza.
- I solai possono essere considerati infinitamente rigidi nel loro piano rispetto agli elementi verticali.

Regolarità in altezza

- Tutte le strutture di controvento, come nuclei irrigidenti, pareti e telai, si devono sviluppare senza interruzioni dalle fondazioni fino alla sommità dell'edificio o fino alla sommità della rispettiva parte allorché fossero presenti arretramenti a differenti altezze.
- Sia la rigidezza che la massa di ogni piano deve rimanere costante o ridursi gradualmente, senza brusche variazioni, dalla base alla sommità (le variazioni tra un piano e l'altro inferiori al 20%).
- Il rapporto tra la resistenza effettiva e quella richiesta dall'analisi non deve variare troppo tra piani successivi (rapporto compreso tra 0,85 e 1,15).
- Eventuali restringimenti della sezione dell'edificio avvengono in modo graduale con le seguenti limitazioni: ad ogni piano il rientro non supera il 30% della dimensione corrispondente al primo piano e non supera il 10% della dimensione corrispondente al piano immediatamente sottostante.

5 - Resistenza e rigidezza bidirezionale

Il moto sismico orizzontale è un fenomeno bidirezionale e per questo motivo la struttura dell'edificio deve essere in grado di resistere ad azioni orizzontali provenienti da qualsiasi direzione. In tal senso gli elementi strutturali devono essere disposti in modo tale da garantire la resistenza dell'edificio. Quest'ultima è normalmente ottenuta organizzando questi elementi in pianta secondo una maglia ortogonale che assicuri valori analoghi di resistenza e rigidezza in entrambe le direzioni.

Inoltre la scelta delle caratteristiche di rigidezza della struttura deve da un lato minimizzare gli effetti dell'azione sismica e dall'altro evitare che si sviluppino spostamenti eccessivi che potrebbero produrre fenomeni di instabilità dovuti ad effetti del secondo ordine o un danneggiamento eccessivo.

6 - Resistenza e rigidezza torsionale

Oltre alla resistenza e rigidezza laterale, la struttura dell'edificio deve possedere un'adeguata resistenza e rigidezza torsionale al fine di limitare moti di tipo torsionale che tendono inevitabilmente a sottoporre i diversi elementi strutturali ad un regime di sforzo non uniforme. In quest'ottica le configurazioni in cui i principali elementi resistenti sono distribuiti in prossimità del perimetro esterno dell'edificio presentano chiari vantaggi.

7 - Azioni membranali sugli impalcati

Negli edifici gli impalcati hanno un ruolo molto importante nel comportamento sismico complessivo della struttura. Infatti essi si comportano come membrane orizzontali che non solo riuniscono e trasmettono le forze di inerzia ai sistemi strutturali verticali, ma assicurano anche che questi sistemi partecipino tutti insieme nel contrastare l'azione orizzontale.

Per questo motivo gli impalcati rappresentano una parte essenziale della struttura dell'edificio e naturalmente la loro azione membranale assume una particolare importanza in edifici caratterizzati da uno sviluppo verticale complesso e non uniforme, oppure quando si utilizzino insieme sistemi strutturali caratterizzati da una diversa deformabilità orizzontale (ad esempio i sistemi misti pareti-telai).

È quindi della massima importanza che gli impalcati possiedano un'adeguata rigidezza e resistenza in pianta e siano collegati in maniera efficace agli elementi strutturali verticali.

8 - Strutture di fondazione adeguate

In zona sismica il progetto e la costruzione delle fondazioni nonché degli elementi di collegamento con la sovrastruttura deve garantire che tutto l'edificio sia sollecitato uniformemente dall'azione sismica. A tal fine per strutture composte da un discreto numero di pareti con funzione strutturale, differenti per larghezza e rigidezza, si deve predisporre una fondazione del tipo rigido scatolata, con cellule più o meno grandi che includano due solette, una all'intradosso della fondazione ed una all'estradosso.

Per edifici con elementi di fondazione separati (plinti o pile) deve essere considerato l'utilizzo di una piastra o di una trave di collegamento tra questi elementi in entrambe le direzioni principali.