

## OBIETTIVI FONDAMENTALI DELLA NORMATIVA 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 FONDAMENTALI

Gli obiettivi fondamentali che la normativa sismica (Ordinanza 3274/2003) si prefigge consistono sostanzialmente nel verificare che:

(A) la struttura sia in grado di sopportare in regime elastico il terremoto la cui intensità corrisponde, per la zona in esame, a un periodo di ritorno pari alla vita nominale della struttura stessa;

(B) la struttura possieda sufficienti riserve di resistenza, oltre il limite elastico, per sopportare senza crolli (anche se con evidenti danneggiamenti che ne compromettono la funzionalità) un terremoto di intensità tale che risulti trascurabile la probabilità che l'intensità stessa venga superata dai terremoti che interesseranno in futuro la costruzione.

A tal fine il criterio fondamentale su cui si basa la progettazione di una struttura in zona sismica scaturisce dalla considerazione che una struttura, per resistere a sismi caratterizzati da elevate intensità (punto (B)), deve tenere in conto le risorse di cui può disporre oltre il limite elastico. È infatti ovvio immaginare che un progetto basato sull'utilizzo delle sole risorse elastiche comporterebbe strutture sovradimensionate e antieconomiche, certamente non giustificabili per le costruzioni ordinarie.

Per realizzare un progetto strutturale che soddisfi questa esigenza l'Ordinanza 3274 introduce due concetti importanti: la *duttilità strutturale* e lo *spettro di risposta di progetto*. Essi costituiscono una significativa novità rispetto alla precedente normativa sismica, e assumono ora nella progettazione un'importanza di assoluto rilievo. L'obiettivo che ci si prefigge è quello di realizzare strutture sismo-resistenti in grado di possedere sufficienti capacità deformazione plastica, al fine di poter dissipare, attraverso la formazione di meccanismi, l'energia sismica tramite la duttilità delle loro sezioni. Solo infatti attraverso la dissipazione di energia si riesce a ridurre gli effetti sismici pervenendo a sistemi strutturali economicamente accettabili.

### DUTTILITÀ STRUTTURALE

È noto che i materiali più comunemente impiegati nelle costruzioni (acciaio, calcestruzzo, muratura, ecc.) hanno un legame costitutivo tensione-deformazione reale che non si identifica con quello elastico lineare, se non per deformazioni molto piccole. Infatti alcuni materiali, come l'acciaio, hanno un comportamento di tipo lineare fino ad un certo livello di deformazione e tensione, oltrepassato il quale si osserva una grande capacità di deformazione a tensione pressoché costante.

In particolare si osserva una prima fase di tipo elastico-lineare (fino al limite di snervamento) nella quale il materiale accumula energia sotto forma elastica, che è quindi in grado di restituire integralmente in fase di scarico, senza lasciare alcuna deformazione residua. Successivamente, oltre il limite di snervamento, vi è una fase post-elastica nella quale il materiale accumula energia plastica che non restituisce più allo scarico, ma che produce (con sviluppo di calore) una deformazione permanente residua di tipo irreversibile. In altre parole, in questa seconda fase, allo scarico del corpo l'energia accumulata dal materiale (sotto forma di deformazione plastica) viene dissipata a spese di una deformazione permanente irreversibile.

Analiticamente si definisce *duttilità*  $\mu$  il rapporto tra la deformazione (spostamento o rotazione) plastica massima e la deformazione (spostamento o rotazione) per la quale inizia la fase plastica. Da questa semplice osservazione si vede allora che per dissipare grandi quantità di energia (come quelle prodotte dalle azioni sismiche) è necessario che il materiale sia dotato di grande capacità di deformazione plastica. Quindi tanto più la struttura è in grado di subire spostamenti al di là del limite elastico (elevati valori di  $\mu$ ), tanto più, per effetto del moto oscillatorio del terreno, la sua risposta sarà caratterizzata da cicli di isteresi, che saranno più o meno ampi in funzione delle caratteristiche dei materiali. Più in generale, per una struttura questa capacità di deformazione plastica, che in ultima analisi rappresenta la sua resistenza oltre il limite elastico, viene detta *duttilità strutturale*.

## SPETTRO DI RISPOSTA DI PROGETTO

Se l'azione sismica agente su di una struttura mantiene un comportamento in fase elastica è ovviamente sufficiente un'analisi di calcolo lineare. Se invece in un evento sismico la resistenza delle sezioni della struttura non è tale da garantire un comportamento deformativo-tensionale in fase elastica (comportamento lineare), è necessario valutare la risposta strutturale globale all'input sismico tenendo in conto le reali non linearità dei materiali, ossia eseguendo un'Analisi Dinamica Non Lineare, ad esempio un'analisi al passo mediante il metodo di Newmark. Come detto in precedenza il ricorso a queste procedure risulta necessario per poter considerare le riserve di resistenza che la struttura possiede al di là del proprio limite di proporzionalità.

L'analisi al passo consiste nel risolvere con procedure numeriche le equazioni del moto (equilibrio dinamico) in modo da ottenere l'evoluzione temporale della risposta, cioè i valori assunti da tutte le grandezze (spostamenti, parametri di sollecitazione, ecc) istante per istante, in particolare le rotazioni plastiche (diagrammi momento-curvatura) delle sezioni di estremità delle aste (funzioni della loro duttilità locale). Oltre ai carichi monotonicamente crescenti un'analisi non lineare dovrebbe considerare l'evoluzione temporale delle deformazioni cicliche, come quelle indotte da un sisma. In tal caso la rottura della sezione non è legata solo al valore massimo della rotazione plastica, ma anche all'energia dissipata nei cicli, proporzionale questa alla somma di tutte le escursioni plastiche. Assegnato un terremoto (ad esempio mediante un'accelerogramma del moto del suolo) l'analisi al passo costituisce uno strumento molto potente per valutare la risposta non elastica di una struttura.

### Limiti dell'analisi non lineare

L'applicazione dell'Analisi Dinamica Non Lineare necessita però di una modellazione strutturale molto raffinata e della conoscenza "reale" del comportamento non lineare dei materiali. È da osservare che, a differenza delle analisi in campo lineare, non esistono metodi semplificati che consentano una stima approssimata della risposta non elastica di una struttura. Sebbene la potenza di calcolo oggi disponibile consenta agevolmente di far fronte all'elevato onere computazionale che un'analisi al passo richiede, la difficoltà di modellazione e le incertezze dei dati di input, con il conseguente rischio di errori, ne sconsigliano tuttavia un utilizzo in fase preliminare di dimensionamento, anche perché essa presuppone già a priori la conoscenza delle caratteristiche meccaniche degli elementi strutturali (in particolare proprio per tenere conto della capacità dissipativa della struttura).

## COEFFICIENTE DI STRUTTURA

Per ovviare alle difficoltà menzionate, senza tuttavia rinunciare ai vantaggi che un'analisi al passo comporta, la normativa consente di evitare di dover compiere analisi non lineari in fase di progetto e stabilisce una procedura di verifica anche per il sisma più severo atteso sul sito, sisma che può indurre un comportamento oltre il limite elastico. Questa procedura, sostanzialmente, si basa su due analisi:

- un'analisi atta a verificare che la struttura nel suo complesso, e gli elementi che la compongono, abbiano una certa duttilità;
- un'analisi lineare della struttura basata su uno spettro di risposta ridotto, detto spettro di risposta di progetto.

Lo spettro di risposta di progetto è ottenuto come riduzione dello spettro di risposta elastico introducendo un coefficiente  $q$  detto *coefficiente di struttura*, funzione della duttilità strutturale e dei singoli elementi componenti. Mediante l'introduzione di  $q$  l'azione sismica di progetto risulta essere una frazione di quella rappresentata dallo spettro di risposta elastico (a cui corrisponde un comportamento indefinitamente elastico) in virtù della capacità della struttura di subire escursioni post-elastiche (plasticizzazione), cui è associata la dissipazione energetica.

Il valore di  $q$  rappresenta il "premio" in termini di riduzioni delle azioni sismiche di progetto e corrispondente ad una certa capacità dissipativa. Esso dipende:

- dalla tipologia strutturale sismo-resistente;
- dalla duttilità disponibile degli elementi strutturali;
- dall'adozione di criteri di proporzionamento relativo degli elementi strutturali (criterio di gerarchia delle resistenze) che favoriscono lo sviluppo di stabili meccanismi dissipativi globali;
- dalla morfologia strutturale (eventuale irregolarità in pianta e in elevazione).

L'utilizzo di uno spettro elastico ridotto comporta strutture meno resistenti (ma più duttili) ma economicamente più convenienti, anche se soggette ad escursioni in fase anelastica maggiori e quindi più danneggiabili. Infatti per motivi di carattere economico, in occasione di eventi sismici violenti, vengono accettate significative plasticizzazioni (ed il conseguente danneggiamento), purché esse non comportino il collasso della struttura. Sotto l'azione di un terremoto violento, che porti una struttura iperstatica oltre il limite di snervamento, la risposta viene infatti attenuata per tre cause principali:

- la duttilità della struttura con dissipazione isteretica di energia;
- la iperstaticità con ridistribuzione interna delle azioni;
- la sovrarresistenza rispetto ai valori assunti nei calcoli.

Il coefficiente di struttura  $q$  introdotto dall'Ordinanza 3274 riduce le forze sismiche proprio per tenere conto di questi contributi.