

Prospettive di sviluppo della normativa italiana

Analisi non lineare e futuro del calcolo strutturale

Camillo Nuti, Professore di Tecnica Delle Costruzioni, Dipartimento di Architettura, Università degli Studi Roma Tre - www.mastermica.org; camillo.nuti@uniroma3.it

La Normativa Tecnica del 2008 [1] ha introdotto una apparente grande novità: l'analisi statica non lineare, divenuta molto popolare col nome assegnatole dalla letteratura Statunitense: "pushover". La Normativa tecnica Italiana, nella Circolare Ministeriale [2] si è allineata con l'Eurocodice 8.1 [3] che nella versione approvata a livello europeo ha definito questa tecnica in una versione Europea (in appendice metodo N2 [4]).

La letteratura Tecnico scientifica di inizio degli anni 2000 ha prodotto varie proposte di analisi statica non lineare [5] e la norma tecnica italiana si è mostrata apparentemente molto aperta a tale innovazione.

In generale va osservato come l'analisi cosiddetta statica si basi su precisi concetti di dinamica delle strutture assumendo come rappresentativa della risposta sismica quella relativa al primo modo della analisi modale. Questa assunzione è pressoché esatta nelle strutture non troppo alte e relativamente semplici. Diviene sempre più approssimata all'aumentare della complessità strutturale. Per chi è padrone della teoria dell'analisi modale, l'analisi statica monomodale coglie bene la risposta dinamica di strutture governate dal primo modo, nelle quali cioè la valutazione della grandezza di risposta di interesse sia contribuita essenzialmente da esso. Ad esempio è ben noto che se la massa partecipante del primo modo è circa il 90 % della massa totale allora anche il taglio alla base è stimato con al più un 10% di incertezza.

Qualora si voglia conoscere con maggior approssimazione la risposta occorrerebbe includere nella risposta anche il contributo dei modi superiori. Questo si può stimare attraverso la risposta statica della struttura alle forze di inerzia di ciascun modo. La risposta totale si ottiene con le note regole di sovrapposizione modale.

Chi si occupa di progettazione sa bene che, per ottenere un risultato progettuale affidabile, occorre tenere sotto controllo il comportamento strutturale attraverso pochi parametri globali, per questo l'analisi modale rappresenta uno strumento essenziale della valutazione della risposta sismica. Pertanto, nelle strutture governate dal primo modo, l'analisi statica rappresenta certamente lo strumento più efficace per valutare la risposta sismica. Se la struttura va in campo non lineare una stima più accurata della risposta si ottiene, ovviamente, seguendone il comportamento non lineare. Evidentemente entrando in campo non lineare la struttura cambia la sua rigidità globale, nel senso che un modesto incremento globale di forza dà luogo a grandi incrementi di deformazione, mentre le forze di inerzia sono sempre, in ossequio alle leggi della fisica, date dal prodotto delle masse per le accelerazioni assolute. Evidentemente perciò cambia il periodo proprio equivalente, e la struttura dissipa energia attraverso il lavoro plastico delle parti che superano la soglia elastica.

Sembra quindi ovvio affermare che se una struttura va in campo plastico occorre tener conto nella valutazione della risposta della variazione del periodo proprio e dell'incremento di dissipazione cioè dello smorzamento

modale equivalente. Se una struttura è governata da più modi occorrerà stimare la risposta mediante l'inclusione anche dei modi superiori.

La evoluzione della Normativa Tecnica Nazionale in corso sembra aver preso coscienza, almeno io mi auguro, dei semplici concetti di cui sopra. Pertanto, dopo una ventata di apparente apertura all'innovazione, includendo metodi di analisi statica evolutiva, la cui definizione non si è mai consolidata in una chiara e condivisa formalizzazione teorica, si sta oggi orientando ad includere in modo esplicito l'analisi non lineare statica multimodale. Quest'ultima, pur nella inevitabile approssimazione, ha un chiaro fondamento teorico, ed è esatta in campo lineare.

L'attuale metodo di analisi statica illustrato nella Circolare Ministeriale del 2009 [3] al punto C.7.3.4 fa riferimento al cosiddetto Metodo N2 [4], incluso nell'appendice dell'Eurocodice 8. Tale metodo presenta una notevole mancanza di generalità, non consentendo di valutare la dissipazione di energia della struttura, né il cambiamento di periodo addentrando in campo plastico. È pertanto applicabile con sufficiente attendibilità, ai casi per i quali è stato calibrato: essenzialmente le strutture a telaio in cemento armato ed acciaio di nuova concezione. Esistono tecniche, quale il cosiddetto Capacity Spectrum [5], che richiedono il calcolo del periodo equivalente e dello smorzamento equivalente, molto più generali che consentono di estendere con sufficiente attendibilità il calcolo statico non lineare, ad una ampia gamma di strutture. Un caso per tutte è quello della introduzione dei controventi dissipativi in una struttura esistente [6].

A tutt'oggi vi è una tendenza ad orientare i casi non coperti con sufficiente rappresentatività dal metodo N2, verso una analisi non lineare al passo. I programmi di calcolo promettono infatti di risolvere il problema della valutazione della risposta non lineare dinamica in modo accurato. Senza entrare in una dissertazione tecnica, qui fuori luogo, ritengo che l'analisi dinamica non lineare al passo richieda una notevole esperienza nella valutazione dei risultati, sono pertanto piuttosto critico con il rimando sistematico all'analisi al passo, cercherei piuttosto di favorire la diffusione consapevole dell'analisi statica non lineare [7].

Restiamo nel campo della analisi lineare. L'analisi al passo fornisce ad ogni istante la risposta: in genere migliaia di valori per ogni nodo, per ogni elemento, per ogni sezione. Non è semplice capire quali siano i parametri essenziali che la rappresentino. Se si cambia qualche parametro di progetto si ottengono altre migliaia di valori. Naturalmente occorre scegliere gli accelerogrammi di verifica e ripetere l'operazione di calcolo per ogni accelerogramma, facendo poi la statistica dei risultati. Si osservi che facendo la statistica si perde ad esempio la corrispondenza tra momenti e tagli nelle travi.

Se si va in campo non lineare per ogni scelta di modellazione della risposta non lineare si ottengono risultati diversi, talvolta di poco, talvolta di molto. Occorre quindi sapersi orientare.

Qualora ci si sappia orientare, i risultati vanno presentati in forma sintetica in modo che possano essere controllati e validati. Si moltiplicano le operazioni da effettuare, i tempi e le possibilità di errore. Serve una capacità di sintesi per orientare il progetto.

In definitiva occorre, a posteriori, fare ciò che l'analisi statica fa da subito: individua le caratteristiche essenziali della struttura, individua il numero di modi da considerare, valuta l'involuppo della risposta e definisce il campo dei valori che la risposta può assumere. Impone al progettista, da non confondere con un semplice analista, di orientarsi tra possibili scelte di comportamento strutturale, da verificare con l'analisi.

Bibliografia

1. D.M. 14 Gennaio 2008
2. Circolare Ministeriale 2 Febbraio 2009
3. CEN 2004, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings , 2004,
4. Fajfar N2 Fajfar, Peter, & M.EERI. (2000). A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. *Earthquake Spectra*, 16(3), 573-592.
5. Albanesi T., Nuti C., Vanzi I 2000 "A Simplified Procedure to Assess the Seismic Response of Nonlinear Structures". *Earthquake Spectra*, Earthquake Engineering Research Institute, Stati Uniti, vol.16, n. 4, novembre 2000
6. Bergami A. V, Nuti C (2013). A design procedure of dissipative braces for seismic upgrading structures. *EARTHQUAKE AND STRUCTURES*, vol. 4, p. 85-108, ISSN: 2092-7614
7. Bergami A. V., Liu X, C. Nuti C. 2013, "Proposal and application of an incremental modal pushover analysis (IMPA) to evaluate the seismic capacity of an existing irregular building". In corso di Pubblicazione.