

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



FACOLTA' DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Strutturale

Tesi di Laurea  
in  
Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

***I MODELLI DI CAPACITA' PER ELEMENTI DUTTILI  
NELLA VALUTAZIONE SISMICA DI EDIFICI IN  
CALCESTRUZZO ARMATO***

Relatore  
Ch. Mo Prof. Ing.  
Gerardo Mario Verderame

Candidato  
Villani Luigi  
matricola 518/408

Correlatore  
Ing. Paolo Ricci

ANNO ACCADEMICO 2010-2011

## ABSTRACT

In Italia, il rischio sismico costituisce un problema rilevante che provoca, oltre a migliaia di vittime, danni economici molto alti.

Il costo dei terremoti è un costo sociale, proporzionale al livello di vita raggiunto dalla popolazione, che si trasforma in un rigetto della comunità nazionale ad accettare che il terremoto generi vittime ed impoverimento.

Il nostro Paese è caratterizzato da una pericolosità sismica medio-alta. Il patrimonio edilizio italiano si caratterizza per una notevole fragilità dovuta soprattutto all'età e alle caratteristiche tipologiche e strutturali.

Pertanto, risulta importante verificare la sicurezza degli edifici esistenti.

In particolare, si calcola lo stato limite degli edifici. Lo stato limite si ha nel momento in cui una parte o l'intera struttura non è in grado di svolgere o di soddisfare alcune esigenze di comportamento.

Gli stati limite si suddividono in:

1. Stati limiti di collasso: si hanno quando la struttura è molto danneggiata, con poche caratteristiche di resistenza e rigidità laterali residue;

2. Stati limiti di danno limitato: si hanno quando i danni alla struttura sono di modesta entità, senza importanti escursioni in campo plastico;
3. Stati limite di danno severo: la struttura presenta danni importanti.

Per i criteri di verifica è necessario constatare se si tratta di elementi duttili o fragili. Nel primo caso, tali elementi si caratterizzano per un comportamento flessionale, elevata capacità di deformazione in campo plastico, crisi per attingimento di una rotazione limite; invece gli elementi fragili presentano un comportamento tagliante, una scarsa capacità di deformazione, crisi raggiunta per attingimento di una resistenza limite.

Le recenti evoluzioni delle normative sismiche hanno fatto sì che il tema della valutazione delle strutture esistenti fosse al centro dell'attenzione del mondo professionale, il quale lo ha affrontato attraverso particolari metodologie, molto rigorose, sia dal punto di vista della caratterizzazione dei materiali, delle soluzioni strutturali e dei dettagli costruttivi, che da quello dell'analisi strutturale.

Quindi, le normative di nuova generazione affrontano l'aspetto progettuale allo scopo di conciliare sicurezza ed economia,

concentrandosi soprattutto sullo stato di salute delle strutture già esistenti.

Le numerose formulazioni proposte in letteratura per l'analisi non lineare delle strutture, tuttavia, si basano sulla risposta di elementi in c.a. armati con barre ad aderenza migliorata.

La maggior parte del patrimonio edilizio, ed in particolar modo quello italiano, è però realizzato adoperando barre di armatura lisce.

L'EC8 valuta la deformazione allo snervamento come una rotazione di corda, che rappresenta i diversi contributi relativi ai meccanismi di deformazione flessionale, tagliente e dovuta alle fixed-end rotation.

La capacità rotazionale è convenzionalmente riferita ad un drop del 20% della resistenza di picco.

Al fine di valutare la rotazione ultima di corda, l'EC8 propone due approcci:

- Approccio meccanico;
- Approccio empirico.

In riferimento al primo, la regione della cerniera plastica si identifica nella zona dell'elemento in cui avvengono sia lo snervamento dell'armatura che la 'rottura' del calcestruzzo. La lunghezza della

cerniera plastica usata nella valutazione della capacità rotazionale dell'elemento è convenzionale, poiché rappresenta la lunghezza sulla quale la curvatura ultima della sezione costante, viene integrata, seguendo un approccio flessionale equivalente. Secondo tale approccio, per poter calcolare la rotazione di corda è necessario prendere in considerazione l'ipotesi avanzata dal Bernoulli, secondo cui in una fase post-picco, la curvatura aumenta solo alla base della sezione dell'elemento.

I meccanismi di taglio contribuiscono alla deformabilità complessiva del componente fino al 30%, mentre la rotazione finale dovuta alla discrepanza delle barre di armatura può contribuire fino al 40%. Per raggiungere un buon risultato, i ricercatori hanno tarato la lunghezza della cerniera plastica sulla quale viene integrata la curvatura.

Seguendo tale approccio la capacità rotazionale di un elemento può essere espressa come:

$$\theta_u = \theta_y + (\phi_u - \phi_y)L_{pl}$$

Oltre a tale approccio meccanico, è possibile calcolare la capacità rotazionale anche mediante un approccio empirico, ossia fondato dati

sperimentali con analisi regressive puramente numeriche. In particolare, nel 2007, alcuni studiosi, basandosi su alcuni test sperimentali del database PEER hanno incluso nelle loro formule anche il comportamento ciclico.

In un altro studio, invece, è proposto anche un approccio diverso. Alcuni ricercatori, infatti, hanno elaborato una metodologia per la previsione della capacità di deformazione flessionale e per l'intero sistema di resistenza, mediante una metodologia che prende il nome di *CAE* (uno speciale tipo di regressione multidimensionale non parametrico) applicato a un sottoinsieme dei database di Fardis e PEER. Tale metodologia ha una migliore capacità di previsione rispetto alle formule dell'EC8.

Tale database consiste in 633 test ciclici e 242 test monotoni su travi, colonne e muri, che non presentano fragilità. La relazione è una regressione lineare del logaritmo di  $\theta_u$  sulle variabili di controllo o sui loro logaritmi. Sono state mantenute solo le variabili di controllo che hanno dimostrato di essere statisticamente significative per la previsione di  $\theta_u$ .

Per ottenere un database sperimentale più rappresentativo, con particolare riguardo agli elementi con armatura asimmetrica ben rappresentati nei test monotoni, è stata poi effettuata un'altra analisi regressiva su 875 test, giungendo alla formula:

$$\theta_u = \alpha_{sl} \cdot \alpha_{cyc} \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{sl}}{2.3}\right) \left(1 - \frac{\alpha_{wall}}{3}\right) \times (0.20^v) \left[ \frac{\max(0.01; \omega')}{\max(0.01; \omega)} f_c \right]^{0.275} \left(\frac{L_V}{h}\right)^{0.45} 1.1 \left(100\alpha_{\rho_{sk}} \frac{f_{yw}}{f_c}\right) (1.30^{100\rho_d})$$

Il rapporto tra la rotazione ultima sperimentale e il valore numerico fornito dalla formula appena riportata ha media pari a 1,06, mediana pari a 1, e C.O.V. del 47%.