



il principio di gerarchia delle resistenze capacity design

Martina Greco^{*}, Marianna Zito^{*}

^{*} Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali (DICAM)

Università degli Studi di Palermo

Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy

e-mail: marianna.zito@unipa.it – Tel.: +39 09123896764

(Ricevuto 7 Febbraio 2009, Accettato 10 Marzo 2012)

Key words: Capacity Design, Ductility, Plastic Hinges, Energy Dissipation.

Parole chiave: Capacity Design, Duttività, Cerniere Plastiche, Dissipazione di Energia.

Abstract. *The devastating effects generated by earthquakes occurred in different parts of the world have attract at a major interest in Earthquake Engineering. This branch of Structural Engineering studies the response and capacity of structural systems subjected to seismic actions, and develops design and prediction methods aimed at achieving adequate safety standards in presence of seismic events. A strategy used for the seismic prediction of RC structures, based on the capacity design of structural elements is the "hierarchy of strengths" (HS) principle. The paper shows how a proper use of the HS capacity design method can be included within the seismic design of RC structures achieving high levels of seismic protection through a comprehensive control of the structural response.*

Sommario. *Gli effetti devastanti generati da terremoti occorsi in varie parti del mondo negli ultimi decenni ha accresciuto l'attenzione nei riguardi dell'Ingegneria sismica. Questa branca dell'Ingegneria strutturale ha per oggetto lo studio del comportamento delle strutture soggette ad un evento tellurico e sviluppa metodi progettuali finalizzati ad evitare il collasso o limitare i danni delle costruzioni. Nel presente lavoro viene mostrato come il Principio di Gerarchia delle Resistenze (o Capacity Design) possa essere utilizzato nell'ambito di una progettazione antisismica poiché permette di raggiungere livelli di protezione molto elevati attraverso una visione globale della struttura ed un controllo della risposta della stessa.*

1 INTRODUZIONE

La crescente necessità di controllo del comportamento strutturale di un qualsiasi edificio costringe sempre più a definire strategie atte ad indirizzare tale comportamento verso modalità di crisi favorevoli al soddisfacimento delle prestazioni di salvaguardia della vita umana. È bene evitare pertanto meccanismi di collasso di tipo fragile o comunque non idonei ed indesiderati (rottura a taglio, collasso di collegamenti trave-colonna, plasticizzazione delle fondazioni).

La sopravvivenza delle strutture sottoposte ad azioni eccezionali non può essere affidata alla sola resistenza, a causa degli eccessivi costi economici che questo comporterebbe; è

opportuno pertanto prevedere un comportamento non elastico della struttura attraverso deformazioni plastiche talvolta rilevanti ma non eccessive, al fine di non pervenire al collasso della stessa.

Nei paragrafi successivi verrà affrontato uno degli approcci progettuali d'avanguardia nell'ambito della progettazione antisismica al fine di coglierne gli aspetti fondamentali e le ragioni che lo conducono oggi ad essere una delle filosofie progettuali più apprezzate dal mondo scientifico, amministrativo, normativo.

2 PRINCIPI DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

Il comportamento reale di una struttura sollecitata da un sisma risulta essere di tipo anelastico in quanto 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; essi lavorano dunque oltre il limite di proporzionalità.

Alcuni materiali come l'acciaio, infatti, 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) in cui il materiale accumula energia sotto forma elastica, che è dunque 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 in cui il materiale accumula energia plastica che non restituisce più in fase di scarico, ma che produce (con sviluppo di calore) una deformazione permanente residua di tipo irreversibile; in questa seconda fase, quindi, l'energia accumulata dal materiale (sotto forma di deformazione plastica) viene dissipata a spese di una deformazione permanente irreversibile.

Analiticamente quanto sopra esposto viene definito mediante la duttilità, essendo questa il rapporto μ tra la deformazione (spostamento o rotazione) plastica massima e la deformazione per la quale inizia la fase plastica. Da questa semplice osservazione si nota 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, pertanto più la struttura è in grado di subire spostamenti oltre il limite elastico (elevati valori di μ), 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.

3 INTRODUZIONE AL METODO

Al fine di dissipare grandi quantità di energia, la filosofia progettuale da cui nasce la Capacity Design prevede una attenta disposizione sulla struttura di particolari sezioni in cui, in fase progettuale, si prevede una intensa dissipazione di energia, al fine di fare in modo che si attivi uno specifico criterio di rottura e non un criterio di rottura casuale, evitando pertanto collassi di tipo fragile.

È bene che le sezioni in cui si vuole che si attivino tali meccanismi di dissipazione (cerniere plastiche) siano distribuite lungo l'intera altezza della struttura, evitando concentrazioni in corrispondenza di un unico piano che in tal modo diverrebbe un piano soffice, condizione da evitare fortemente per evitare lo schiacciamento della struttura.

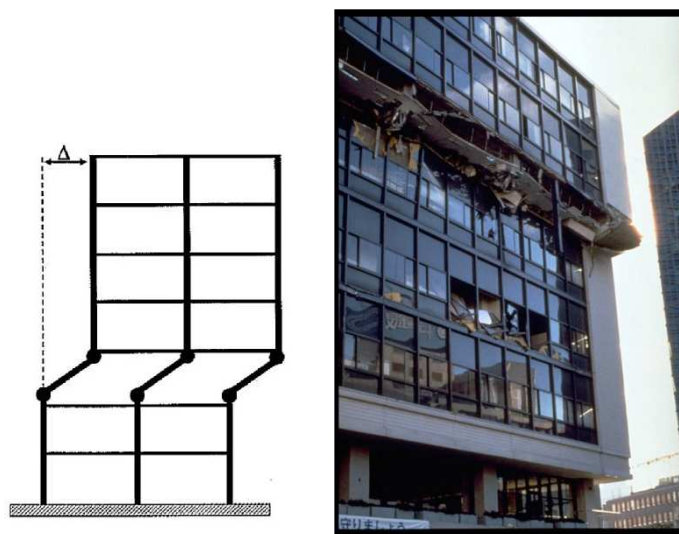


Figura 1: Meccanismo di piano o piano sofficce

E' inoltre opportuno fare in modo che le sezioni dissipative vengano previste in fase di progetto in prossimità delle estremità delle travi e non lungo le colonne.

Per garantire un tale comportamento è necessario che in sede di progetto venga prevista un'adeguata sequenza di formazione di tali cerniere plastiche e che vengano rispettati i rispettivi valori di resistenza, cosicché il passaggio da uno schema resistente all'altro si attui per eliminazione di elementi facilmente riparabili.

Esiste ampia evidenza che le strutture progettate secondo tali criteri posseggano ampi margini di resistenza che consentono loro di sopportare, senza giungere a collasso, azioni sismiche di livello ben superiore a quelle di progetto.

Tali margini derivano da criteri supplementari di buona progettazione, che consistono nell'assegnare, in fase di progetto, una resistenza differenziata ai vari elementi strutturali, in modo che il cedimento di alcuni preceda e quindi prevenga 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 sono i pilastri di un edificio, il cui cedimento viene impedito fornendo ad essi una resistenza poco superiore a quella delle travi che su di essi si innestano. Questo criterio di progettazione, che prende il nome di principio di **gerarchia delle resistenze o Capacity Design**, si estende a tutti gli elementi e meccanismi di cui è necessario evitare il cedimento.

4 CAPACITY DESIGN

L'applicazione del metodo della gerarchia delle resistenze richiede un approccio totalmente diverso dal classico approccio finalizzato alla realizzazione di strutture a "uniforme resistenza", la cui pratica attuazione avveniva progettando tutte le parti strutturali unicamente sulla base delle sollecitazioni ottenute dall'analisi elastica.

È evidente che l'uniforme resistenza non garantisce di per sé un buon comportamento duttile, per la fragilità di alcuni meccanismi di rottura che si svilupperebbero contemporaneamente ad altri meccanismi duttili, oltre al fatto che le approssimazioni del modello e le differenze tra sollecitazioni resistenti e di calcolo (legate, nel c.a., alla discretizzazione dei diametri dei tondini di acciaio, ai requisiti minimi di armatura previsti, in quantità e disposizione, alle differenze tra resistenze effettive e di progetto dei materiali),

determinano di fatto maggiorazioni incontrollate di resistenza, che portano all'anticipazione dei meccanismi fragili.

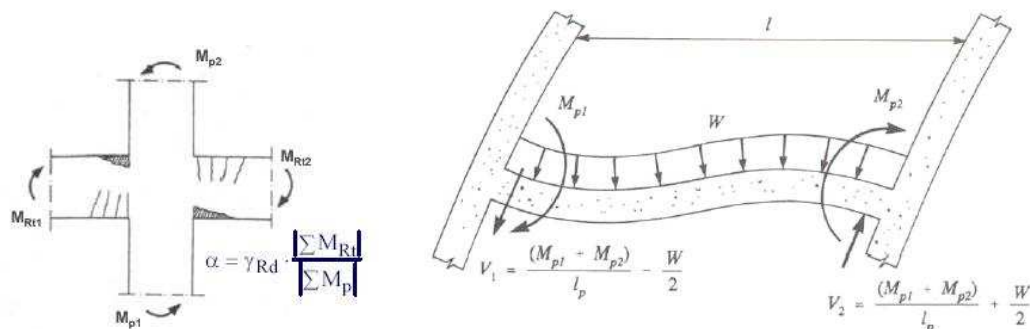


Figura 2: Applicazione della gerarchia delle resistenze nella progettazione dei pilastri a flessione e delle travi a taglio.

La procedura di progetto deve, perciò, partire dalla determinazione delle resistenze delle parti deputate alla dissipazione d'energia con meccanismi duttili (estremità delle travi nei telai), sulla base dei risultati dell'analisi elastica e delle effettive caratteristiche dell'elemento (geometria e armature nel c.a.). Successivamente, attraverso semplici equazioni d'equilibrio locale (equilibrio alla rotazione intorno al nodo, equilibrio alla rotazione di travi e pilastri) riferite alle sollecitazioni resistenti opportunamente maggiorate dei meccanismi duttili, si arriva alla progettazione delle resistenze delle parti non deputate alla dissipazione di energia (pilastri e nodi) e dei relativi meccanismi fragili (taglio nelle travi, nei pilastri, nei nodi).

Ovviamente, ad una progettazione attenta ai meccanismi di rottura a livello di struttura e di elemento occorre affiancare una progettazione attenta dei dettagli strutturali, che condizionano a livello locale l'effettivo sviluppo della duttilità richiesta, per garantire la corretta trasmissione delle sollecitazioni tra i diversi elementi (continuità e limiti geometrici), la prevenzione di modalità di crisi non messe in conto nel calcolo (ad esempio l'instabilità delle barre di armatura), il miglioramento delle caratteristiche di resistenza e duttilità del calcestruzzo (mediante armature di confinamento), una resistenza minima a parti strutturali cruciali e non facilmente progettabili (ad esempio i nodi trave-pilastro).

L'attenta considerazione di tutti questi aspetti relativi sia al comportamento globale che a quello locale vengono premiati con una cospicua riduzione delle azioni (ovvero da valori maggiori del fattore di struttura q). In ogni caso la norma permette di progettare senza applicare il metodo della gerarchia delle resistenze, adottando, però, azioni sismiche più gravose, così da bilanciare la minore duttilità con una maggiore resistenza.

Di seguito si riepilogano i principali punti da seguire per progettare con il principio di gerarchia delle resistenze:

- Pilastri più resistenti delle travi;
- Nodi trave-pilastro più resistenti di travi e pilastri;
- Resistenza a taglio maggiore della resistenza flessionale;
- Resistenza dei diaframmi (solai) maggiore di quella offerta degli elementi (travi, pilastri) collegati;
- Resistenza delle fondazioni maggiore di quella della sovrastruttura.

5 CONCLUSIONI

A fronte dell'importanza che oggi assume lo studio della risposta meccanica delle strutture ai sismi e delle metodologie o tecniche per la progettazione di costruzioni con criteri antisismici tali da ridurre al minimo il rischio sismico, nel presente lavoro viene mostrato ed approfondito un valido approccio progettuale d'avanguardia, che prende il nome di principio di Gerarchia delle Resistenze o Capacity Design, che nell'ambito di una progettazione antisismica permette di raggiungere livelli di protezione molto più elevati rispetto a quelli che si avrebbero nel caso in cui ci si servisse di un approccio progettuale di tipo tradizionale.

La progettazione mediante Capacity Design prevede infatti la determinazione delle resistenze delle parti deputate alla dissipazione d'energia con meccanismi duttili sulla base dei risultati dell'analisi elastica e delle effettive caratteristiche dell'elemento (geometria e armature). Attraverso poi semplici equazioni d'equilibrio locale riferite alle sollecitazioni resistenti opportunamente maggiorate dei meccanismi duttili, si arriva alla progettazione delle resistenze delle parti non deputate alla dissipazione di energia e dei relativi meccanismi fragili.

E' evidente come il principio di gerarchia delle resistenze sia una strategia progettuale di fondamentale importanza poiché in grado di assicurare, anche in maniera efficace, una protezione preventiva dei danni materiali e dell'incolumità fisica delle persone; sono queste le ragioni che lo conducono oggi ad essere una delle filosofie progettuali più apprezzate dal mondo scientifico, amministrativo, normativo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Verderame G.M., Stella A., Cosenza E. “ Le proprietà meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzati negli anni '60”X Congresso Nazionale ANIDIS "L'ingegneria Sismica in Italia", Potenza-Matera, 9-13 settembre 2001.
- [2] Ghersi, A., Muratore, M., “Verifica e progetto allo stato limite ultimo di pilastri in c.a. a sezione rettangolare: un metodo semplificato”, *Ingegneria Sismica*, Anno XXI, N. 3, settembre-dicembre 2004.
- [3] Cosenza E., Manfredi G., Pecce M., *Strutture in cemento armato*, Hoepli Milano, 2008.
- [4] “Progetto agli stati limite delle strutture in c.a. – parte prima e seconda” – A.Migliacci e F.Mola. – Masson Editore.
- [5] “Atti del corso di aggiornamento in tema di ingegneria sismica” Udine 1981.
- [6] “Reinforced Concrete Structures” – R.Park e T.Paulay – Wiley e Sons, 1975.