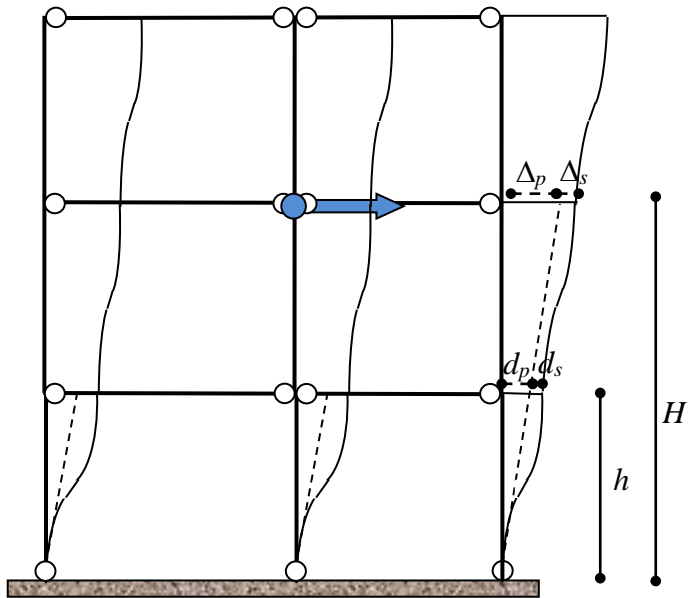
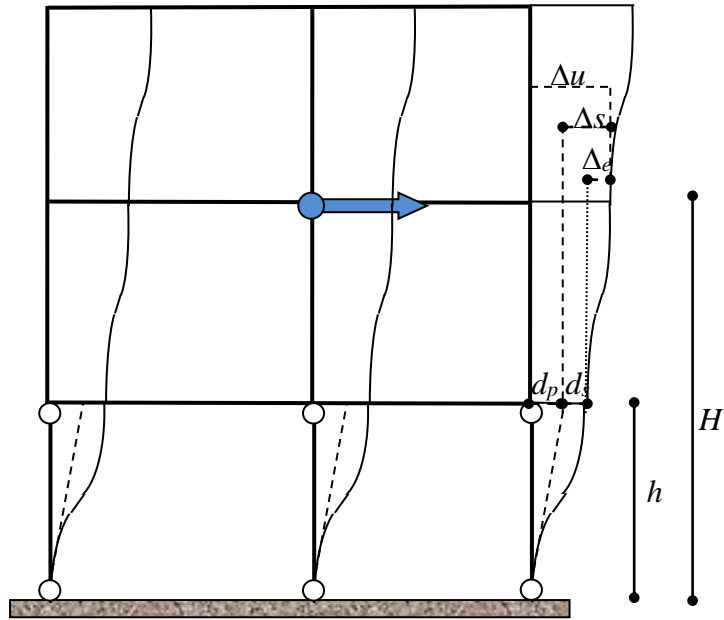


**IL "PERFORMANCE-BASED DESIGN"**



Con la denominazione di “performance based design” s’intende far riferimento ad una strategia di progetto basata sulla valutazione delle capacità di prestazione che la struttura deve essere in grado di esplicitare al crescere dell’intensità delle azioni esterne applicate. Per essa il parametro di riferimento da controllare è lo spostamento (e non la resistenza, come richiesto dalle indicazioni normative precedenti alla NTC del 14/01/2008), sempre capace di cogliere la specifica fase di cimento, in campo elastico o plastico, in cui si trovi la costruzione.

Nel caso sismico la logica del “performance-based design” prevede l’identificazione di differenti livelli di prestazione cui l’edificio nella sua globalità deve soddisfare al variare dell’intensità dell’evento e delle sue caratteristiche spettrali, mediante la rappresentazione grafica di una curva di capacità rappresentativa della legge di variazione del tagliante di base con lo spostamento di un punto sommitale della struttura in esame (Figura 1).

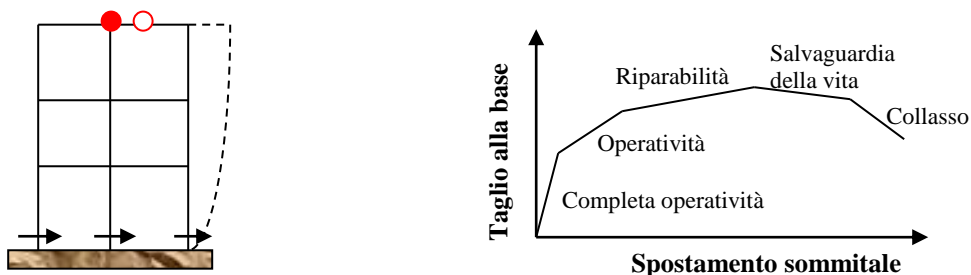


Figura 1 –Esempio d’applicazione del metodo di concentrazione delle caratteristiche

Secondo la normativa americana sono da ritenersi significativi i seguenti livelli di prestazione (Figura 1):

- *Completa Operatività*: le attività non vengono interrotte e i danni sono trascurabili;
- *Operatività*: le attività non vengono interrotte e si verificano danni marginali;
- *Riparabilità*: i danni, pur riparabili, sono tali da interrompere le attività;
- *Salvaguardia della Vita*: la vita umana non viene messa in pericolo ma si verificano danni ingenti, talvolta anche irreparabili, con interruzione delle attività;
- *Collasso*: i danni sono tali da mettere a rischio la stabilità della struttura e quindi la vita umana.

Dei cinque precedenti livelli l’attuale Norma Tecnica, NTC 2018, al §3.2.1 ne raggruppa i primi due in un unico stato limite di riferimento, mentre per i restanti viene stabilita una denominazione analoga a quella americana; in sintesi la classificazione adottata e le prestazioni richieste per ciascun livello sono quelle di seguito riportate:

“Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- *Stato Limite di Danno (SLD)*: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.”

Applicare il “performance-based design” utilizzando gli strumenti comunemente impiegati per la progettazione di edifici in zona sismica (come ad esempio l'analisi statica lineare o l'analisi dinamica lineare con spettro di risposta) richiede la definizione della duttilità ed il riconoscimento della sua importanza nella progettazione, la definizione di un legame tra duttilità locale e globale, e quindi di un legame fra quest'ultima e le forze statiche di progetto.

Al §2.3 delle NTC 2008 viene fatto esplicito riferimento alla necessità di adottare “tutte le regole di dettaglio volte ad assicurare caratteristiche di duttilità agli elementi strutturali ed alla costruzione nel suo insieme”, secondo quanto indicato nello stesso documento. Lo stesso concetto viene ribadito, pur con altre parole, nel corrispondente paragrafo delle NTC2018.

Per capire il significato della richiesta ed i modi per attuarla può essere utile riesaminare i concetti di *rigidezza*, *resistenza* e *duttilità*, che costituiscono le tre grandezze fondamentali che caratterizzano il comportamento di una struttura sotto l'azione sismica.

In riferimento alla curva di capacità di una struttura, la rigidezza può essere intesa come la pendenza della retta media rappresentativa della fase di risposta elastica della

struttura; la resistenza individua il valore limite di forza nel passaggio dalla fase elastica alla plastica, mentre la duttilità di struttura deve essere intesa come il rapporto fra lo spostamento limite del punto sommitale dell'edificio imminente prima del collasso,  $\Delta u$  (ovvero prima dell'attivazione del meccanismo di collasso), e quello che corrisponda alla condizione limite di comportamento elastico della struttura stessa,  $\Delta y$ . Il differente ruolo svolto da queste tre grandezze può essere messo in luce facendo riferimento ad un comportamento di tipo prestazionale della struttura, al crescere dell'importanza dell'evento considerato. Possono essere infatti distinti i tre seguenti casi:

- per terremoti di piccola e media intensità, una struttura deve avere sufficiente rigidezza per assicurare che vengano minimizzati i danni non-strutturali (a parità di forza una maggiore rigidezza assicura minori spostamenti e quindi minori deformazioni - Stato Limite di Operatività);
- per terremoti di media intensità, una struttura deve avere sufficiente resistenza per assicurare che, rimanendo in campo elastico, vengano minimizzati i danni strutturali e non (restando in campo elastico si limitano spostamenti e rotazioni degli elementi strutturali e quindi i danni – Stato Limite di Danno);
- per terremoti di elevata intensità, una struttura deve avere sufficiente capacità di spostamento, ovvero duttilità, per potersi deformare senza perdita eccessiva di resistenza (una buona capacità di duttilità permette di sopportare elevati spostamenti senza arrivare al collasso della struttura e quindi, pur ammettendo gravi danni, permette di evitare la perdita di vite umane – Stato Limite di salvaguardia della Vita e Stato Limite di Collasso).

Dalla precedente definizione di duttilità di struttura, più dettagliatamente discussa nel seguito, è possibile cogliere come essa sia strettamente correlata alla capacità dell'elemento di deformarsi anelasticamente e quindi alla sua capacità di dissipare energia, strettamente rapportabile all'area del ciclo d'isteresi.

Ammettere che una struttura abbia un comportamento duttile permette di:

- salvaguardarsi da rotture di tipo fragile e quindi da improvvise catastrofi, che si possono verificare quando le forze d'inerzia dovute al sisma superano le capacità del sistema; generalmente una struttura progettata per deformarsi anelasticamente sopprime all'eccesso di richiesta con ulteriori deformazioni, mentre una struttura, progettata per rimanere in campo elastico, una volta raggiunta la resistenza di progetto può essere soggetta ad un collasso fragile;
- dissipare energia tramite i cicli isteretici indotti dalle forze cicliche dovute al sisma, evitando quindi che si manifestino oscillazioni eccessive in termini di accelerazione e spostamento durante l'applicazione dell'azione sismica;
- conseguire vantaggi economici in quanto potrebbe risultare inaccessibilmente dispendioso progettare una struttura affinché rimanga in campo elastico sotto azioni estremamente rare;
- aumentare i periodi propri di vibrazione. Un aumento del periodo durante il moto sismico allontana la struttura dalla risonanza, ovvero dalla condizione di massima amplificazione della risposta, riducendone le sollecitazioni conseguenti.

Realizzare una struttura con comportamento duttile impone al progettista di capirne la risposta sotto l'azione sismica e di stabilire quale capacità di spostamento richiedere affinché il sistema resista ad un evento di data intensità con un prestabilito livello di danno. Ciò implica anche la verifica che la duttilità richiesta sia inferiore a quella esplicabile dalla costruzione.

Poiché in generale una struttura può presentare numerose e diverse modalità di danno e di collasso, quanto sopra esposto può essere tradotto operativamente facendo sì che quelle caratterizzate da una significativa duttilità precedano sempre condizioni di crisi di tipo fragile, impedendone così il verificarsi. Questa strategia viene definita "principio della gerarchia delle resistenze", secondo la dizione italiana, e "capacity design" secondo quella anglosassone. Le due espressioni hanno apparentemente significato diverso, sottolineando due aspetti fondamentali di una stessa filosofia di progettazione. Secondo la prima denominazione l'obiettivo che ci si prefigge è chiaramente quello di produrre una gerarchia di accadimento delle modalità di danno e collasso secondo cui i modi duttili precedano quelli fragili. Secondo la denominazione di "capacity design" l'attenzione viene invece polarizzata sulla modalità di perseguimento dell'obiettivo, ovvero facendo sì che i modi fragili siano dimensionati in funzione della capacità dei modi duttili, anziché in funzione delle azioni di progetto. Progettare secondo la filosofia della "gerarchia delle resistenze" consiste dunque nel disporre, all'interno del sistema, le zone dissipative, ovvero quelle che dovranno essere sedi di cerniere plastiche, in modo tale da essere esse stesse prioritariamente responsabili dell'attivazione del modo di rottura voluto, scelto per rendere massima la capacità deformativa e dissipativa della struttura prima del collasso. A parità di pericolosità sismica dell'evento, tutte le altre zone vengono invece progettate per mantenersi in ambito elastico.

Riguardo al tipo di elemento coinvolto deve essere quindi stabilita la seguente priorità di formazione delle cerniere plastiche e di localizzazione delle zone di crisi:

alle estremità delle travi;

alle estremità dei pilastri;

in corrispondenza dei nodi o dei collegamenti.

Riguardo al tipo di sollecitazione causante la crisi, deve invece essere rispettata la seguente priorità:

formazione di cerniere plastiche per flessione alle estremità delle travi;

raggiungimento del limite di resistenza per taglio alle estremità delle travi;

formazione di cerniere plastiche per pressoflessione alle estremità dei pilastri;

raggiungimento del limite di resistenza per taglio alle estremità dei pilastri;

crisi per taglio del nodo o dei collegamenti.

Per garantire ciò la Norma Tecnica impone quanto segue: per impedire un collasso per taglio in un elemento di trave o di colonna devono essere utilizzate, come sollecitazioni di progetto quelle derivanti dalla sua resistenza flessionale, ovvero quelle ottenute dalla somma delle resistenze flessionali delle sezioni di estremità divisa per la lunghezza dell'elemento; per impedire la formazione di cerniere plastiche alle estremità delle colonne convergenti in un nodo è sufficiente utilizzare come sollecitazioni di progetto quelle derivanti dalla somma delle resistenze flessionali delle travi convergenti nel medesimo nodo.