

Corso di aggiornamento professionale

# Vulnerabilità Sismica ed Adeguamento di Costruzioni Esistenti in Calcestruzzo Armato

***7 maggio – 7 giugno 2013***

*Aula Magna Seminario Vescovile Via Puccini, 36 - Pistoia*



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PISTOIA



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



## ***Valutazione e riduzione della vulnerabilità degli elementi strutturali, non strutturali ed impianti.***

- La conoscenza del manufatto. Indagini in situ distruttive e non distruttive.
- La valutazione della capacità degli elementi strutturali di calcestruzzo armato.
- Il ruolo del confinamento del calcestruzzo e la verifica della duttilità.
- Esempi applicativi: edificio multipiano di calcestruzzo armato ed edificio prefabbricato.

**Rosario Gigliotti**

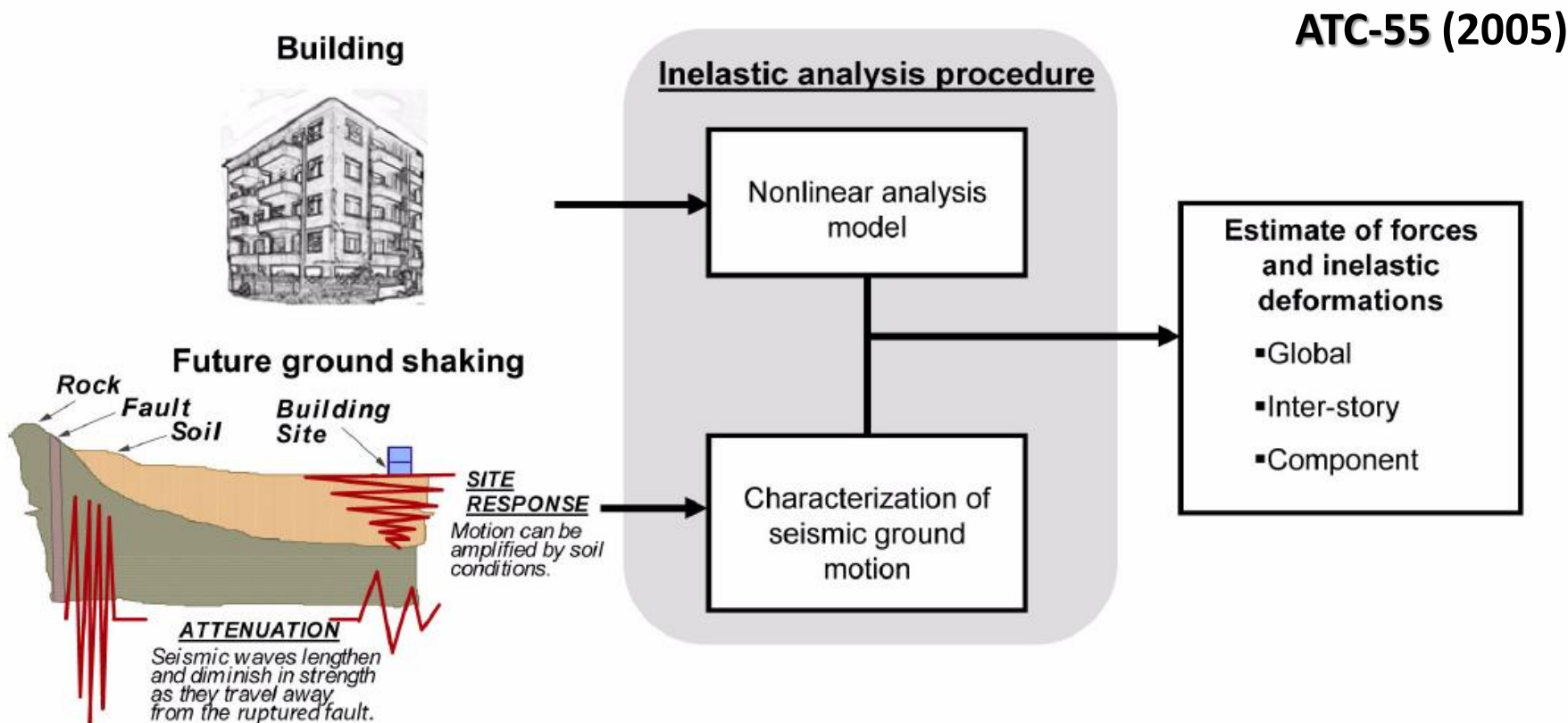
rosario.gigliotti@uniroma1.it



## PARTE II

# Normative, Istruzioni e Linee Guida per le verifiche della vulnerabilità sismica delle costruzioni esistenti

## ATC-55 (2005)



Rappresentazione schematica dell'uso delle procedure di analisi non lineari per la valutazione delle forze e delle deformazioni in campo inelastico per un dato input sismico con un modello di analisi non lineare dell'edificio.

# Normative, Istruzioni e Linee Guida per le verifiche sismiche degli edifici esistenti

- **Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008 )**  
D.M. 14 gennaio 2008
- **Circolare 2 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.**  
*Istruzioni per l'applicazione delle*  
*“Norme Tecniche per le costruzioni”*
- **Linee Guida Regioni e Province**

# NTC 2008

## 8 COSTRUZIONI ESISTENTI

### 8.1 OGGETTO

Il presente capitolo definisce i criteri generali per la **valutazione della sicurezza** e per la **progettazione, l'esecuzione ed il collaudo degli interventi** sulle costruzioni esistenti.

È definita costruzione esistente quella che abbia, alla data della redazione della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento, la struttura **completamente realizzata**.



# NTC 2008

## 8.2 CRITERI GENERALI

Per quanto non diversamente specificato nel presente capitolo, le disposizioni di carattere generale contenute negli altri capitoli della presente norma costituiscono il riferimento anche per le costruzioni esistenti.

Nel caso di interventi non dichiaratamente strutturali (impiantistici, di redistribuzione degli spazi, ecc.) dovrà essere valutata la loro possibile interazione con gli SLU e gli SLE della struttura o parti di essa.

# NTC 2008

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:

- la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;
- la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.



# NTC 2008

Nella definizione dei modelli strutturali, si dovrà, inoltre, tenere conto che:

- la **geometria** e i **dettagli costruttivi** sono definiti e la loro *conoscenza* dipende solo dalla documentazione disponibile e dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive;
- la *conoscenza* delle **proprietà meccaniche dei materiali** non risente delle incertezze legate alla produzione e posa in opera ma solo della omogeneità dei materiali stessi all'interno della costruzione, del livello di approfondimento delle indagini conoscitive e dell'affidabilità delle stesse;
- i **carichi permanenti** sono definiti e la loro *conoscenza* dipende dal livello di approfondimento delle indagini conoscitive.



# NTC 2008

Si dovrà prevedere l'impiego di metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e l'uso, nelle verifiche di sicurezza, di adeguati “**fattori di confidenza**”, che modificano i parametri di capacità in funzione del *livello di conoscenza* relativo a geometria, dettagli costruttivi e materiali.

## ...in sintesi...

- Gli edifici esistenti si distinguono da quelli di nuova progettazione perché il progetto:
  - riflette le conoscenze al tempo della loro costruzione
  - può contenere difetti di impostazione concettuale e di realizzazione i cui effetti non sono manifesti
- ... possono essere stati soggetti a terremoti passati o ad altre azioni (accidentali, degrado...) i cui effetti non sono manifesti

## ...in sintesi...

- La valutazione della sicurezza ed il progetto degli interventi sono normalmente affetti da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione.
- Ciò comporta l'impiego di adeguati **fattori di confidenza** nelle verifiche di sicurezza come pure **metodi di analisi e di verifica dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile.**

## 8.3 Valutazione della sicurezza

Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza **quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:**

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti, significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali, situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modificano la rigidità.

## 8.3 Valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- L'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

La valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano gli interventi strutturali di cui al punto 8.4, e dovrà **determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento.**

# Miglioramento vs Adeguamento

- Il **Miglioramento Sismico** implica interventi volti a diminuire la vulnerabilità sismica di una struttura, **senza** elevare la sicurezza ai livelli previsti per le strutture nuove
- L'**Adeguamento Sismico** richiede invece interventi mirati a portare la struttura ai livelli di sicurezza previsti per le strutture nuove.  
I carichi sismici e le verifiche sono quindi quelle **richieste** per le strutture nuove.

# Intervento di adeguamento

- E' obbligatorio eseguire **valutazioni di sicurezza** sismica e, se necessario, effettuare interventi di **adeguamento**, a chiunque intenda:
  - a) **sopraelevare** la costruzione
  - b) **ampliare** la costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione
  - c) apportare **variazioni di classe e/o di destinazione d'uso** che comportino incrementi dei carichi globali in fondazione superiori al 10%;
  - Effettuare **interventi strutturali** che portino a un organismo edilizio diverso dal precedente



# Intervento di miglioramento

- Rientrano negli interventi di miglioramento tutti gli interventi che siano comunque finalizzati ad accrescere la capacità di resistenza delle strutture esistenti alle azioni considerate.
- È possibile eseguire interventi di miglioramento nei casi in cui non ricorrano le condizioni specificate al paragrafo 8.4.1.
- Per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico, ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”, è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento **effettuando la relativa valutazione della sicurezza**.

# Procedure per la valutazione

- Negli edifici esistenti le situazioni concrete riscontrabili sono le più diverse ed è quindi **impossibile** prevedere regole specifiche e dettagliate per tutti i casi.
- I contenuti del paragrafo 8.5 costituiscono un **riferimento generale**. Il modello per la valutazione della sicurezza dovrà essere definito e giustificato dal progettista, caso per caso (...)

# Procedure per la valutazione

- **Analisi storico-critica:** ricostruire il processo di realizzazione, le modificazioni e gli eventi che hanno interessato la costruzione;
- **Rilievo:** geometrico, strutturale, dei dissesti e meccanismi di danno
- **Caratterizzazione meccanica dei materiali:** sulla base della documentazione disponibile, verifiche in situ e indagini sperimentali
- **Livelli di conoscenza e fattori di confidenza:** definire il livello di conoscenza e i correlati fattori di confidenza da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali

## § 8.7.2 - Edifici in c.a.

- Nelle costruzioni esistenti in cemento armato o in acciaio soggette ad azioni sismiche viene attivata la capacità di elementi e meccanismi resistenti, che possono essere “**duttili**” o “**fragili**”.
- I **meccanismi duttili** possono essere attivati in maniera diffusa su tutta la costruzione, oppure in maniera non uniforme, ad esempio localizzandosi in alcune parti critiche o su un unico piano. La plasticizzazione di un elemento o l’attivazione di un meccanismo duttile **in genere non comportano il collasso della struttura**.
- I **meccanismi fragili** possono localizzarsi in qualsiasi punto della struttura e **possono determinare il collasso dell’intera struttura**.

## § 8.7.2 - Edifici in c.a.

- L'analisi sismica globale deve utilizzare, per quanto possibile, metodi di analisi che consentano di valutare in maniera appropriata sia la resistenza che la duttilità disponibile.
- I meccanismi “duttili” si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di deformazione.
- I meccanismi “fragili” si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di resistenza.

## § 8.7.2 - Edifici in c.a.

- Per il calcolo della capacità di elementi/meccanismi duttili o fragili si impiegano le proprietà dei materiali esistenti, determinate secondo le modalità indicate al punto 8.5.3, divise per i fattori di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto
- Per il calcolo della capacità di resistenza degli elementi fragili primari, le resistenze dei materiali si dividono per i corrispondenti coefficienti parziali e per i fattori di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto.

## § 8.7.4 - Criteri e tipi di intervento

- Per tutte le tipologie di costruzioni esistenti gli interventi di consolidamento vanno applicati, per quanto possibile, in modo **regolare ed uniforme**. L'esecuzione di interventi su porzioni limitate dell'edificio va opportunamente valutata e giustificata.
- Particolare attenzione deve essere posta alla **fase esecutiva** degli interventi, in quanto una cattiva esecuzione può peggiorare il comportamento globale delle costruzioni.
- **La scelta del tipo**, della tecnica, dell'entità e dell'urgenza **dell'intervento dipende dai risultati della precedente fase di valutazione**, dovendo mirare prioritariamente a **contrastare lo sviluppo di meccanismi locali e/o di meccanismi fragili** e, quindi, a migliorare il comportamento globale della costruzione.

## ...per le strutture in c.a...

Per le strutture in c.a. ed in acciaio si prenderanno in considerazione, valutandone l'eventuale necessità e l'efficacia, anche le tipologie di intervento di seguito esposte o loro combinazioni:

- rinforzo di tutti o parte degli elementi;
- aggiunta di nuovi elementi resistenti, quali pareti in c.a., controventi in acciaio, etc.;
- eliminazione di eventuali comportamenti a piano “debole”;
- introduzione di un sistema strutturale aggiuntivo in grado di resistere per intero all'azione sismica di progetto;
- eventuale trasformazione di elementi non strutturali in elementi strutturali, come nel caso di incamiciatura in c.a. di pareti in laterizio;



## § 8.7.5 - Progetto dell'intervento

- Verifica della struttura prima dell'intervento con identificazione delle carenze e del livello di azione sismica per la quale viene raggiunto lo SLU (e SLE se richiesto);
- Scelta motivata del tipo di intervento;
- Scelta delle tecniche e/o dei materiali;
- Dimensionamento preliminare dei rinforzi e degli eventuali elementi strutturali aggiuntivi;
- Analisi strutturale considerando le caratteristiche della struttura post-intervento;

# Conclusioni:

- Il problema della sicurezza delle costruzioni esistenti è di fondamentale importanza in Italia da un lato per l'elevata vulnerabilità, soprattutto rispetto alle azioni sismiche, dall'altro per il valore storico-architettonico-artistico-ambientale di gran parte del patrimonio edilizio esistente.
- A ciò si aggiunge la notevole varietà di tipologie e sub-tipologie strutturali, quali, ad esempio nell'ambito delle strutture murarie (...)

# Conclusioni:

Ne deriva una particolare complessità delle problematiche coinvolte ed una difficile standardizzazione dei metodi di verifica e di progetto



Per questo, **più che nelle altre parti** delle NTC, è stato seguito un **approccio prestazionale**, con l'adozione di **poche regole di carattere generale ed alcune indicazioni** importanti per la correttezza delle diverse fasi di analisi, progettazione, esecuzione.

...per tutto il resto...

**Circolare 2 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.**

*Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni"*



**Circolare 2 febbraio 2009 n. 617/C.S.LL.PP.**  
***Istruzioni per l'applicazione delle "Norme  
Tecniche per le costruzioni"***

## §C8.3 - Valutazione della sicurezza

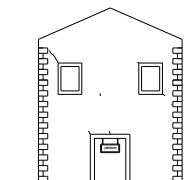
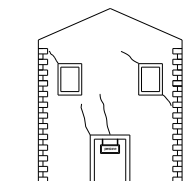
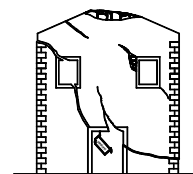
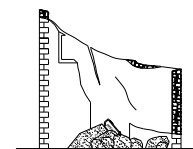
Per valutazione della sicurezza si intende un procedimento quantitativo volto a:

- stabilire se una struttura esistente **è in grado o meno di resistere** alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle NTC
- a **determinare l'entità massima delle azioni**, considerate nelle combinazioni di progetto previste, che la struttura è capace di sostenere con i margini di sicurezza richiesti dalle NTC, definiti dai coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sui materiali.

## § C8.3 – Valutazione della sicurezza

Le norme fanno riferimento allo stato di danneggiamento della struttura definito mediante i quattro Stati Limite (SL):

- *SL di Collasso (SLC)*  
5% in  $V_R$
- *SL di Salvaguardia della vita (SLV)*  
(corrisponde a SLU dei nuovi)  
10% in  $V_R$
- *SL di Danno (SLD)*  
(corrisponde a SLE dei nuovi)  
63% in  $V_R$
- *SL di Operatività (SLO)*  
81% in  $V_R$



# SL di Prevenzione del Collasso CO: definizione

- **Struttura**
  - **Fortemente danneggiata**, ridotte caratteristiche di resistenza e rigidezza laterale residue, appena in grado di sostenere i carichi verticali
- **Elementi non strutturali**
  - **Distrutti** per la maggior parte
- **Riparazione**
  - **Non considerata**. L'edificio presenta un fuori piombo significativo e non sarebbe in grado di subire senza collasso ulteriori, anche modeste, accelerazioni al suolo



# SL di Salvaguardia della Vita SLV: definizione

- **Struttura**
  - **Danni significativi**, con notevoli riduzioni di resistenza e rigidezza laterale
- **Elementi non strutturali**
  - **Danneggiati**, ma senza espulsione di tramezzi e tamponature
- **Riparazione**
  - **Considerata**. In caso di deformazioni residue, risulta in genere economicamente non conveniente





# SL di Danno SLD: definizione

- **Struttura**

- **Danni modesti**,  
senza significative  
escursioni in campo plastico

- **Elementi non strutturali**

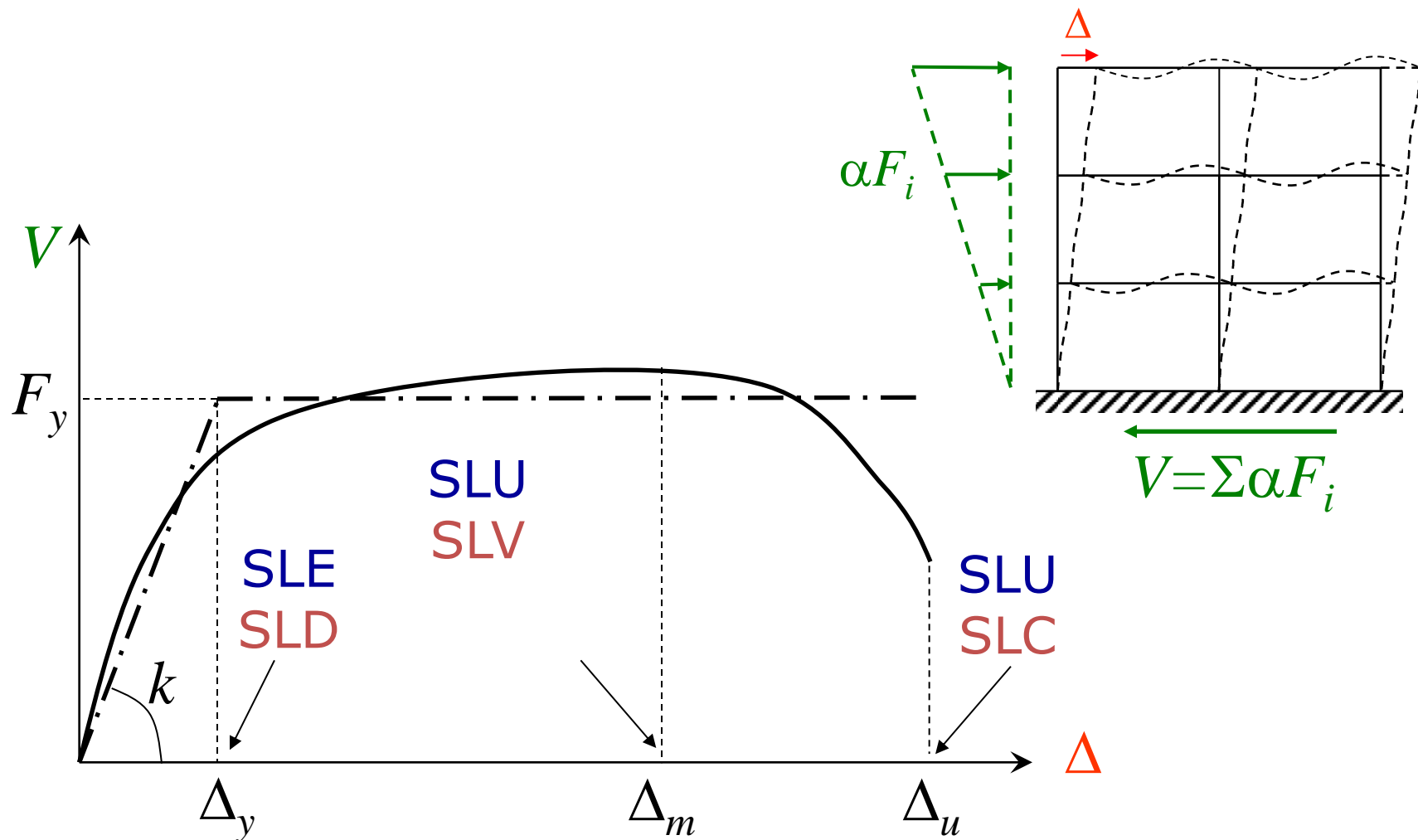
- Presentano **fessurazione diffusa** suscettibile di  
riparazioni di modesto impegno economico

- **Riparazione**

- **Non necessaria**. Le deformazioni residue sono  
trascurabili, resistenza e rigidità degli elementi  
portanti non sono compromesse e non sono necessarie  
riparazioni



# § C8.3 – Valutazione della sicurezza



## § C8.3 – Valutazione della sicurezza

- La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti **con riferimento ai soli SLU**
- Le Verifiche agli SLU possono essere eseguite **rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC).**
- nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli SLE i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista di concerto con il Committente.

## § C8.3 – Valutazione della sicurezza

Le NTC individuano due grandi categorie di situazioni nelle quali è obbligatorio effettuare la verifica di sicurezza:

- variazioni, improvvise o lente, **indipendenti dalla volontà dell'uomo** (es. danni dovuti al sisma, urti, cedimenti fondali, degrado, errori progettuali o esecutivi)
- variazioni **dovute all'intervento dell'uomo**, che incide direttamente e volontariamente sulla struttura, sulle azioni (ad esempio: aumento dei carichi verticali), o che incide indirettamente sul comportamento della struttura

## § C8.3 – Valutazione della sicurezza

Le modalità di verifica dipendono dal modo in cui tali variazioni si riflettono sul comportamento della struttura:

variazioni relative a porzioni limitate della struttura, che influiscono solo sul comportamento locale di uno o più elementi strutturali o di porzioni limitate della struttura



la verifica potrà concernere solamente le porzioni interessate dalle variazioni apportate (es. variazione di carico su un campo di solaio)

## § C8.3 – Valutazione della sicurezza

Le modalità di verifica dipendono dal modo in cui tali variazioni si riflettono sul comportamento della struttura:

variazioni che implicano sostanziali differenze di comportamento globale della struttura



la verifica sarà necessariamente finalizzata a determinare l'effettivo comportamento della struttura nella nuova configurazione

## § C8.4 – Classificazione degli interventi

### ADEGUAMENTO

- La valutazione della sicurezza, nel caso di intervento di adeguamento, è finalizzata a stabilire se la struttura, a seguito dell'intervento, è in grado di resistere alle combinazioni delle azioni di progetto contenute nelle NTC

*Non è, in generale, necessario il soddisfacimento delle prescrizioni sui dettagli costruttivi valide per le costruzioni nuove, purché il Progettista dimostri che siano garantite comunque le prestazioni in termini di resistenza, duttilità e deformabilità previste per i vari stati limite.*

## § C8.4 – Classificazione degli interventi

### MIGLIORAMENTO

- La valutazione della sicurezza per un intervento di miglioramento è obbligatoria, ed è finalizzata a determinare l'entità massima delle azioni cui la struttura può resistere con il grado di sicurezza richiesto.

*Nel caso di intervento di miglioramento sismico, la valutazione della sicurezza riguarderà, necessariamente, la struttura nel suo insieme, oltre che i possibili meccanismi locali.*



## § C8.5.3 – Caratterizzazione meccanica dei materiali

- Il **piano delle indagini** fa comunque parte sia della fase diagnostica che del progetto vero e proprio, e dovrà essere predisposto nell'ambito di un quadro generale volto a mostrare le motivazioni e gli obiettivi delle indagini stesse.
- Nel caso in cui vengano effettuate **prove** sulla struttura, **attendibili ed in numero statisticamente significativo**, i valori delle **resistenze meccaniche dei materiali** vengono desunti da queste e prescindono dalle classi discretizzate previste nelle NTC (come ad esempio quelle del calcestruzzo di cui al § 4.1 delle NTC).

## § C8.5.4 – Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza

- Una guida alla stima dei fattori di confidenza da utilizzare, in relazione ai livelli di conoscenza raggiunti, è riportata in **Appendice C8A**.

## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

- Gli elementi che contribuiscono alla capacità sismica sono definiti **primari**.
- Differentemente dalle nuove costruzioni, **alcuni elementi considerati non strutturali**, ma comunque dotati di resistenza non trascurabile (es. le tamponature robuste), o anche strutturali, ma comunemente non presi in conto nei modelli (es. i travetti di solaio, **possono essere presi in conto nelle valutazioni di sicurezza globali** della costruzione, a condizione che ne sia adeguatamente verificata la loro efficacia.

## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

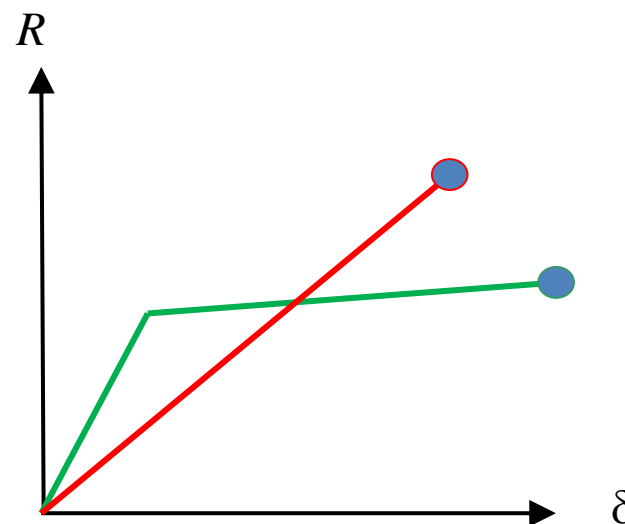
● Gli elementi strutturali vengono distinti in:

- **Duttili**

- Verifica: si confrontano le **deformazioni** indotte dalle azioni sismiche con i rispettivi limiti di **deformabilità**

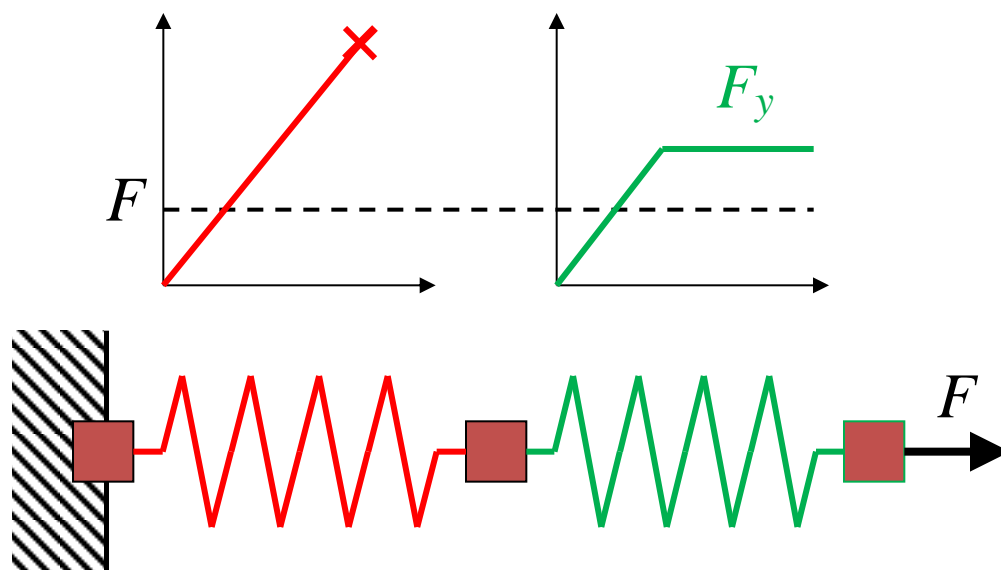
- **Fragili**

- Verifica: si confrontano le **forze** indotte dalle azioni sismiche con le rispettive **resistenze**



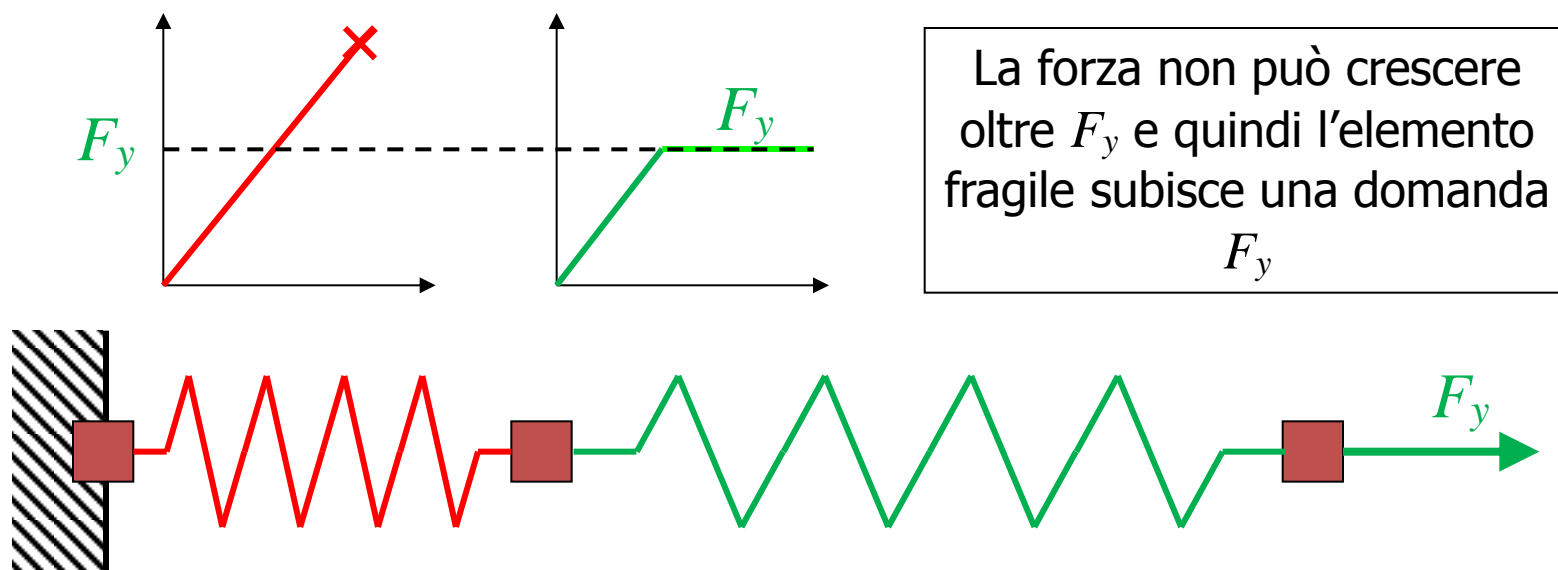
## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

- Secondo la gerarchia delle resistenze si tratta di valutare la domanda sugli e/m **fragili** in base alla capacità degli e/m **duttili**



## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

- Secondo la gerarchia delle resistenze si tratta di valutare la domanda sugli e/m **fragili** in base alla capacità degli e/m **duttili**



## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

### ● SL di Collasso

#### ● e/m Duttile

- **Domanda:** effetti delle azioni derivanti dall'analisi
- **Capacità:** deformazioni ultime

#### ● e/m Fragili

- **Domanda:** gli effetti derivanti dall'analisi possono essere modificati con criteri “gerarchici”
- **Capacità:** resistenze ultime

## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

### ● SL di Salvaguardia della vita

#### ● e/m Duttili

- **Domanda:** effetti delle azioni derivanti dall'analisi
- **Capacità:** deformazioni di danno

#### ● e/m Fragili

- **Domanda:** gli effetti derivanti dall'analisi possono essere modificati con criteri “gerarchici”
- **Capacità:** resistenze “prudenzialmente ridotte”



## § C8.7.2.1 – Requisiti di sicurezza

### ● SL di Danno

#### ● Struttura nel suo insieme

- **Domanda:** spostamenti derivanti dall'analisi
- **Capacità:** limiti validi per le nuove costruzioni (in mancanza di specifiche valutazioni)