

Corsi di aggiornamento
Progettazione strutturale
e Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni

9. Vulnerabilità e rischio sismico di edifici esistenti in c.a.

02 – Valutazione della vulnerabilità
di un edificio esistente

Villa Redenta, Spoleto, 22-24 novembre 2018
Aurelio Ghersi

Valutazione della vulnerabilità di un edificio

Obiettivi:

- Comprendere in che modo si comporta l'edificio durante il sisma, in modo da individuarne qualitativamente e quantitativamente le debolezze
- Fornire una stima quantitativa dell'accelerazione a_g (PGA) che porta al raggiungimento dello stato limite di danno SLD
- Fornire una stima quantitativa dell'accelerazione a_g (PGA) che porta al raggiungimento dello stato limite di salvaguardia della vita SLV (oppure SLC)
- Per farlo occorre affrontare diversi problemi:
 - Conoscenza della struttura
 - Modellazione della struttura
 - Tipo di analisi da effettuare

Valutazione della vulnerabilità di un edificio

Conoscenza

- Abbiamo di fronte un edificio reale e dobbiamo cercare di capire al meglio:
 - La sua geometria
 - Gli elementi strutturali
 - Le caratteristiche meccaniche dei materiali che lo compongono
 - La possibile influenza degli elementi non strutturali
- Una conoscenza perfetta è praticamente impossibile
 - Una analisi preliminare, anche di massima, può fornire indicazioni su aspetti della conoscenza da approfondire ed aiutare nella definizione di un piano di indagine
 - Dobbiamo decidere come tener conto delle incertezze e della dispersione dei valori che siamo riusciti a misurare

Valutazione della vulnerabilità di un edificio

Modellazione

- Quello che noi esaminiamo numericamente è sempre un modello della realtà
 - Nessun modello può cogliere esattamente la realtà
 - Modelli più sofisticati possono aiutare a comprendere il reale comportamento, ma sono più sensibili alle incertezze di conoscenza e ai possibili errori nella definizione del modello
- Nel modello potremmo tener conto delle incertezze nei valori (**incertezze aleatorie**) mediante analisi probabilistiche - ma è oneroso farlo
- Esistono incertezze non valutabili in maniera probabilistica (**incertezze epistemiche**)

Valutazione della vulnerabilità di un edificio

Tipi di analisi

- Il reale comportamento sismico è dinamico non lineare
 - Analizzarlo in questo modo è troppo oneroso ed inserisce ulteriori incertezze
- Noi cerchiamo di coglierlo con analisi più semplici
 - Analisi lineare (analisi modale con spettro di risposta)
 - Analisi statica non lineare
- Ciascun tipo di analisi è condizionato dalle incertezze dei dati
 - Usare più tipi di analisi, partendo dalla più semplice e passando poi alla più complessa può consentire di tenere sotto controllo gli effetti delle incertezze

Procedimento da seguire

1. Esame qualitativo della struttura
 - per individuarne i punti deboli
2. Valutazione preliminare delle caratteristiche di sollecitazione con procedimenti semplificati
3. Analisi lineare (modale con spettro di risposta):
 - fornisce caratteristiche di sollecitazione e spostamenti (che sono proporzionali ad a_g)
4. Analisi non lineare
 - giudizio in termini di sollecitazioni e spostamenti
5. Influenza delle incertezze
 - dare un giusto peso alle incertezze per arrivare ad un valore numerico affidabile

Procedimento da seguire

1 – esame qualitativo

1. Esame qualitativo della struttura

Consente di individuarne i principali punti di debolezza. Ad esempio:

- Presenza di una direzione particolarmente debole, perché sostanzialmente priva di travi emergenti
- Presenza di pilastri molto deboli rispetto alle travi, che potrebbero portare a meccanismi di collasso di piano
- Forti dissimmetrie che potrebbero portare a comportamenti rotazionali pericolosi
- Elementi che possono portare a sollecitazioni localizzate molto forti (scale, ecc.)

Procedimento da seguire

1 – esame qualitativo

1. Esame qualitativo della struttura

Consente di individuarne i principali punti di debolezza. Ad esempio:

- Presenza di una *chén* sostanzialmente
- Presenza di pilas potrebbero portare
- Forti dissimmetrie rotazionali pericolosi *menti*
- Elementi che possono portare a sollecitazioni localizzate molto forti (scale, ecc.)

L'esame qualitativo della struttura è sempre un punto di partenza fondamentale per lo sviluppo successivo delle analisi

Procedimento da seguire

2 – valutazione preliminare

2. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione con procedimenti semplificati

- È opportuno farla, per cogliere l'ordine di grandezza delle sollecitazioni ed individuare quali possono essere i problemi principali
- È utile come validazione dei calcoli successivi (o almeno dei calcoli lineari), ai sensi del capitolo 10 delle NTC08
- Può fornire indicazioni anche per quanto riguarda le indagini da effettuare in sito e sui materiali

Procedimento da seguire

2 – valutazione preliminare

2. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione con procedimenti semplificati

- È opportuno valutare le sollecitazioni principali
- È utile condurre calcoli semplificati
- Può fornire dati da effettuare

La valutazione delle caratteristiche di sollecitazione con procedimenti semplificati può essere utile nelle fasi preliminari, ma è spesso molto meno significativa (rispetto al caso di progettazione ex-novo) a causa della complessità ed eterogeneità delle costruzioni esistenti

Procedimento da seguire

3 – analisi lineare

3. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti con analisi lineare (modale con spettro di risposta o eventualmente statica)

- I risultati variano linearmente con a_g , quindi si può determinare il valore di a_g che porta ad un qualsiasi valore di sollecitazioni

Primo aspetto da controllare: rotture fragili

- Confronto tra taglio sollecitante e taglio resistente
- Individuazione di a_g che porta a rottura a taglio
(se M_{Rd} è basso si potrebbe non avere mai rottura a taglio)
- Verifica di altre possibili rotture fragili (nodi, ecc.)

Procedimento da seguire

3 – analisi lineare

3. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti con analisi lineare (modale con spettro di risposta o eventualmente statica)

- I risultati variano linearmente con a_g , quindi si può determinare il valore di a_g che porta ad un qualsiasi valore di sollecitazioni

Secondo aspetto: plasticizzazione delle sezioni

- Confronto tra momento sollecitante e resistente
- Individuazione di a_g che porta a plasticizzazione a flessione
- Esame della distribuzione dei rapporti $\rho = M_{Ed}/M_{Rd}$ che mostrano se il collasso è globale → indicazioni su q

Procedimento da seguire

3 – analisi lineare

3. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti con analisi lineare (modale con spettro di risposta o eventualmente statica)

- I risultati variano linearmente con a_g , quindi si può determinare il valore di a_g che porta ad un qualsiasi valore di sollecitazioni

Terzo aspetto: raggiungimento del limite di deformazione

- Confronto tra spostamenti relativi di calcolo e valori limite dovuti alla rotazione alla corda
- Controllo dei limiti di applicabilità di questo procedimento (valori di ρ)

Procedimento da seguire

3 – analisi lineare

3. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti con analisi lineare (modale con spettro di risposta o eventualmente statica)

- Primo aspetto da controllare: rotture fragili
- Secondo aspetto: plasticizzazione delle sezioni
- Terzo aspetto: raggiungimento del limite di deformazione

Si possono ottenere informazioni generali abbastanza affidabili sul comportamento della struttura al crescere dell'azione sismica

Procedimento da seguire

3 – analisi lineare

3. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti con analisi lineare (modale con spettro di risposta o eventualmente statica)

- Primo as
- Secondo
- Terzo asp

Si possono
sul compor

L'analisi lineare, vista in maniera tradizionale con l'uso di un fattore di struttura q , è spesso poco significativa, ma diventa molto rilevante se vista come passo per la previsione del comportamento non lineare della struttura

Procedimento da seguire

4 – analisi non lineare

4. Analisi pushover e individuazione di a_g corrispondente ai singoli punti della curva taglio-spostamento
 - Fornisce le caratteristiche di sollecitazione, le deformazioni elastiche e plastiche per un qualsiasi valore di a_g
 - Consente di individuare il valore di a_g per cui si hanno rotture fragili oppure il raggiungimento dei limiti di deformazioni plastiche (rotazione alla corda)
 - In sostanza, consente di comprendere il comportamento della struttura al crescere dell'azione sismica ed individuarne i punti deboli

Procedimento da seguire

4 – analisi non lineare

4. Analisi pushover e individuazione di a_g corrispondente ai singoli punti della curva taglio-spostamento

- Fornisce informazioni elastiche
- Consente di individuare punti fragili o plastici
- In sostanza, consente di individuare i punti deboli della struttura

L'analisi non lineare è fondamentale per la diagnosi del comportamento e per l'individuazione dei punti deboli della struttura ma i suoi risultati sono fortemente condizionati dalla modellazione e dai parametri scelti

Procedimento da seguire

5 – influenza delle incertezze

5. Valutare come cambiano i risultati numerici al variare della modellazione e dei parametri scelti
 - Evidenziare nella relazione le scelte base della modellazione e dei parametri usati
 - Individuare modelli alternativi o valori alternativi plausibili e ripetere l'analisi
 - Dare un peso ai risultati di ciascuna analisi, basato sulla attendibilità di modello e parametri
 - Riportare anche sinteticamente nella relazione le alternative esaminate ed il peso loro dato
 - Assumere in definitiva come valore numerico una media pesata dei risultati delle varie analisi

Procedimento da seguire

5 – influenza delle incertezze

5. Valutare come cambiano i risultati numerici al variare della modellazione e dei parametri scelti

- Evidenziare nella relazione le scelte base della modellazione e dei para
- Individuare le incertezze e ripetere l'analisi per valutare l'influenza delle incertezze
- Dare un'attesa di attendibilità
- Riportare anche sinteticamente nella relazione le alternative esaminate ed il peso loro dato
- Assumere in definitiva come valore numerico una media pesata dei risultati delle varie analisi

Tener conto delle incertezze è fondamentale per fornire una valutazione realistica del comportamento sismico dell'edificio