

Corso di aggiornamento professionale

**Valutazione della vulnerabilità sismica  
di edifici esistenti in c.a.**

Parma

27-28 maggio 2016

Aurelio Gheresi

03 - Procedimento da seguire e valori di riferimento

# 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  $a_g$ )
  - giudizio in termini di sollecitazioni
  - giudizio in termini di spostamenti
4. Analisi non lineare
  - giudizio in termini di sollecitazioni e spostamenti

# Procedimento da seguire

## 1 - esame qualitativo

### 1. Esame qualitativo della struttura

Consente di individuare 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

Commento 2016:

- 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

Commento 2016:

- La valutazione delle caratteristiche di sollecitazione con procedimenti semplificati può essere utile nelle fasi preliminari, ma è quasi sempre 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

#### Prima fase: 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

# 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

#### Seconda fase: plasticizzazione delle sezioni

- Confronto tra momento sollecitante e resistente
- Individuazione di  $a_g$  che porta a plasticizzazione a flessione
- Esame della distribuzione dei rapporti  $M_{Ed}/M_{Rd}$  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

#### Terza fase: controllo in termini di deformazioni

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

# Procedimento da seguire

## 3 - analisi lineare

### 3. Valutazione delle caratteristiche di sollecitazione e degli spostamenti con analisi lineare

Commento 2016:

- 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  $V_b-D_t$

Commento 2016:

- L'analisi non lineare ha poco senso se usata solo per predire l'accelerazione di collasso (perché i suoi risultati sono fortemente condizionati dalla modellazione e dai parametri scelti), ma è fondamentale per la diagnosi del comportamento e l'individuazione dei punti deboli della struttura

Quali valori per la resistenza  
dei materiali?

# Valori della resistenza

## impostazione standard (nuove costruzioni)

- Valore di riferimento:  
il valore caratteristico  $f_k$  (frattile 5%, cioè valore al di sotto del quale si scende solo nel 5% dei casi)
  - Si noti che, oltre alle incertezze sulla variabilità della resistenza intervengono quelle relative alla effettiva rispondenza tra progetto ed esecuzione
- Valore di calcolo:  
per garantire con adeguata sicurezza che la sollecitazione non superi la resistenza di una sezione, si usa il valore corrispondente a un frattile più basso  $f_d = f_k / \gamma_M$

# Valori della resistenza per costruzioni esistenti

- Le incertezze dovute alla variabilità permangono, ma quelle dovute alla rispondenza tra progetto ed esecuzione possono essere eliminate se si raggiunge una conoscenza accurata dell'opera



È possibile usare un valore di riferimento più alto

- Le NTC08 (punto 8.7.2) dicono che "si impiegano le proprietà dei materiali esistenti"
- La Circolare indica come riferimento il valore medio  $f_m$  (tra i dati ottenuti sperimentalmente)
- Se la conoscenza non è "accurata" il riferimento è il valore medio  $f_m$  diviso un fattore di confidenza FC

# Valori della resistenza per costruzioni esistenti

- Valore di riferimento:  
il valore medio sperimentale  $f_m$  diviso per il fattore  
di confidenza FC:  $\frac{f_m}{FC}$

Nota: quando un valore alto della resistenza può  
essere "peggiorativo" occorre usare il fattore di  
confidenza all'incontrario, cioè usare come valore di  
riferimento:  $f_m \times FC$



# Valori della resistenza per costruzioni esistenti

- Valore di riferimento:  
il valore medio sperimentale  $f_m$  diviso per il fattore di confidenza FC:  $\frac{f_m}{FC}$

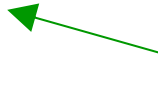
- Valore di calcolo:  
per garantire con adeguata sicurezza che la sollecitazione non superi la resistenza di una sezione, si usa un valore corrispondente a un frattile più basso:  $\frac{f_m}{FC \gamma_M}$

ma questo vale quando ci preoccupiamo del comportamento "fragile" di una singola sezione (cioè quando il cedimento di una sezione comporta il collasso dell'intera struttura)


# Valori della resistenza per costruzioni esistenti

- Valore di riferimento:  
il valore medio sperimentale  $f_m$  diviso per il fattore di confidenza FC:  
$$\frac{f_m}{FC}$$

- Valore di calcolo:  
per verifiche del comportamento "fragile" di una singola sezione :

$$\frac{f_m}{FC \gamma_M}$$


per verifiche del comportamento globale "duatile" di una struttura :

$$\frac{f_m}{FC}$$


Nota: potrebbe aver senso applicare questa distinzione anche nel progetto di nuove strutture

# Quando si usa la resistenza col valore di riferimento ?

- Nelle verifiche "duttili" o, più precisamente, in tutti i casi in cui si pensa alla contemporanea plasticizzazione di molte sezioni (quindi per i telai)

Tipicamente:

- Nelle verifiche a flessione (in condizioni sismiche)

Questo va bene purché la singola sezione non abbia un comportamento flessionale fragile. Attenti a:

- Sezioni con armatura tesa molto forte e armatura compressa scarsa
- Sezioni (di pilastri) con rilevante sforzo normale

# Quando si usa la resistenza col valore di riferimento ?

- Nelle verifiche "duttili" o, più precisamente, in tutti i casi in cui si pensa alla contemporanea plasticizzazione di molte sezioni

Tipicamente:

- Nelle verifiche a flessione (in condizioni sismiche)

E in condizioni non sismiche?

Può andar bene purché la singola sezione non abbia un comportamento flessionale fragile e a condizione che la struttura non sia isostatica o poco iperstatica

# Resistenza valore di riferimento

- Esempio:

Si è trovato, in base alle prove sperimentali:

- Per il calcestruzzo  $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

e si deve usare  $FC = 1.2$

Il valore di riferimento sarà:

- Per il calcestruzzo  $f_{c,rif} = 19/1.2 = 15.83 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio  $f_{y,rif} = 420/1.2 = 350 \text{ MPa}$

Nota: dove la normativa per nuove costruzioni impone di usare  $\alpha_{cc} f_{ck}$  si terrà conto di questo coefficiente (essendo  $\alpha_{cc}=0.85$  si userà  $f_c = 13.46 \text{ MPa}$ )

# Quando si usa la resistenza incrementata ?

- Solo quando si vuole escludere la possibilità di rotture a taglio

Nei pilastri il taglio non può superare il valore:

$$V_{\max} = 2 M_{Rd} / l_p$$

Si può escludere rottura a taglio se  $V_{Rd} > V_{\max}$   
ma per farlo bisogna massimizzare  $M_{Rd}$  e quindi calcolarlo con le resistenze incrementate

# Resistenza incrementata

- Esempio:

Si è trovato, in base alle prove sperimentali:

- Per il calcestruzzo  $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

e si deve usare  $FC = 1.2$

Quando la maggiore resistenza è penalizzante si usa:

- Per il calcestruzzo  $f_{c,rif} = 19 \times 1.2 = 22.8 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio  $f_{y,rif} = 420 \times 1.2 = 504 \text{ MPa}$

Nota: dove la normativa per nuove costruzioni impone di usare  $\alpha_{cc} f_{ck}$  si terrà conto di questo coefficiente (essendo  $\alpha_{cc}=0.85$  si userà  $f_c = 19.38 \text{ MPa}$ )

# Quando si usa la resistenza ridotta con $\gamma_M$ ?

- Nelle verifiche "fragili" o, più precisamente, in tutti i casi in cui il collasso di una singola sezione può portare a un crollo (senza grande preavviso)

Tipicamente:

- Nelle verifiche a taglio (anche per soli carichi verticali, in assenza di sisma)

Ma anche:

- Nelle determinazione della capacità di rotazione delle sezioni dei pilastri (molto condizionata dal rapporto  $N_{Ed} / N_{Rd}$  e quindi dalla resistenza del materiale)



# Resistenza ridotta con $\gamma_M$

- Esempio:

Si è trovato, in base alle prove sperimentali:

- Per il calcestruzzo  $f_{cm} = 19 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio  $f_{ym} = 420 \text{ MPa}$

e si deve usare  $FC = 1.2$

Nelle verifiche a comportamento "fragile" si userà:

- Per il calcestruzzo ( $\gamma_c=1.5$ )  $f_{cd} = 15.83/1.5 = 10.56 \text{ MPa}$
- Per l'acciaio ( $\gamma_s=1.15$ )  $f_{yd} = 350/1.15 = 304.3 \text{ MPa}$

Nota: dove la normativa per nuove costruzioni impone di usare  $\alpha_{cc} f_{ck}$  si terrà conto di questo coefficiente (essendo  $\alpha_{cc}=0.85$  si userà  $f_{cd} = 8.97 \text{ MPa}$ )