

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

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

08 – Modellazione e analisi:
resistenza

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

Resistenza

Per qualunque analisi e verifica strutturale è necessario definire la resistenza del materiale e delle singole sezioni strutturali

- A monte di ogni analisi lineare occorre verificare la resistenza delle sezioni
- La rigidezza di pilastri in c.a. dipende molto dallo sforzo normale normalizzato (rispetto a N_{Rd}) e quindi dalla resistenza
- La definizione della resistenza è preliminare ad ogni analisi non lineare

Resistenza

Quali valori per la resistenza dei materiali?

Valori della resistenza

per 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)
 - Oltre alle incertezze sulla variabilità intrinseca 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 singola sezione**, si usa il valore corrispondente a un frattile più basso $f_d = f_k / \gamma_M$

Valori dei parametri meccanici nelle verifiche geotecniche

- Valore di riferimento:
pur usando il pedice k, si usa sostanzialmente una “stima ragionata e cautelativa del valore del parametro”, che è piuttosto il valore medio
 - Le valutazioni geotecniche coinvolgono grossi blocchi di terreno, non interessa quindi il valore in singoli punti ma quello complessivo
- Valore di calcolo:
per garantire una adeguata sicurezza, si usa il valore corrispondente a un frattile più basso $X_d = X_k / \gamma_M$ ma con coefficienti di sicurezza specifici
 - Si usa anche un ulteriore coefficiente γ_R riduttivo della resistenza complessiva

Valori della resistenza

per costruzioni esistenti

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



- Il riferimento base sono “le proprietà dei materiali esistenti” cioè il valore medio f_m (NTC, punto 8.7.2)
- Occorre però tener conto dell'entità delle dispersioni (NTC, punto 8.5.3)
- Questo viene fatto dividendo il valore medio f_m per un fattore di confidenza FC

Valori della resistenza

per costruzioni esistenti

- Valore medio
da usare per la valutazione del comportamento non lineare globale di una struttura
 - valore medio sperimentale f_m **senza alcuna riduzione**
- Valore di riferimento
da considerare come corrispondente al valore caratteristico usato nelle comuni verifiche
 - valore medio sperimentale f_m diviso per il **fattore di confidenza** FC
- Valore di calcolo
per garantire con adeguata sicurezza che la sollecitazione non superi la resistenza di una sezione
 - valore di riferimento diviso per il **coefficiente parziale di sicurezza** γ_m

$$f_m$$

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

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

Quando si usa la resistenza col valore medio f_m ?

- Nelle analisi non lineari, per definire la resistenza del materiale nelle sezioni che si possono plasticizzare a flessione (e quindi la resistenza a flessione di queste sezioni)
 - Questo è motivato da numerose ricerche, che mostrano che, nonostante la possibile dispersione delle resistenze, il comportamento globale (la distribuzione globale delle sollecitazioni) non è influenzato da questa dispersione

Quando si usa la resistenza col valore di riferimento f_m/FC ?

- In realtà non viene mai usata nell'analisi e nelle verifiche di resistenza
 - Leggendo attentamente normativa, circolare e soprattutto Eurocodice si vede che nelle analisi non lineari con fattore di struttura q per tutte le verifiche di resistenza (incluse quelle a flessione) si deve usare il valore di calcolo

Quando si usa la resistenza col valore di riferimento f_m/FC ?

- In realtà non viene mai usata nell'analisi e nelle verifiche di resistenza
- Viene usata per determinare la capacità deformativa plastica delle aste
 - Anche in questo caso, in effetti, occorrerebbe usare cautelativamente il valore di calcolo (perché il termine della capacità plastica è una rottura fragile)
 - Nelle formule di normativa che forniscono la capacità deformativa plastica compare un γ che probabilmente ha questo scopo e per questo non lo si deve inserire nei valori di resistenza
 - Si deve usare il valore di calcolo se si usa una modellazione specifica per valutare la capacità deformativa

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 deciso di usare $FC = 1.2$ per entrambi

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 col valore incrementato $f_m \times FC$?

- In alcuni casi si tiene conto della dispersione dei valori sperimentali incrementando di FC il valore medio
 - Questo equivale a considerare il frattile superiore (95%) anziché quello inferiore (5%)
- Questo può servire quando si vuole escludere (in analisi lineari) la possibilità che il taglio raggiunga valori tali da portare a rottura una sezione
 - 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 con FC

- 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 deciso di usare $FC = 1.2$ per entrambi

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

col valore di calcolo $f_m / (FC \gamma_M)$?

- Nelle verifiche di resistenza (a flessione e taglio) di tutti gli elementi, quando si effettua una analisi lineare con fattore di struttura q
- 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), quando si effettua analisi non lineare
 - Tipicamente: nelle verifiche a taglio
- Nella determinazione della capacità di rotazione delle sezioni dei pilastri (molto condizionata dal rapporto N_{Ed} / N_{Rd} e quindi dalla resistenza del materiale) se un coefficiente analogo a γ_M non compare già nelle formule che forniscono la capacità

Resistenza

valore di calcolo

- 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 deciso di usare $FC = 1.2$ per entrambi

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 $f_{cd} = 8.97 \text{ MPa}$)