

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
 - L'attuale versione della bozza della Circolare relativa alle NTC18 dice cose diverse
ma io faccio riferimento all'Eurocodice

Eurocodice 8 parte 3 e Bozza Circolare

prospetto 4.3

Valori delle proprietà dei materiali e criteri di analisi e di verifica della sicurezza

		Modello Lineare (LM)		Modello non lineare		Approccio con il fattore q	
		Domanda	Capacità	Domanda	Capacità	Domanda	Capacità
Tipo di elemento o meccanismo 8e/m)	Duttile	Accettabilità del modello lineare (per la verifica dei valori $\rho_1 = D_1/C_1$):		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.	Dall'analisi.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.
		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà.				
		Ispezioni (se LM è accettato):					
		Dall'analisi.	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.				
Fragile	Fragile	Verifiche (se LM è accettato):		In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.	In conformità alla sezione pertinente della EN 1998-1:2004.		
		Se $\rho_1 \leq 1$: dall'analisi.					
		Se $\rho_1 > 1$: dall'equilibrio con la resistenza di e/m duttili. Si usano i valori medi delle proprietà moltiplicati per CF.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.				

EC8

Nel caso di analisi lineare con fattore di struttura q o di analisi non lineare, per gli elementi duttili la capacità si valuta dividendo le proprietà dei materiali esistenti per il fattore di confidenza FC, per gli elementi fragili le proprietà dei materiali esistenti si dividono sia per il fattore di confidenza FC sia per il coefficiente parziale. Per i materiali nuovi o aggiunti si impiegano i valori di progetto.

Bozza
Circolare

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 l'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
 - L'attuale versione della bozza della Circolare relativa alle NTC18 dice cose diverse
ma io faccio riferimento all'Eurocodice

Eurocodice 8 parte 3 e Bozza Circolare

prospetto 4.3

Valori delle proprietà dei materiali e criteri di analisi e di verifica della sicurezza

		Modello Lineare (LM)		Modello non lineare		Approccio con il fattore q	
		Domanda	Capacità	Domanda	Capacità	Domanda	Capacità
Tipo di elemento o meccanismo 8e/m)	Duttile	Accettabilità del modello lineare (per la verifica dei valori $\rho_1 = D_1/C_1$):		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.	Dall'analisi.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.
		Dall'analisi. Si usano i valori medi delle proprietà nel modello.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà.				
	Ispezioni (se LM è accettato):		In termini di deformazione. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF.		In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.	In conformità alla sezione pertinente della EN 1998-1:2004.	
	Dall'analisi.						
Fragile	Verifiche (se LM è accettato):		In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.	In conformità alla sezione pertinente della EN 1998-1:2004.			
	Se $\rho_1 \leq 1$: dall'analisi.						
		Se $\rho_1 > 1$: dall'equilibrio con la resistenza di e/m duttili. Si usano i valori medi delle proprietà moltiplicati per CF.	In termini di resistenza. Si usano i valori medi delle proprietà divisi per CF e per il coefficiente parziale.				

EC8

Nel caso di analisi lineare con fattore di struttura q o di analisi non lineare, per gli elementi duttili la capacità si valuta dividendo le proprietà dei materiali esistenti per il fattore di confidenza FC, per gli elementi fragili le proprietà dei materiali esistenti si dividono sia per il fattore di confidenza FC sia per il coefficiente parziale. Per i materiali nuovi o aggiunti si impiegano i valori di progetto.

Bozza
Circolare

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