

Laboratorio di Costruzioni dell'Architettura 2

Stato limite di tensioni in esercizio

Siracusa, 27 maggio 2009

Edoardo M. Marino

Stato limite di tensioni in esercizio

Si raggiunge quando le tensioni massime causate dai carichi attingono un valore limite

La verifica si esegue per:

- combinazione dei carichi rara
- combinazione di carico quasi permanente

Valori limite delle tensioni in esercizio

Materiale	Comb. di carico rara	Comb. di carico quasi perm.
Calcestruzzo	$\sigma_c < 0.6 f_{ck}$	$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$
Acciaio	$\sigma_s < 0.8 f_{yk}$	

NTC08, punto 4.1.2.2.5

2/18

Determinazione di tensioni in esercizio

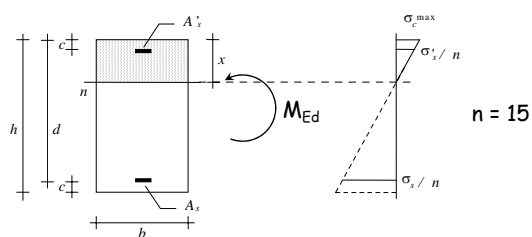
Le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio si calcolano assumendo:

- legame σ - ε elastico lineare non resistente a trazione per il calcestruzzo
- legame σ - ε elastico lineare per l'acciaio
- coefficiente di omogeneizzazione $n = 15$

Si opera come alle tensioni ammissibili

3/18

Determinazione di tensioni in esercizio - caso della flessione semplice

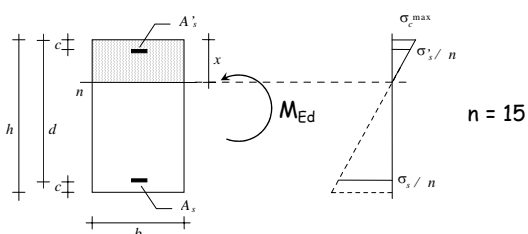


Dati:
 Geometria della sezione
 Armature
 Momento M_{Ed}

Incognite:
 Posizione dell'asse neutro
 Tensioni massime

4/18

Determinazione di tensioni in esercizio - caso della flessione semplice



Per trovare l'asse neutro: $S_n = 0$
 (l'asse neutro è baricentrico)

5/18

Determinazione di tensioni in esercizio - caso della flessione semplice

Equazione di secondo grado, con soluzione:

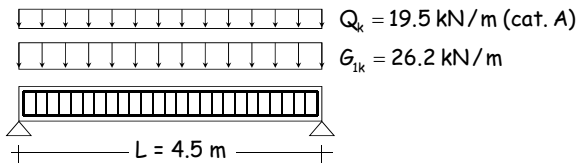
$$x = \frac{n(A_s + A'_s)}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b(A_s d + A'_s c)}{n(A_s + A'_s)^2}} \right]$$

E poi: $\sigma = -\frac{M_{Ed}}{I} y$

con: $I = \frac{b x^3}{3} + n A'_s (x - c)^2 + n A_s (d - x)^2$

6/18

Struttura per esempi numerici



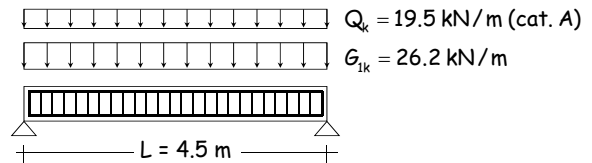
Comb. di carico per SLU

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_Q Q_k = 1.3 \times 26.2 + 1.5 \times 19.5 = 63.31 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = M_{max} = \frac{q L^2}{8} \quad M_{Ed} = 160.2 \text{ kNm}$$

7/18

Struttura per esempi numerici



Comb. di carico rara (per SLE)

$$G_{1k} + Q_k = 26.2 + 19.5 = 45.70 \text{ kN/m}$$

Comb. di carico frequente (per SLE)

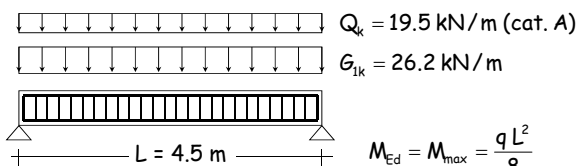
$$G_{1k} + \psi_1 Q_k = 26.2 + 0.5 \times 19.5 = 35.95 \text{ kN/m}$$

Comb. di carico quasi permanente (per SLE)

$$G_{1k} + \psi_2 Q_k = 26.2 + 0.3 \times 19.5 = 32.05 \text{ kN/m}$$

8/18

Struttura per esempi numerici



Comb. di carico rara (per SLE)

$$G_{1k} + Q_k = 45.70 \text{ kN/m} \quad M_{Ed} = 115.7 \text{ kNm}$$

Comb. di carico frequente (per SLE)

$$G_{1k} + \psi_1 Q_k = 35.95 \text{ kN/m} \quad M_{Ed} = 91.0 \text{ kNm}$$

Comb. di carico quasi permanente (per SLE)

$$G_{1k} + \psi_2 Q_k = 32.05 \text{ kN/m} \quad M_{Ed} = 81.1 \text{ kNm} \quad 9/18$$

Esempio n. 1

verifica di sezione rettangolare

Dati:

Sezione 30x50
Armature $A_s = 3\phi 20 + 1\phi 14$
 $A'_s = 2\phi 14$

Comb. Di carico rara

$M_{Ed} = 115.7 \text{ kNm}$

Calcestruzzo C25/30
Acciaio B450C

Procedura:

- 1 - individuazione dell'asse neutro
- 2 - determinazione del momento d'inerzia della sezione reagente omogeneizzata
- 3 - calcolo delle tensioni massime di calcestruzzo ed acciaio

10/18

Determinazione dell'asse neutro e del momento d'inerzia

Per una sezione rettangolare la posizione dell'asse neutro è fornita dalla seguente espressione:

$$x = \frac{n(A_s + A'_s)}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b(A_s d + A'_s c)}{n(A_s + A'_s)^2}} \right]$$

... e vale $x = 16.6 \text{ cm}$

Il momento d'inerzia della sezione reagente omogeneizzata è fornito dalla:

$$I = \frac{b x^3}{3} + n A'_s (x - c)^2 + n A_s (d - x)^2$$

... e vale $I = 184558 \text{ cm}^4$

11/18

Verifica sulle tensioni in esercizio combinazione di carico rara

La tensione massima (in valore assoluto) nel calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ed}}{I} x = \frac{115.7}{184558} \times 16.6 \times 10^3 = 10.4 \text{ MPa} \leq 0.6 f_{ck} = 0.6 \times 25.0 = 15.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_c}{0.6 f_{ck}} = 0.69$$

La tensione dell'armatura tesa vale:

$$\sigma_s = n \frac{M_{Ed}}{I} (d - x) = 15 \times \frac{115.7}{184558} \times (45 - 16.6) \times 10^3 = 267.1 \text{ MPa} \leq 0.8 f_{yk} = 0.8 \times 450.0 = 360.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_s}{0.8 f_{yk}} = 0.74$$

La verifica è ampiamente soddisfatta

12/18

Esempio n. 1 verifica di sezione rettangolare

Dati: Comb. di carico quasi perm.
Sezione 30x50 $M_{Ed} = 81.1 \text{ kNm}$
Armature $A_s = 3\varnothing 20 + 1\varnothing 14$ Calcestruzzo C25/30
 $A'_s = 2\varnothing 14$ Acciaio B450C

- La posizione dell'asse neutro x ed il momento d'inerzia I non cambiano.
- Bisogna solo ricalcolare la tensione massima del calcestruzzo e confrontarla con il valore limite pertinente.

13/18

Verifica sulle tensioni in esercizio combinazione di quasi permanente

La tensione massima (in valore assoluto) nel calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ed}}{I} x = \frac{81.1}{184558} \times 16.6 \times 10^3 = 7.3 \text{ MPa} \leq 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 25.0 = 11.2 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_c}{0.45 f_{ck}} = 0.65$$

La verifica è ampiamente soddisfatta

14/18

Esempio n. 2 verifica di sezione rettangolare

Dati: Comb. Di carico rara
Sezione 30x40 $M_{Ed} = 115.7 \text{ kNm}$
Armature $A_s = 4\varnothing 20 + 1\varnothing 14$ Calcestruzzo C25/30
 $A'_s = 2\varnothing 20 + 1\varnothing 14$ Acciaio B450C

$$x = \frac{n(A_s + A'_s)}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b(A_s d + A'_s c)}{n(A_s + A'_s)^2}} \right] = 14.6 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b x^3}{3} + n A'_s (x - c)^2 + n A_s (d - x)^2 = 129950 \text{ cm}^4$$

15/18

Verifica sulle tensioni in esercizio combinazione di carico rara

La tensione massima (in valore assoluto) nel calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ed}}{I} x = \frac{115.7}{129950} \times 14.6 \times 10^3 = 13.0 \text{ MPa} \leq 0.6 f_{ck} = 0.6 \times 25.0 = 15.0 \text{ MPa}$$

prima era 0.69 $\frac{\sigma_c}{0.6 f_{ck}} = 0.87$

La tensione dell'armatura tesa vale:

$$\sigma_s = n \frac{M_{Ed}}{I} (d - x) = 15 \times \frac{115.7}{129950} \times (35 - 14.6) \times 10^3 = 272.5 \text{ MPa} \leq 0.8 f_{yk} = 0.8 \times 450.0 = 360.0 \text{ MPa}$$

prima era 0.74 $\frac{\sigma_s}{0.8 f_{yk}} = 0.76$

La verifica è soddisfatta ma il margine si è ridotto¹⁸

Verifica sulle tensioni in esercizio combinazione di quasi permanente

La tensione massima (in valore assoluto) nel calcestruzzo vale:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ed}}{I} x = \frac{81.1}{129950} \times 14.6 \times 10^3 = 9.1 \text{ MPa} \leq 0.45 f_{ck} = 0.45 \times 25.0 = 11.2 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_c}{0.45 f_{ck}} = 0.74 \text{ prima era } 0.65$$

La verifica è soddisfatta ma il margine si è ridotto

17/18

Verifica tensioni in esercizio - commento

La verifica sulle tensioni in esercizio:

- è generalmente soddisfatta per sezioni progettate allo stato limite ultimo
- potrebbe non essere soddisfatta quando si sfrutta pesantemente l'effetto positivo dell'armatura compressa

18/18