

1. SOLETTA NERV-01

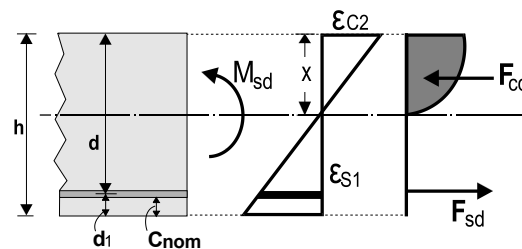
Sezione della soletta nervata inflessa

(EC2 EN1992-1-1:2004, UNI EN1990-1-1:2004,)

$h = 0.240 \text{ m}$, $h_s = 0.070 \text{ m}$, $M_{ed} = 135.00 \text{ kNm}$

$b_w = 0.150 \text{ m}$, $b_1 = 0.500 \text{ m}$

Classe del CA : C25/30-B450C (EC2 §3.1.6)
 Classe di esposizione ambientale : XC2 (EC2 §4.4.1)
 Copriferro : $C_{nom} = 30 \text{ mm}$ (EC2 §4.4.1)
 $\gamma_c = 1.50$, $\gamma_s = 1.15$ (EC2 Tabella 2.1N)
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 25 / 1.50 = 14.17 \text{ MPa}$ (EC2 §3.1.6)
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1.15 = 391 \text{ MPa}$ (EC2 §3.2.7)



1.1. Dimensioni e carichi

Spessore della soletta $h = 0.240 \text{ m}$, $h_s = 0.070 \text{ m}$, Momento flettente $M_{ed} = 135.00 \text{ kNm}$ (ULS), $M_{ed} = 94.50 \text{ kNm}$
 Larghezza della nervatura $b_w = 0.150 \text{ m}$, distanza netta $b_1 = 0.500 \text{ m}$, interasse delle nervature $b_c = 0.650 \text{ m}$
 Spessore efficace della sezione $d = h - d_1$, $d_1 = C_{nom} + \varnothing / 2 = 30 + 10 / 2 = 35 \text{ mm}$, $d = 240 - 35 = 205 \text{ mm}$

1.2. Stato limite ultimo (SLU), Progettazione per flessione

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

$M_{ed}(ULS) = 135.00 \text{ kNm/m}$

Dimensionamento per flessione: Allgower, G.-Avak, R. Bemessungstabellen nach Eurocode 2 für Rechteck und Plattenbalkenquerschnitte, In: Beton - und Stahlbetonbau 87 (1992)

$M_{ed} = 135.00 \text{ kNm/m}$, $d = 205 \text{ mm}$, $K_d = 1.76$ $x/d = 0.32$ $\epsilon_c / \epsilon_{s1} = -3.5 / 7.3$ $k_s = 2.96$, **$A_s = 19.46 \text{ cm}^2 / \text{m}$**

$x = 0.32 \times 205 = 66 \text{ mm} \leq 70 \text{ mm} = h_s$, asse neutro nello spessore della flangia superiore

Armatura minima della soletta, $A_s \geq 0.26 b d \cdot f_{ctm} / f_{yk}$, ($A_s = 0.71 \text{ cm}^2 / \text{m}$) (EC2 §9.3.1)

minima armatura principale $1\varnothing 8 / 65.0$ ($0.77 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

Armatura della soletta principale $3\varnothing 25 / 65.0$ ($22.66 \text{ cm}^2 / \text{m}$)

1.2.1. Portata del momento ultimo della sezione

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1)

$b = 1000 \text{ mm}$, $h = 240 \text{ mm}$, $d = 205 \text{ mm}$, $A_{s1} = 2266 \text{ mm}^2$

$\epsilon_{c2} = -3.50 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 5.78 \text{ ‰}$, $A_{s1} / b \cdot d = 0.01106$ (1.106%)

$x/d = \epsilon_{c2} / (\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}) = 3.50 / (3.50 + 5.78) = 0.377$, $x = 77.3 \text{ mm}$

$\alpha_r = 0.810$, $k_a = 0.416$, $F_c = \alpha_r \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = F_{s1} = 886.90 \text{ kN}$, $A_{s1} = F_{s1} / f_{yd} = 2268 \text{ mm}^2 / \text{m}$

$z = d - k_a \cdot x = (1 - k_a \cdot \epsilon_{c2} / (\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1})) d$, $z/d = 1.0 - 0.416 \times 0.377 = 0.843$, $z = 172.8 \text{ mm}$,

$K_d^2 = 1 / (0.810 \cdot 0.377 \cdot 0.843 \cdot 14.17) = 0.274 \text{ mm}^2 / \text{N}$, $K_d = 0.524$

Resistenza alla flessione $M_r = b \cdot d^2 / K_d^2 = 0.000001 \times 1000 \times 205^2 / 0.274 = 154.00 \text{ kNm}$

1.3. Stato limite di Esercizio (SLE)

(EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

$M_{ed}(SLS) = 94.50 \text{ kNm/m}$

Coefficiente di deformazione finale $\phi(\infty, t_0) = 2.50$

(EC2 §3.1.4, Annessi B)

Tensione di ritiro totale $\epsilon_{cs} = -0.30 \text{ ‰}$

$\gamma_c = 1.00$, $\gamma_s = 1.00$

(EC2 §2.4.2.4.2)

Modulo elasticità del calcestruzzo $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$, $E_{c,eff} = 31 / (1 + 2.50) = 8.71 \text{ GPa} = 8710 \text{ MPa}$

(EC2 Eq.7.20)

Modulo elasticità dell'acciaio $E_s = 200 \text{ GPa} = 200000 \text{ MPa}$

Rapporto modulare $\alpha_e = E_s / E_c = 200 / 30.50 = 6.56$, effettivo $\alpha_e = E_s / E_{c,eff} = 200 / 8.71 = 22.96$

Armatura di tensione: $\varnothing 25 / 650$

Rapporto di armature $\rho = A_{s1} / (b \cdot d) = 2266 / (1000 \times 205) = 0.011$

1.3.1. Stato I (sezione non fessurata) (SLE)

Rigidezza flessionale della sezione non fessurata, $EI = (200/22.96) \times (0.001 \times 1.150) = 10015 \text{ kNm}^2$
 $S = A_s \cdot z_{sl} = (0.001)^2 \times 2266 \times 0.051 = (0.001) \times 0.115 \text{ m}^3$ (EC2 Eq.7.21)
 Curvatura dovuta al momento $1/r_M = 94.500/10015 = (0.001) \times 9.436 \text{ (1/m)}$
 Curvatura dovuta al ritiro $1/r_{cs} = (0.001 \times 0.30) \times 22.960 \times (0.115/1.150) = (0.001) \times 0.687 \text{ (1/m)}$
 Curvatura totale $1/r = (0.001) \times 9.436 + (0.001) \times 0.687 = (0.001) \times 10.122 \text{ (1/m)}$
 Momento di fessurazione, $M_{cr} = f_{ctm} \cdot (I/y_2) = 2.6 \times (1.150/0.086) = 34.93 \text{ kNm}$

1.3.2. Stato II (sezione completamente fessurata) (SLE)

$\rho = A_s / (B \cdot d) = 0.011$, $t/d = 70/205 = 0.34$, $n \cdot \alpha_e = 22.96$, $n \cdot \rho = 0.253$, $\xi = 0.408$, $\alpha = 0.523$, $x = \alpha \cdot d = 0.107 \text{ m}$
 Rigidezza flessionale della sezione completamente fessurata, $EI = \xi \cdot E_s \cdot A_s \cdot d^2 = 0.408 \times 200 \times 2266 \times 0.205^2 = 7$
 $S = A_s \cdot z_{sl} = (0.001)^2 \times 2266 \times 0.098 = (0.001) \times 0.221 \text{ m}^3$ (EC2 Eq.7.21)
 Curvatura dovuta al momento $1/r_M = 94.500/7779 = (0.001) \times 12.147 \text{ (1/m)}$
 Curvatura dovuta al ritiro $1/r_{cs} = (0.001 \times 0.30) \times 22.960 \times (0.221/0.893) = (0.001) \times 1.327 \text{ (1/m)}$
 Curvatura totale $1/r = (0.001) \times 12.147 + (0.001) \times 1.327 = (0.001) \times 13.474 \text{ (1/m)}$
 $M_{ed} = 94.50 \text{ kNm}$, $\varepsilon_c / \varepsilon_s = 1.30/1.19$, $x = 107 \text{ mm}$, $\sigma_s = 237 \text{ N/mm}^2$

1.3.3. Verifica deformazione da calcolo (SLE)

(EN1992-1-1, §7.4.3)

$\zeta = 1 - 0.50 \cdot (M_{cr} / M_{ed})^2 = 1 - 0.50 \times (34.93/94.50)^2 = 0.93$ (Eq.7.19)
 Curvatura finale $(1/r) = 0.93 \times (0.001 \times 13.474) + (1 - 0.93) \times (0.001 \times 10.122) = (0.001) \times 13.245 \text{ (1/m)}$ (Eq.7.18)

1.3.4. Area minima di armatura (SLE)

(EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.2)

Aree minime di armatura $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct} / \sigma_s$ (EC2 Eq.7.1)
 $b = 0.300 \text{ m}$, $b_{eff} = 1.000 \text{ m}$, $h = 0.240 \text{ m}$, $d = 0.205 \text{ m}$, $x = 0.107 \text{ m}$, $\emptyset = 25 \text{ mm}$
 $N_{ed} = 0.00 \text{ kN}$, $\sigma_c = (N_{ed}/bh) = 0.0 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s = 237 \text{ N/mm}^2$
 $A_{ct} = (h - x) \cdot b = (240 - 107) \times 300 = 39816 \text{ mm}^2$
 $\max(h, b_l) = 0 \text{ mm}$, $f_{ctm} = 2.60 \text{ N/mm}^2$, $A_{c,eff} = 39816 \text{ mm}^2$, $k = 0.97$, $k_c = 0.40$, $k_1 = 1.50$
 Armatura minima, $A_{s,min} = 0.40 \times 0.97 \times 2.60 \times 39816 / 237 = 168 \text{ mm}^2 / \text{m}$

1.3.5. Calcolo dell'ampiezza della fessurazione (SLE)

(EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$ (EC2 Eq.7.8)
 $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t \cdot (f_{ct,eff} / \rho_{eff}) (1 + \alpha_e \cdot \rho_{eff})] / E_s \geq 0.6 \sigma_s / E_s$ (EC2 Eq.7.9)
 $\sigma_s = 237 \text{ N/mm}^2$, carico a breve termine: $\alpha_e = 6.56$, $k_t = 0.6$, carico a lungo termine: $\alpha_e = 22.96$, $k_t = 0.4$
 $A_{c,eff} = 0.333 (h - x) b = 0.333 \times (240 - 107) \times 300 = 13259 \text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)
 $\rho_{eff} = A_s / A_{c,eff} = 2266 / 13259 = 0.171$
 $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [237 - 0.4 \times (2.6 / 0.171) (1 + 22.96 \times 0.171)] / 200 = 1.04 \text{ o/o} \geq 0.6 \times 237 / 200 = 0.71 \text{ o/o}$
 $s_{r,max} = k_3 \cdot C_{nom} + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \emptyset / \rho_{eff}$ (EC2 Eq.7.11)
 $\emptyset = 25 \text{ mm}$, $k_1 = 0.8$, $k_2 = (e_1 + e_2) / 2e_1 = 0.5$, $k_3 = 3.4$, $k_4 = 0.425$
 $s_{r,max} = 3.4 \times 30.00 + 0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 25 / 0.171 = 126.87 \text{ mm}$
 $w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 126.87 \times 0.001 \times 1.04 = 0.13 \text{ mm}$