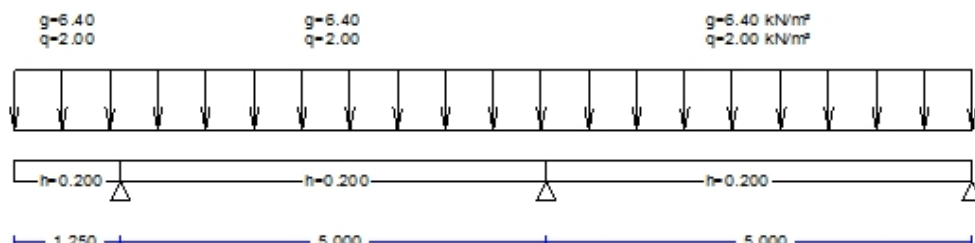


1. SOLETTA-01

Soletta continua monodimensionale

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

C40/50 - B450C



Classe del CA : C40/50-B450C (EC2 §3)
 Classe di esposizione ambientale : XC2 (EC2 §4.4.1)
 Copriferro : $C_{nom}=30$ mm (EC2 §4.4.1)
 Peso CLS : 25.0 kN/m³
 $\gamma_c=1.50$, $\gamma_s=1.15$ (EC2 Tabella 2.1N)
 $f_{cd}=\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times 40 / 1.50 = 22.67$ MPa (EC2 §3.1.6)
 $f_{yd}=f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1.15 = 391$ MPa (EC2 §3.2.7)

1.1. Dimensioni e carichi

Soletta continua, campate=2, lunghezza trasversale $L_y=1.00$ m

Fattori parziali di sicurezza per l'azioni: $\gamma_G=1.30$, $\gamma_Q=1.50$

(EC0 Annessi A1)

Combinazioni delle azioni variabili : $\psi_0=0.70$, $\psi_1=0.60$, $\psi_2=0.30$

Spessore efficace della sezione $d=h-d_1$, $d_1=C_{nom}+\varnothing/2=30+12/2=36$ mm

Luci (L), spessore (h), carichi sulle luci (g =peso proprio+permanente , q =variabile)

Mens-1, $L=1.250$ m, $h=0.200$ m, $g=(5.00+6.40) \times 1.000=11.40$ kN/m², $q=2.00 \times 1.000=2.00$ kN/m²

Luce-1, $L=5.000$ m, $h=0.200$ m, $g=(5.00+6.40) \times 1.000=11.40$ kN/m², $q=2.00 \times 1.000=2.00$ kN/m²

Luce-2, $L=5.000$ m, $h=0.200$ m, $g=(5.00+6.40) \times 1.000=11.40$ kN/m², $q=2.00 \times 1.000=2.00$ kN/m²

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

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

Carico (STR) Luce-1 $q_{ed}=\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q = 1.30g + 1.50q = 1.30 \times 11.40 + 1.50 \times 2.00 = 17.82$ kN/m

Carico (STR) Luce-2 $q_{ed}=\gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q = 1.30g + 1.50q = 1.30 \times 11.40 + 1.50 \times 2.00 = 17.82$ kN/m

1.3. Forze di taglio e momenti flettenti

Momenti flettenti massimi per le combinazioni di carico $1.30g+1.50q$

Mens-1, $Med = -13.92$ kNm/m, $x_0=1.250$ m, $x_1=0.000$ m, $x_2=0.000$ m

Luce-1, $Med = 30.86$ kNm/m, $x_0=2.113$ m, $x_1=0.252$ m, $x_2=1.026$ m

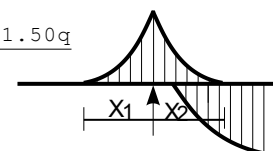
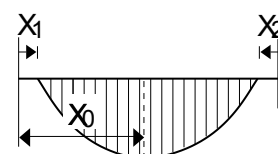
Luce-2, $Med = 36.09$ kNm/m, $x_0=2.987$ m, $x_1=0.975$ m, $x_2=0.000$ m

Momenti flettenti massimi agli appoggi per le combinazioni di carico $1.30g+1.50q$

Appoggio-0, $Med = -13.92$ kNm/m, $x_1=1.250$ m, $x_2=0.407$ m

Appoggio-1, $Med = -52.79$ kNm/m, $x_1=1.274$ m, $x_2=1.185$ m

Appoggio-2, $Med = 0.00$ kNm/m, $x_1=0.000$ m, $x_2=0.000$ m



Forze massime di taglio per le combinazioni di carico 1.30g+1.50q

Mens-1, Ved,sinistra= 0.00 kN/m, Ved,destra= -22.27 kN/m
 Luce-1, Ved,sinistra= 37.65 kN/m, Ved,destra= -52.79 kN/m
 Luce-2, Ved,sinistra= 55.11 kN/m, Ved,destra= -35.86 kN/m

Reazioni massime dovute ai carichi permanenti e accidentali (Rg e Rq)

Appoggio-0, Rg(x1.30)= 49.21 kN/m, Rq(x1.50)= 10.90 kN/m
 Appoggio-1, Rg(x1.30)= 89.15 kN/m, Rq(x1.50)= 18.75 kN/m
 Appoggio-2, Rg(x1.30)= 28.37 kN/m, Rq(x1.50)= 6.56 kN/m

1.4. Azioni di progetto, forze di taglio e momenti flettenti

Dal Momento flettente al luci e supporti $\max(x_u/d)=0.10$, $f_{ck}=40 \leq 50.00 \text{ MPa}$

$\delta \geq 0.44 + 1.25 \times 0.10 = 0.56$, a $\delta \geq 0.70$, armatura C (EC2 §5.5 (4))

Ridistribuzione del momento possibile applicare fino a $1 - 0.70 = 0.30$ (30%)

Valori delle azioni di progetto dopo la ridistribuzione del momento per 15% (EC2 §5.5)

Riduzione dei valori agli appoggi a valori alle sezioni sugli appoggi ($b_{sup}=0.20 \text{ m}$) (EC2 §5.3.2.2)

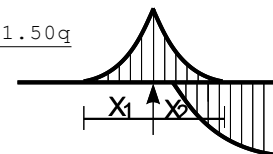
Controllo per i valori minimi, $(0.65q_l^2/8 \text{ or } 0.65q_l^2/12)$ (EC2 §5.3.2.2.3N)

Momenti massimi per flessione e forze di taglio per le combinazioni di carico 1.30g+1.50q

Mens-1, Med= -11.69 kNm/m, Ved,sinistra= 1.78 kN/m, Ved,destra= -20.49 kN/m
 Luce-1, Med= 33.66 kNm/m, Ved,sinistra= 37.17 kN/m, Ved,destra= -49.43 kN/m
 Luce-2, Med= 38.76 kNm/m, Ved,sinistra= 51.74 kN/m, Ved,destra= -35.38 kN/m

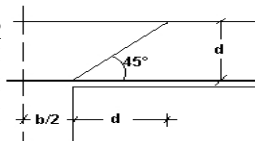
Momenti flettenti massimi agli appoggi per le combinazioni di carico 1.30g+1.50q

Appoggio-0, Med= -11.69 kNm/m, $x_1=1.250 \text{ m}$, $x_2=0.389 \text{ m}$
 Appoggio-1, Med= -39.75 kNm/m, $x_1=1.079 \text{ m}$, $x_2=1.007 \text{ m}$
 Appoggio-2, Med= 0.00 kNm/m, $x_1=0.000 \text{ m}$, $x_2=0.000 \text{ m}$



Forze di taglio massime alla distanza d dalla sezione di appoggio 1.30g+1.50q

Mens-1, $b/2+d=0.264 \text{ m}$, $1.30g+1.50q=17.82 \text{ kN/m}^2$, VedA= 0.00 kN/m, VedB= 17.57 kN/m
 Luce-1, $b/2+d=0.264 \text{ m}$, $1.30g+1.50q=17.82 \text{ kN/m}^2$, VedA= 34.24 kN/m, VedB= 46.50 kN/m
 Luce-2, $b/2+d=0.264 \text{ m}$, $1.30g+1.50q=17.82 \text{ kN/m}^2$, VedA= 48.82 kN/m, VedB= 32.46 kN/m



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

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.1, §9.3.1)

Armatura delle luci

Med1= 33.66 kNm/m, $d=164 \text{ mm}$, $K_d=2.83$ $x/d=0.09$ $\epsilon_{c2}/\epsilon_{s1}=-1.9/20.0$ $k_s=2.64$,
 Med2= 38.76 kNm/m, $d=164 \text{ mm}$, $K_d=2.63$ $x/d=0.10$ $\epsilon_{c2}/\epsilon_{s1}=-2.1/20.0$ $k_s=2.65$,

$A_s = 5.43 \text{ cm}^2/\text{m}$

$A_s = 6.27 \text{ cm}^2/\text{m}$

Armatura sugli appoggi

Med0=-11.69 kNm/m, $d=164 \text{ mm}$, $K_d=4.80$ $x/d=0.05$ $\epsilon_{c2}/\epsilon_{s1}=-1.0/20.0$ $k_s=2.60$,
 Med1=-39.75 kNm/m, $d=164 \text{ mm}$, $K_d=2.60$ $x/d=0.10$ $\epsilon_{c2}/\epsilon_{s1}=-2.2/20.0$ $k_s=2.66$,

$A_s = 1.85 \text{ cm}^2/\text{m}$

$A_s = 6.44 \text{ cm}^2/\text{m}$

1.6. Armatura minima in campata

(EC2 EN1992-1-1:2004, §9.3.1)

Luce-1, $A_s \geq 0.26 b d \cdot f_{ctm} / f_{yk}$, ($A_s = 3.32 \text{ cm}^2/\text{m}$) $\emptyset 12/34.0$ ($3.32 \text{ cm}^2/\text{m}$), second. $\emptyset 8/45.0$ ($1.09 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Luce-2, $A_s \geq 0.26 b d \cdot f_{ctm} / f_{yk}$, ($A_s = 3.32 \text{ cm}^2/\text{m}$) $\emptyset 12/34.0$ ($3.32 \text{ cm}^2/\text{m}$), second. $\emptyset 8/40.0$ ($1.26 \text{ cm}^2/\text{m}$)

1.7. Stato limite ultimo (SLU), Progettazione per rottura a tagli

(EC2 EN1992-1-1:2004, §6.2, §9.2.2)

Resistenza a taglio senza armatura a taglio V_{rdc} (EC2 §6.2.2)

$V_{rdc} = [C_{rdc} \cdot k \cdot (100 \rho_l \cdot f_{ck})^{0.33} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Eq.6.2.a)

$V_{rdc} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$ (EC2 Eq.6.2.b)

$C_{rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.50 = 0.120$, $f_{ck} = 40.00 \text{ MPa}$, $b_w = 1000 \text{ mm}$, $d = 164 \text{ mm}$

$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2$, $k = 2.00$, $k_1 = 0.15$

$\rho_l = A_{s1} / (b_w \cdot d) = 644 / (1000 \times 164) = 0.0039$

$v_{min} = 0.035 \cdot k^{1.50} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0.63 \text{ N/mm}^2$ (EC2 Eq.6.3N)

$V_{rd, c(min)} = 0.001 \times (0.63) \times 1000 \times 164 = 103.32 \text{ kN/m}$

$V_{rdc} = 0.001 \times [0.120 \times 2.00 \times (0.39 \times 40.00)^{0.33}] \times 1000 \times 164 = 98.35$, $V_{rdc} = V_{rdc(min)} = 103.32 \text{ kN/m}$

$V_{ed} = 48.82 \text{ kN/m} \leq V_{rdc} = 103.32 \text{ kN/m}$, **Ved < Vrdc armatura a taglio non necessaria**

1.8. Armatura**Armatura della luce**

Mens-1 Ø12/34.0 (3.32cm²/m) principale in alto, Ø 8/45.0 (1.12cm²/m) secondario
 Luce-1 Ø12/20.5 (5.51cm²/m) principale in basso, Ø 8/45.0 (1.12cm²/m) secondario
 Luce-2 Ø12/18.0 (6.28cm²/m) principale in basso, Ø 8/40.0 (1.26cm²/m) secondario

Armatura sui supporti

Appoggio-0 Ø12/34.0 (3.32cm²/m) armatura in alto
 Appoggio-1 Ø12/17.5 (6.46cm²/m) armatura in alto
 Appoggio-2 Ø 8/32.0 (1.57cm²/m) armatura in alto

1.9. Stato limite di Esercizio (SLE), Luce-1

(EC2 EN1992-1-1:2004, §7)

$L=5.000\text{m}$, $b=1.000\text{m}$, $h=0.200\text{m}$, $d=0.164\text{m}$

Carico (combinazione quasi-permanente) $q_{ed}=g+\psi_2 \cdot q=11.40+0.30 \times 2.00=12.00 \text{ kN/m}$

$l_{eff}=5.000\text{m}$, $M_{ed}=(12.00/17.82) \times 33.66=22.66 \text{ kNm/m}$, $M_{ed}(SLS)=22.66 \text{ kNm/m}$

Coefficiente di deformazione finale $\phi(\infty, t_0)=1.90$

(EC2 §3.1.4, Annessi B)

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

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

(EC2 §2.4.2.4.2)

Modulo elasticità del calcestruzzo $E_{cm}=35\text{GPa}$, $E_{c,eff}=35/(1+1.90)=12.07\text{GPa}=12070\text{MPa}$ (EC2 Eq.7.20)

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

Rapporto modulare $\alpha_e=E_s/E_c=200/35.00=5.71$, effettivo $\alpha_e=E_s/E_{c,eff}=200/12.07=16.57$

Armatura di tensione: Ø12/205

Rapporto di armature $\rho=A_{s1}/(b \cdot d)=551/(1000 \times 164)=0.003$

1.9.1. Stato I (sezione non fessurata) (SLE), Luce-1

Rigidezza flessionale della sezione non fessurata, $EI=(200/16.57) \times (0.001 \times 0.667)=8047 \text{ kNm}^2$

$S=A_{s1} \cdot z_{s1}=(0.001)^2 \times 551 \times 0.064=(0.001) \times 0.035 \text{ m}^3$

(EC2 Eq.7.21)

Curvatura dovuta al momento $1/r_M=22.665/8047=(0.001) \times 2.817 \text{ (1/m)}$

Curvatura dovuta al ritiro $1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 16.570 \times (0.035/0.667)=(0.001) \times 0.263 \text{ (1/m)}$

Curvatura totale $1/r=(0.001) \times 2.817+(0.001) \times 0.263=(0.001) \times 3.080 \text{ (1/m)}$

Momento di fessurazione, $M_{cr}=f_{ctm} \cdot (I/y_2)=3.5 \times (0.667/0.100)=23.33 \text{ kNm}$

1.9.2. Stato II (sezione completamente fessurata) (SLE), Luce-1

$\rho=A_s/(b \cdot d)=0.003$, $n=\alpha_e=16.57$, $n \cdot \rho=0.050$, $\xi=0.665$, $\alpha=0.269$, $x=\alpha \cdot d=0.044\text{m}$

Rigidezza flessionale della sezione completamente fessurata, $EI=\xi \cdot E_s \cdot A_s \cdot d^2=0.665 \times 200 \times 551 \times 0.164^2=19$

$S=A_{s1} \cdot z_{s1}=(0.001)^2 \times 551 \times 0.120=(0.001) \times 0.066 \text{ m}^3$

(EC2 Eq.7.21)

Curvatura dovuta al momento $1/r_M=22.665/1971=(0.001) \times 11.501 \text{ (1/m)}$

Curvatura dovuta al ritiro $1/r_{cs}=(0.001 \times 0.30) \times 16.570 \times (0.066/0.163)=(0.001) \times 0.492 \text{ (1/m)}$

Curvatura totale $1/r=(0.001) \times 11.501+(0.001) \times 0.492=(0.001) \times 11.993 \text{ (1/m)}$

$M_{ed}=22.66 \text{ kNm}$, $\epsilon_c/\epsilon_s=0.51/1.38$, $x=44\text{mm}$, $\sigma_s=276 \text{ N/mm}^2$

1.9.3. Verifica deformazione senza calcolo (SLE), Luce-1

(EC2 EN1992-1-1:2004, §7.4.2)

$1/d=K[11+1.5 \sqrt{f_{ck}(\rho_0/\rho)}+3.2 \sqrt{f_{ck}(\rho_0/\rho-1)}]^{3/2}=81.92$

(EC2 Eq.7.16a)

$f_{ck}=40.00\text{N/mm}^2$, $\rho_0=0.001$, $\sqrt{40.00}=0.006$, $\rho=0.003$, $\rho'=0.000$, $\rho \leq \rho_0$, $K=1.5$

$1/d=(310/\sigma_s) \times (1/d)$, $\sigma_s=276 \text{ N/mm}^2$, $1/d=(310/276) \times 81.92=92.15$

(EC2 Eq.7.17)

$l_{eff}/d=5.000/0.164=30.49 \leq 92.15$, **Luce/profondità entro i limiti**

1.9.4. Verifica deformazione da calcolo (SLE), Luce-1

(EN1992-1-1, §7.4.3)

$\zeta=1-0.50 \cdot (M_{cr}/M_{ed})^2=1-0.50 \times (23.33/22.66)^2=0.47$

(Eq.7.19)

Curvatura finale $(1/r)=0.47 \times (0.001 \times 11.993)+(1-0.47) \times (0.001 \times 3.080)=(0.001) \times 7.270 \text{ (1/m)}$

(Eq.7.18)

$\beta=(M_a+M_b)/M_c=(11.69+39.75)/33.66=1.53$, $k=0.104(1-1.53/10)=0.0881$

$f=k \cdot l_{eff}^2 \cdot (1/r)=0.0881 \times 5.000^2 \times 7.270=16.0 \text{ mm}$

$f=16.01 \leq 1000 \times 5.000/250=20.0 \text{ mm}$, **Deformazione entro i limiti**

1.9.5. 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)
 $b=1.000m$, $b_{eff}=1.000m$, $h=0.200m$, $d=0.164m$, $x=0.044m$, $\emptyset=12mm$
 $N_{ed}=0.00kN$, $\sigma_c=(N_{ed}/bh)=0.0N/mm^2$, $\sigma_s=276N/mm^2$
 $A_{ct}=(h-x) \cdot b=(200-44) \times 1000=155803 \text{ mm}^2$
 $\max(h,b_1)=0mm$, $f_{ctm}=3.50N/mm^2$, $A_{c,eff}=155803mm^2$, $k=1.00$, $k_c=0.40$, $k_1=1.50$
 Armatura minima, $A_{s,min}=0.40 \times 1.00 \times 3.50 \times 155803 / 276 = 792mm^2/m$

1.9.6. Controllo delle fessurazioni senza calcolo diretto (SLE), Luce (EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.4)

larghezza fessura $w_k=0.3mm$ (XC2), tensione acciaio $\sigma_s=276N/mm^2$, $\Phi^*=12mm$, $\max s=156mm$ (EC2 T.7.2N)
 $\emptyset s=\emptyset^* (f_{ctm}/2.9) [k_c \cdot h_{cr} / (2(h-d))] = 8mm$ (EC2 Eq.7.6N)
 $f_{ctm}=3.50N/mm^2$, $k_c=0.40$, $h_{cr}=0.5 \times 200=100mm$, $h=200mm$, $d=164mm$
 Diametro massimo del ferro $\emptyset=8 \text{ mm}$, passo massimo del ferro $s=156 \text{ mm}$

1.9.7. Calcolo dell'ampiezza della fessurazione (SLE), Luce-1

(EC2 EN1992-1-1:2004, §7.3.3)

$w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})$ (EC2 Eq.7.8)
 $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[\sigma_s-k_t \cdot (f_{ct,eff}/\rho_{eff}) (1+\alpha_e \cdot \rho_{eff})] / E_s \geq 0.6 \sigma_s / E_s$ (EC2 Eq.7.9)
 $\sigma_s=276N/mm^2$, carico a breve termine: $\alpha_e=5.71$, $k_t=0.6$, carico a lungo termine: $\alpha_e=16.57$, $k_t=0.4$
 $A_{c,eff}=0.333(h-x)b=0.333 \times (200-44) \times 1000=51882 \text{ mm}^2$ (§7.3.2.3)
 $\rho_{eff}=A_s/A_{c,eff}=551/51882=0.011$
 $\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm}=[276-0.4 \times (3.5/0.011) (1+16.57 \times 0.011)] / 200=0.60 \text{ o/o} \geq 0.6 \times 276 / 200=0.83 \text{ o/o}$
 $s_{r,max}=k_3 \cdot C_{nom}+k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \emptyset / \rho_{eff}$ (EC2 Eq.7.11)
 $\emptyset=12mm$, $k_1=0.8$, $k_2=(e_1+e_2)/2e_1=0.5$, $k_3=3.4$, $k_4=0.425$
 $s_{r,max}=3.4 \times 30.00+0.8 \times 0.5 \times 0.425 \times 12 / 0.011=294.09 \text{ mm}$
 $w_k=s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm}-\epsilon_{cm})=294.09 \times 0.001 \times 0.83=0.24 \text{ mm}$
 $w_k=0.24 \text{ mm} \leq 0.30 \text{ mm} = w_{max}$, Classe di esposizione ambientale: XC2, **Ampiezza della fessurazione e**