

E.M.I.C. srl – Industria Manufatti in Cemento
Via Nazionale 670 – 45033 BOSARO (RO)

CERTIFICAZIONE
DI UN COPERCHIO PREFABBRICATO
DIMENSIONI (100x100x20)
FORO 60
CARICHI 1° CATEGORIA

ROVIGO LI. 28/10/2025

Il Tecnico:

FERRARI ing. UMBERTO



INDICE

1 - INTRODUZIONE.....	3
2 - RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3 - MATERIALI.....	4
4 - CARICHI DI PROGETTO.....	4
5 - METODO DI VERIFICA E COMBINAZIONE DI CARICO.....	5
6 - COPRIFERRO.....	6
7 - RISULTATI	7
8 - VERIFICHE DI RESISTENZA.....	7
9 - DISEGNO ARMATURA	13

1 - INTRODUZIONE

Si tratta dello studio per il calcolo di un coperchio di un pozzetto in calcestruzzo, armato per sopportare carichi di 1° categoria oltre al peso del coperchio in ghisa.

Le principali caratteristiche complete del manufatto vengono riportate nell' allegata scheda; quelle geometriche fondamentali sono le seguenti:

- Dimensioni di cm (100x100) spessore cm.20 con un foro centrale di dimensioni di cm. 60 (vedi figura 1)

Il programma utilizzato per il calcolo a elementi finiti è STRAUS7 Release 2.3.

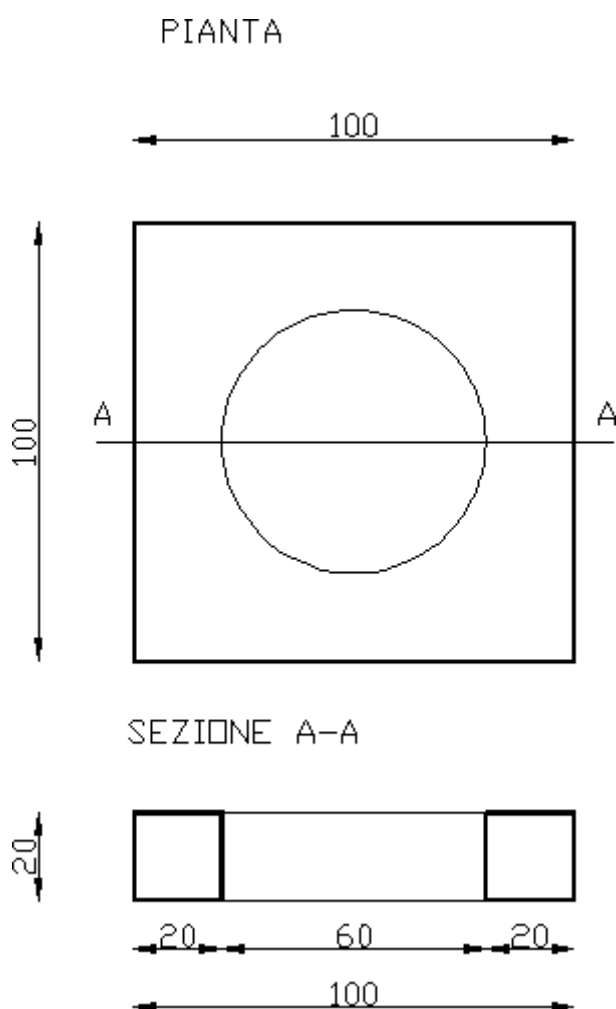


Figura 1: Geometria del manufatto

2 - RIFERIMENTI NORMATIVI

O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006

Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone

D.M. del 14 gennaio 2008

Norme tecniche per le costruzioni

Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G.U. 21 dicembre 1971 n. 321)

"Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".

Legge 2 febbraio 1974 n. 64 (G.U. 21 marzo 1974 n. 76)

*"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
Indicazioni di progettazione per le nuove costruzioni in zone sismiche a cura del Ministero per la Ricerca scientifica - Roma 1981.*

D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 (G.U. 20/02/2018 n. 42 - Suppl. Ord. n. 8)

"Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni".

Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, ad integrazione della norma precedente e per quanto con esse non in contrasto, sono state utilizzate le indicazioni contenute nelle seguenti norme:

Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. Serie Generale n. 35 del 11/02/2019 - Suppl. Ord. n. 5)

Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Si assume il comportamento del materiale sia del tipo elastico lineare e che gli spostamenti conseguenti all'applicazione dei carichi siano di primo ordine. Le verifiche sono condotte con il metodo degli stati limite.

3 - MATERIALI

- **Calcestruzzo C 32/40**

Coefficiente di sicurezza	γ_c	= 1.5
Resistenza cubica a compressione	R_{ck}	= 40 MPa
Resistenza caratt. a compressione	$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck}$	= 33.20 MPa
Coeff. Riduttivo di lunga durata	α_{cc}	= 0.85
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c$	= 22.13 MPa
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.30 \times R_{ck}^{2/3}$	= 3.10 MPa
Fratte 5 della resist. a trazione	$f_{ctk,0.05} = 0.7 \times f_{ctm}$	= 2.17 MPa
Fratte 95 della resist. a trazione	$f_{ctk,0.95} = 1.3 \times f_{ctm}$	= 4.03 MPa
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 \times f_{ctm}$	= 3.79 MPa
Resistenza di calcolo a trazione	$F_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	= 1.45 MPa
Modulo elastico	$E_c = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	= 33642.78 MPa
Coefficiente di Poisson	ν	= 0.20
Coefficiente di dilatazione termica	α	= $1 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

- **Acciaio tipo B 450C**

Coefficiente di sicurezza	γ_s	= 1.15
Tensione caratteristica si snervamento	f_{yk}	= 450 MPa
Resistenza caratt. a compressione	f_{yk}	= 540 MPa
Coeff. Riduttivo di lunga durata	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	= 391.3 MPa
Resistenza di calcolo a compressione	E_s	= 2.06e05 MPa

4 - CARICHI DI PROGETTO

1. PESO PROPRIO E PESO DEL COPERCHIO

Il peso della struttura di conglomerato è di 3,20 KN.

2. SOVRACCARICO STRADALE

Si considera un carico $Q_{1k} = 300 \text{ KN}$ distribuito su due impronte di metri 0.40 x 0.40 distanti fra loro di metri 1.2.

La diffusione attraverso la copertura di cm10 e lo spessore della soletta si considera incidere secondo un angolo di 45°, fino al piano medio della soletta del coperchio (vedi figura 2)

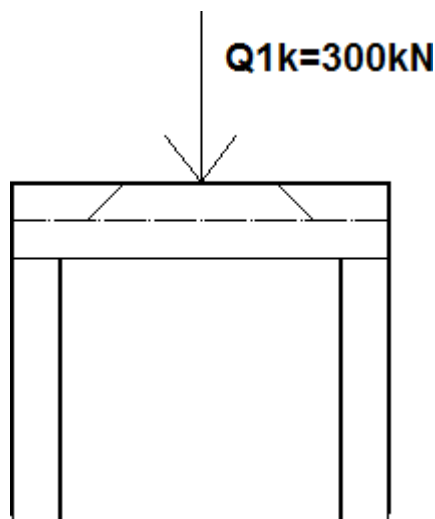


Figura 2: Distribuzione a 45° del carico stradale.

5 - METODO DI VERIFICA E COMBINAZIONE DI CARICO

Per la misura della sicurezza strutturale sono state svolte le seguenti verifiche:

- stato limite ultimo (SLU)
- stato limite delle tensioni di esercizio (SLE RARA, SLE QP)
- stato limite di fessurazione (SLE FREQ, SLE QP)

Le combinazioni di carico considerata sono:

- Combinazione fondamentale (SLU)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Dove:

$\gamma_{G1} = 1.35$ (carichi permanenti)

$\gamma_{G2} = 1.50$ (carichi permanenti non strutturali)

$\gamma_{Qi} = 1.35$ (carichi variabili da traffico)

- Combinazione caratteristica (SLE)

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

$$\psi_{02} = 0.00$$

- Combinazione frequente (SLE)

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

$$\psi_{11} = 0.75$$

$$\psi_{22} = 0.00$$

- Combinazione quasi permanente (SLE)

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dove:

$$\psi_{21} = \psi_{22} = 0.00$$

6 - COPRIFERRO

Con riferimento al D. M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 al fine di proteggere l'armatura dalla corrosione, il copriferro previsto è dato:

$$C = C_{\min} + C_{t01} + C_{qu}.$$

Dove:

- $C_{\min}$ copriferro minimo in base al calcestruzzo ed all'ambiente (vedi tabella C4.1.IV)
- C_{t01} è la tolleranza di posa pari a 10 mm

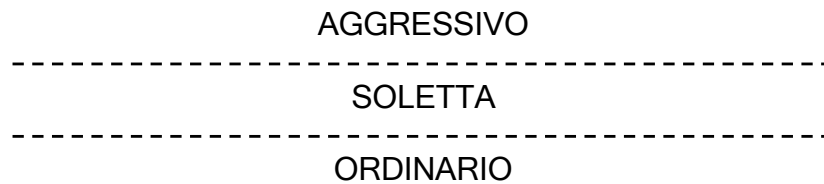
- C_{qu} per elementi sottoposti a controllo di qualità con verifica dei copriferri vale -5mm
negli altri casi vale 0 mm

Quindi per il lato inferiore si ha (ambiente ordinario):

$$C = 15 + 10 + 0 = 25 \text{ mm}$$

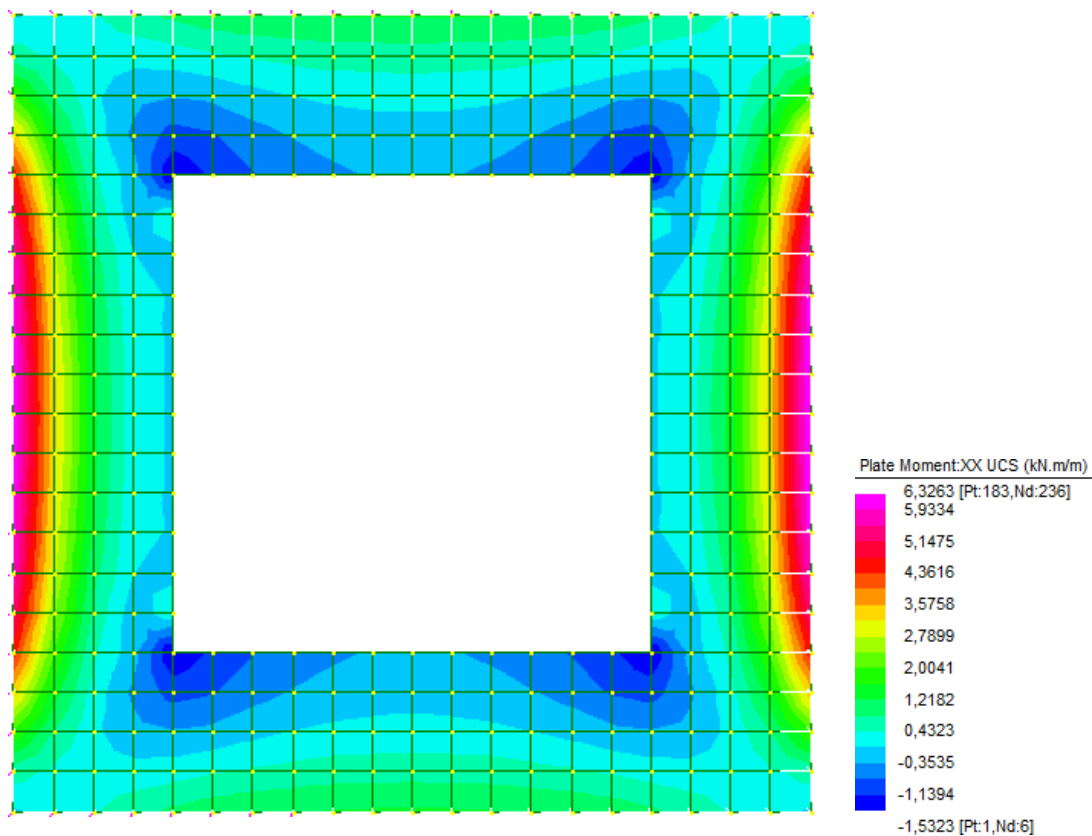
Per il lato superiore si ha (ambiente aggressivo):

$$C = 25 + 10 + 0 = 35 \text{ mm}$$



7 - RISULTATI

Si riporta di seguito il diagramma delle sollecitazioni per le combinazioni allo SLU.



8 - VERIFICHE DI RESISTENZA

VERIFICA ALLO SLU

Si considera il massimo momento a cui è sottoposto il coperchio e lo si confronta con il momento resistente della sezione armata.

Si considera una sezione 20x20 armata sopra e sotto con 3 ϕ 8.

Risulta:

Msd = 5.70 kNm, MRd = 9.67 kNm

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window displays input data for a 20x20 section. The 'Titolo' is '20x20'. The 'N° figure elementari' is 1. The 'N° strati barre' is 2. The 'Zoom' is set to 1. The 'Tipo Sezione' is 'Rettan.re'. The 'Metodo di calcolo' is 'S.L.U.+'. The 'Tipo flessione' is 'Retta'. The 'N° rett.' is 100. The 'Calcola MRd' button is highlighted. The 'Dominio M-N' button is also visible. The 'Col. modello' button is present. The 'Precompresso' checkbox is unchecked.

N°	b [cm]	h [cm]
1	20	20

N°	As [cm²]	d [cm]
1	1,51	3,5
2	1,51	16,5

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 5,7 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C32/40

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,81 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12,25 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

Calcoli

M_{xRd} 9,673 kNm
 σ_c -18,81 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 17,11 ‰
d 16,5 cm
x 2,802 x/d 0,1698
 δ 0,7

Sezio...

File

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

La verifica è soddisfatta.

VERIFICA ALLO SLE

Verifica delle tensioni di esercizio

Secondo quanto riportato dal D.M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 la massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

$\sigma_c < 0.60f_{ck} = 19.92 \text{ MPa}$ per combinazione caratteristica (rara)

$\sigma_c < 0.45f_{ck} = 14.94 \text{ MPa}$ per combinazione quasi permanente

Per l'acciaio la tensione massima σ_s deve rispettare la limitazione seguente:

$\sigma_s < 0.80f_{yk} = 360 \text{ MPa}$ per combinazione caratteristica (rara)

E le tensioni interne sono valutabili attraverso le condizioni:

$$\sigma_c = \frac{M}{J_n} x \quad \sigma_s = n \frac{M}{J_n} (d - x) \quad \sigma'_s = n \frac{M}{J_n} (x - c)$$

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Caratteristica			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	4,2	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	200	[mm]
Copriferro	d'	35	[mm]
Altezza utile della sezione	d	165	[mm]
Area dell'armatura tesa	A_s	151	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	151	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	48,34	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	38717203,37	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	19,92	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	5,24	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	189,82	[MPa]

DETERMINAZIONE DELLE TENSIONI A SLS			
Controllo tensionale per la Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante assunto in valore assoluto	M_{Ed}	0,1	[kNm]
Coefficiente di omogeneizzazione	n	15,0	[-]
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	j	200	[-]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	200	[-]
Copriferro	d'	35	[-]
Altezza utile della sezione	d'	165	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	151	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A'_s	151	[mm ²]
Posizione dell'asse neutro	x	48,34	[mm]
Momento d'inerzia della sezione rispetto a x	J	38717203,37	[mm ⁴]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	14,94	[MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360	[MPa]
Tensione nel calcestruzzo	σ_c	0,14	[MPa]
Tensione nell'armatura tesa	σ_s	4,97	[MPa]

La verifica è soddisfatta.

Verifica di fessurazione

Secondo quanto enunciato nel D.M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018 è necessario definire: Stati limite di fessurazione

In ordine di severità decrescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione**, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- stato limite di formazione delle fessure**, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$$

- stato limite di apertura delle fessure**, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione, come descritto nel seguito.

Combinazioni di azioni

Si prendono in considerazione le seguenti combinazioni:

- combinazioni quasi permanenti;
- combinazioni frequenti.

Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella Tab. 4.1.III.

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso.

Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari.

Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella Tab. 4.1.IV sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Come evidenziato in tabella, essendo in condizioni ambientali aggressive e utilizzando armature poco sensibili si dovrà verificare che:

- $w_d < w_2 = 0,3$ mm. combinazione frequente
- $w_d < w_1 = 0,2$ mm. combinazione quasi permanente

Verifica allo stato limite di apertura delle fessure

Per la determinazione del valore di calcolo di apertura delle fessure w_{ds} è fatto riferimento al D.M. Infrastrutture Trasporti 17/01/2018:

$$w_d = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{smax}$$

dove ε_{sm} rappresenta la deformazione media delle barre d'armatura e Δ_{smax} la distanza massima tra le fessure.

La deformazione unitaria media ε_{sm} delle barre può essere calcolata con l'espressione:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ctm}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \rho_{eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Dove:

- σ_s è la tensione nell'armatura tesa valutata considerando la sezione fessurata
- α_e è il rapporto E_s/E_{cm}
- ρ_{eff} è pari a $A_s/A_{c,eff}$
- $A_{c,eff}$ è l'area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura, di altezza $h_{c,eff}$, dove $h_{c,eff}$ è il valore minore tra $2,5(h - d)$, $(h - x)/3$ e $h/2$
- k_t è un fattore dipendente dalla durata del carico e vale:

0,6 per carichi di breve durata,

0,4 per carichi di lunga durata.

Nei casi in cui l'armatura sia disposta con una spaziatura non superiore a $5(c + \theta/2)$ la distanza massima tra le fessure, Δ_{smax} , può essere valutata con l'espressione:

$$\Delta_{smax} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\theta}{\rho_{eff}}$$

Dove:

- θ è il diametro delle barre
- c è il ricoprimento dell'armatura
- k_1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata
= 1.6 per barre lisce
- k_2 = 0.5 nel caso di flessione
= 1.0 nel caso di trazione semplice
- k_3 = 3.4
- k_4 = 0.425

CONTROLLO DI FESSURAZIONE A SLS			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	200	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	200	[mm]
Copriferro	d'	35	[mm]
Altezza utile della sezione	d	165	[mm]
Area dell'armatura tesa	A _s	151	[mm ²]
Area dell'armatura compressa	A' _s	151	[mm ²]
Distanza tra il bordo del cls e l'armatura	c	35	[mm]
Distanza tra i baricentri delle barre	s	14	[mm]
Distanza massima di riferimento tra le barre	s _{ref,max}	195	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Quasi Permanente			
Momento sollecitante per la combinazione Quasi Permanente	M_{Ed,q.p.}	0,11	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	48,34	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	4,97	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	3,1	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	50,5526569	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	10110,5314	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,01491	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	5,94	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	-0,000654	[-]
		0,000015	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	8,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	210,18	[mm]
		210,18	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0031	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,2	[mm]
Calcolo dell'ampiezza delle fessure - Combinazione Frequente			
Momento sollecitante per la combinazione Frequente	M_{Ed,freq.}	3,14	[kNm]
Durata del carico		breve	[-]
Posizione dell'asse neutro dal lembo superiore	x	48,34	[mm]
Tensione indotta nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata	σ _s	141,92	[MPa]
Valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo	f _{ct,eff}	3,1	[MPa]
Fattore dipendente dalla durata del carico	k ₁	0,6	[-]
Altezza efficace	h _{c,eff}	50,5526569	[mm]
Area efficace del calcestruzzo teso attorno all'armatura	A _{c,eff}	10110,5314	[mm ²]
Rapporto geometrico sull'area efficace	ρ _{p,eff}	0,01491	[-]
Rapporto tra E _s /E _{cm}	α _e	5,94	[-]
Differenza tra la deformazione nell'acciaio e quella nel calcestruzzo	ε _{sm} - ε _{cm}	0,000031	[-]
		0,000426	[-]
Determinazione del diametro equivalente delle barre tese	φ _{eq}	8,00	[mm]
Coefficiente che tiene conto dell'aderenza migliorata delle barre	k ₁	0,8	[-]
Coefficiente che tiene conto della flessione pura	k ₂	0,5	[-]
	k ₃	3,4	[-]
	k ₄	0,425	[-]
Distanza massima tra le fessure	s _{r,max}	210,18	[mm]
		210,18	[mm]
Ampiezza delle fessure	w_k	0,0875	[mm]
Ampiezza massima delle fessure	w_{max}	0,3	[mm]

La verifica è soddisfatta.

9 - DISEGNO ARMATURA

