

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

Relazione di calcolo opere idrauliche di attraversamento 1/2

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 1 M 1 1 D 2 6 C L I N 0 1 A 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva		Gennaio 2022	N.Carella <i>N.Carella</i>	Gennaio 2022	L.Barchi <i>L.B</i>	Gennaio 2022	A.Perego Gennaio 2022

IN1M11D26CLIN01A0001A .DOCX

n. Elab.: 1

## INDICE

PREMESSA .....	4
1 DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	5
1.1 Geometria .....	5
2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	7
2.1 Normative di riferimento .....	7
2.2 Elaborati progettuali .....	7
3 MATERIALI .....	8
3.1 Calcestruzzo per magrone .....	8
3.2 Calcestruzzo per fondazione ed elevazione .....	8
3.3 Acciaio B450C .....	8
3.4 Valori limiti tensionali allo SLE .....	8
3.4.1 Verifica dello stato limite di fessurazione .....	8
4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	10
4.1 Terreno di ricoprimento/rinterro .....	10
4.2 Interazione terreno-struttura .....	10
5 ANALISI DEI CARICHI .....	11
5.1 Pesi propri e carichi permanenti .....	11
5.2 Spinta del terreno .....	11
5.3 Carichi stradali .....	11
5.4 Ritiro differenziale della soletta di copertura .....	11
5.5 Azione Sismica .....	14
5.5.1 Sovrappinta sismica .....	14
5.5.2 Azione sismica inerziale .....	15
6 COMBINAZIONI DI CARICO .....	16
6.1 Elenco combinazioni .....	18
7 MODELLO DI CALCOLO .....	24
7.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo .....	24
7.2 Affidabilità del codice di calcolo .....	25
8 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	26
9 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO .....	30
9.1 Sezione 1 .....	30
9.2 Sezione 2 .....	35
9.3 Sezione 3 .....	38
9.4 Sezione 4 .....	43



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI  
BRESCIA

Relazione di calcolo opere idrauliche di  
attraversamento 1/2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11	D 26CL	IN01A0001	A	3 di 56

9.5	Sezione 5.....	46
9.6	Sezione 6.....	50
10	ARMATURA DI RIPARTIZIONE DELLO SCATOLARE .....	55
11	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	56



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI  
BRESCIA

Relazione di calcolo opere idrauliche di  
attraversamento 1/2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11	D 26CL	IN01A0001	A	4 di 56

## PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la verifica strutturale delle opere idrauliche di attraversamento IN01, nell'ambito della progettazione definitiva del Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia. In particolare si considerano le verifiche strutturali del tombino al km 0+078.39 della linea A.V. /A.C. Milano – Verona.

## 1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il tombino verrà realizzato in opera al di sotto della linea viaria esistente.

La struttura è caratterizzata, lungo tutto il suo sviluppo al disotto del rilevato stradale, dalla sua sezione scatolare trasversale. Nelle analisi viene perciò presa in considerazione una striscia di sezione scatolare di lunghezza unitaria.

### 1.1 Geometria

La sezione trasversale retta del tombino ha una larghezza interna di  $L_{int} = 3.50$  m ed un'altezza netta di  $H_{int} = 1.20$  m; lo spessore della platea di fondazione, dei piedritti e della soletta è di  $S_f = 0.40$  m. Il ricoprimento, compreso tra soletta superiore e il piano viario, è pari ad 0.90 m.

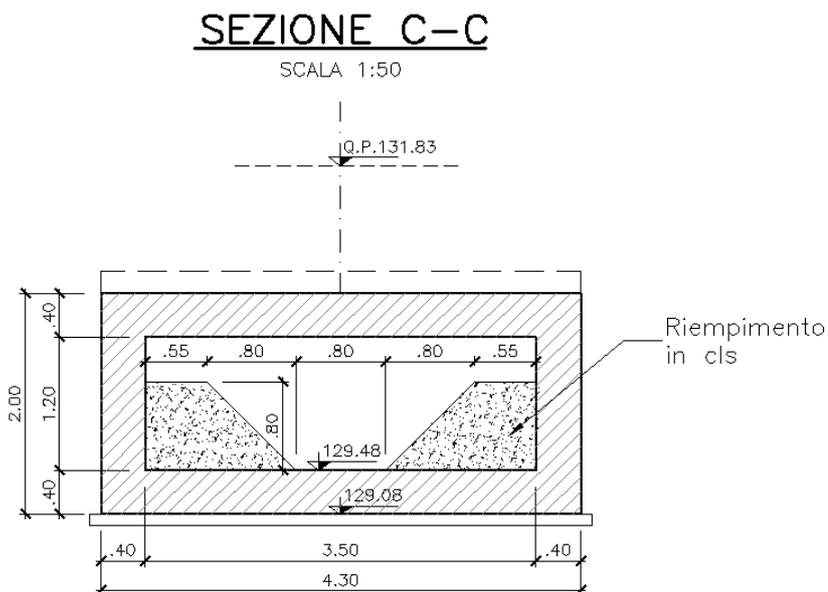


Figura 1 – Sezione trasversale

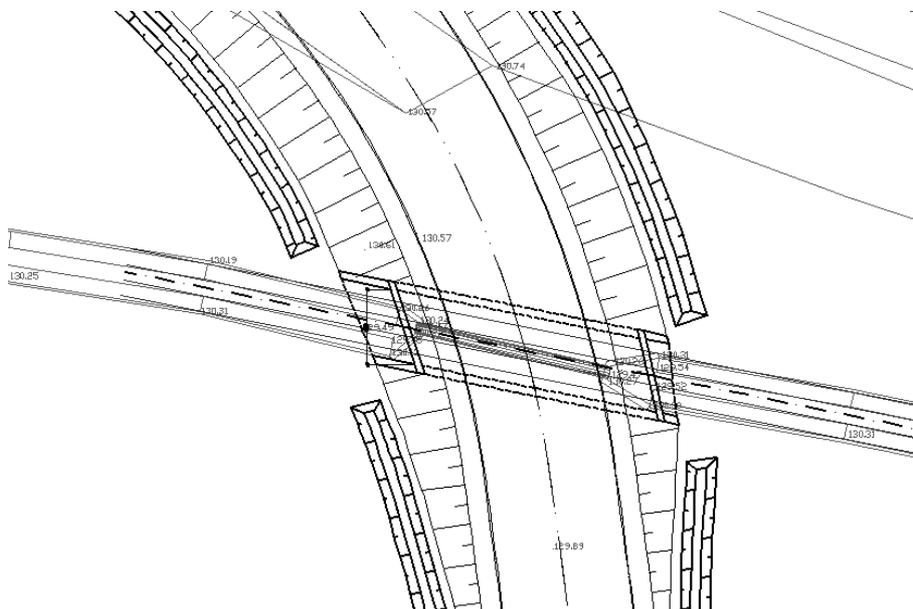


Figura 2 – Planimetria

**SEZIONE A-A**

SCALA 1:50

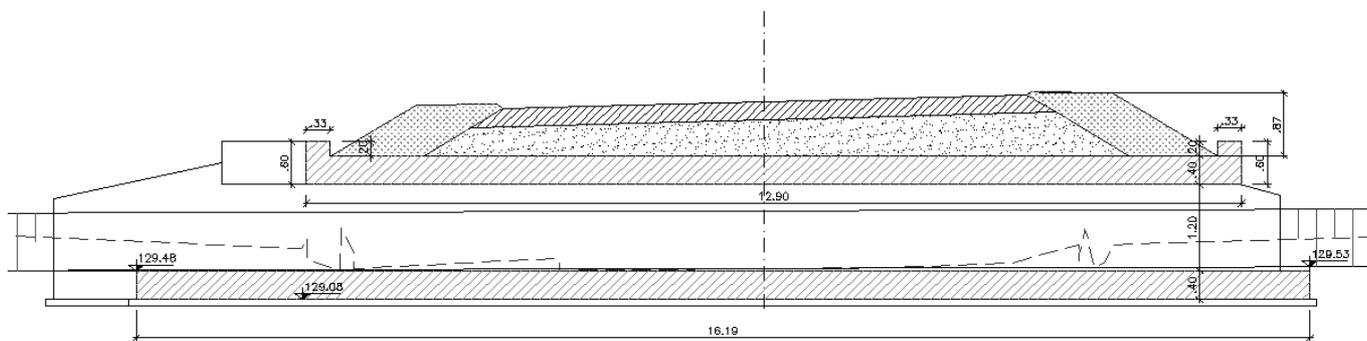


Figura 3 – Sezione Trasversale

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative di riferimento

- [1]. L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- [2]. L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [4]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [7]. UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [8]. UNI EN 1991-1-2 (2005) - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali
- [9]. UNI EN 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [10]. UNI EN 1998-1 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [11]. UNI EN 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [12]. D.M. 31.07.2012: Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici.

### 2.2 Elaborati progettuali

Carpenteria IN01A

### 3 MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzo per magrone

##### **Conglomerato classe di resistenza C12/15 ( $R_{ck}$ 15 MPa)**

Classe di esposizione:	X0
Classe di consistenza	S3

#### 3.2 Calcestruzzo per fondazione ed elevazione

##### **Conglomerato classe di resistenza 32/40 ( $R_{ck}$ 40 MPa)**

Classe di esposizione	XC4
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo (FS N°I/SC/PS-OM/2298)	50 mm

#### 3.3 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450$ MPa;
Tensione di progetto:	$f_{yd} = 391.3$ MPa;
Modulo Elastico	$E_s = 210'000$ MPa.

#### 3.4 Valori limiti tensionali allo SLE

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Limiti tensionali allo SLE, secondo "NTC2018 Cap. 4.1.2.2.5".

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara)  $0.60 f_{ck}$ ;
- Per combinazioni di carico Quasi Permanente  $0.45 f_{ck}$ ;

##### Tensioni di trazione nell'acciaio:

- Per combinazione di carico Caratteristica  $0.80 f_{yk}$

#### 3.4.1 Verifica dello stato limite di fessurazione

Il valore caratteristico di apertura delle fessure ( $w_k$ ) non deve superare i valori nominali  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  secondo quanto riportato nella Tab. 4.1.IV. (NTC2018).

Tab. 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	$w_k$	Stato limite	$w_k$
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Apertura delle fessure paramento:

- Combinazione Caratteristica (frequente)  $w_k \leq w_2 = 0.3$  mm;
- Combinazione Caratteristica (quasi permanente)  $w_k \leq w_1 = 0.2$  mm.

Apertura delle fessure fondazioni:

- Combinazione Caratteristica (frequente)  $w_k \leq w_2 = 0.4$  mm;
- Combinazione Caratteristica (quasi permanente)  $w_k \leq w_1 = 0.3$  mm.

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per i parametri geologico-geotecnici si fa riferimento alla Relazione Geotecnica Generale.

### 4.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera è stato assunto un peso di volume  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

### 4.2 Interazione terreno-struttura

Il terreno di rinfianco dell'opera è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici assunti costanti lungo l'altezza dello scatolare e conservativamente pari a quelli del terreno di fondazione:

$$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$c' = 0 \text{ [kPa]}$$

$$\phi' = 38 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Si tiene conto dell'interazione terreno – struttura in fondazione mediante l'introduzione di molle in grado di schematizzare il comportamento del terreno. Si assume, in modo conservativo rispetto a quanto indicato nella Relazione Geotecnica Generale, una costante di sottofondo (Winkler) pari a:

$$k_w = 9807 \text{ kN/m}^3$$

I valori delle molle vengono differenziati dal programma di calcolo in funzione della zona di appoggio (laterale, intermedia e centrale) secondo lo schema in figura.

<i>Interasse molle</i>	$i = (\frac{S_p}{2} + L_{int} + \frac{S_p}{2})/10$	[m]
<i>Molle centrali</i>	$k_1 = k_w * i$	[kN/m]
<i>Molle intermedie</i>	$k_2 = 1,5 * k_w * i$	[kN/m]
<i>Molle laterali</i>	$k_3 = 2 * k_w * (\frac{i}{2} + \frac{S_p}{2})$	[kN/m]

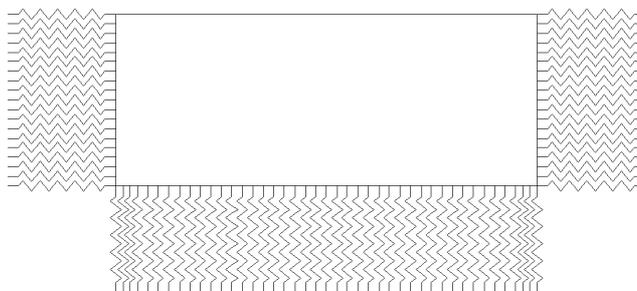


Figura 4 Modellazione letto di molle

## 5 ANALISI DEI CARICHI

### 5.1 Pesì propri e carichi permanenti

- Calcestruzzo strutturale:  $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$
- Rilevato stradale:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- Massetto:  $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
- Pacchetto stradale:  $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$

### 5.2 Spinta del terreno

Il coefficiente di spinta a riposo è espresso dalla relazione (Jaky):

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità  $z$  e la spinta totale sulla parete di altezza  $H$  valgono:

$$\sigma = \gamma z K_0 + p_v K_0$$

$$S = 1/2 \gamma H^2 K_0 + p_v K_0 H$$

Dove:

- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  è il peso per unità di volume del terreno di rinfianco;
  - $H = 2.90 \text{ m}$  è l'altezza dell'opera in esame;
  - $p_v$  è la pressione verticale agente in corrispondenza del solettone superiore pari a  $G_{2,ric}$
- $H_{tot} = 0.80 \text{ m}$                       ricoprimento totale  
 $H_{traversina} = 0.40 \text{ m}$               Spessore traversina  
 $H_{rsup} = 0 \text{ m}$                           Rinterro  
 $S_s = 0.80 \text{ m}$                           Spessore solettone

Si tenga conto che la diffusione al piano di imposta del ballast è pari a:

$$L_{trasv, ballast} = 2.40 + 2 \cdot [(H_{tot} - H_{traversina})/4] = 2.4 + 2 \cdot [(0.40)/4] = 2.60 \text{ m}$$

### 5.3 Carichi stradali

Al di sopra del tombino viene considerato un carico di esercizio uniformemente distribuito di intensità  $20,0 \text{ kN/m}$ .

### 5.4 Ritiro differenziale della soletta di copertura

Gli effetti del ritiro vengono valutati a "lungo termine" attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D.M.17-01-2018. I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro.

Cls a t=0

$R_{ck}$	=	40	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cubica caratteristica
$f_{ck}$	=	33.2	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm}$	=	41.2	N/mm <sup>2</sup>	Resistenza a compressione cilindrica media
$\alpha$	=	1.0E-05		
$E_{cm}$	=	33643	N/mm <sup>2</sup>	Modulo elastico secante medio

Tempo e ambiente

$t_s$	=	3	gg	età del calcestruzzo in giorni, all'inizio del ritiro per essiccamento
$t_0$	=	7	gg	età del calcestruzzo in giorni al momento del carico
$t$	=	25550	gg	età del calcestruzzo in giorni
$h_0=2A_c/u$	=	800	mm	dimensione fittizia dell'elemento di cls
$A_c$	=	400000	mm <sup>2</sup>	sezione dell'elemento
$u$	=	1000	mm	perimetro a contatto con l'atmosfera
$RH$	=	80	%	umidità relativa percentuale

Coefficiente di viscosità  $\phi(t, t_0)$  e modulo elastico  $EC_t$  a tempo "t"

$$\phi(t, t_0) = \phi_0 \beta_c(t, t_0) = 1.982$$

$$\phi_0 = \phi RH \beta_c(f_{cm}) \beta_c(t_0) = 119.87 \text{ coeff nominale di viscosità}$$

$$\phi_{RH} = 1 + \left[ \frac{1 - RH/100}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \right] \alpha_2 = 1.186 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità}$$

$$\alpha_1 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.7} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.892 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.2} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.968 \text{ coeff per la resistenza del cls}$$

$$\beta_c(f_{cm}) = \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2.617 \text{ coeff che tiene conto della resistenza del cls}$$

$$\beta_c(t_0) = \frac{1}{(0.1 + t_0^{0.20})} = 0.572 \text{ coeff. per l'evoluzione della viscosità nel tempo}$$

$$t_0 = t_0 \left( \frac{9}{2 + t_0^{1.2}} + 1 \right)^\alpha \geq 0.5 = 12.11 \text{ coeff. per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\alpha = 1 \text{ coeff per il tipo di cemento (-1 per classe S, 0 per classe N, 1 per classe R)}$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{u.3} = 0.984 \text{ coeff per la variabilità della viscosità nel tempo}$$

$$\beta_H = 1.5[1 + (0.012 RH)^{18}] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 = 1382.5 \text{ coeff che tiene conto dell'umidità relativa}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} (35/f_{cm})^{0.5} & \text{per } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \\ 1 & \text{per } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \end{cases} = 0.922 \text{ coeff per la resistenza del calcestruzzo}$$

Il modulo elastico a tempo "t" è pari a:

$$E_{cm}(t, t_0) = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t, t_0)} = 11281951 \text{ kN/m}^2$$

Deformazioni di ritiro

$$\varepsilon_s(t, t_0) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t) = 0.000193 \text{ deformazione di ritiro } \varepsilon(t, t_0)$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) K_b \varepsilon_{cd,0} = 0.000135 \text{ deformazione al ritiro per essiccamento}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \left[ \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0.04 \sqrt{h_0^3}} \right] = 0.965784$$

$K_b =$

0.7

parametro che dipende da  $h_0$   
secondo il prospetto seguente

Valori di  $k_h$

$h_0$	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Valori di  $K_b$  intermedi a quelli del prospetto vengono calcolati tramite interpolazione lineare

$$\varepsilon_{cd,0} = 0.85 \left[ (200 + 100 \alpha_{ds1}) \exp(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{f_{cm0}}) \right] 10^{-6} \beta_{RH} = 0.000199$$

$$\beta_{RH} = 1.55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH0} \right)^3 \right] = 0.756400$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ Mpa}$$

$$RH0 = 100 \%$$

$$\alpha_{ds1} = 3$$

coeff per il tipo di cemento (3 per classe S, 4 per classe N, 6 per classe R)

$$\alpha_{ds2} = 0.13$$

coeff per il tipo di cemento (0.13 per classe S, 0.12 per classe N, 0.11 per classe R)

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \varepsilon_{ca,00} = 0.000058 \text{ deformazione dovuta al ritiro autogeno}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0.2t^{0.5}) = 1$$

$$\varepsilon_{ca,00} = 2.5(f_{ck} - 10)10^{-6} = 0.000058$$

Variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{ritiro}} = - \frac{\varepsilon_s(t, t_0) E_{cm}}{(1 + \varphi(t, t_0)) E_{cm} \alpha} = -6.47 \text{ }^\circ\text{C}$$

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura

## 5.5 Azione Sismica

Nel seguente paragrafo sono riportati i parametri sismici in accordo a quanto specificato dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

Il sito dove sorgerà la costruzione si trova alle coordinate 45°.535389 N – 10°.176364 E

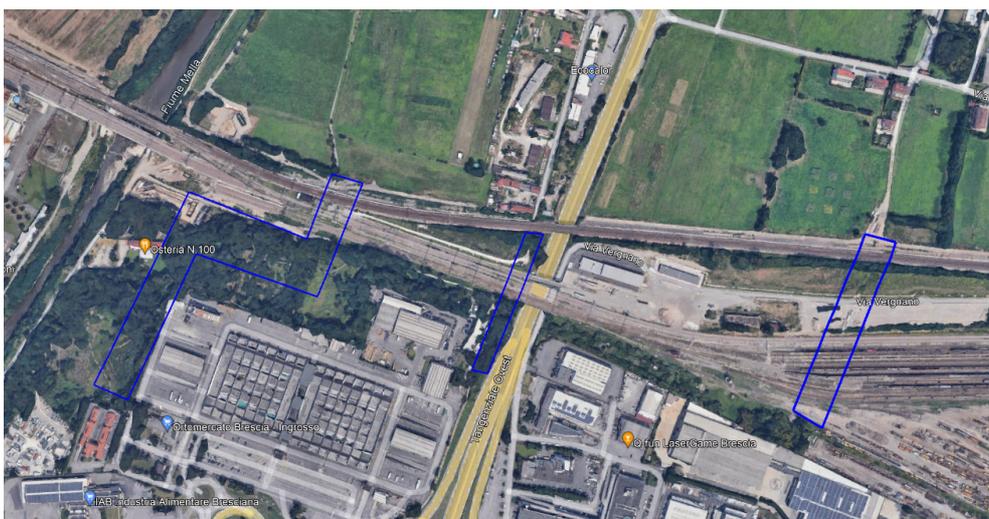


Figura 5

In relazione alla tipologia strutturale e alla sua destinazione d'uso si è preso in esame il solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

- Vita nominale:  $V_N = 100$  anni
- Classe d'Uso III
- Coefficiente d'uso:  $C_U = 1.5$
- Periodo di riferimento:  $V_R = V_N \times C_U = 150$  anni
- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV
- Probabilità di superamento associata allo stato limite SLV:  $PVR = 10\%$
- Periodo di ritorno:  $T_R = -V_R / \ln(1 - PVR) = 1424$  anni
- Categoria topografica: T1 coefficiente topografico  $S_T = 1$

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]	$S_s$ [-]	$S_t$ [-]	$a_{max}$ [g]
SLV	1424	0.215	2.449	0.291	1.384	1.00	0.297

### 5.5.1 Sovrappinta sismica

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico (N.T.C. par. 7.11.6). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NTC par. 7.11.6.2.1 e EC8-5 par.7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo, condizione che comporta il

calcolo delle spinte in condizione sismica con l'incremento dinamico di spinta del terreno calcolato secondo la formula di Wood:

$$\Delta P_d = S * \frac{a_g}{g} * \gamma * h_{tot}^2$$

La spinta si considera come un carico uniformemente distribuito su  $h_{tot}$ .

### 5.5.2 Azione sismica inerziale

Anche per queste azioni si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sismiche sono pertanto le seguenti:

- Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h * W$
- Forza sismica verticale  $F_v = k_v * W$

Essendo  $W$  il peso del manufatto e  $k_h$  e  $k_v$  i coefficienti definiti al par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018, corretti in base alle indicazioni del cap. 3.10.3.1 del Manuale di Progettazione sez.III

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

Dove:

$\beta_m = 1,0$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;  
 $a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;  
 $g$  = accelerazione di gravità.

## 6 COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica di tutti gli elementi strutturali verranno eseguiti mediante il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite. Per quanto concerne le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), le condizioni elementari di carico vengono tra loro combinate in modo da determinare le sollecitazioni più sfavorevoli.

Le combinazioni di carico che verranno considerate nel calcolo delle sollecitazioni rispettano le prescrizioni fornite dalle NTC 2018,

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (2.5.3 – NTC2018).

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

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

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (frequente), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (quasi permanente), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine (SLE):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

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

Dove:

- Azioni Permanenti (G);
- Azioni Variabili (Q);
- Azioni di Precompressione (P);
- Azioni Eccezionali (A);
- Azioni Sismiche (E) =  $\pm 1.00 \times E_Y \pm 0.3 \times E_Z$

avendo indicato con E<sub>Y</sub> e E<sub>Z</sub> rispettivamente le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica.

I valori dei coefficienti che tengono conto della non contemporaneità dei massimi valori delle azioni sono dati dalla Tab. 5.2.VI:

**Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (da DM 17/01/2018)**

Azioni		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	F <sub>Wk</sub>	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T <sub>k</sub>	0,60	0,60	0,50

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono dati in Tab. 5.2.V:

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ced}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

<sup>(5)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(6)</sup> 1,20 per effetti locali

Nel calcolo della struttura scatolare, si è fatto riferimento alla combinazione A1+M1+R3 (Approccio 2) per le verifiche strutturali e geotecniche, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale, il coefficiente R3 non deve essere portato in conto. Le azioni descritte nel paragrafo precedente ed utilizzate nelle combinazioni di carico vengono di seguito riassunte. Le prime sei condizioni sono definite in automatico dal programma.

#### Convenzioni adottate

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura

Carichi verticali positivi se diretti verso il basso

Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra

Coppie concentrate positive se antiorarie

Ascisse X (espresse in m) positive verso destra

Ordinate Y (espresse in m) positive verso l'alto

Carichi concentrati espressi in kN

Coppie concentrate espressi in kNm

Carichi distribuiti espressi in kN/m

IN1M11D26CLIN01A0001A



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI  
BRESCIA

Relazione di calcolo opere idrauliche di  
attraversamento 1/2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11	D 26CL	IN01A0001	A	18 di 56

### Simbologia adottata e unità di misura

#### Forze concentrate

X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati  
Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati  
F<sub>y</sub> componente Y del carico concentrato  
F<sub>x</sub> componente X del carico concentrato  
M momento

#### Forze distribuite

X<sub>i</sub>, X<sub>f</sub> ascisse del punto iniziale e finale per carichi distribuiti verticali  
Y<sub>i</sub>, Y<sub>f</sub> ordinate del punto iniziale e finale per carichi distribuiti orizzontali  
V<sub>ni</sub> componente normale del carico distribuito nel punto iniziale  
V<sub>nf</sub> componente normale del carico distribuito nel punto finale  
V<sub>ti</sub> componente tangenziale del carico distribuito nel punto iniziale  
V<sub>tf</sub> componente tangenziale del carico distribuito nel punto finale  
D<sub>te</sub> variazione termica lembo esterno espressa in gradi centigradi  
D<sub>ti</sub> variazione termica lembo interno espressa in gradi centigradi

#### Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

#### Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

#### Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

#### Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

#### Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

#### Condizione di carico n° 7 (Stradale)

Distr	Terreno	X <sub>i</sub> =	X <sub>f</sub> =	V <sub>ni</sub> =	V <sub>nf</sub> =
		-4.30	12.00	20.00	20.00

#### Condizione di carico n° 8 (Ritiro)

Term	Pied_S	D <sub>te</sub> =	D <sub>ti</sub> =
		-6.50	-6.50
Term	Pied_D	D <sub>te</sub> =	D <sub>ti</sub> =
		-6.50	-6.50
Term	Traverso	D <sub>te</sub> =	D <sub>ti</sub> =
		-6.50	-6.50

#### Condizione di carico n° 9 (SW2-2-GR1)

#### Condizione di carico n° 10 (SW2-3-GR1)

#### Condizione di carico n° 11 (SW2-1-GR3)

#### Condizione di carico n° 12 (SW2-2-GR3)

#### Condizione di carico n° 13 (SW2-3-GR3)

## 6.1 Elenco combinazioni

### Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione  
ψ Coefficiente di combinazione della condizione  
C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Norme Tecniche 2018

### Simbologia adottata

γ<sub>G1sfav</sub> Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti  
γ<sub>G1fav</sub> Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti  
γ<sub>G2sfav</sub> Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti non strutturali  
γ<sub>G2fav</sub> Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti non strutturali  
γ<sub>Q</sub> Coefficiente parziale sulle azioni variabili  
γ<sub>tanφ'</sub> Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato  
γ<sub>c</sub> Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata  
γ<sub>cu</sub> Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata  
γ<sub>qu</sub> Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

### Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ <sub>G1fav</sub>	1.00	1.00

IN1M11D26CLIN01A0001A

Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G1sfav}$	1.35	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2fav}$	0.00	0.80
Permanenti non strutturali	Sfavorevole	$\gamma_{G2sfav}$	1.50	1.30
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qifav}$	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qisfav}$	1.50	1.30
Variabili da traffico	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.45	1.15
Termici	Favorevole	$\gamma_{sfav}$	0.00	0.00
Termici	Sfavorevole	$\gamma_{sfsfav}$	1.20	1.20

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1fav}$	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G1sfav}$	1.00	1.00
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G2fav}$	0.00	0.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{G2sfav}$	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qifav}$	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qisfav}$	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1.00	1.00
Termici	Favorevole	$\gamma_{sfav}$	0.00	0.00
Termici	Sfavorevole	$\gamma_{sfsfav}$	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35

Combinazione n° 2 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	1.00	1.45
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 3 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35

IN1M11D26CLIN01A0001A

Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	0.70	1.01
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	0.70	1.01
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20
SW2-2-GR1	Sfavorevole	1.45	1.00	1.45

Combinazione n° 5 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	0.70	1.01
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 6 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	0.70	1.01
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 7 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	0.70	1.01
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 8 SLU (Approccio 2)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Stradale	Sfavorevole	1.45	0.70	1.01
Ritiro	Sfavorevole	1.20	1.00	1.20

Combinazione n° 9 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
--	---------	----------	--------	---

Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 SLE (Quasi Permanente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.50	0.50
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30

Combinazione n° 16 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30

Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
--------	-------------	------	------	------

Combinazione n° 19 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 20 SLE (Frequente)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.30	0.30
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 21 SLE (Rara)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 22 SLE (Rara)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70

Combinazione n° 23 SLE (Rara)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 24 SLE (Rara)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 25 SLE (Rara)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 26 SLE (Rara)

	Effetto	$\gamma$	$\Psi$	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

IN1M11D26CLIN01A0001A

Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 27 SLE (Rara)

	<b>Effetto</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\Psi</math></b>	<b>C</b>
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Stradale	Sfavorevole	1.00	0.70	0.70
Ritiro	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

## 7 MODELLO DI CALCOLO

La struttura del tombino viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler).

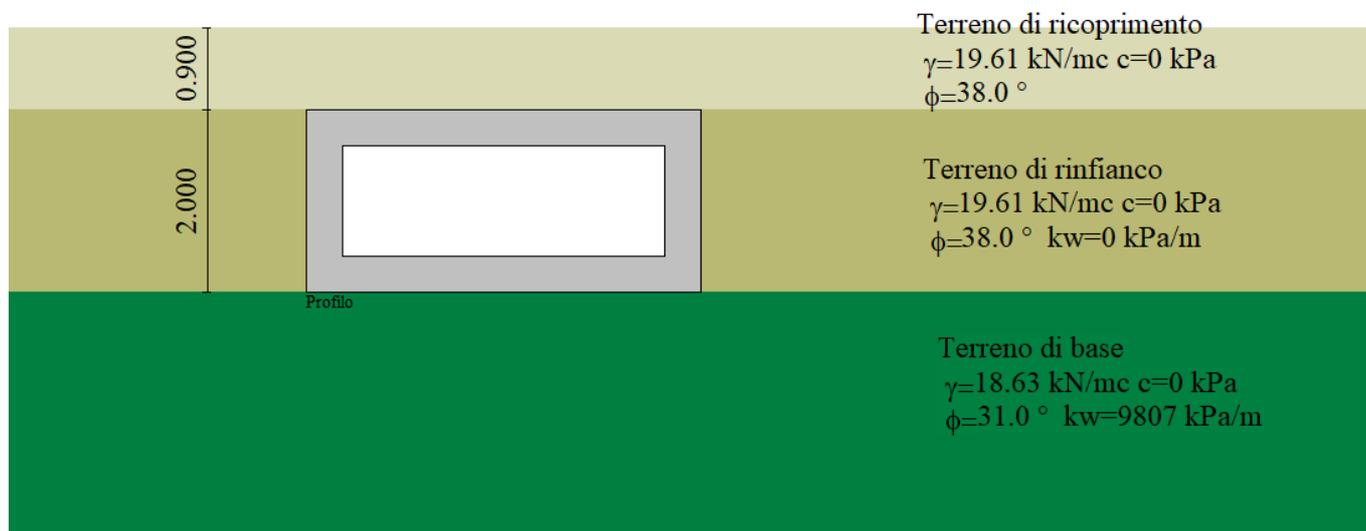


Figura 6 – Modello di calcolo scatolare

### 7.1 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Per l'analisi delle strutture è stato utilizzato il software **SCAT** © versione **2014** della **Aztec Informatica**, numero di licenza **AIR0136G4**, distribuito da **Aztec Informatica** Corso Umberto 43 -87050 Casali del manco – Loc. Casole Bruzio (CS).

La documentazione fornita dal produttore e dal distributore del software circa l'affidabilità, la validazione ed i casi di prova interamente risolti e commentati con files di input che consentano la riproduzione dell'elaborazione sono disponibili al sito del produttore.

Come previsto al punto 10.2 delle norme tecniche di cui al D.M. 17.01.2018 l'affidabilità del codice utilizzato è stata verificata sia effettuando il raffronto tra casi prova di cui si conoscono i risultati esatti sia esaminando le indicazioni, la documentazione ed i test forniti dal produttore stesso.

Il software è inoltre dotato di filtri e controlli di autodiagnostica che agiscono a vari livelli sia della definizione del modello che del calcolo vero e proprio. I controlli vengono visualizzati, sotto forma di tabulati, di videate a colori o finestre di messaggi.



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI  
BRESCIA

Relazione di calcolo opere idrauliche di  
attraversamento 1/2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11	D 26CL	IN01A0001	A	25 di 56

## 7.2 Affidabilità del codice di calcolo

Per quanto riguarda il software utilizzato per l'analisi strutturale, un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software SCAT 14.0 ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

## 8 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Nel seguito sono rappresentati i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni allo SLU/SLV, in termini di momento flettente, taglio e sforzo normale su una striscia unitaria di sezione trasversale. Le sollecitazioni massime sulle diverse membrature sono riassunte nella tabella di Figura 10.

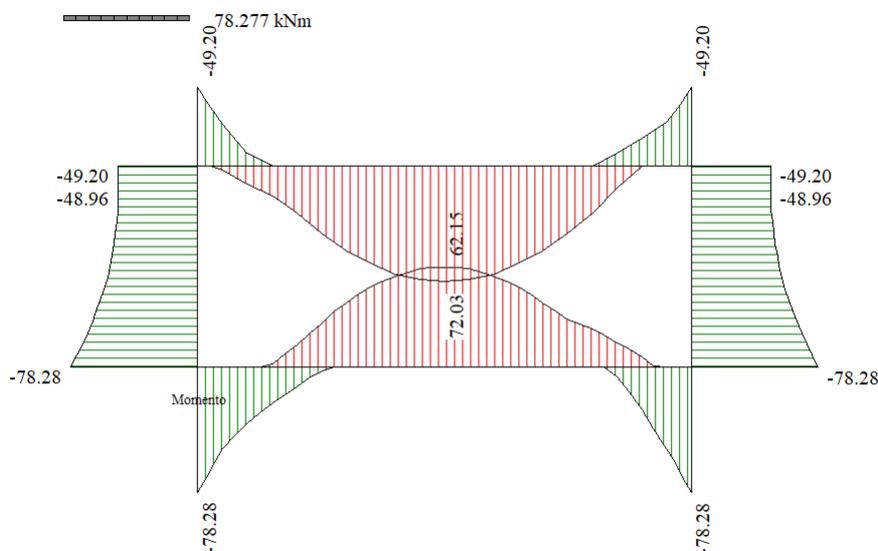


Figura 7 – Involuppo diagramma dei momenti flettenti SLU

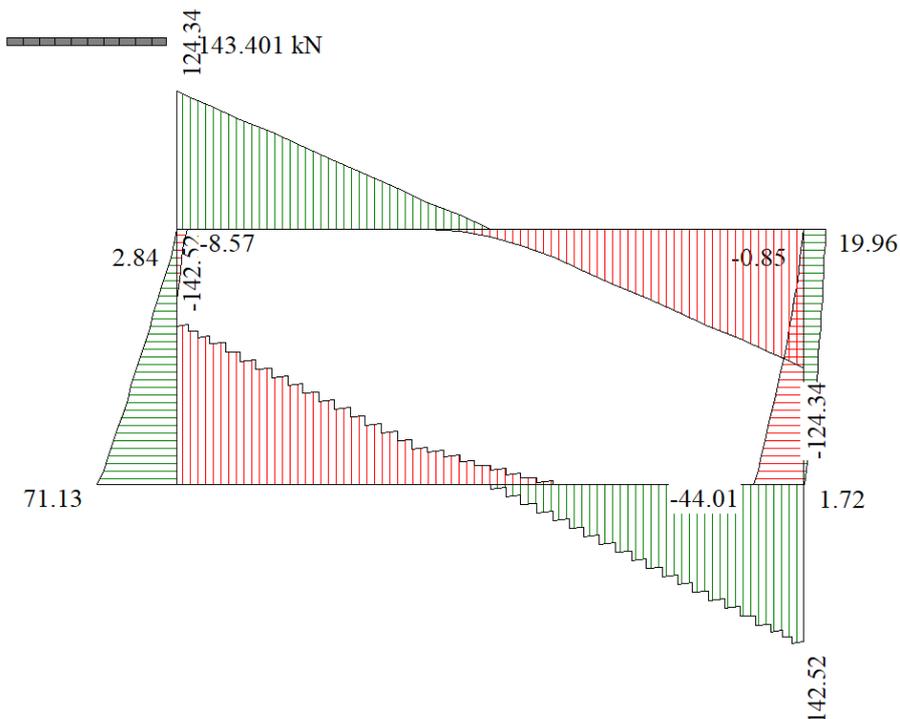


Figura 8 – Inviluppo diagramma del taglio SLU

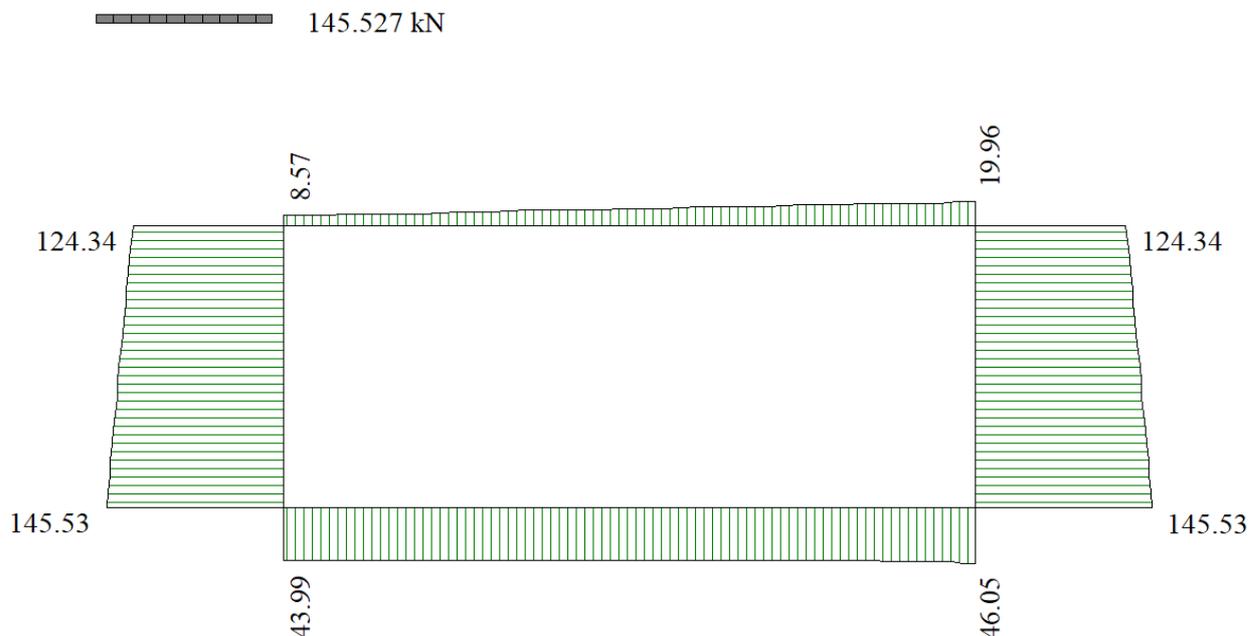


Figura 9 – inviluppo diagramma sforzo normale SLU

Risultati (riferiti ad un metro di scatola)

SLU (Approccio 2)						
Spinte e Pressioni	Sollecitazioni max comb.		Sollecitazioni max			
	M [kNm]	Comb.	T [kN]	Comb.	N [kN]	Comb.
Fondazione	-78.28	( 0.02 )	143.40	( 0.02 )	46.05	( 0.11 )
Piedritto sinistro	-78.28	( 0.02 )	71.13	( 0.11 )	145.53	( 0.02 )
Piedritto centrale	---	---	---	---	---	---
Piedritto destro	-78.28	( 0.02 )	-44.01	( 0.02 )	145.53	( 0.02 )
Traverso	72.03	( 0.02 )	124.34	( 0.02 )	19.96	( 0.10 )

Figura 10 – Inviluppo sollecitazioni massime

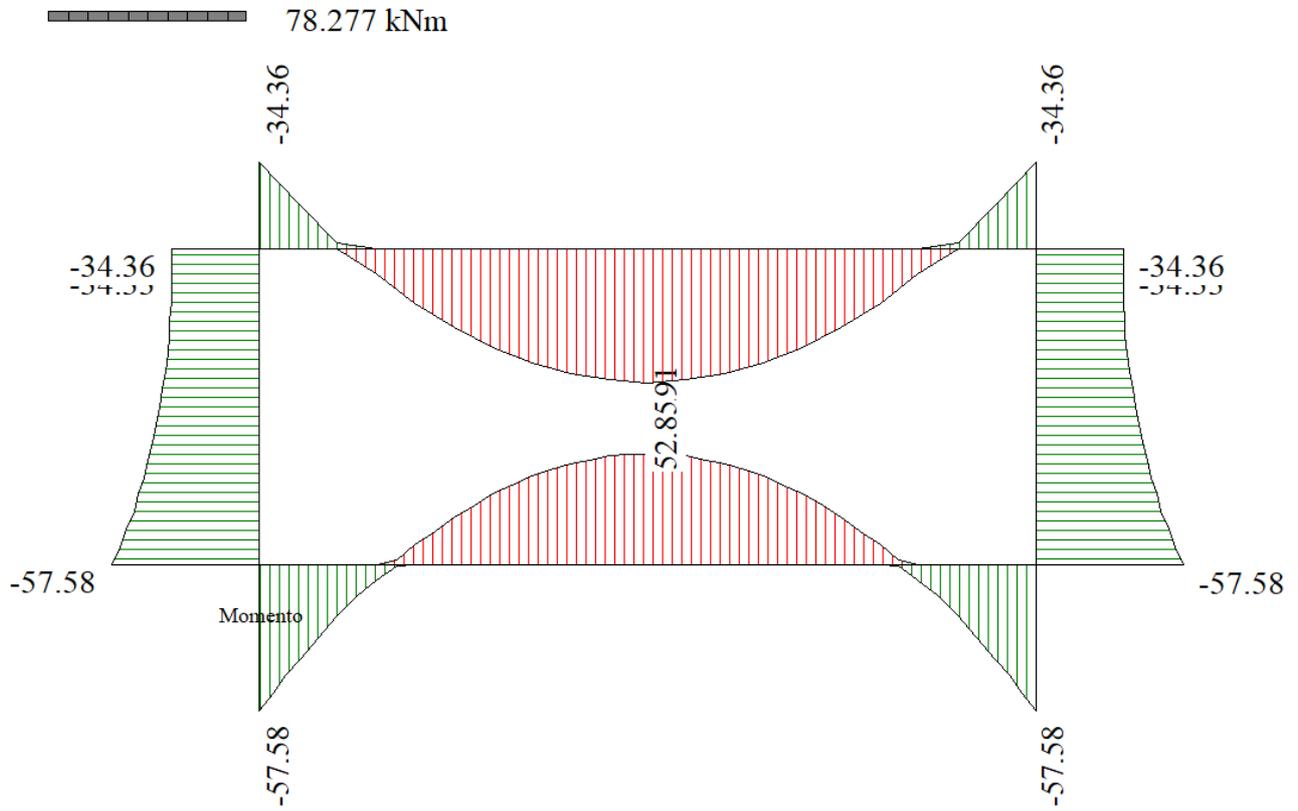


Figura 11- Inviluppo momenti flettenti SLE

 145.527 kN

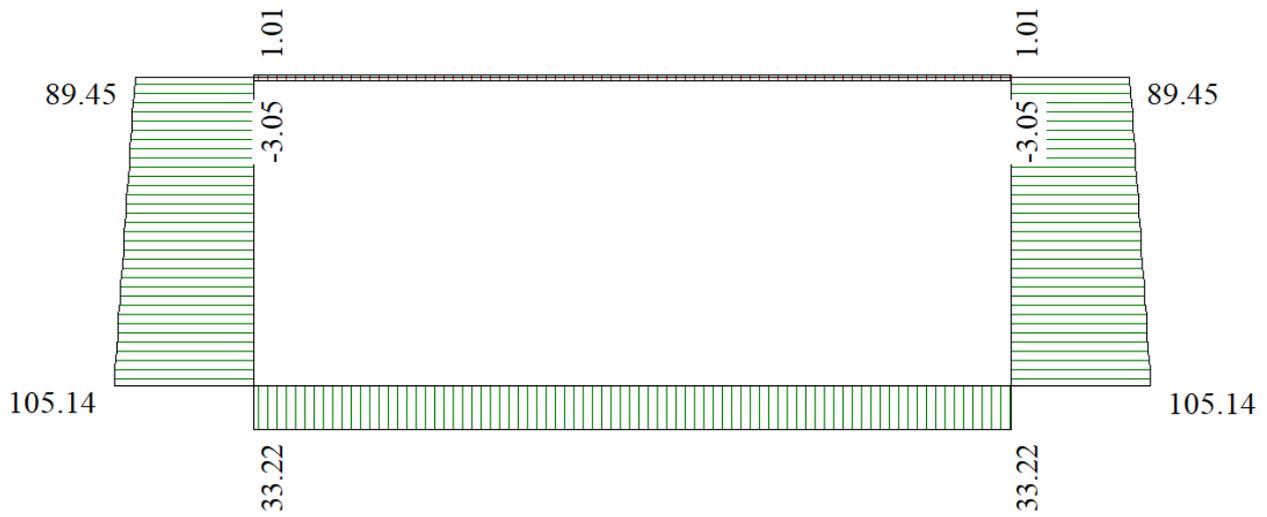
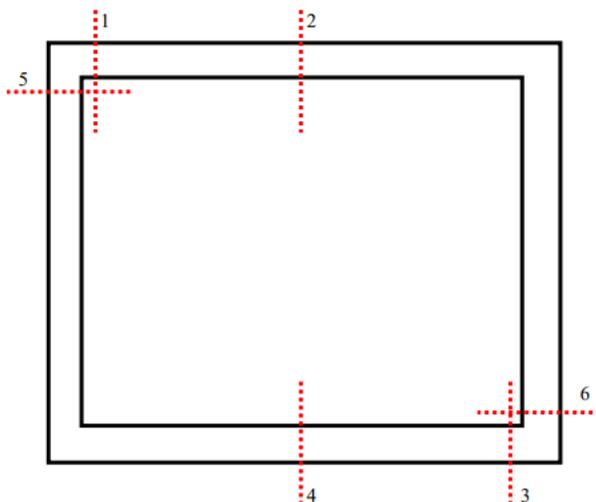


Figura 12 – Involuppo diagramma sforzo normale SLE

## 9 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI E DI ESERCIZIO

Le sezioni in cui vengono eseguite le verifiche sono rappresentate nella figura seguente:



### 9.1 Sezione 1

$B = 100 \text{ cm}$      $H = 80 \text{ cm}$

$M_{Ed,SLV} = -72.03 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 19.96 \text{ kN}$

$V_{Ed,SLV} = 124.34 \text{ kN}$

$M_{Ed,SLE} = -34.36 \text{ kNm}$

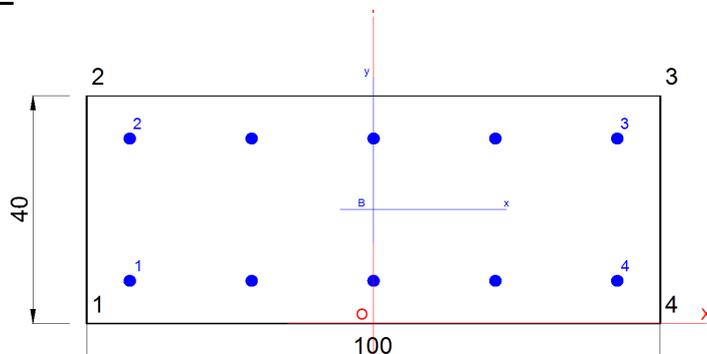
$N_{Ed,SLE} = 1.01 \text{ kNm}$

$A_s = 5\varnothing 16$

$A'_s = 5\varnothing 16$

Armatura a taglio  $\varnothing 8/20$

Verifica a pressoflessione:



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.2 MPa

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.5	7.5	16
2	-42.5	32.5	16
3	42.5	32.5	16
4	42.5	7.5	16

## DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

## CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	19.96	72.03	0.00

## COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	1.00	34.36	0.00

## RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.7 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.7 cm

## VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	19.96	72.03	20.19	142.17	1.97	20.1(7.2)

## METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione

IN1M11D26CLIN01A0001A

x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.154	-50.0	40.0	-0.00174	42.5	32.5	-0.01921	-42.5	7.5

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000698817	-0.024452693	0.154	0.700

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.68	-50.0	40.0	-115.2	-42.5	7.5	1020	10.1

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max*(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00076	0.00000	0.500	16.0	67	0.00035 (0.00035)	504	0.174 (990.00)	90.15	0.00

#### Verifica a taglio:

IN1M11D26CLIN01A0001A

**DATI**

$V_{Ed}$  [kN] **124.34**  
 $N_{Ed}$  [kN] **0.00**

$1 \leq \text{ctg } q \leq 2,5 \rightarrow 21.80^\circ \leq q \leq 45^\circ$

- 1)  $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \text{sen } \alpha$   
2)  $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot a_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg } \theta^2)$   
 $V_{rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$

eguagliando 1) e 2) si ottiene:

$\text{ctg } \theta = \left( \frac{[b_w \cdot a_c \cdot f'_{cd} \cdot s / (A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \text{sen } \alpha)] - 1}{1} \right)^{1/2}$

$b_w$  [cm] **100.00**  
 $d$  [cm] **32.00**  
 $A_c$  [cm<sup>2</sup>] **3200.00**  
classe calcestruzzo **C32/40**  
 $\gamma_c$  **1.50**  
classe acciaio **B450C**  
verif. Carico in prossimità di appoggi ? **NO**  
 $a_v$  [cm] **0.00**

$f_{ck}$  [N/mm<sup>2</sup>] **33.20**  
 $f_{cd}$  [N/mm<sup>2</sup>] **18.81**  
 $f_{yd}$  [N/mm<sup>2</sup>] **391.30**

$V_{Ed,rid} = V_{Ed} \cdot a_v / (2 \cdot d)$  [kN] **124.34**

**VERIFICA LIMITAZIONE SU  $V_{Ed}$**

$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot u \cdot f_{cd}$  [kN] **1505.07** > **Vsdu verifica soddisfatta: sezione idonea**

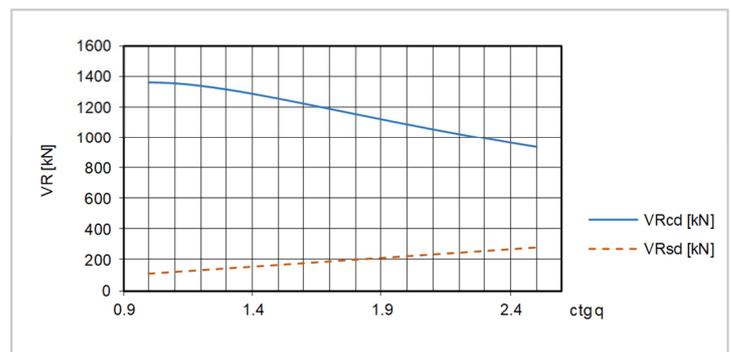
**VERIFICA STAFFE**

$s_{max} = \min(50; 17,5; 6,4)$  [cm] **25.00**  
 $A_{st,max} = 1,5 \cdot b_w$  [mm<sup>2</sup>/m] **1500.00**  $\rightarrow$   $A_{sw,max} = A_{st,max} \cdot 100 / s$  [mm<sup>2</sup>] **7500.00**

$\alpha_c$	$\alpha_c$	$\alpha_{cp}$	$0,25 \cdot f_{cd}$
$1 + \alpha_{cp} / f_{cd}$	<b>1.00</b>	$0 \leq \alpha_{cp} < 0,25 \cdot f_{cd}$	<b>4.70</b>
<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	$0,25 \cdot f_{cd} \leq \alpha_{cp} < 0,5 \cdot f_{cd}$	$0,5 \cdot f_{cd}$
$2,5 \cdot (1 - \alpha_{cp} / f_{cd})$	<b>2.50</b>	$0,5 \cdot f_{cd} \leq \alpha_{cp} < f_{cd}$	<b>9.41</b>

$\alpha$  ° **90**  
 $\phi$  [mm] **8**  
 $s$  [cm] **20**  
 $n_{bracci}$  **4**  
 $A_{sw}$  [mm<sup>2</sup>] **201.06**  
 $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  [N/mm<sup>2</sup>] **0.00**  
 $\alpha_c$  **1.00**  
 $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$  [N/mm<sup>2</sup>] **9.41**  
 $\text{ctg } \theta$  **4.79**  
 $\theta$  ° **11.80**  
 $\text{ctg } \theta$ : valore di calcolo **2.50**  
 $\text{ctg } \alpha$  **0.00**

$V_{Rsd}$  [kN] **283.24**  
 $V_{Rcd}$  [kN] **934.18**  
 $V_{rd}$  [kN] **283.24**



$V_{rd} / V_{Ed,rid}$  **2.28 > 1** : **verifica soddisfatta** **tipo di rottura: lato acciaio**

## 9.2 Sezione 2

$B = 100 \text{ cm}$      $H = 40 \text{ cm}$

$M_{Ed,SLV} = 62.15 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 18.00 \text{ kNm}$

$M_{Ed,SLE} = 52.85 \text{ kNm}$

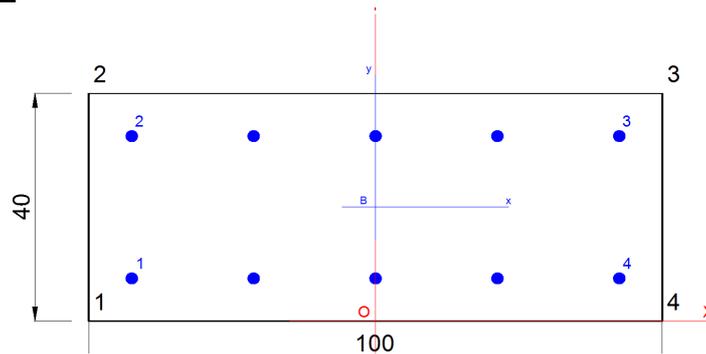
$N_{Ed,SLE} = 3.05 \text{ kNm}$

$A_s = 5\varnothing 16$

$A'_s = 5\varnothing 16$

Armatura a taglio  $\varnothing 8/20$

Verifica a pressoflessione:



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto $f_{cd}$ :	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$ :	0.0020
	Def.unit. ultima $ecu$ :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale $E_c$ :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	12.8 MPa
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. $f_{yk}$ :		450.0 MPa
Resist. caratt. rottura $f_{tk}$ :		450.0 MPa
Resist. snerv. di progetto $f_{yd}$ :		391.3 MPa
Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :		391.3 MPa
Deform. ultima di progetto $E_{pu}$ :		0.068
Modulo Elastico $E_f$ :		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	337.50 MPa	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Poligonale

IN1M11D26CLIN01A0001A

Classe Calcestruzzo: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.0	8.0	16
2	-42.0	32.0	16
3	42.0	32.0	16
4	42.0	8.0	16

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N° Comb.	N	Mx	Vy
1	18.00	62.15	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	3.05	52.85	0.00

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.4 cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	18.00	62.15	17.73	142.68	2.30	20.1

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.162	-50.0	40.0	-0.00189	42.0	32.0	-0.01804	-42.0	8.0

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000673125	-0.023425018	0.162	0.700

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.26	-50.0	40.0	-178.9	-21.0	8.0	1014	10.1

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
Esito della verifica  
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
k2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2\*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00120	0.00000	0.500	16.0	72	0.00054 (0.00054)	519	0.279 (0.30)	89.75	0.00

### 9.3 Sezione 3

B = 100 cm H = 40 cm

$M_{Ed,SLV} = -78.28$  kNm

$N_{Ed,SLV} = 46.05$  kNm

$V_{Ed,SLV} = 142.52$  kN

$M_{Ed,SLE} = -57.58$  kNm

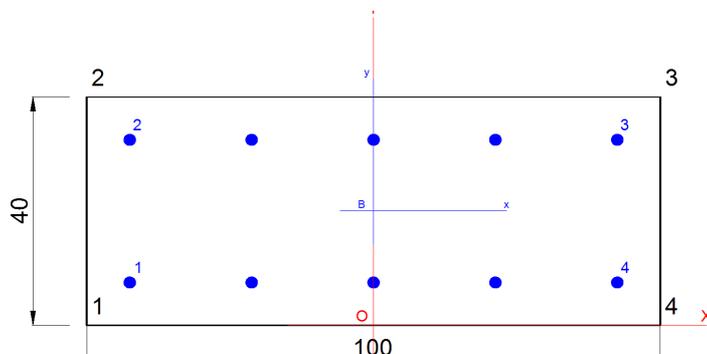
$N_{Ed,SLE} = 33.22$  kNm

$A_s = 15\text{Ø}16$

$A'_s = 15\text{Ø}16$

Armatura a taglio Ø8/20

Verifica a pressoflessione:



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.2 MPa	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	16
2	-42.0	32.0	16
3	42.0	32.0	16
4	42.0	8.0	16

## DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

## CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	46.05	78.28	0.00

## COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	33.22	57.58	0.00

## RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.4 cm

## VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 As Tesa Area armature trave [cm<sup>2</sup>] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	46.05	78.28	46.05	146.51	1.87	20.1

## METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45

**Relazione di calcolo opere idrauliche di  
attraversamento 1/2**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11	D 26CL	IN01A0001	A	41 di 56

Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.165	-50.0	40.0	-0.00180	42.0	32.0	-0.01771	-42.0	8.0

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000662849	-0.023013962	0.165	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.62	-50.0	40.0	-179.2	-42.0	8.0	1014	10.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00121	0.00000	0.500	16.0	72	0.00054 (0.00054)	519	0.279 (990.00)	93.00	0.00

**Verifica a taglio:**

IN1M11D26CLIN01A0001A

DATI

$V_{Ed}$  [kN] **142.52**  
 $N_{Ed}$  [kN] **0.00**

$1 \leq \text{ctg } q \leq 2,5 \rightarrow 21.80^\circ \leq q \leq 45^\circ$

- 1)  $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \text{sen } \alpha$   
2)  $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot a_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg } \theta^2)$   
 $V_{rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd})$

eguagliando 1) e 2) si ottiene:

$\text{ctg } \theta = \left( \frac{[b_w \cdot a_c \cdot f'_{cd} \cdot s / (A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \text{sen } \alpha)] - 1}{1} \right)^{1/2}$

$b_w$  [cm] **100.00**  
 $d$  [cm] **32.00**  
 $A_c$  [cm<sup>2</sup>] **3200.00**  
classe calcestruzzo **C32/40**  
 $\gamma_c$  **1.50**  
classe acciaio **B450C**  
verif. Carico in prossimità di appoggi ? **NO**  
 $a_v$  [cm] **0.00**

$f_{ck}$  [N/mm<sup>2</sup>] **33.20**  
 $f_{cd}$  [N/mm<sup>2</sup>] **18.81**  
 $f_{yd}$  [N/mm<sup>2</sup>] **391.30**

$V_{Ed,rid} = V_{Ed} \cdot a_v / (2 \cdot d)$  [kN] **142.52**

VERIFICA LIMITAZIONE SU  $V_{Ed}$

$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot u \cdot f_{cd}$  [kN] **1505.07** > **Vsdu verifica soddisfatta: sezione idonea**

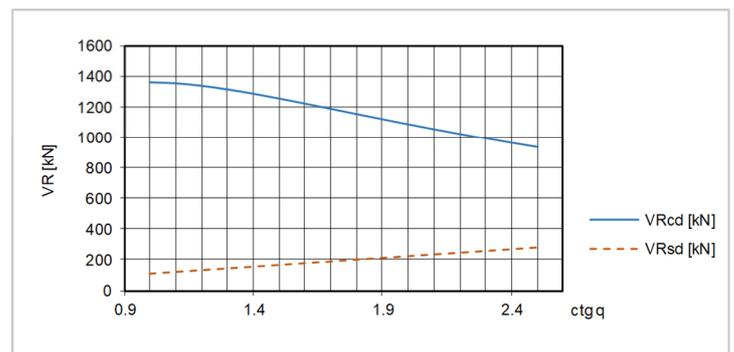
VERIFICA STAFFE

$s_{max} = \min(50; 17,5 \cdot d)$  [cm] **25.00**  
 $A_{st,max} = 1,5 \cdot b_w$  [mm<sup>2</sup>/m] **1500.00**  $\rightarrow$   $A_{sw,max} = A_{st,max} \cdot 100 / s$  [mm<sup>2</sup>] **7500.00**

$\alpha_c$	$\alpha_c$	$\alpha_{cp}$	$0,25 \cdot f_{cd}$
$1 + \alpha_{cp} / f_{cd}$	<b>1.00</b>	$0 \leq \alpha_{cp} < 0,25 \cdot f_{cd}$	<b>4.70</b>
<b>1.25</b>	<b>1.25</b>	$0,25 \cdot f_{cd} \leq \alpha_{cp} < 0,5 \cdot f_{cd}$	$0,5 \cdot f_{cd}$
$2,5 \cdot (1 - \alpha_{cp} / f_{cd})$	<b>2.50</b>	$0,5 \cdot f_{cd} \leq \alpha_{cp} < f_{cd}$	<b>9.41</b>

$\alpha$  ° **90**  
 $\phi$  [mm] **8**  
 $s$  [cm] **20**  
 $n_{bracci}$  **4**  
 $A_{sw}$  [mm<sup>2</sup>] **201.06**  
 $\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  [N/mm<sup>2</sup>] **0.00**  
 $\alpha_c$  **1.00**  
 $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$  [N/mm<sup>2</sup>] **9.41**  
 $\text{ctg } \theta$  **4.79**  
 $\theta$  ° **11.80**  
 $\text{ctg } \theta$ : valore di calcolo **2.50**  
 $\text{ctg } \alpha$  **0.00**

$V_{Rsd}$  [kN] **283.24**  
 $V_{Rcd}$  [kN] **934.18**  
 $V_{rd}$  [kN] **283.24**



$V_{rd} / V_{Ed,rid}$  **1.99 > 1** : **verifica soddisfatta** **tipo di rottura: lato acciaio**

## 9.4 Sezione 4

$B = 100 \text{ cm}$      $H = 40 \text{ cm}$

$M_{Ed,SLV} = -78.28 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 46.05 \text{ kNm}$

$M_{Ed,SLE} = 52.85 \text{ kNm}$

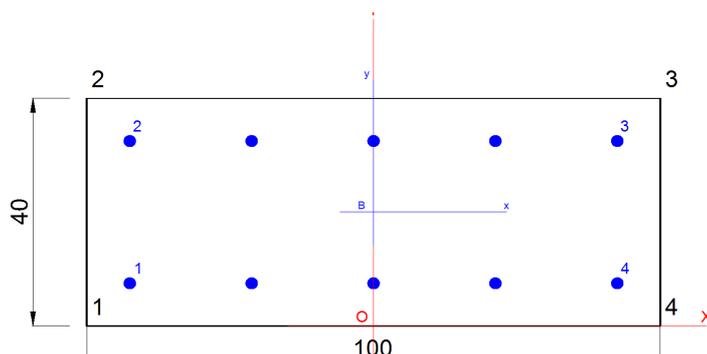
$N_{Ed,SLE} = 3.05 \text{ kNm}$

$A_s = 5\varnothing 16$

$A'_s = 5\varnothing 16$

Armatura a taglio=  $\varnothing 8/20$

Verifica a pressoflessione:



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.2 MPa
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.0 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.0 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.3 MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.3 MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef:		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta 1 * \beta 2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta 1 * \beta 2$ :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

IN1M11D26CLIN01A0001A

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	16
2	-42.0	32.0	16
3	42.0	32.0	16
4	42.0	8.0	16

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	46.05	78.28	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	3.05	52.85	0.00

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.4 cm

#### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

IN1M11D26CLIN01A0001A

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	46.05	78.28	46.05	146.51	1.87	20.1

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.165	-50.0	40.0	-0.00180	42.0	32.0	-0.01771	-42.0	8.0

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000662849	-0.023013962	0.165	0.700

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.26	-50.0	40.0	-178.9	-21.0	8.0	1014	10.1

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00120	0.00000	0.500	16.0	72	0.00054 (0.00054)	519	0.279 (990.00)	89.75	0.00

## 9.5 Sezione 5

B = 100 cm    H = 40 cm

$M_{Ed,SLV} = -78.28$  kNm

$N_{Ed,SLV} = 145.53$  kN

$M_{Ed,SLE} = -57.58$  kNm

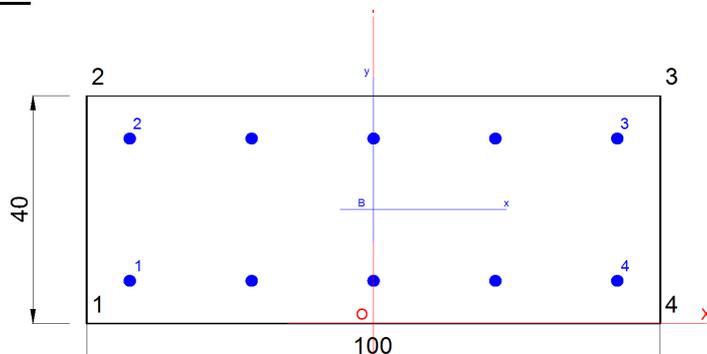
$N_{Ed,SLE} = 33.22$  kN

$A_s = 5\text{Ø}16$

$A'_s = 5\text{Ø}16$

Armatura a taglio = Ø8/20

Verifiche a pressoflessione:



**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto fcd:	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	19.2 MPa

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.0 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.0 MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.3 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.3 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

**CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO**

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Calcestruzzo:	C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

**DATI BARRE ISOLATE**

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.5	7.5	16
2	-42.5	32.5	16
3	42.5	32.5	16
4	42.5	7.5	16

**DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE**

IN1M11D26CLIN01A0001A

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	145.53	78.28	0.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	33.22	57.58	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.7 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.7 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	145.53	78.28	145.54	159.57	2.04	20.1

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione  
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.165	-50.0	40.0	-0.00139	42.5	32.5	-0.01768	-42.5	7.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000651586	-0.022563446	0.165	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Ss min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.47	-50.0	40.0	-176.6	-42.5	7.5	1020	10.1

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica  
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata  
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]  
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $=(e1 + e2)/(2*e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr \max * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00116	0.00000	0.500	16.0	67	0.00053 (0.00053)	504	0.267 (990.00)	93.61	0.00

## 9.6 Sezione 6

$B = 100 \text{ cm}$      $H = 40 \text{ cm}$

$M_{Ed,SLV} = -78.28 \text{ kNm}$

$N_{Ed,SLV} = 145.53 \text{ kN}$

$V_{Ed,SLV} = 44.01 \text{ kN}$

$M_{Ed,SLE} = -57.58 \text{ kNm}$

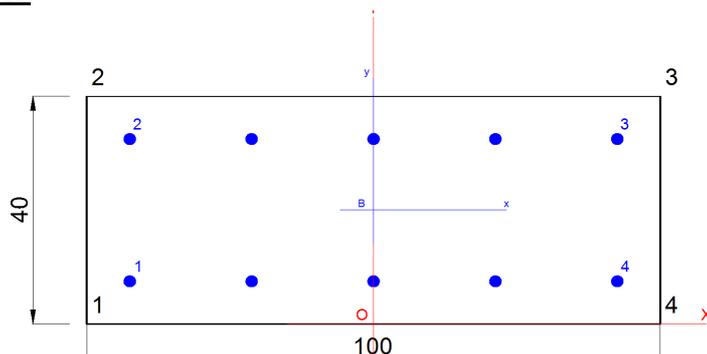
$N_{Ed,SLE} = 105.14 \text{ kN}$

$A_s = 5\varnothing 16$

$A'_s = 5\varnothing 16$

Armatura a taglio spille  $\varnothing 8/20$

Verifiche a pressoflessione:



### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di progetto $f_{cd}$ :	18.8 MPa
	Def.unit. max resistenza $ec2$ :	0.0020
	Def.unit. ultima $ecu$ :	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale $E_c$ :	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione $f_{ctm}$ :	3.10 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	$S_c$ limite S.L.E. comb. Rare:	19.2 MPa
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. $f_{yk}$ :		450.0 MPa
Resist. caratt. rottura $f_{tk}$ :		450.0 MPa
Resist. snerv. di progetto $f_{yd}$ :		391.3 MPa
Resist. ultima di progetto $f_{td}$ :		391.3 MPa
Deform. ultima di progetto $E_{pu}$ :		0.068
Modulo Elastico $E_f$ :		200000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		0.50
$S_f$ limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

IN1M11D26CLIN01A0001A

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Calcestruzzo: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	40.0
3	50.0	40.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.0	8.0	16
2	-42.0	32.0	16
3	42.0	32.0	16
4	42.0	8.0	16

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	1	4	3	16

#### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	145.53	78.28	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse X di riferimento (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	105.14	-57.58	0.00

#### RISULTATI DEL CALCOLO

##### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.4 cm

### VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm <sup>2</sup> ]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	145.53	78.28	145.54	160.01	2.04	20.1(12.0)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Ys max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-50.0	40.0	-0.00153	42.0	32.0	-0.01664	-42.0	8.0

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000629288	-0.021671524	----	----

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel calcestruzzo [MPa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Ss min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [MPa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Ss min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm <sup>2</sup> ] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.52	-50.0	0.0	-142.3	21.0	32.0	964	10.1

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a $f_{ctm}$
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]

kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]  
 k2 = 0.5 per flessione;  $= (e1 + e2) / (2 * e1)$  per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]  
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali  
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]  
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]  
 Tra parentesi: valore minimo =  $0.6 S_{max} / E_s$  [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]  
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]  
 wk Apertura fessure in mm calcolata =  $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$  [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi  
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00097	0.00000	0.500	16.0	72	0.00043 (0.00043)	506	0.216 (990.00)	-101.87	0.00

Verifica a taglio:

**DATI**

$V_{Ed}$	[kN]	45.00
$N_{Ed}$	[kN]	0.00

$1 \leq \text{ctg } q \leq 2,5 \rightarrow 21.80^\circ \leq q \leq 45^\circ$

- $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \text{sen } \alpha$
  - $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot a_c \cdot f_{ctd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) / (1 + \text{ctg } \theta^2)$
- $V_{rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

eguagliando 1) e 2) si ottiene:  

$$\text{ctg } \theta = \left( \frac{[b_w \cdot a_c \cdot f_{ctd} \cdot s]}{[A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot \text{sen } \alpha]} - 1 \right)^{1/2}$$

$b_w$	[cm]	100.00			
$d$	[cm]	32.00			
$A_c$	[cm <sup>2</sup> ]	3200.00			
classe calcestruzzo		C32/40	$f_{ck}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	33.20
$\gamma_c$		1.50	$f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	18.81
classe acciaio		B450C	$f_{yd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	391.30
verif. carico in prossimità di appoggi ?		NO			
$a_v$	[cm]	0.00	$V_{Ed,rid} = V_{Ed} \cdot a_v / (2 \cdot d)$ [kN] 45.00		

**VERIFICA LIMITAZIONE SU  $V_{Ed}$**

$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot b_w \cdot d \cdot u \cdot f_{ctd}$  [kN] 1505.07 >  $V_{sdu}$  verifica soddisfatta: sezione idonea

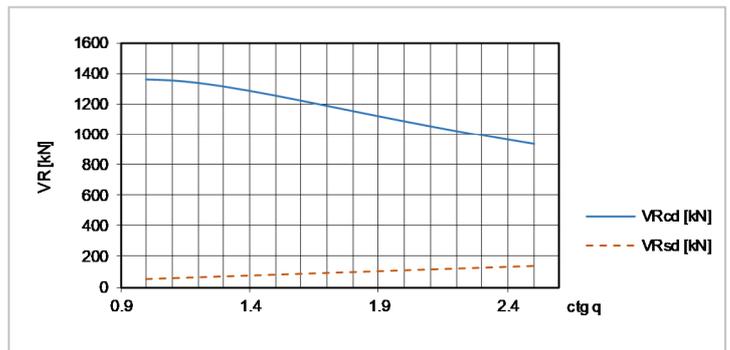
**VERIFICA STAFFE**

$s_{max} = \min(50; 17,5; 6,4)$  [cm] 25.00  
 $A_{st,max} = 1,5 \cdot b_w$  [mm<sup>2</sup>/m] 1500.00  $\rightarrow A_{sw,max} = A_{st,max} \cdot 100 / s$  [mm<sup>2</sup>] 7500.00

$\alpha$	°	90	$\alpha_c$	$\alpha_c$	$\alpha_{cp}$	$0,25 \cdot f_{ctd}$
$\phi$	[mm]	8	$1 + \alpha_{cp} / f_{ctd}$	1.00	$0 \leq \alpha_{cp} < 0,25 \cdot f_{ctd}$	4.70
$s$	[cm]	20	1.25	1.25	$0,25 \cdot f_{ctd} \leq \alpha_{cp} < 0,5 \cdot f_{ctd}$	$0,5 \cdot f_{ctd}$
n bracci		2	$2,5 \cdot (1 - \alpha_{cp} / f_{ctd})$	2.50	$0,5 \cdot f_{ctd} \leq \alpha_{cp} < f_{ctd}$	9.41

$A_{sw}$	[mm <sup>2</sup> ]	100.53
$\alpha_{cp} = N_{Ed} / A_c$	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.00
$\alpha_c$		1.00
$f'_{ctd} = 0,5 \cdot f_{ctd}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	9.41
ctg $\theta$		6.84
$\theta$	°	8.31
ctg $\theta$ : valore di calcolo		2.50
ctg $\alpha$		0.00

$V_{Rsd}$	[kN]	141.62
$V_{Rcd}$	[kN]	934.18
$V_{Rd}$	[kN]	141.62



$V_{Rd} / V_{Ed,rid}$  3.15 > 1 : verifica soddisfatta tipo di rottura: lato acciaio



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO  
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI  
BRESCIA

Relazione di calcolo opere idrauliche di  
attraversamento 1/2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAGINE
IN1M	11	D 26CL	IN01A0001	A	55 di 56

## 10 ARMATURA DI RIPARTIZIONE DELLO SCATOLARE

L'armatura di ripartizione nelle solette e nelle pareti dello scatolare (direzione y) viene posta in misura non inferiore al 20% dell'armatura principale (direzione x) come da indicazione da Eurocodice 2 al paragrafo 9.3.1 (Piastrine piene – armatura di flessione): "...Nelle piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere una armatura trasversale secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale...". L'opera in oggetto prevede ripartitori  $\phi 10/20$  sia nelle solette sia nei piedritti.

## 11 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche geotecniche al collasso non risultano necessarie. A questo riguardo si rileva che:

- le sollecitazioni trasmesse sul piano di posa in seguito alla realizzazione del tombino saranno minori di quelle preesistenti;
- il tombino è disposto trasversalmente alla linea viaria; uno SLU per raggiungimento del carico limite del complesso fondazione-terreni di imposta nella direzione parallela alla linea è impossibile, per la presenza del rilevato stradale ai lati del monolite e per la presenza dei terreni a tergo dei muri di accesso al monolite;

Analogamente, non è stato eseguito alcun calcolo dei cedimenti; al riguardo si rileva che:

- in considerazione delle caratteristiche dell'opera, in particolare dei volumi di terreno e del corpo del rilevato stradale che saranno asportati, la realizzazione del tombino si configura, nei riguardi dell'interazione con i terreni di fondazione, come uno scarico;
- per le modalità costruttive non si prevedono cedimenti indotti da fasi di scarico e successivo ricarico, peraltro cedimenti elastici e di ridotta entità;
- si esclude la possibilità del sollevamento del monolite per l'attrito al contatto tra le pareti laterali ed i terreni, in particolare in corrispondenza del contatto con i rilevati stradali.