

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE
SEZIONE TRANSFRONTALIERE PARTE IN TERRITORIO ITALIANO
SECTION TRANSFRONTALIERE PARTIE EN TERRITOIRE ITALIEN**

**LOTTO COSTRUTTIVO 1 /LOT DE CONSTRUCTION 1
CANTIERE OPERATIVO 04C /CHANTIER DE CONSTRUCTION 04C
SVINCOLO DI CHIOMONTE IN FASE DI CANTIERE
ECHANGEUR DE CHIOMONTE DANS LA PHASE DE CHANTIER
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION
CUP C11J05000030001 - CIG 6823295927**

PROGETTO STRADALE

**RELAZIONE DI CALCOLO CORDOLO PORTA BARRIERA
STRADA DI COLLEGAMENTO CANTIERE**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabri par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/09/2017	Première diffusion / Prima emissione	P. LESCE (MUSINET Eng.)	L. BARBERIS (MUSINET Eng.)	F.D'AMBRA (MUSINET Eng.)
A	29/06/2018	Modifica titolo progetto/ Modifications titre du project	R.BOERO (MUSINET ENG.)	P.D'ALOSIO (MUSINET ENG.)	L. BARBERIS (MUSINET ENG.)

1	0	4	C	C	1	6	1	6	6	N	V	0	2	R	0
Lot. Cos. Lot. Con.	Cantiere operativo Chantier de construction		Contratto/Contrat				Opera/Oeuvre		Tratto Tronçon	Parte Partie					

E	C	L	O	C	0	2	2	3	A
Fase Phase	Tipo documento Type de document	Oggetto Object		Numero documento Numéro de document			Indice Index		

**INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE/
INTÉGRATION SPÉCIALISTE**



Dott. Ing. Piero D'ALOSIO
Albo di Torino
N° 5193 S



SCALA / ÉCHELLE
-

IL PROGETTISTA/LE DESIGNER



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI
Albo di Torino
N° 2736

L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR

IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE

SOMMAIRE / INDICE

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3. PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA	5
3.1 GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE.....	5
4. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO	6
5. MATERIALI	7
6. ANALISI DEI CARICHI	8
6.1 PESO PROPRIO STRUTTURALE (G).....	8
6.2 AZIONE DELL'URTO DI UN VEICOLO IN SVIO (A)	8
6.3 AZIONE SISMICA (E)	10
7. COMBINAZIONI DI CARICO	11
8. RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE	12
9. VERIFICHE DEL CORDOLO IN C.A.	15
9.1 VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO.....	15
9.2 VERIFICA A TAGLIO-TORSIONE	16

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Cordolo porta barriera – sezione tipo	4
Figura 2 – Cordolo porta barriera – sezione trasversale con armatura	4
Figura 3 – Ubicazione del sito	6
Figura 4 – Modello FEM del cordolo – modellazione del suolo alla winkler e del carico	12
Figura 5 – Risultati dell’analisi – diagramma del momento flettente sul piano orizzontale..	13
Figura 6 – Risultati dell’analisi – diagramma dello sforzo di taglio sul piano orizzontale ...	13
Figura 7 – Risultati dell’analisi – diagramma della torsione	14

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono le verifiche strutturali del cordolo porta barriera sulla strada di collegamento al cantiere con rilevato in terre armate, nell'ambito del progetto esecutivo dello svincolo della Maddalena collocato in corrispondenza della A32 Torino – Bardonecchia nei pressi dell'attraversamento del torrente Clarea.

Sarà altresì eseguita la verifica del sistema di ancoraggio della barriera metallica di classe H1.

Di seguito si riportano i disegni del cordolo su sezione tipo e sezione del cordolo con l'armatura.

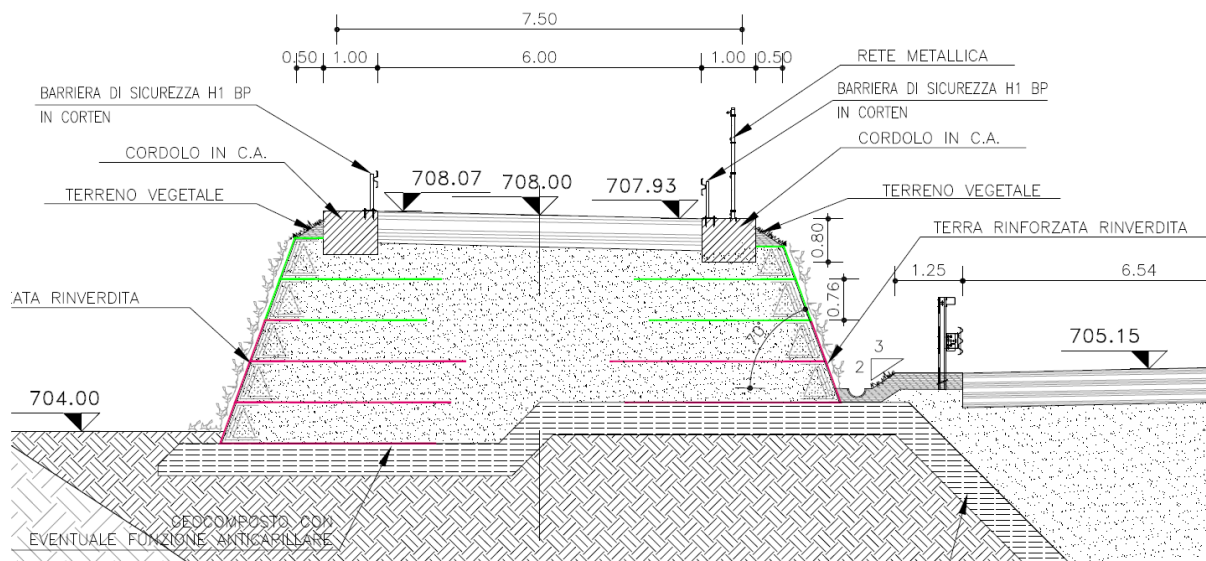


Figura 1 – Cordolo porta barriera – sezione tipo

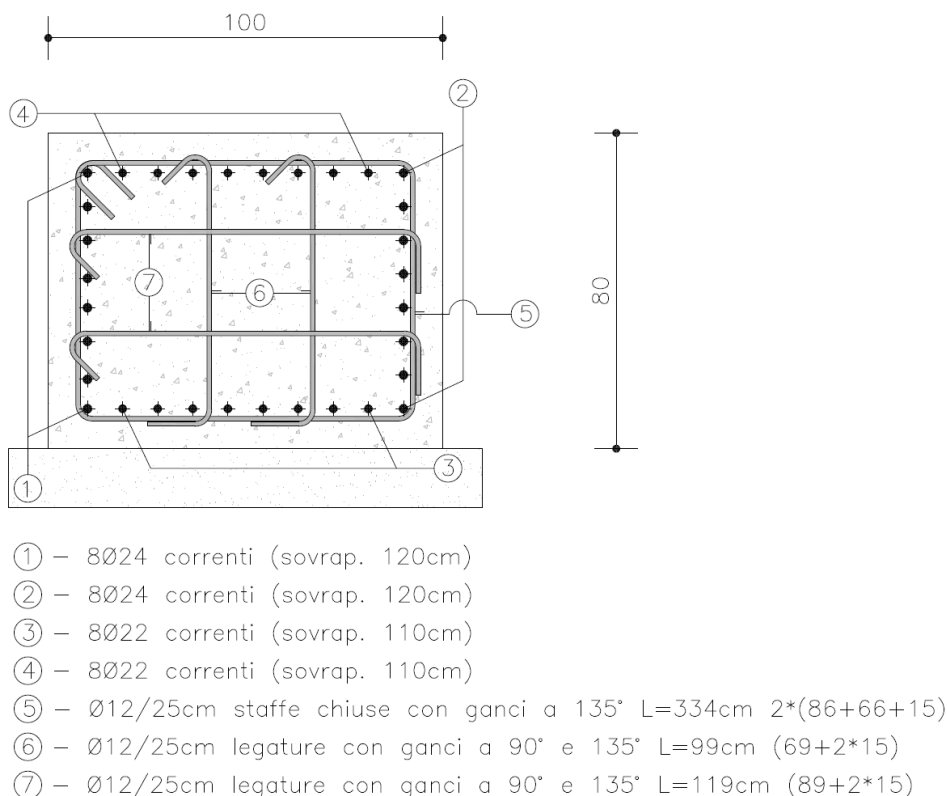


Figura 2 – Cordolo porta barriera – sezione trasversale con armatura

Il cordolo in c.a. ha larghezza pari a 100cm e altezza pari a 80cm e lunghezza pari a circa 90m. Sarà armato con ferri longitudinali pari a 8Ø22 superiori, 8Ø22 inferiori e 8Ø24 di parete per lato (tot. 16Ø22+16Ø24) e ferri trasversali con staffe chiuse Ø12/25cm, due legature interne Ø12/25cm verticali e 2 legature interne Ø12/25cm orizzontali (le legature avranno pieghi da 90° e 135°).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sviluppati nel seguito sono stati svolti secondo le Norme tecniche sulle costruzioni del 14/01/2008 che rendono obbligatorio il metodo 'agli stati limite'. Nel seguito si riporta tutto il quadro normativo di riferimento vigente, concernente materiali, carichi, metodi e prescrizioni specifiche, ovvero:

- Norme tecniche sulle costruzioni del 14/01/2008.
- Circolare 2 febbraio 2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008
- Eurocodice 2 – UNI EN 1992-1-1:2005 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici.
- ETAG 001 edition 1997 – Annex C – Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete.
- TR 029 edition June 2007 amended September 2010 – Design of bonded anchors.

3. PROGRAMMI PER L'ANALISI AUTOMATICA

Per l'analisi e la verifica della struttura verrà utilizzato il programma ad elementi finiti *Midas Civil 2017 V 1.1* prodotto da *Midas Information technology Co., Ltd* e distribuito da *Harpaceas – Viale Richard I, Milano*. Il programma è corredato di tutta la documentazione e i test numerici, necessari a comprovarne l'idoneità per gli scopi di calcolo strutturale di cui alla presente relazione. I test numerici di validazione, sono reperibili all'indirizzo <http://en.midasuser.com/downloads/Verification.asp>, mentre gli aggiornamenti, il manuale d'uso e il manuale teorico, sono reperibili all'indirizzo

<http://en.midasuser.com/downloads/programs.asp>.

3.1 GRADO DI AFFIDABILITÀ DEL CODICE

L'affidabilità del codice di calcolo è garantita oltre che dall'esistenza della suddetta documentazione di supporto, che comprende sia gli usuali test numerici di letteratura sia casi studio di problemi in scala reale di ingegneria civile, anche dalla possibilità di eseguire dei controlli interni al codice da parte dell'utente. In particolare la rappresentazione di dati e risultati avviene mediante una duplice interfaccia grafica e tabellare che permette un costante controllo incrociato attraverso la rappresentazione grafica di deformate e sollecitazioni della struttura e parallelamente la visualizzazione numerica delle grandezze di interesse. Al termine dell'elaborazione viene inoltre valutata la qualità della soluzione, in base all'uguaglianza del lavoro esterno e dell'energia di deformazione e la ricerca di eventuali labilità del modello.

4. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

I parametri di pericolosità sismica del sito necessari alla definizione dell'azione sismica sono:

Comune	Chiomonte
LAT(ED50)	45.128758
LON(ED50)	6.991317
Vita nominale V_N	50 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente d'uso	2.0
Periodo di riferimento	100 anni
Categoria di sottosuolo	C
Categoria topografica	T2 ($S_T = 1.1$)



Figura 3 – Ubicazione del sito

5. MATERIALI

Coefficienti di sicurezza dei materiali

Coefficiente di durata dei carichi	$\alpha_{cc} =$	1.00 -
Fattore di sicurezza c.a.	$\gamma_c =$	1.00 -
Fattore di sicurezza acciaio barre	$\gamma_s =$	1.00 -

Calcestruzzo classe C25/30

Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} =$	30 N/mm^2
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} =$	24.90 N/mm^2
Resistenza media cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32.90 N/mm^2
Resistenza media a trazione	$f_{ctm} = 0.30 \times f_{cm}^{2/3} =$	2.56 N/mm^2
Resistenza caratteristica a trazione frattile 5%	$f_{ctk:0.05} = 0.70 \times f_{ctm} =$	1.79 N/mm^2
Resistenza massima a trazione per prima fessurazione	$\sigma_{ct} = f_{ctm}/1.2 =$	2.13 N/mm^2
Modulo elastico a compressione medio	$E_{cm} = 22000 \times [f_{cm}/10]^{0.3} =$	31447 N/mm^2
Modulo elastico a compressione per verifiche SLE	$E_c =$	14000 N/mm^2
Modulo elastico a trazione per verifiche SLE	$E_{ct} =$	14000 N/mm^2
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c =$	24.90 N/mm^2
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$	1.79 N/mm^2
Tensione limite nel cls per combinazione rara	$\sigma_{c,lim} = 0.60 \times f_{ck} =$	14.94 N/mm^2
Tensione limite nel cls per combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,lim} = 0.45 \times f_{ck} =$	11.21 N/mm^2
Condizioni ambientali (classi di esposizione)	Aggressive (XC4 XD1 XS1 XA1 XA2 XF2 XF3)	
Verifiche di apertura delle fessure - Combinazione frequente	wd < w2	= 0.3 mm
Verifiche di apertura delle fessure - Combinazione q. permanente	wd < w1	= 0.2 mm

Acciaio per barre B450C

Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} =$	540 N/mm^2
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	450 N/mm^2
Modulo elastico	$E_s =$	210000 N/mm^2
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s =$	450.00 N/mm^2
Tensione limite nelle barre per combinazione rara	$\sigma_{s,lim} = 0.80 \times f_{yk} =$	360.00 N/mm^2

6. ANALISI DEI CARICHI

6.1 PESO PROPRIO STRUTTURALE (G)

Il peso proprio del cordolo per metro lineare, sarà pari a:

$$G_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 1.0 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} = 20 \text{ kN/m}$$

Mentre la barriera metallica ha un peso a metro lineare pari a:

$$G_2 = 0.45 \text{ kN/m}$$

6.2 AZIONE DELL'URTO DI UN VEICOLO IN SVIO (A)

La norma vigente, NTC2008, disciplina le azioni da urto in due sezioni:

- cap. 5 ponti §5.1.3.10: l'azione dell'urto deve essere dedotta dalla classe di contenimento richiesta per l'impiego specifico. La forza deve essere applicata ad una quota pari al minimo delle due quantità

$$h_1 = H_{\text{barriera}} - 0.10\text{m} = 0.77 - 0.1 = 0.67\text{m}$$

$$h_2 = 1.0\text{m}$$

la quota di applicazione del taglio vale

$$h = \min\{h_1, h_2\} = 0.67\text{m}$$

- cap. 3 azioni §3.6.3.3.2 $F_H = 100 \text{ kN}$ applicata alla quota indicata al punto precedente.

Tuttavia si considera che il paletto non possa trasmettere un'azione superiore al taglio plastico e al momento plastico concomitanti.

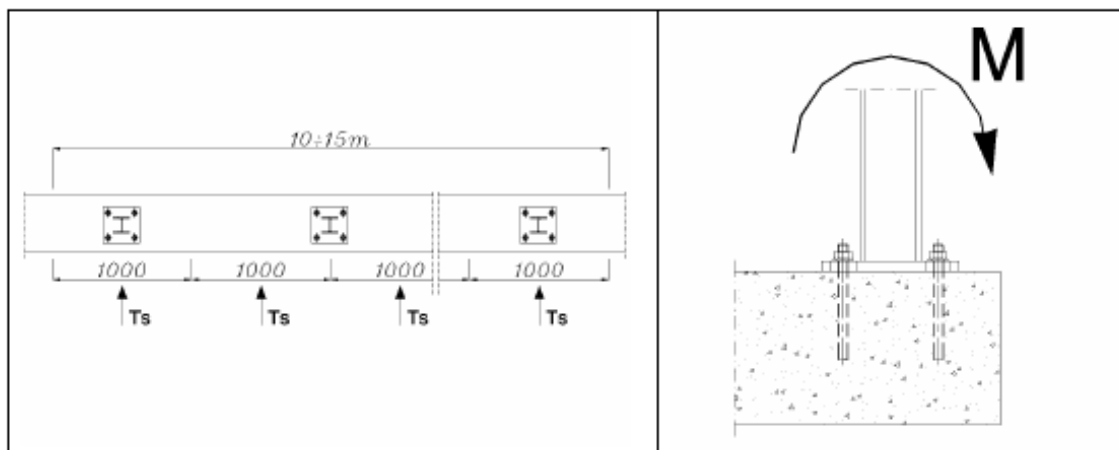
Si farà inoltre riferimento ai risultati delle prove di crash test ed alle analisi numeriche di accompagnamento per valutare l'estensione in lunghezza della zona d'urto e di conseguenza il numero di paletti coinvolti.

Dalle esperienze condotte nelle prove di omologazione di barriere simili, sono dedotte le seguenti raccomandazioni relativamente ai carichi da utilizzare e all'estensione di questi sui cordoli per barriera di classe H2:

Le azioni trasferite dalla barriera all'impalcato, consigliate per la definizione delle combinazioni di carico, sono:

- forza orizzontale trasversale $T_s = 36 \text{ kN/m}$ (=80kN/interasse montanti)
- momento $M = 28 \text{ kNm}$

Per il dimensionamento di cordoli interrati, la verifica a ribaltamento e a traslazione, deve essere condotta assumendo che l'area d'influenza di forze e momenti d'impatto sia estesa a soli 10-15 m di cordolo, mentre le azioni equilibranti sono riferite all'intero sviluppo del cordolo in esame.



Di seguito lo sviluppo dei calcoli facendo riferimento ad una estensione dell'urto pari a 12m tale da coinvolgere 9 paletti.

A) Prescrizioni NTC2008

Per $F = 100 \text{ kN}$ applicati ad 0.67m abbiamo:

$$M = 67 \text{ kNm}$$

Sull'interasse dei montanti si ha

$$F_{d1} = 100/1.33 = 75 \text{ kN/m}$$

$$M_{d1} = 67/1.33 = 50 \text{ kNm/m}$$

B) Analisi plastica della sezione

Per il montante si considerano delle barriere di classe H1 bordo ponte: dalle schede dei produttori si deduce per il montante una sezione LC-100×60×25×5mm in acciaio S355, interasse a 1330 mm.

Il momento ed il taglio plastico della sezione sono riportati nei seguenti calcoli:

Caratteristiche meccaniche della sezione del paletto e calcolo dell'azione d'urto sul cordolo

A	=	1186 mm^2	area della sezione
A_{vy}	=	518 mm^2	area resistente a taglio
y_g	=	35.80 mm	distanza baricentro
J_{zz}	=	576461 mm^4	momento di inerzia intorno a z
$W_{el,zz}$	=	16103 mm^3	modulo di limite elastico intorno a z
$W_{pl,zz}$	=	23891 mm^3	modulo di resistenza plastico intorno a z
f_u	=	510 N/mm^2	tensione limite di rottura dell'acciaio
$F_{paletto} = f_u A_{vy}/\sqrt{3}$	=	152.47 kN	taglio massimo sul singolo paletto
$M_{paletto} = f_u W_{pl,yy}$	=	12.18 kNm	momento massimo sul singolo paletto
$n^{\circ}_{paletti}$	=	9 -	paletti coinvolti nell'urto
i	=	1.33 m	interasse tra i paletti
F_d	=	549 kN	taglio massimo sull'intero cordolo
M_d	=	110 kNm	momento massimo sull'intero cordolo

Le azioni per unità di lunghezza sono:

$$F_{d1} = 549/12 = 46 \text{ kN/m}$$

$$M_{d1} = 110/12 = 9.2 \text{ kNm/m}$$

C) Prove in sito

Dalle esperienze condotte nelle prove di omologazione di barriere simili, come riportato in precedenza, sono dedotte le seguenti azioni:

$$F_{d1} = 60 \text{ kN/m} \quad (= 80\text{kN/i montante})$$

$$M_H = 28 \text{ kNm}/1.33 = 21 \text{ kNm/m} \quad (= 28 \text{ kNm/i montante})$$

Il taglio raccomandato per ogni montante è simile a quello calcolato considerando l'analisi plastica della sezione, come era lecito attendersi.

Sintesi risultati

Per una larghezza collaborante di 12m nelle tre ipotesi, azione normativa (A), analisi plastica della sezione (B) e raccomandazioni sperimentali (C), si hanno le terne di valori

$$A) \quad F_{d1} = 75 \text{ kN/m} \quad M_{d1} = 50 \text{ kNm/m}$$

$$B) \quad F_{d1} = 46 \text{ kN/m} \quad M_{d1} = 9.2 \text{ kNm/m}$$

$$C) \quad F_{d1} = 60 \text{ kN/m} \quad M_{d1} = 21 \text{ kNm/m}$$

Per la verifica del cordolo sarà adottata la combinazione A) applicata su una estensione pari a quanto suggerito dalle prove di omologazione, ovvero 12m.

6.3 AZIONE SISMICA (E)

Date le esigue masse in gioco, l'azione sismica non è dimensionante rispetto a qualsiasi verifica. Pertanto l'azione sismica non sarà considerata nei calcoli.

7. COMBINAZIONI DI CARICO

Il criterio di verifica adottato nella presente relazione, è il metodo agli stati limite. Sottoposta la struttura alle azioni caratteristiche analizzate al paragrafo precedente, determinato il valore degli effetti delle azioni per ogni combinazione di carico elementare, si sono poi combinati questi ultimi attraverso i coefficienti parziali delle azioni.

Le combinazioni delle azioni elementari, sono state definite in accordo al punto 2.5.3 del DM 14/01/2008 e ai punti specifici per i ponti stradali e i ponti ferroviari, di cui si riportano i coefficienti parziali di sicurezza per i carichi elementari e i coefficienti di combinazione.

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

$$SLU_{\text{eccezionale}} : \quad G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

$$SLE \text{ rara:} \quad G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

$$SLE \text{ frequente:} \quad G_1 + G_2 + P + \psi_{12} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

$$SLE \text{ quasi permanente:} \quad G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nel caso in esame, per il dimensionamento del cordolo e dell'ancoraggio, si assumerà una unica combinazione di carico allo $SLU_{\text{eccezionale}}$, con il carico da urto, ovvero:

$$SLU_{\text{eccezionale}} = G + A$$

8. RISULTATI DELL'ANALISI STRUTTURALE

Di seguito si riporta la schematizzazione della struttura ad elementi finiti, realizzata al fine di cogliere sulla corretta geometria, l'effetto dei carichi da peso proprio e carico da urto.

In particolare sarà considerata una porzione di cordolo di lunghezza pari a 90m, ritenendo tale lunghezza sufficiente a dissipare gli effetti di bordo.

Il cordolo viene modellato come una trave elastica su suolo elastico alla winkler avente costante di sottofondo posta pari a:

$$k_w = 10000 \text{ kN/m}^3$$

Il suolo alla winkler viene modellato con l'ausilio 9 file di elementi link posti sul piano orizzontale e aventi rigidità assiale verticale reagente a sola compressione e rigidità a taglio orizzontale quest'ultima per simulare l'effetto dell'attrito. Tali elementi sono connessi all'asse della trave elastica costituente il cordolo attraverso altrettanti elementi link rigidi (vedi figura sottostante).

Di seguito si riporta la verifica a scorrimento, ovvero si verifica che la forza di attrito totale mobilitata alla base del cordolo sia sufficiente ad equilibrare la risultante del carico da urto.

L	=	90 m	lunghezza totale del cordolo
b	=	1 m	base del cordolo
h	=	0.8 m	altezza del cordolo
φ	=	30 °	angolo di attrito del terreno
$f = 2/3 \tan \varphi$	=	0.385 -	coefficiente di attrito terreno-cordolo
F_R	=	733 kN	forza di attrito massima - $F_R = f \cdot (G_1 + G_2) L$
c.s.	=	1.34 > 1.1	coefficiente di sicurezza a scorrimento

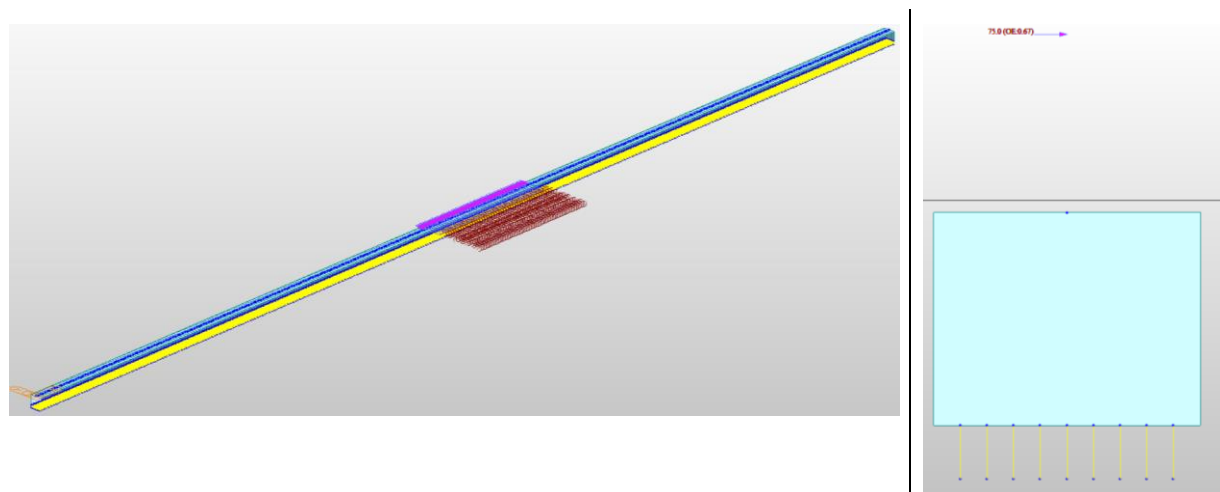


Figura 4 – Modello FEM del cordolo – modellazione del suolo alla winkler e del carico

Di seguito si riportano i diagrammi delle sollecitazioni, in particolare il momento flettente sul piano orizzontale il taglio associato e la torsione.

In forma tabellare abbiamo:

Elem	Load	Part	Vy [kN]	T [kNm]	Mz [kNm]
160	SLU(all)	J[161]	264.4	-433.64	-1307.88
182	SLU(all)	J[183]	6.25	-16.41	-2038.16

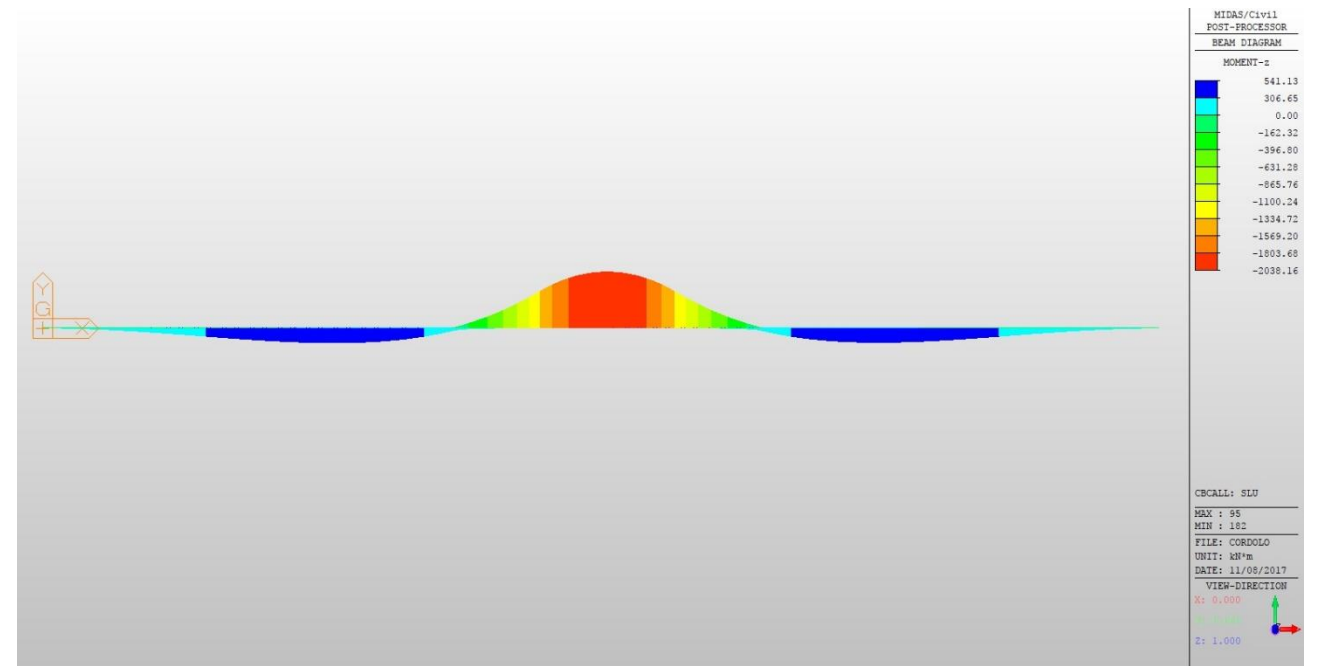


Figura 5 – Risultati dell'analisi – diagramma del momento flettente sul piano orizzontale

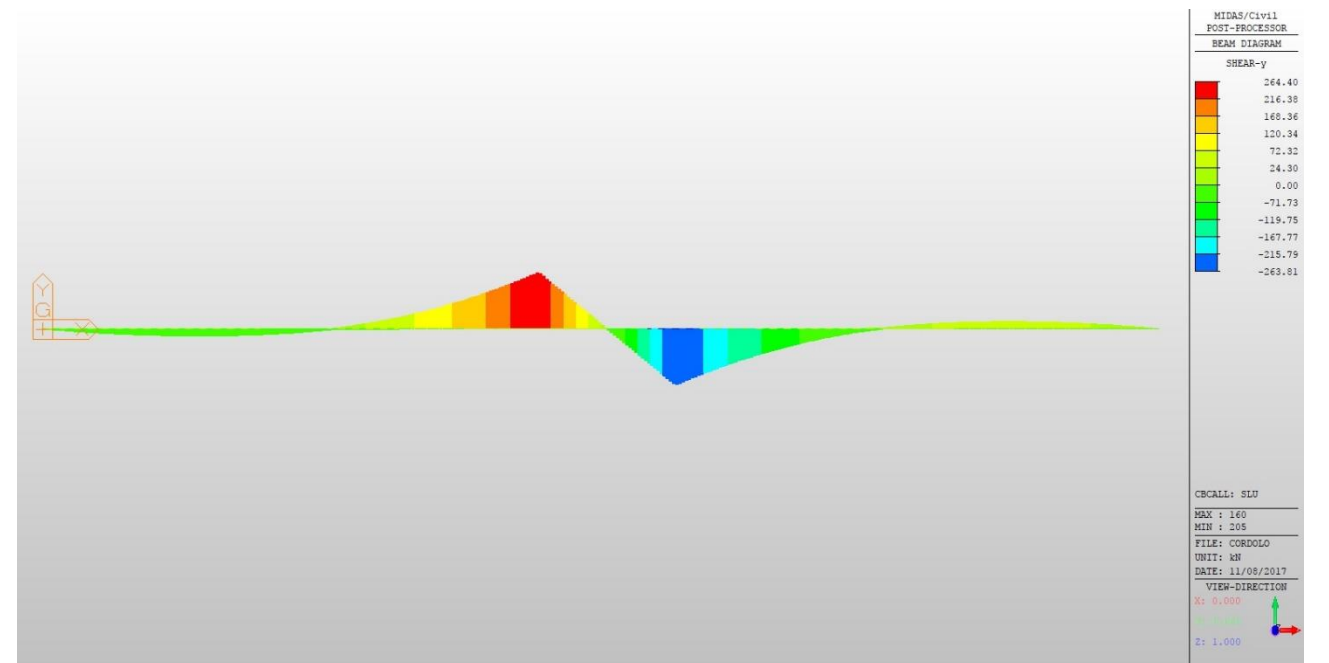


Figura 6 – Risultati dell'analisi – diagramma dello sforzo di taglio sul piano orizzontale

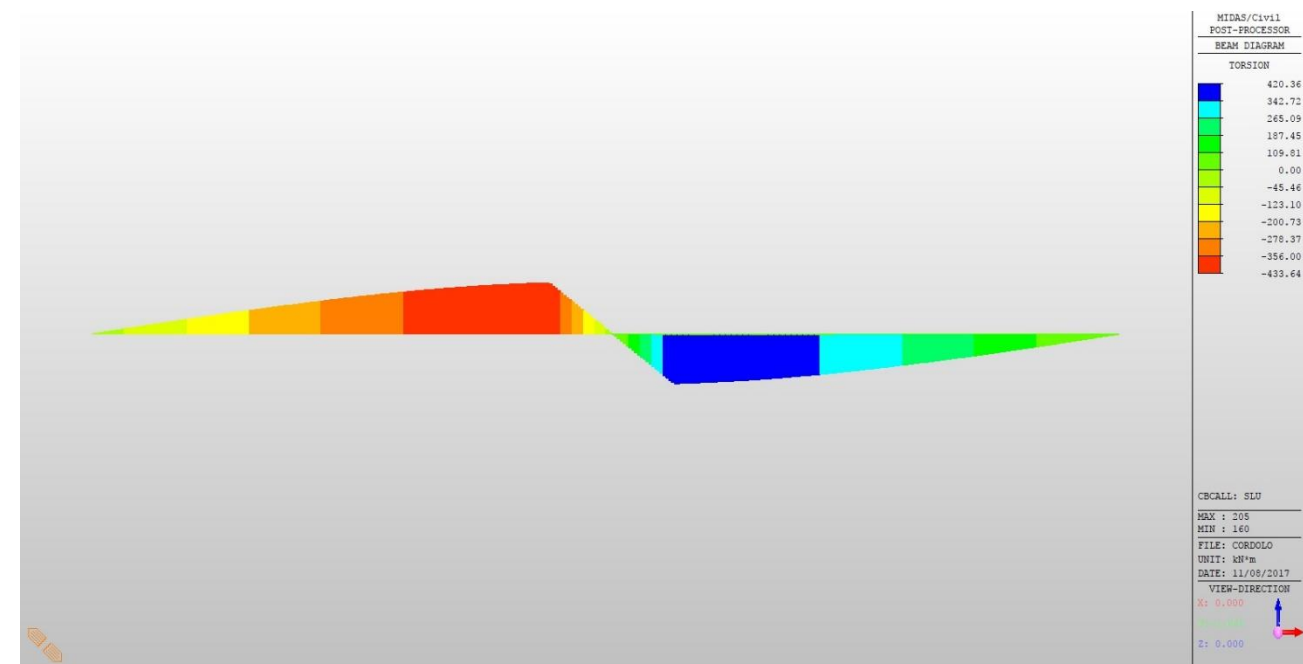


Figura 7 – Risultati dell'analisi – diagramma della torsione

Di seguito si riportano le verifiche a flessione e taglio e a taglio-torsione.

9. VERIFICHE DEL CORDOLO IN C.A.

9.1 VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO

Materiali

Calcestruzzo classe C25/30

Acciaio per barre B450C

Geometria sezione rettangolare

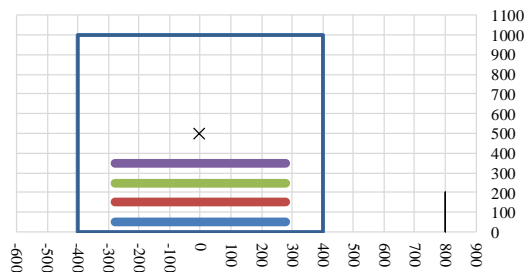
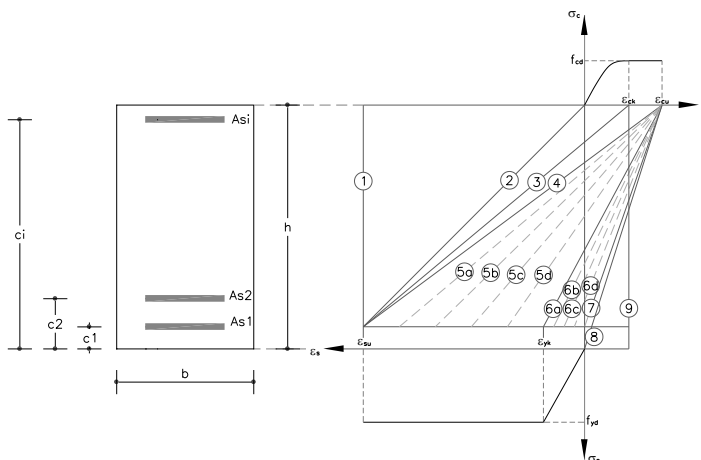
$h = 1000 \text{ mm}$ altezza sezione
 $b = 800 \text{ mm}$ base sezione

Armatura longitudinale

$A_{sl} = 13320 \text{ mm}^2$ area totale dell'armatura longitudinale (1.67 % di A_c)

Armatura trasversale

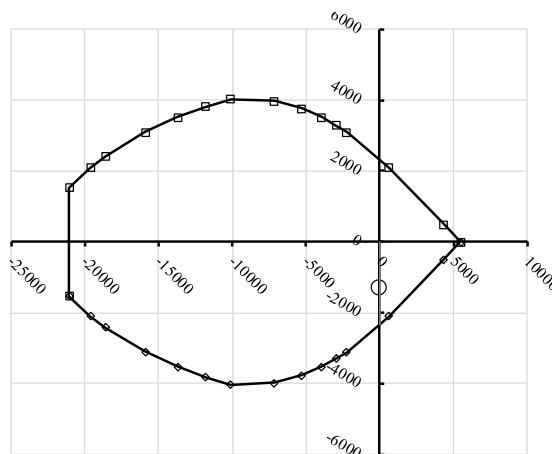
$\phi_t = 12 \text{ mm}$ diametro barre trasversali
 $n_b = 4$ numero bracci barre trasversali
 $s = 250 \text{ mm}$ interdistanza tra le barre trasversali
 $\alpha = 90^\circ$ inclinazione armatura trasversale
 $A_{st} = 452 \text{ mm}^2$ area dell'armatura trasversale a taglio



Domínio di rottura

	Dominio M(-)	
	N_u [kN]	M_u [kNm]
1	5473.91	0.00
2	4351.52	-496.07
3	612.68	-2100.50
4	-2235.90	-3106.24
5a	-2957.19	-3297.81
5b	-3954.88	-3518.78
5c	-5286.58	-3758.07
5d	-7156.10	-3972.42
6a	-10104.53	-4025.88
6b	-11787.88	-3812.99
6c	-13684.42	-3520.61
6d	-15907.59	-3092.33
7	-18596.57	-2404.84
8	-19610.20	-2086.41
9	-21044.98	-1533.97

	Dominio M(+)	
	N_u [kN]	M_u [kNm]
1	5473.91	0.00
2	4351.52	496.07
3	612.68	2100.50
4	-2235.90	3106.24
5a	-2957.19	3297.81
5b	-3954.88	3518.78
5c	-5286.58	3758.07
5d	-7156.10	3972.42
6a	-10104.53	4025.88
6b	-11787.88	3812.99
6c	-13684.42	3520.61
6d	-15907.59	3092.33
7	-18596.57	2404.84
8	-19610.20	2086.41
9	-21044.98	1533.97



Convenzioni: - il momento negativo tende le fibre inferiori
 - lo sforno normale negativo è di compressione

Verifica a SLU a rottura per pressoflessione

Comb.	elem.	Part	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	$\sigma_{C,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{S,min}$ [N/mm ²]	$\sigma_{S,max}$ [N/mm ²]	z_n [mm]	$M_{Rd}(N_{sd})$ [kNm]	$M_{Rd}(e)$ [kNm]	$N_{Rd}(e)$ [kNm]	c.s.
160	SLU	j	0.00	-1307.88	-12.55	-100.44	328.28	261	-2316.82	-2316.82	0.00	✓ 1.77
182	SLU	j	0.00	-2038.16	-19.97	-185.00	450.00	242	-2316.82	-2316.82	0.00	✓ 1.14

Verifica a SLU a rottura per taglio

Comb.	elem.	Part	V_{sd} [kN]	N_{sd} [kNm]	A_{sl} [mm ²]	$v_{Rd,min}$ [N/mm ²]	$v_{Rd,c}$ [N/mm ²]	$V_{Rd,c}$ [kN]	θ [°]	V_{Rsd} [kN]	V_{Rcd} [kN]	c.s.
160	SLU	j	264.40	0.00	12164	0.31	0.90	681.68	45.00	696.23	4257.90	✓ 2.63

9.2 VERIFICA A TAGLIO-TORSIONE

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO (§ 4.1.2.1.3)

§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	264.4	[kN]
Sforzo normale associato (positivo se di compressione)	N_{Ed}	0	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		si	[-]
Altezza della sezione lungo la direzione del taglio	h	1000	[mm]
Copriferro	c	50	[mm]
Larghezza dell'anima resistente a taglio del calcestruzzo	b_w	800	[mm]
Area dell'armatura longitudinale	A_{sl}	13295.2	[mm ²]
Altezza utile della sezione	$d = h - c$	950	[mm]
Coefficiente	$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c$	0.18	[-]
Tensione normale media	$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$	0.00	[N/mm ²]
	$\min\{\sigma_{cp}; 0.2 f_{cd}\}$	0.00	[N/mm ²]
Coefficiente	$k = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2$	1.46	[-]
Rapporto geometrico d'armatura	$\rho_l = A_{sl} / (b_w d) \leq 0.02$	0.0175	[-]
Tensione tangenziale minima	$v_{min} = 0.035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$	0.31	[N/mm ²]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	233.88	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	702.19	[kN]

Disporre il quantitativo minimo di armatura a taglio

dove:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + 0.15 \sigma_{cp}] b_w d \geq V_{Rd,min}$$

$$V_{Rd,min} = [v_{min} + 0.15 \sigma_{cp}] b_w d$$

§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	12	[mm]
Numero di braccia	n_b	4	[-]
Passo delle staffe	s	250	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave (generalmente $\theta = 45^\circ$)	θ	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave (generalmente $\alpha = 90^\circ$)	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	452.39	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	855	[mm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f'_{cd}	10.58	[MPa]
Coefficiente maggiorativo funzione di σ_{cp}	α_c	1.00	[-]
Cotangente di θ $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$	$\cot \theta$	1.00	[-]
Cotangente di α	$\cot \alpha$	0.00	[-]
Seno di α	$\sin \alpha$	1.00	[-]
Armatura trasversale necessaria a taglio	$A_{sw,nec}$	0.00	[mm ²]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rsd}	696.23	[kN]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rcd}	3619.22	[kN]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	696.23	[kN]

dove:

$$A_{sw} = n_b (\pi \phi_{sw}^2) / 4$$

$$A_{sw,nec} = s V_{Ed} / [z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha]$$

$$z = 0.9 d$$

$$V_{Rsd} = (A_{sw} / s) z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = z b \alpha_c f'_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot \theta^2)$$

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TORSIONE (§ 4.1.2.1.4)

Azione torcente di calcolo	T_{Ed}	433.64	[kNm]
Area delle armature longitudinali necessarie a flessione (per $M_{Ed}=M_{Rd}$)	$A_{sl,nec}$	10053.10	[mm ²]
Area della sezione di calcestruzzo	A_c	800000	[mm ²]
Perimetro della sezione di calcestruzzo	u	3600	[mm]
Spessore della sezione resistente cava	t	200.00	[mm]
Area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico	A	480000.00	[mm ²]
Area delle armature longitudinali resistenti a torsione $A_l = A_{sl} - A_{sl,nec}$	A_l	3242.12	[mm ²]
Area delle armature trasversali resistenti a torsione $A_s = A_{sw} - A_{sw,nec}$	A_s	452.39	[mm ²]
Passo delle armature a taglio	s	250	[mm]
Perimetro medio del nucleo resistente	u_m	2800.00	[mm]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima $0.5 f_{cd}$	f'_{cd}	10.58	[MPa]
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yd}	450.00	[MPa]
Rapporto A_l / u_m	a_l	1.158	[mm]
Rapporto A_s / s	a_s	1.810	[mm]
Inclinazione delle bielle compresse di calcestruzzo	$ctg \theta$	1.000	[-]
Torsione resistente dovuto bielle compresse di calcestruzzo	T_{Rcd}	1015.92	[kNm]
Torsione resistente dovuto all'armatura trasversale	T_{Rsd}	781.73	[kNm]
Torsione resistente dovuto all'armatura longitudinale	T_{Rld}	500.21	[kNm]
Torsione resistente minimo	T_{Rd}	500.21	[kNm]
Area delle armature longitudinali necessarie a torsione (aggiuntive a quelle necessarie a flessione)	$A_{l,nec}$	2810.63	[mm ²]
Verifica combinata taglio-torsione	$f(V,T)$	0.50	[-]

dove:

$0.4 \leq ctg \theta = (a_l/a_s)^{1/2} \leq 2.5$ in caso di torsione senza taglio altrimenti pari all'inclinazione usata per il taglio

$A_{l,nec} = u_m ctg \theta T_{Ed} / (2 A f_{yd})$ armatura longitudinale minima a torsione da disporre oltre all'armatura longitudinale necessaria a flessione

$$T_{Rcd} = 2 A t f_{cd}' ctg \theta / (1 + ctg^2 \theta)$$

$$T_{Rsd} = 2 A (A_s/s) f_{yd} ctg \theta$$

$$T_{Rld} = 2 A (A_l/u_m) f_{yd} / ctg \theta$$

$$T_{Rd} = \min(T_{Rcd}, T_{Rsd}, T_{Rld})$$

$$f(V,T) = T_{Ed}/T_{Rcd} + V_{Ed}/V_{Rcd} \leq 1$$