

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA
TRATTA PIADENA - MANTOVA**

Nuovo Sottopasso Ciclo-pedonale al 56+251
Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

SCALA:

-

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

N M 2 5 0 3 D 2 6 C L S L 0 1 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G. Coppa	Aprile 2020	M. Rigo	Aprile 2020	M. Berlingieri	Aprile 2020	A. Perigo 10/04/2020



File: NM2503D26CLSL0100003A.doc

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1 NORMATIVA	5
3. UNITÀ DI MISURA	7
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
4.1 CALCESTRUZZO	8
4.2 ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA PER CEMENTO ARMATO	8
4.3 ACCIAIO PER PALANCOLE E TRAVI DI RIPARTIZIONE	9
4.4 DURABILITÀ E PRESCRIZIONI SUI MATERIALI	9
4.5 COPRIFERRO MINIMO E COPRIFERRO NOMINALE	9
5. PARAMETRI SISMICI	10
6. PARAMETRI GEOTECNICI	12
7. GEOMETRIA	14
8. ANALISI DEI CARICHI	15
9. VALUTAZIONE DELLA SPINTA	17
9.1 VALUTAZIONE DELL'ATTRITO LATERALE	17
9.2 SPINTA COMPLESSIVA	18
10. VERIFICHE	19
10.1 VERIFICA PLATEA DI VARO	19
10.2 VERIFICA RESISTENZA TERRENO	20
10.3 VERIFICA MURO REGGISPINTA	20

1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo viene emessa nell’ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi al Progetto definitivo del Raddoppio Ferroviario Codogno-Cremona-Mantova.

La presente relazione è relativa ai calcoli e alle verifiche delle opere necessarie alla spinta del monolite del sottopasso denominato “SL01”.

Il dispositivo di spinta è coperto da una platea di varo e da una parete di spinta che consentono l’infissione del monolite nel rispetto delle tolleranze plano-altimetriche richieste. La platea di varo costituisce la base di appoggio in sede provvisoria e la parete di spinta assicura il contrasto necessario per il varo del manufatto.

L’infissione avviene tramite martinetti che contrastano da un lato sulla struttura e dall’altro su una parete, detta muro reggispinta, che a sua volta scarica e ripartisce tale azione sul terreno restrostante.

Nella fase iniziale dovrà essere lasciato uno spazio di 2.00m tra la platea del monolite e la parete per consentire l’alloggiamento dei martinetti e della trave di ripartizione.

Si riportano alcune immagini in cui è rappresentata l’opera in esame.

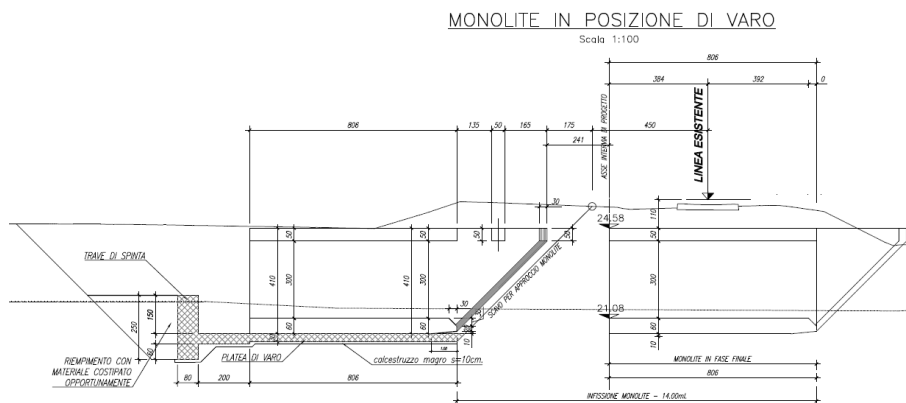


Figura 1 Sezione longitudinale – monolite in posizione di varo

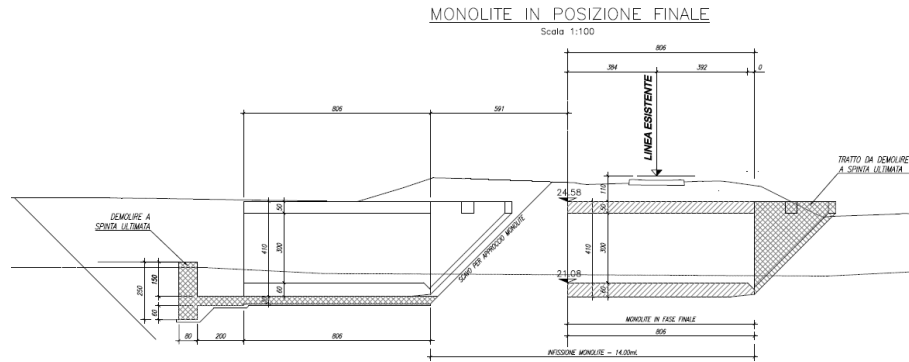


Figura 2 Sezione longitudinale – monolite in posizione finale

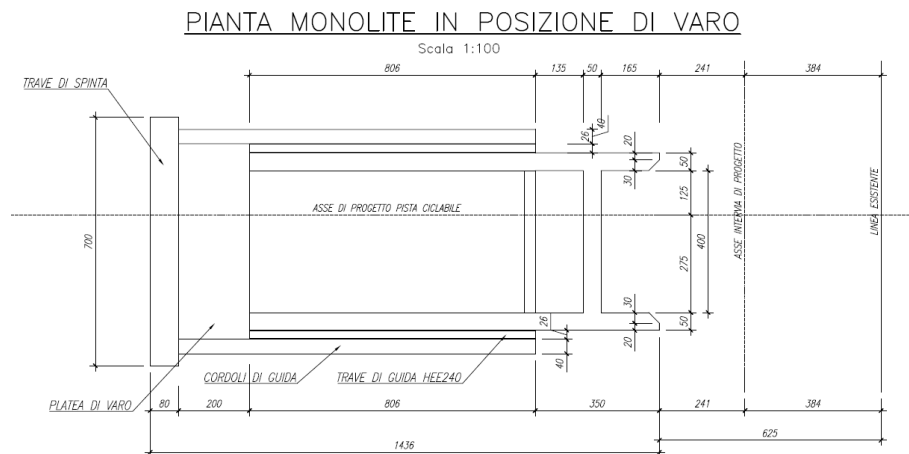


Figura 3 Pianta monolite in posizione di varo

L'opera ricade in zona sismica e sono state pertanto considerate le azioni derivanti dall'analisi sismica, secondo quanto previsto dal D.M. 17/01/18 e dalla Circolare Applicativa.

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le seguenti normative.

- [1] LEGGE n. 1086 05.11.1971: “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica” ;
- [2] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “*Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»*”, G.U. Serie Generale n.42 del 20.02.2008, Supplemento Ordinario n.8.
- [3] Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [4] RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21.12.2018 - “*Manuale di progettazione delle opere civili*” ;
- [5] RFI DTC SI AM MA IFS 001 B del 21.12.2018 - “Manuale di progettazione delle opere civili – Sezione 1 - Ambiente” ;
- [6] RFI DTC SI PS MA IFS 001 C del 21.12.2018 - “Manuale di progettazione delle opere civili – Sezione 2 – Ponti e Strutture” ;
- [7] RFI DTC SI CS MA IFS 001 C del 21.12.2018 - “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili” ;
- [8] 1299/2014/UE Specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea (18/11/2014);
- [9] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 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;
- [10] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [11] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- [12] Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	6 di 25

[13] UNI EN 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo”;

[14] UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.

3. UNITÀ DI MISURA

Le unità di misura usate nella presente relazione sono:

- lunghezze [m]
- forze [kN]
- momenti [kNm]
- tensioni [MPa]

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per le strutture oggetto della presente relazione si prevede l'utilizzo dei materiali riportati nel seguito.

4.1 Calcestruzzo

Calcestruzzo C30/37

- Resistenza caratteristica a compressione (cilindrica)

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 30.71 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza media a compressione

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \quad \text{N/mm}^2$$

- Modulo elastico

$$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza di calcolo a compressione

$$f_{cd} = a_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \times f_{ck} / 1.5 = 17.40 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza a trazione media

$$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 2.94 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza a trazione

$$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.06 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza a trazione di calcolo

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.37 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza a compressione (comb. Rara)

$$\sigma_c = 0.55 \times f_{ck} = 16.89 \quad \text{N/mm}^2$$

- Resistenza a compressione (comb. Quasi permanente)

$$\sigma_c = 0.40 \times f_{ck} = 12.28 \quad \text{N/mm}^2$$

Calcestruzzo per magrone

Classe di resistenza = C12/15

4.2 Acciaio ad aderenza migliorata per cemento armato

Tipo B450 (controllato in stabilimento)

$f_{yk} =$	450 MPa	Tensione caratteristica di snervamento
$f_{yd} = f_{yk} / 1.15 =$	391.30 MPa	Resistenza di calcolo
$\sigma_s = 0.75 f_{yk} =$	337.50 MPa	Tensione limite in condizione di esercizio (comb. Rara)
$E_s =$	210000 MPa	Modulo elastico

4.3 Acciaio per palancole e travi di ripartizione

Tipo S275JR

$f_{yk} =$ 275 MPa Tensione caratteristica di snervamento

$f_{tk} =$ 430 MPa Tensione caratteristica di rottura

4.4 Durabilità e prescrizioni sui materiali

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Per le opere della presente relazione, in base a quanto prescritto dal Capitolato di Costruzione RFI 2018, si adotta quanto segue:

Fondazione - Elevazione Classe di esposizione XF2

4.5 Copriferro minimo e copriferro nominale

Al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale, dovrà essere previsto un idoneo copriferro; definito come la distanza tra la superficie esterna dell'armatura, inclusi collegamenti e staffe, e la superficie di calcestruzzo più vicina.

In riferimento alla Tabella 2.5.2.2.3.2.-1 del Manuale di Progettazione delle Opere Civili Parte II - Sezione 2, per l'elemento strutturale in esame risulta un copriferro minimo $c_{min}=40mm$.

In considerazione delle condizioni ambientali che sono aggressive, i sensi della tab.4.1.III del DM 17.01.2018, il copriferro minimo indicato in tabella è stato aumentato di 10 mm, ottenendo quindi un copriferro nominale pari a $c_{nom} = 50 \text{ mm}$ per fondazione ed elevazione.

5. PARAMETRI SISMICI

Per la definizione dell'azione sismica occorre definire il periodo di riferimento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato. La vita nominale (V_N) dell'opera è stata assunta pari a 50 anni. La classe d'uso assunta è la II. Il periodo di riferimento (V_R) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso, vale:

$$V_R = V_N \times C_u = 50 \times 1 = 50 \text{ anni.}$$

Il valore di probabilità di superamento del periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, è:

$$P_{VR} (SLV)=10\%.$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R espresso in anni vale:

$$T_R (SLV) = - \frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 475 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di a_g , F_0 , T^*c :

- a_g → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- F_0 → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*c → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t);

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:

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

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per le accelerazioni sismiche massime attese al suolo, considerando la componente verticale agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

I corrispondenti valori delle caratteristiche sismiche per lo SLV sono i seguenti:

latitudine = 45.122392;

longitudine = 10.572725;

a_g = 0.083 g;

F_0 = 2.613

T^*c = 0.311 s.

Il sottosuolo su cui insiste l'opera ricade in categoria sismica "C" e categoria topografica "T1". I coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica risultano quindi:

S_s = 1.50;

S_T = 1.0.

Risulta quindi:

a_{max} = 1.240 m/s²;

k_h = 0.124;

k_v = ±0.062.

6. PARAMETRI GEOTECNICI

Le caratteristiche geotecniche del terreno in situ, in accordo con Relazione Geotecnica sono di seguito riportati:

Parametro:	WRs1	WRa1	WRa2	Rs1	RMa
γ (kN/m ³)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
ϕ' (°)	34	27	25	33	25
c' (kPa)	0	0	0	0	0
Cu (kPa)	-	80	50	-	60 fino a 24 m da pc 100 oltre 24 m da pc
G ₀ (MPa)	40.0	60.0 fino a 4 m da pc	50.0	80.0	70.0 fino a 24 m da pc 90.0 oltre 24 m da pc
E ₀ (MPa)	100.0	150.0 fino a 4 m da pc	125.0	200.0	175.0 fino a 24 m da pc
E _{op1} (MPa)	10.0	15.0 fino a 4 m da pc	12.5	20.0	17.5 fino a 24 m da pc 22.5 oltre 24 m da pc
E _{op2} (MPa)	20.0	30.0 fino a 4 m da pc	25.0	40.0	35.0 fino a 24 m da pc 45.0 oltre 24 m da pc
OCR (-)	-	3.0	2.0	-	1.0
CR (-)	-	0.18	0.16	-	-
RR (-)	-	0.036	0.032	-	-
C _{αs} (%)	-	0.12	0.15	-	-
k _v (m/s)	2.00E-7	5.00E-8	1.00E-8	5.00E-7	1.00E-8

Tabella 1: Caratterizzazione geotecnica

Quota di riferimento pc ≈ 31.5 m slmm			
UNITA' GEOTECNICA	DA	A	SPESSORE
(-)	(m pc)	(m pc)	(m)
WRa1	0	4.0	4.0
WRa2	4.0	9.0	5.0
Rs1	9.0	13.5	4.5
RMa	13.5	35.0	21.5

La falda di progetto è a 4.0 m da pc

Tabella 2 Stratigrafia di riferimento

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	13 di 25

Caratteristiche rilevato

$\gamma = 20.00$	kN/m^3	peso di volume naturale
$\varphi' = 38$	$^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0.00$	kPa	coesione drenata

Caratteristiche terreno

$\gamma = 19.00$	kN/m^3	peso di volume naturale
$\varphi' = 25$	$^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0.00$	kPa	coesione drenata

7. GEOMETRIA

GEOMETRIA SCATOLARE			
Lunghezza scatolare	$L_s =$	8.06	m
Laghezza interna	$B_i =$	4.00	m
Altezza interna	$H_i =$	3.00	m
Spessore fondazione	$S_f =$	0.60	m
Spessore piedritti	$S_p =$	0.50	m
Spessore soletta superiore	$S_s =$	0.50	m
Altezza ricoprimento	$h_r =$	1.10	m

GEOMETRIA MURO REGGISPINTA			
Lunghezza	$L_m =$	7.00	m

GEOMETRIA PLATEA DI VARO			
Larghezza platea + cordoli	$B_p =$	6.32	m

8. ANALISI DEI CARICHI

La struttura monolitica da infiggere viene gettata in opera al di sopra di una platea di varo armata.

La platea di varo costituisce la base di appoggio, in sede provvisoria, per la prefabbricazione del monolite. Essa ha la funzione di piano di scorrimento e di guida per la traslazione.

Le condizioni di spinta considerate sono:

1. Al momento della spinta iniziale (distacco del manufatto dalla platea di varo - fase 1);
2. Al momento della spinta massima (fine dell'infissione - fase 2).

La fase 1 (distacco) è la configurazione che si ha all'inizio delle operazioni di spinta. In questa configurazione i martinetti di spinta devono vincere l'attrito tra l'intradosso fondazione e la platea di varo; il coefficiente di attrito di primo distacco si assume pari all'unità (ciò equivale a dire che il valore della spinta per cui il monolite inizia la traslazione è circa pari al peso della struttura), e non è invece presente alcun attrito del terreno sulle pareti laterali. Questa configurazione risulta significativa per il dimensionamento dell'armatura della platea di varo, soggetta a prevalenti azioni di sforzo normale di trazione.

La fase 2 (fine dell'infissione) corrisponde alla fase in cui il monolite è totalmente immerso nel terreno e la spinta è nelle fasi finali. Oltre alla resistenza dovuta al peso del monolite, si hanno quindi anche le resistenze dovute all'attrito laterale tra lo scatolare ed il terreno.

Considerando che la struttura ha carattere provvisoria, si trascura nel dimensionamento l'azione sismica.

Nella tabella che segue si riporta il calcolo analitico del peso totale della struttura, comprensivo di rostri.

Peso proprio monolite			
Altezza esterna	H_{esterna}	4.1	m
Larghezza esterna	L_{esterna}	5	m
Altezza interna	H_{interna}	3	m
Larghezza interna	L_{interna}	4	m
Area sezione trasversale	A_{trasv}	8.5	m ²
Peso c.a.	γ_{cls}	25	kN/m ³
Peso al metro lineare	W	213	kN/m

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	16 di 25

Lunghezza di verifica	L_{tot}	8.06	m
Peso proprio monolite	$W_{monolite}$	1713	kN
Peso proprio rostri	W_{rostri}	577	kN
$W_{totale\ monolite\ +\ rostri} = 1.35 \times (W_{monolite} + W_{rostri})$	$W_{totale\ monolite\ +\ rostri}$	3091	kN

Nella tabella che segue si riporta il calcolo analitico del peso della platea di varo.

Peso proprio platea di varo			
Larghezza	$L_{1platea}$	5.52	m
Lunghezza	$L_{2platea}$	10.06	m
Spessore	S_{platea}	0.3	m
Peso platera di varo	W_{platea}	416	kN
Peso cordoli laterali	$W_{cordoli}$	60	kN
$W_{platea\ +\ cordoli} = 1.35 \times (W_{platea} + W_{cordoli})$	$W_{platea\ +\ cordoli}$	644	kN

9. VALUTAZIONE DELLA SPINTA

9.1 VALUTAZIONE DELL'ATTRITO LATERALE

Si calcolano le pressioni efficaci orizzontali ($\sigma'h$) in condizioni di spinta a riposo $k_0 = 1 - \text{sen}(\varphi')$ e le azioni resistenti dovute al terreno laterale adottando un coefficiente di attrito (tra terra e parete del calcestruzzo) prudenziale pari alla tangente di 2/3 dell'angolo di attrito del terreno.

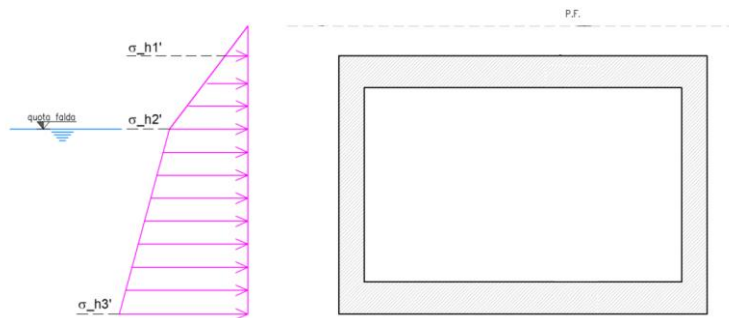


Figura 4 Schema di calcolo spinta per attrito laterale

Valutazione dell'attrito laterale			
Ricoprimento su soletta superiore monolite da P.F.	H_{ricop}	1.1	m
Altezza totale fino a base monolite da P.F.	H_{terr1}	5.2	m
Profondità falda da p.c da P.F.	H_w	2.1	m
Peso di volume terreno	γ_{terr1}	19	kN/m ³
Angolo di attrito terreno caratteristico	ϕ'_{1k}	25	°
Angolo di attrito terreno di progetto	ϕ'_{1d}	20.5	°
Coeff. di spinta a riposo terreno	$k_{01(\phi'_{1d})}$	0.65	-
	σ_{h1}	13.6	kN/m ²
	σ_{h2}	26.0	kN/m ²
	σ_{h3}	44.1	kN/m ²
	$\sigma_{h\text{media}}$	35.0	kN/m ²
Angolo di attrito interfaccia parete-terreno = $2/3 \times \phi'_{1d}$	δ	16.7	°
Coeff. d'attrito laterale terreno 1	$\tan(\delta)$	0.30	-
Area laterale	A_{lattot}	33	m ²
Attrito laterale = $1.35 \times (2 \times A_{\text{lattot}}) \times \sigma_{h\text{media}} \times \tan(\delta)$	S_{lattot}	936	kN

9.2 SPINTA COMPLESSIVA

La spinta necessaria per varare il manufatto viene calcolata in due fasi di esecuzione:

- Al momento della spinta iniziale di distacco (fase 1)

La spinta complessiva necessaria a far muovere il monolite ha inizialmente un valore pari al peso del monolite stesso.

Fase 1 - Distacco		
$W_{\text{totale monolite + rostri}}$	3091	kN
Coefficiente d'attrito platea-monolite	1	-
Resistenza attrito monolite-platea (Resistenza totale in fase di distacco)	3091	kN

- Fine corsa dell'infissione (fase 2)

Una volta superata la platea di varo, la resistenza che si oppone allo scorrimento dovuto all'attrito alla base del manufatto vale $3091 \cdot \tan \varphi'k$, valore ottenuto considerando come coefficiente d'attrito cls-terreno la tangente dell'angolo d'attrito del terreno stesso, considerato cautelativamente con il suo valore caratteristico in quanto valutato come azione che si oppone all'avanzamento.

Fase 2 - Fine dell'infissione		
$W_{\text{totale monolite + rostri}}$	3091	kN
Coefficiente d'attrito platea-monolite	0.47	-
Resistenza attrito sul fondo	1442	kN
Resistenza attrito laterale	936	kN
Resistenza massima in fase di spinta	2377	kN

10. VERIFICHE

10.1 VERIFICA PLATEA DI VARO

Si analizza la condizione in cui il monolite si trova per tutta la lunghezza sulla platea. In questa condizione, la forza di trazione sulla platea viene calcolata come differenza tra la resistenza offerta dallo scatolare all'infissione, calcolata con un coefficiente di attrito tra la platea e il monolite pari a 1, e la resistenza a livello del terreno offerta dal peso del monolite e della platea calcolata con un coefficiente di attrito tra platea e terreno, in favore di sicurezza, pari a $2/3$ dell'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Platea di varo		
$W_{\text{totale monolite + rostri}}$	3091	kN
$W_{\text{platea + cordoli}}$	644	kN
W_{totale}	3735	kN
Angolo di attrito interfaccia parete-terreno = $2/3 \times \phi'1$	16.7	°
Resistenza attrito monolite-platea	3091	kN
Resistenza attrito platea-terreno	1118	kN
Trazione platea SLU	1973	kN

L'armatura longitudinale prevista sulla platea di varo è pari a 28 $\phi 16$ superiormente ed inferiormente, con cui si ha:

Larghezza platea di varo	5.52	m
N° ferri	27.6	-
ϕ	16	mm
Area ferri	11099	mm ²
Area ferri	0.011	m ²
T_{rd}	4343	kN
T_{ed}	1973	kN
$T_{rd} > T_{ed}$	Verificato	

10.2 VERIFICA RESISTENZA TERRENO

È necessario verificare che il terreno a tergo sia in grado di fornire la contropinta necessaria. Per il terreno si considerano condizioni di spinta passiva.

Verifica resistenza terreno			
Angolo di attrito rilevato caratteristico	ϕ'_{rilK}	38	°
Angolo di attrito rilevato di progetto	ϕ'_{rild}	32	°
Peso di volume rilevato	γ_{ril}	20	kN/m ³
Coefficiente di spinta passiva	K_p	3.26	-
Altezza muro reggispinta	h_{mrs}	3	m
Lunghezza muro reggispinta	L_{mrs}	7	m
Area Sovraccarico	A_q	0	m ²
Lunghezza sovraccarico	L_q	3.5	m
Sovraccarico	q	0.00	kN/m ²
Resistenza terreno	σ_p	195.33	kN/m ²
Resistenza terreno	σ_p	292.99	kN/m
Resistenza terreno	R	2051	kN
Spinta totale necessaria	S	1761	kN
Verifica (R/S>1)	R/S	1.16	Verificato

10.3 VERIFICA MURO REGGISPINTA

Il muro reggispinta è verificato nella condizione più gravosa, ovvero quella corrispondente alla spinta dei martinetti. Lo schema statico è quello di mensiona e la forza utilizzata è pari alla spinta, applicata all'altezza di 0.6m (che corrisponde all'altezza massima possibile). La verifica è stata condotta per un metro di elemento.

Muro reggispinta-Verifica sollecitazioni			
Spinta totale SLU	S_{dSLU}	2377	kN
Spinta totale SLE	S_{dSLE}	1761	kN
Braccio	b	0.6	m
SLU-momento a metro lineare	M_{ed_SLU}	203.8	kNm/m
SLU-taglio a metro lineare	V_{ed_SLU}	339.6	kN/m
SLE-momento a metro lineare	M_{ed_SLE}	150.9	kNm/m

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	21 di 25

Si riporta di seguito la verifica eseguita in RC-SEC. L'armatura prevista è riportata di seguito:

- Armatura principale $\phi 16/10$
- Armatura secondaria $\phi 12/20$
- Armatura a tagli spilli $\phi 14/20 \times 40$

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	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:	337.50	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	80.0
3	50.0	80.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	8.4	16
2	-41.6	71.6	16
3	41.6	71.6	16
4	41.6	8.4	16

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	22 di 25

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	1	4	8	16
2	2	3	8	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	203.80	0.00	0.00	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 princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	150.90	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.6 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
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y 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
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	23 di 25

As Tesa Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	203.80	0.00	0.00	551.08	0.00	2.70	40.2(12.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato 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	0.102	-50.0	80.0	-0.00053	-41.6	71.6	-0.03089	-41.6	8.4

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	0.000480312	-0.034924941	0.102	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 conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.33	-50.0	80.0	-114.4	-41.6	8.4	1912	20.1

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}
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

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	24 di 25

\emptyset Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace A_c eff [eq.(7.11)EC2]
 C_f Coprifero [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]
 s_r max Massima distanza tra le fessure [mm]
 w_k Apertura fessure in mm calcolata = $s_r \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 M_x fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 M_y fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e_1	e_2	k_2	\emptyset	C_f	$e_{sm} - e_{cm}$	s_r max	w_k	M_x fess	M_y fess
1	S	-0.00066	0	0.500	16.0	76	0.00034 (0.00034)	517	0.177 (0.20)	353.00	0.00

SEZIONE

b_w	=	100	cm
h	=	80	cm
c	=	8.4	cm
d	=	$h - c$	= 71.6 cm

MATERIALI

f_{ywd}	=	391.30	MPa
R_{ck}	=	37	MPa
γ_c	=	1.5	
f_{ck}	=	$0.83 \times R_{ck}$	= 30.71 MPa
f_{cd}	=	$0.85 \times f_{ck} / \gamma_c$	= 17.40 MPa

ARMATURE A TAGLIO

\emptyset_{st}	=	12	
braccia	=	5	
\emptyset_{st2}	=	0	
braccia	=	0	
passo	=	40	cm
(A_{sw} / s)	=	14.137	cm ² / m
α	=	90	° (90° staffe verticali)

TAGLIO AGENTE	$V_{Ed} =$	339.6	(kN)
SFORZO NORMALE	$N_{Ed} =$	0	(kN)
	$\alpha_c =$	1.0000	

Relazione di calcolo platea e muro reggispinta

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03 D 26	CL	SL 01 00 003	A	25 di 25

ELEMENTI CON ARMATURA A TAGLIO

Calcolo di $\cot \theta$

$$\cot(\theta) = 3.84$$

$$\theta = 14.60^\circ$$

IPOTESI 1 $1 \leq \cot \theta \leq 2.5$ Rottura bilanciata $V_{Rsd} = V_{Rcd}$

$$V_{Rsd} = 1368.10 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 1368.10 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 1368 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

IPOTESI 2 $\cot \vartheta > 2,5$ Si assume $\vartheta = 21,8^\circ$

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 891.19 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 1933.46 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 891 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

IPOTESI 3 $\cot \vartheta = 1$ $\vartheta = 45^\circ$

Armatura trasversale

$$V_{Rsd} = 356.48 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 2803.52 \text{ (KN)} \quad 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

$$V_{Rd} = 356.48 \text{ (KN)} \quad \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$