

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE
LOTTO 1 + 2

LINEA

TRINCEA DI APPROCCIO ALLA GALLERIA

Opere di sostegno della trincea ferroviaria - Relazione di calcolo opere di
fondazione

SCALA:

-

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

RS3Z 00 D 26 CL TR0005 003 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. INTEGRA	Gennaio 2020	F. COPPINI	Gennaio 2020	A. BARRECA	Gennaio 2020	F. COPPINI Maggio 2020 ITALFERR - UC INFRASTRUTTURE NORD Dott. Ing. Francesco Coppini Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 23172 del 12/05/20	
B	1° AGG. A CONSEGNA CSLLPP	C. INTEGRA	Maggio 2020	F. COPPINI	Maggio 2020	A. BARRECA	Maggio 2020		

File: RS3Z00D26CLTR0005003B

n. Elab.:

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
2.1 NORMATIVA E ISTRUZIONI.....	3
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI.....	4
3.1 CALCESTRUZZO.....	4
3.1.1 Classe C32/40 (pali di fondazione).....	4
3.1.2 Classe C25/30 (zattera di fondazione).....	4
3.2 ACCIAIO	4
3.2.1 Acciaio per cemento armato.....	4
4. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI.....	5
5. VERIFICA SOLLEVAMENTO FONDO SCAVO	6
5.1 VERIFICA SOLLEVAMENTO IN FASE PROVVISORIA.....	7
6. ANALISI DEI CARICHI	8
7. VERIFICHE STRUTTURALI PALI DI FONDAZIONE.....	13
7.1.1 Sollecitazioni sul singolo palo.....	13
7.1.2 Dimensionamento delle armature	13
7.1.3 Verifiche SLU e SLV.....	14
7.1.4 Verifiche SLE.....	19
8. VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI FONDAZIONE	22
8.1 VERIFICHE DI PORTANZA VERTICALE.....	22

8.1.1	<i>Risultati delle verifiche</i>	24
8.2	VERIFICA DI PORTANZA ORIZZONTALE	27
8.3	ANALISI AGLI STATI LIMITE	27
8.4	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE - BROMS	27
8.4.1	<i>Risultati delle verifiche</i>	31
9.	VERIFICHE STRUTTURALI PLINTO DI FONDAZIONE	33
9.1	SINTESI DELLE ARMATURE DISPOSTE.....	35
9.1.1	<i>Verifiche SLU</i>	36
9.1.2	<i>Verifiche SLV</i>	41
9.1.3	<i>Verifiche SLE</i>	46

1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce alla trincea situata dal km 28+0.47 al km 28+259.

Il presente documento costituisce la relazione di calcolo della fondazione del muro ad U della trincea.

La palificata al di sotto della fondazione è costituita da pali di diametro 1000 mm posti ad interasse di 5 m sia longitudinalmente che trasversalmente.

Il plinto di fondazione ha un'altezza di 0.80 m e si sviluppa per 212m con una larghezza variabile da 24m a 30m circa.

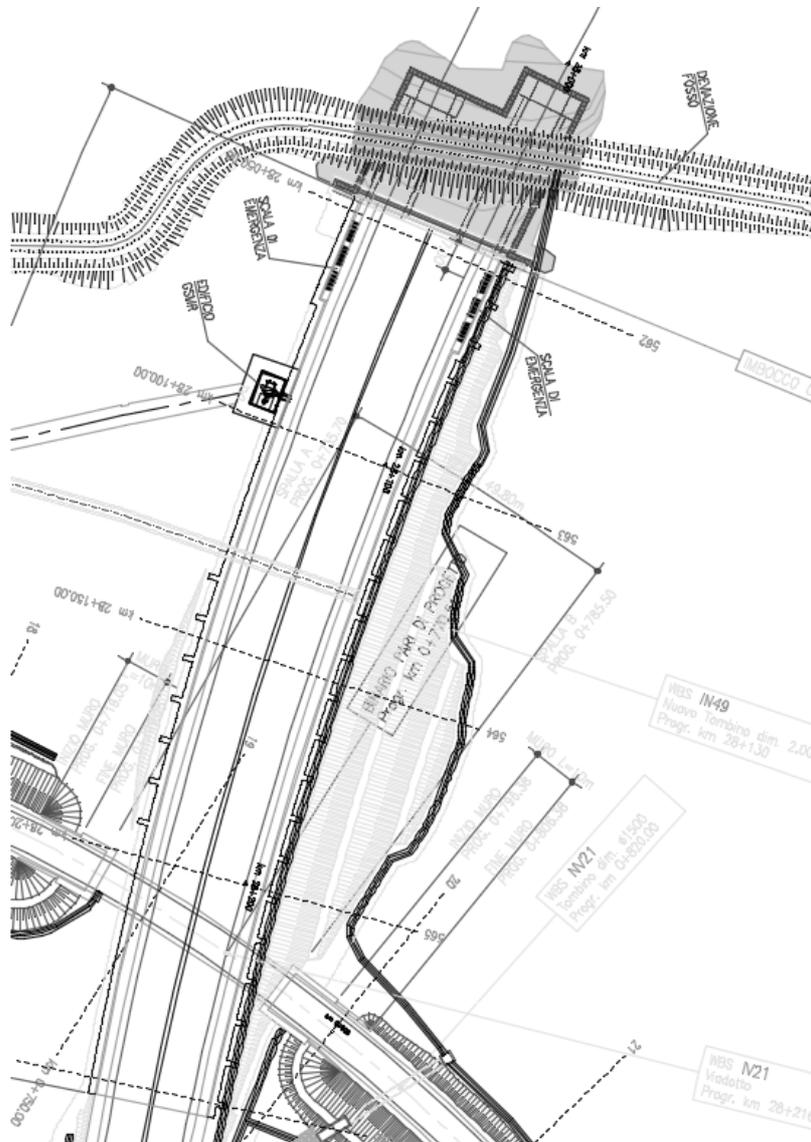


Figura 1: Planimetria di Progetto

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa e istruzioni

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

Ferrovie dello Stato hanno emanato nel tempo varie normative e linee guida riguardanti sia i sovraccarichi che le prescrizioni relative ai ponti ferroviari.

Le normative rilevanti per la redazione del progetto di messa in sicurezza sono ovviamente le normative ora vigenti per le strutture, e per i ponti ferroviari in particolare, elencate nel seguito.

- *DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC18);*
- *Circolare Applicativa delle NTC 2018, 27/07/2018 (Circ n.7)*
- *Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – parte 5 – Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;*
- *RFICTCSIMAIFS001_C: Manuale di progettazione delle opere civili, 21/12/2018*
- *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;*
- *Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi “controllo-comando e segnalamento” del sistema ferroviario nell’Unione europea.*

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI IMPIEGATI

3.1 Calcestruzzo

3.1.1 Classe C32/40 (pali di fondazione)

- Classe d'esposizione: XA2
- Copriferro netto minimo: $c = 60\text{mm}$
- $R_{ck} = 40\text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 33,20\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 33,20 \cdot 0,85 / 1,5 = 18,81\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 3,10\text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 33642,78\text{ Mpa}$

3.1.2 Classe C25/30 (zattera di fondazione)

- Classe d'esposizione: XC2
- Copriferro netto minimo: $c = 40\text{mm}$
- $R_{ck} = 30\text{ N/mm}^2$
- $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,9\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione: $f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 24,9 \cdot 0,85 / 1,5 = 14,11\text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione: $f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,56\text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E = 22000 [f_{cm}/10]^{0.3} = 31447,16\text{ Mpa}$

3.2 Acciaio

3.2.1 Acciaio per cemento armato

Si utilizzano barre ad aderenza migliorata in acciaio con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Acciaio B450C

- | | |
|--|-----------------------------------|
| • tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} = 450\text{ N/mm}^2$; |
| • tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} = 540\text{ N/mm}^2$; |
| • resistenza di calcolo a trazione | $f_{yd} = 391,30\text{ N/mm}^2$; |
| • modulo elastico | $E_s = 206.000\text{ N/mm}^2$. |

5. VERIFICA SOLLEVAMENTO FONDO SCAVO

Per la verifica di stabilità al sollevamento si sono utilizzati i coefficienti parziali delle azioni indicati nella Tab. 6.2.III del D.M. 14/01/18, di seguito riportati per comodità:

Tab. 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{ci}

Nella figura seguente sono riportate le dimensioni dei tappi di fondo.

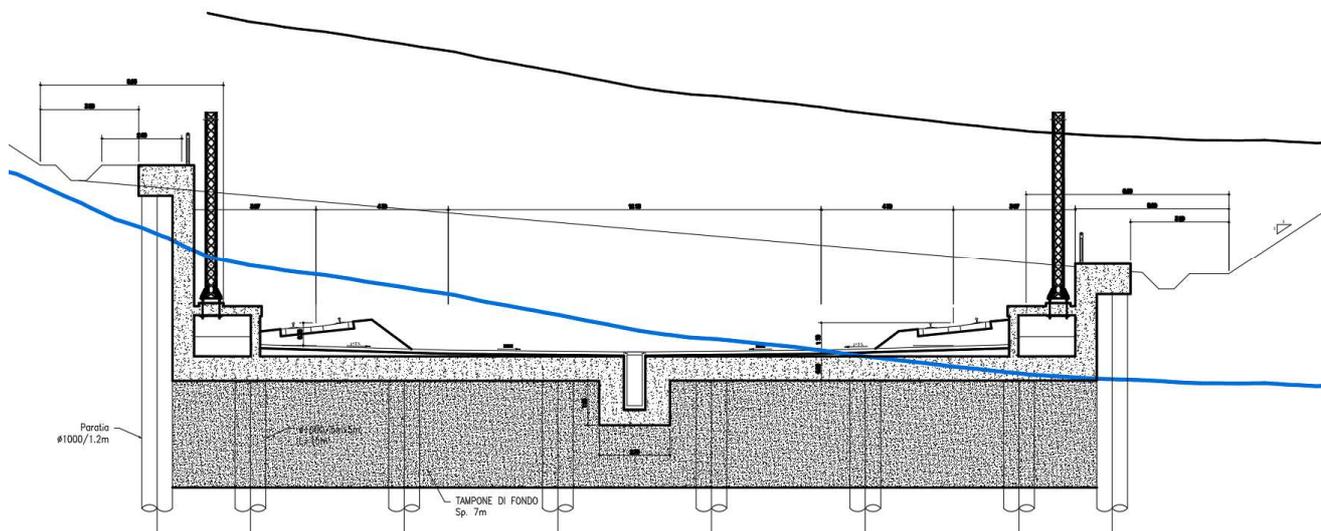


Figura 2: Sezione trincea di approccio alla galleria

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	7 di 49

5.1 Verifica sollevamento in fase provvisoria

Al di sotto della fondazione si prevede un tappo di fondo in jet grouting dello spessore di 7 m.

Nel seguito sono riportati i parametri di calcolo e le formule utilizzate per la verifica di sollevamento in fase provvisoria:

- $\gamma_t = 22 \text{ kN/m}^3 \rightarrow$ peso specifico jet grouting;
- $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3 \rightarrow$ peso specifico acqua;
- $h_w = 4.50\text{m} \rightarrow$ altezza falda da estradosso;
- $h_t = 0.80\text{m} \rightarrow$ spessore fondazione
- $h_j = 7\text{m} \rightarrow$ spessore jet grouting;
- $\Delta h_w = h_w + h_t + h_j \rightarrow$ altezza falda da intradosso tappo di fondo;
- $U_{inst} = \gamma_w * \Delta h_w \rightarrow$ pressione idraulica all'intradosso del tappo di fondo;
- $\sigma_{stb} = \gamma_t * h_j \rightarrow$ pressione del jet grouting;
- $V_{inst,d} = \gamma_{inst} * U_{inst} \rightarrow$ azione instabilizzante di progetto;
- $G_{stb,d} = \gamma_{st} * \sigma_{st} \rightarrow$ azione stabilizzante di progetto;

Nel seguito si riporta la verifica del sollevamento del fondo dello scavo.

SOLLEVAMENTO FONDO SCAVO				
Lo stato limite di sollevamento del fondo dello scavo si ha quando si raggiunge l'uguaglianza tra la spinta idraulica agente alla base del solettone ed il peso sovrastante.				
Peso specifico jet grouting	γ_t	=	22.00	[kN/m ³]
Peso specifico acqua	γ_w	=	10	[kN/m ³]
Altezza falda da estradosso	h_w	=	4.50	[m]
Spessore fondazione	h_t	=	0.80	[m]
Spessore jet grouting	h_j	=	7.00	[m]
	Δh_w	=	12.30	[m]
Pressione idraulica all'intradosso del tappo di fondo	U_{inst}	=	123.00	[kN/m ²]
pressione del jet	σ_{stb}	=	154	[kN/m ²]
Pressione altri elementi	σ_{stb_altri}	=	0.00	[kN/m ²]
Pressione totale	σ_{stb_totale}	=	154.00	[kN/m ²]
coefficiente parziale favorevole	γ_{inst}	=	1.1	[-]
coefficiente parziale sfavorevole	γ_{stb}	=	0.9	[-]
azione instabilizzante di progetto	$V_{inst,d}$	=	135.3	[kN/m²]
azione stabilizzante di progetto	$G_{stb,d}$	=	138.6	[kN/m²]
Check	R_d/E_d	=	1.02	verificato

6. ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito il calcolo effettuato per la determinazione dello sforzo di trazione agente sul singolo palo e la formulazione adottate nel calcolo:

- $P_{inst} = \gamma_w * \Delta h_w * A$ → Risultante trazione all'intradosso della fondazione;
- $P_{inst}^* = \gamma_G * \gamma_w * \Delta h_w * A$ → Risultante trazione all'intradosso della fondazione amplificata;
- A → area singolo palo;
- h_w → altezza falda da estradosso;
- h_t → spessore fondazione;
- Δh_w → altezza falda totale
- $P_{stab} = P_m + P_p + P_f$ → pressione stabilizzante totale;
- $P_{stab}^* = \gamma_G (P_m + P_p + P_f)$ → pressione stabilizzante totale amplificata;
- P_m → peso magrone;
- P_p → peso pali;
- P_f → peso fondazione;
- $N_{traz,SLU} = P_{stab} - P_{inst}$ → sollecitazione di trazione su palo SLU;
- $N_{traz,SLV} = P_{stab}^* - P_{inst}^*$ → sollecitazione di trazione su palo SLV;

Area influenza singolo palo	A	=	25.00	[m ²]
Altezza falda da estradosso	h_w	=	4.50	[m]
Spessore fondazione	h_t	=	0.80	[m]
Altezza falda totale	Δh_w	=	5.30	[m]
Peso specifico acqua	γ_w	=	10.00	[kN/m ³]
Risultante trazione all'intradosso della fondazione	P_{inst}	=	-1325.00	[kN]
Coefficiente amplificativo risultante idraulica	γ_{G2}	=	1.50	[-]
Risultante trazione all'intradosso della fondazione ampl	P_{inst}^*	=	-1987.50	[kN]
Peso specifico magrone superiore	γ_t	=	22.00	[kN/m ³]
Peso specifico cls	γ_{cls}	=	25.00	[kN/m ³]
diametro palo	ϕ	=	1000.00	[mm]
Area palo	A_p	=	0.79	[m ²]
Lunghezza palo	L_p	=	15.00	[m]
Spessore magrone superiore	h_t	=	0.25	[m]
Peso magrone superiore	P_m	=	137.5	[kN]
Peso proprio pali	P_p	=	294.5	[kN]
Peso fondazione	P_f	=	500	[kN]
Pressione totale	$P_{stb, tot}$	=	932.0	[kN]
Coefficiente amplificativo risultante compressione	γ_t	=	1.1	[-]

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	9 di 49

Pressione totale	$P_{stb, tot}^*$	=	1025.2	[kN]
$N_{trazione, SLU}$	N_{traz}	=	-962	[kN]
$N_{trazione, SLV}$	N_{traz}	=	-393	[kN]

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi con la quale si sono ricavate le sollecitazioni di taglio e momento agenti ad intradosso fondazione per la verifica della fondazione e la formulazione adottata nel calcolo:

- $k_0 = (1 - \sin\phi') * (1 + \sin\beta)$ → coefficiente di spinta a riposo;
- $\phi' = 33^\circ$ → angolo di attrito del terreno;
- $\beta = 33.69^\circ$ → angolo di inclinazione del terreno;
- $\sigma_h = \gamma_t * H * k_0$ → tensione totale;
- H → altezza da intradosso fondazione;
- $\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$ → peso specifico del terreno;
- $u = \gamma_w * H_w$ → pressione acqua;
- $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ → peso specifico dell'acqua;
- H_w → altezza falda da intradosso;
- $\sigma'_h = \sigma_h - u$ → tensioni efficaci;
- $\sigma_{Wood} = a_{max} * \gamma * H$ → tensione di Wood (condizioni sismiche);
- $I_{sisma} = S_{fodere} * H * a_{max} * \gamma_{CLS}$ → Inerzia dovuta al sisma;

Sollecitazioni Combo SLU:

- $T_{SLU} = \gamma * \sigma'_h * H/2 + u * H/2$ → Taglio Combo SLU
- $M_{SLU} = T * H/3$ → Momento Combo SLU

Sollecitazioni Combo SLV

- $T_{SLV} = T_{SLU}/\gamma + \sigma_{Wood} * H + I_{sisma}$ → Taglio Combo SLV
- $M_{SLV} = T_{SLU}/\gamma * H/3 + \sigma_{Wood} * H * H/2 + I_{sisma} * H/2$ → Momento Combo SLV

Sollecitazioni Combo RARA

- $T_{RAR} = T_{SLU}/\gamma$ → Taglio Combo Rara
- $M_{RAR} = M_{SLU}/\gamma$ → Momento Combo Rara

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
 Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	10 di 49

Tipo Terreno	Lato Sx	Lato Dx		
	Sb,2	Sb,2		
H	7	4.65	[m]	Altezza totale da intradosso fondazione
H _w	4.5	4.5	[m]	Altezza falda da intradosso
H _{fond}	0.8	0.8	[m]	Altezza fondazione
S _{p,f}	0.7	0.7	[m]	Spessore fodere
γ	20	20	[KN/m ³]	Peso specifico terreno
φ	33	33	[°]	Angolo di attrito del terreno
β	0.59	0.59	[rad]	Angolo di inclinazione del terreno
β	33.69	33.69	[°]	Angolo di inclinazione del terreno
k ₀	0.71	0.71	[-]	Coefficiente di spinta a riposo
σ _{h,intr}	99.11	65.84	[KPa]	Tensioni totali intradosso fondazione
U _{intr}	45	45	[KPa]	Pressione acqua intradosso fondazione
σ ¹ _{h,intr}	54.11	20.84	[KPa]	Tensioni efficaci intradosso fondazione
a _{max}	0.14	0.137	[g]	Accelerazione di picco
σ _w	19.18	12.741	[KPa]	Tensione di Wood
I _{sisma}	14.86	9.23	[KN]	Inerzia dovuta al sisma
γ	1.35	1.35	[-]	Coefficiente amplificativo azioni

Sollecitazioni di calcolo Combo SLU:

T _{intr,SLU}	468.31	206.65	[KN]	Taglio intradosso-Combo SLU
M _{intr,SLU}	1092.72	320.31	[KN m]	Momento intradosso-Combo SLU

Sollecitazioni di calcolo Combo SLV:

T _{intr,SLV}	496.02	153.08	[KN]	Taglio intradosso-Combo SLV
M _{intr,SLV}	1337.30	237.27	[KN m]	Momento intradosso-Combo SLV

Sollecitazioni di calcolo Combo RARA:

T _{intr,RARA}	346.90	153.08	[KN]	Taglio intradosso-Combo RARA
M _{intr,RARA}	809.42	237.27	[KN m]	Momento intradosso-Combo RARA

A partire dai valori delle sollecitazioni sopra riportati, si riportano nel seguito i valori delle sollecitazioni agenti sul singolo e la formulazione adottata:

- $\Delta T_{intr} = T_{intr,sx} - T_{intr,dx}$ → Taglio agente intradosso fondazione;
- $T_{intr,sx}$ → Taglio intradosso fondazione lato sinistro;
- $T_{intr,dx}$ → Taglio intradosso fondazione lato destro;
- $T_{1palo,SLU} = \Delta T_{intr,SLU} * i_p / n_p$ → Taglio agente sul singolo palo, Combo SLU;
- $T_{1palo,SLV} = \Delta T_{intr,SLV} * i_p / n_p$ → Taglio agente sul singolo palo, Combo SLV;
- $T_{1palo,RAR} = \Delta T_{intr,RAR} * i_p / n_p$ → Taglio agente sul singolo palo, Combo RARA;
- $i_p = 5m$ → interasse pali;
- $n_p = 5$ → numero pali;
- $M_{SLU} = C_M * T_{1palo,SLU} * \lambda$ → Momento agente su singolo palo, Combo SLU;
- $M_{SLV} = C_M * T_{1palo,SLV} * \lambda$ → Momento agente su singolo palo, Combo SLV;
- $M_{RAR} = C_M * T_{1palo,RAR} * \lambda$ → Momento agente su singolo palo, Combo RARA;

ΔT_{intr}	261.66	kN/m	SLU
ΔT_{intr}	342.94	kN/m	SLV
ΔT_{intr}	193.82	kN/m	Rara

i	5	m	Interasse pali
ΔT_{intr}	1308.277922	kN/inter	SLU
ΔT_{intr}	1714.717257	kN/inter	SLV
ΔT_{intr}	969.0947573	kN/inter	Rara

n° pali	5	
Tipologia	C32/40	
$T_{1palo,SLU}$	262	KN
$T_{1palo,SLV}$	343	KN
$T_{1palo,RARA}$	194	KN
f_{ck}	33.20	N/mm ²
f_{cm}	41.20	N/mm ²
f_{ctd}	2.17	MPa
E_p	33642.78	Mpa

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	12 di 49

ϕ	1000.00	mm
J	49087385212.34	mm ⁴
k_h	5.85	Kg/cm ³
L	12	m
λ	1.95	m
L/ λ	6.15	-
C_M	0.93	-
M_{SLU}	474.63	KN m
M_{SLV}	622.08	KN m
M_{RARA}	351.58	KN m

Si riporta una sintesi delle sollecitazioni di calcolo da utilizzare nelle verifiche:

	N [KN]	T [KN]	M [KN m]
SLU	-962	262	474.63
SLV	-393	343	622.08
Rara	-393	194	351.58

7. VERIFICHE STRUTTURALI PALI DI FONDAZIONE

Le armature dei pali di fondazione sono state dimensionate in riferimento al palo più sollecitato.

7.1.1 Sollecitazioni sul singolo palo

Di seguito si riportano sollecitazioni utilizzate per le verifiche:

	N [KN]	M [KN m]	T [KN]
SLU	-962	474.63	262
SLV	-393	622.08	343
Rara	-393	351.58	194

7.1.2 Dimensionamento delle armature

Caratteristiche del palo		
Diametro	1	m
Area	0.79	m
Perimetro	3.14	m
Profondità infissione	4.65	m
n pali	5	

∅ palo	1000	mm
Area palo	785398	mm ²
As, min	2356	mm ²
As, max	31416	mm ²

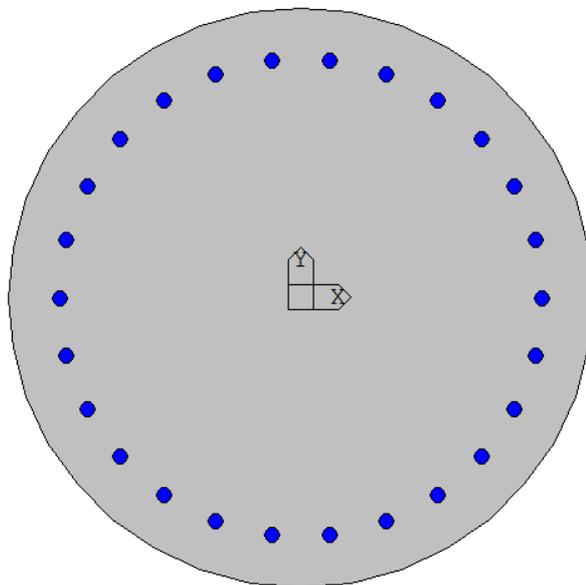
∅	24	mm
n	26	
strati	1	
As	11762	mm ²
	1.50%	ok

Si dispongono staffe ∅14/20 a 2 bracci.

7.1.3 Verifiche SLU e SLV

7.1.3.1 Verifica a pressoflessione

Si riportano di seguito le verifiche a pressoflessione sia per le combinazioni SLU che per le combinazioni SLV:



	Mx	My	N	c.s.	c.s. (N=cost)
SLU	-4746288.49423594	0	-96200	5.314787	4.027126
SLV	-6220805.72490935	0	-39300	3.186253	2.841932

Il minimo coefficiente di sicurezza è pari a 2.84 , la verifica risulta essere soddisfatta.

7.1.3.2 Verifica a taglio SLU

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018		
SENZA ARMATURE A TAGLIO		
$V_{Ed} = T_{SLU}$	262.00	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	262000	N
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
c netto	60	mm
\varnothing staffa	14	mm
\varnothing arm tesa	24	mm
rs	414	mm
d	763.56	mm
k	1.512	-
\varnothing palo	1000.00	mm
Area palo	785398.2	mm ²
Lato quadrato euivalente	886.23	mm
b_w	886.23	mm
\varnothing	24	mm
n	26	-
strati	1	-
A_{sl}	5881	mm ²
ρ_l	0.008691	-
N_{Ed}	-962	kN
N_{Ed}	-962000	N
A_c	785398.2	mm ²
σ_{cp}	-1.22486	MPa
f_{cd}	21.053	MPa
γ_c	1.5	-
$C_{Rd,c}$	0.12	-
V_{min}	0.374865	-
$V_{Rd,c}$	252200.7	N
$V_{Rd,c min}$	129339.9	N
$V_{Rd,c effettivo}$	252200.7	N
Verifica	NO	

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	16 di 49

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018		
CON ARMATURE A TAGLIO		
$V_{Ed} = T_{SLU}$	262	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	262000	N
ϕ	14	mm
A_{ϕ}	153.938	mm ²
bracci	2	-
A_{sw}	307.8761	mm ²
s	200	mm
f_{ywd}	391.3043	MPa
$\cot \theta$	1	-
α_c	1	-
$z = 0.9d$	687.2045	mm
v	0.52032	-
$V_{Rd,s}$	413948.8	N
$V_{Rd,s \max}$	3335630	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	413948.8	N
Verifica	OK	

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
 Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	17 di 49

7.1.3.3 Verifica a taglio SLV

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018		
SENZA ARMATURE A TAGLIO		
$V_{Ed} = T_{SLU}$	343.00	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	343000	N
R_{ck}	40	MPa
f_{ck}	33.2	MPa
c netto	60	mm
\varnothing staffa	14	mm
\varnothing arm tesa	24	mm
rs	414	mm
d	763.56	mm
k	1.512	-
\varnothing palo	1000.00	mm
Area palo	785398.2	mm ²
Lato quadrato euivalente	886.23	mm
b_w	886.23	mm
\varnothing	24	mm
n	26	-
strati	1	-
A_{sl}	5881	mm ²
ρ_l	0.008691	
N_{Ed}	-363	kN
N_{Ed}	-363000	N
Ac	785398.2	mm ²
σ_{cp}	-0.46219	MPa
f_{cd}	21.053	MPa
γ_c	1.5	-
$C_{Rd,c}$	0.12	-
V_{min}	0.374865	-
$V_{Rd,c}$	329614.2	N
$V_{Rd,c min}$	206753.4	N
$V_{Rd,c effettivo}$	329614.2	N
Verifica	NO	

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018		
CON ARMATURE A TAGLIO		
$V_{Ed} = T_{SLV}$	343	kN
$V_{Ed} = T_{SLV}$	343000	N
ϕ	14	mm
A_{ϕ}	153.938	mm ²
bracci	2	-
A_{sw}	307.8761	mm ²
s	200	mm
f_{ywd}	391.3043	MPa
cot θ	1	-
α_c	1	-
$z = 0.9d$	687.2045	mm
v	0.52032	-
$V_{Rd,s}$	413948.8	N
$V_{Rd,s \max}$	3335630	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	413948.8	N
Verifica	OK	

7.1.4 Verifiche SLE

7.1.4.1 Sollecitazioni per le verifiche

	N	M_x
	KN	KN m
rara	-393	351.58
q_perm	-393	351.58

7.1.4.2 Verifica a fessurazione

fck	33.2	N/mm ²
fctm	3.10	N/mm ²
fyk	450	N/mm ²

	σ_t max	σ_t	U.d.m.	Verifica
Combo Rara	-2.58	-3.51	N/mm ²	Verificare ampiezza fessure
Combo Quasi Permanente		-3.51	N/mm ²	Verificare ampiezza fessure

È necessario verificare l'apertura delle fessure.

Combinazione Rara		
c	87	mm
s	100	mm
k ₂	0.4	-
k ₃	0.125	-
φ	24	mm
A _s	452.0	mm ²
h _{eff}	267	mm
A _{eff}	26700	mm ²
ρ	0.01693	-
s _{rm}	264.9	mm
f _{ctm}	25.82	kg/cm ²
σ _s	1560.3	kg/cm ²
σ _{sr}	1534.9	kg/cm ²
β ₁	1	-
β ₂	0.5	-
(1-β ₁ β ₂ (σ _{sr} /σ _s) ²)	0.52	-
E	2100000	kg/cm ²
ε _{sr}	0.0003835	-
w _m	0.1016	mm
w _k	0.1727	mm
w limite	0.2	mm
Verifica	OK	

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	21 di 49

7.1.4.3 Verifica tensioni di esercizio

	$\sigma_c \text{ max [N/mm}^2\text{]}$	$\sigma_c \text{ [N/mm}^2\text{]}$	U.d.m.	Verifica
Comb rara	18.26	4.17	N/mm ²	Verifica soddisfatta
Comb quasi perm	13.28	4.17	N/mm ²	Verifica soddisfatta

	$\sigma_s \text{ max [N/mm}^2\text{]}$	$\sigma_s \text{ [N/mm}^2\text{]}$	U.d.m.	Verifica
Comb rara	360	-156.40	N/mm ²	Verifica soddisfatta
Comb quasi perm	360	-156.40	N/mm ²	Verifica soddisfatta

8. VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI FONDAZIONE

In riferimento alle sollecitazioni riportate al §6 della presente, nel seguito si riportano le verifiche a portanza verticale e orizzontale.

8.1 Verifiche di portanza verticale

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “Qd” può essere espressa dalla seguente relazione:

$$Q_d = Q_{ll} / F_{SL} - W'p$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite,

$W'p$ = peso efficace del palo (al netto del peso del terreno asportato: peso calcestruzzo-peso terreno),

F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione ($=\xi_3 \cdot \gamma_s$).

Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

D = diametro palo,

τ_i = tensione di adesione laterale limite nello strato i -esimo,

h_i = altezza dello strato i -esimo.

Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'v \leq \tau_{i,max}$$

dove:

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace litostatica,

$\tau_{i,max}$ = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 150 kPa per terreni incoerenti).

β = coefficiente empirico $\beta = k \cdot \tan \phi$, essendo

k = coefficiente di pressione laterale = 0.7 a compressione e 0.5 a trazione;

ϕ = angolo di resistenza al taglio.

Depositi coesivi

Per i terreni coesivi superficiali (alluvionali) la tensione tangenziale è stata valutata con la seguente espressione:

$$\tau_i = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{i,max}$$

Dove:

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

α = parametro empirico assunto come da Indicazione AGI:

$\alpha = 0.90$ per $c_u \leq 25$ kPa;

$\alpha = 0.80$ per $25 \leq c_u \leq 50$ kPa;

$\alpha = 0.60$ per $50 \leq c_u \leq 75$ kPa;

$\alpha = 0.40$ per $c_u \geq 75$ kPa.

$\tau_{i,max}$ = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 100 kPa per terreni coesivi alluvionali).

Inoltre per i terreni coesivi alluvionali è stata anche eseguita una verifica in tensioni efficaci; in particolare si è controllato che:

$$\tau_i > 0.23 \cdot \sigma'v$$

$$\tau_i < 0.25 \cdot \sigma'v$$

Per i depositi coesivi del substrato (unità FYN, AAC, TRV) la tensione tangenziale può essere valutata con la correlazione di Burland (1993):

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'v \leq \tau_{i,max}$$

Dove

$$\beta = 0.1 + 0.4 \cdot C_u / \sigma'v \quad (\text{con } \beta > 0.23, \text{ AGI dicembre 1984}).$$

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate;

$\sigma'v$ = tensioni verticali efficaci;

$\tau_{i,max}$ = valore massimo dell'adesione laterale limite palo-terreno (pari a 120 kPa per terreni coesivi del substrato).

8.1.1 Risultati delle verifiche

Caratteristiche del palo		
Diametro	1	m
Area	0.79	m
Perimetro	3.14	m
Profondità infissione	4.65	m
Lunghezza palo	14	m
Lunghezza infissione	18.65	m
L / D	14.0	
N verifica SLU	-962	kN
N verifica SLV	-393	kN

Caratteristiche degli strati di terreno

Falda (da p.c.)	4.5	m
-----------------	-----	---

form.	spes.	Zinf	γ_{sat}
	m	m	kN/m ²
pc	0	0	
Csup	24	24	21
Cinf	31	55	21

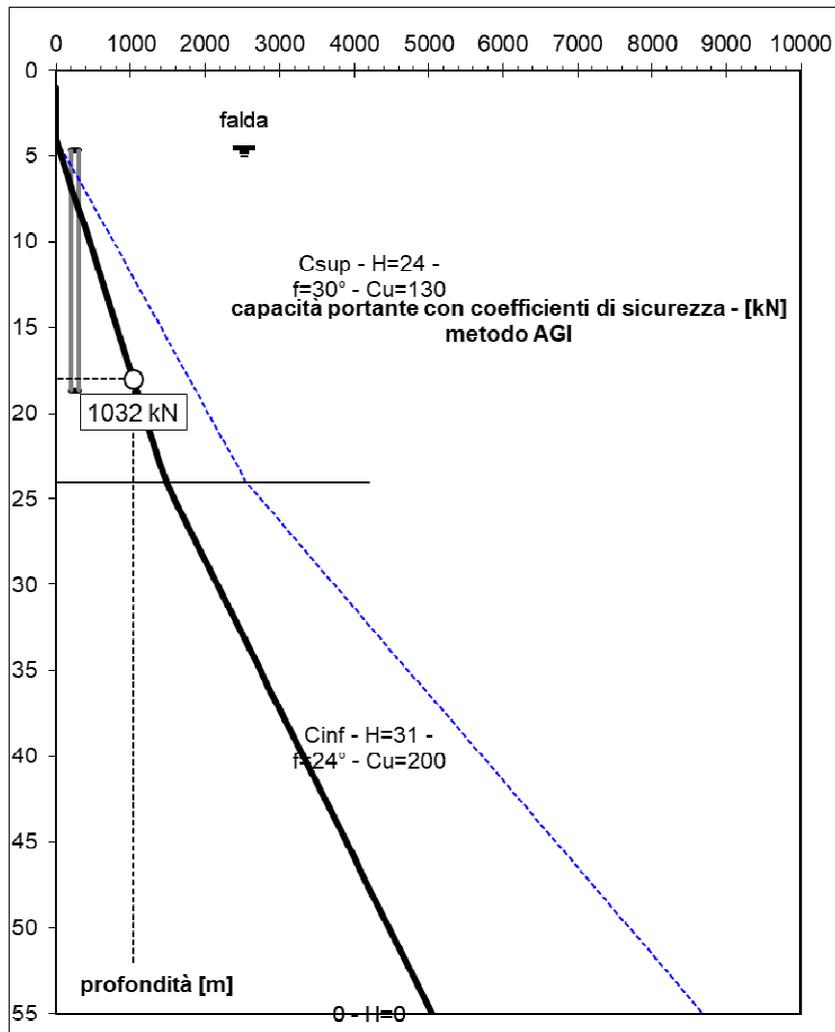
parametri per il calcolo della portata con il metodo AGI

tipo	coesivi		
	C_u	α	τ_c
	kPa		$\alpha \times C_u$
C	130	0.4	52
C	200	0.4	80

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	25 di 49

z	form.	σ'_v	σ_v	τ_c	τ	q_p	S	$\Sigma S = S_{lim}$	$Q_p = P_{lim}$	P_{lim}^*	P_p	$\Sigma P_p = W$	Q_{amm}
m		kPa	kPa	$\alpha \times C_u$	τ_c	kPa	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0.0		0	0								0.0	0.0	
1.0	Csup	10.5	10.5	52.00	52.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.0	Csup	31.5	31.5	52.00	52.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.0	Csup	52.5	52.5	52.00	52.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.0	Csup	73.5	73.5	52.00	52.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	Csup	89.5	94.5	52.00	52.00	1264.5	163.4	163.4	993.1	993.1	3.1	3.1	73.7
6.0	Csup	100.5	115.5	52.00	52.00	1285.5	163.4	326.7	1009.6	1009.6	3.1	6.3	147.5
7.0	Csup	111.5	136.5	52.00	52.00	1306.5	163.4	490.1	1026.1	1026.1	3.1	9.4	221.2
8.0	Csup	122.5	157.5	52.00	52.00	1327.5	163.4	653.5	1042.6	1042.6	3.1	12.6	294.9
9.0	Csup	133.5	178.5	52.00	52.00	1348.5	163.4	816.8	1059.1	1059.1	3.1	15.7	368.7
10.0	Csup	144.5	199.5	52.00	52.00	1369.5	163.4	980.2	1075.6	1075.6	3.1	18.8	442.4
11.0	Csup	155.5	220.5	52.00	52.00	1390.5	163.4	1143.5	1092.1	1092.1	3.1	22.0	516.1
12.0	Csup	166.5	241.5	52.00	52.00	1411.5	163.4	1306.9	1108.6	1108.6	3.1	25.1	589.9
13.0	Csup	177.5	262.5	52.00	52.00	1432.5	163.4	1470.3	1125.1	1125.1	3.1	28.3	663.6
14.0	Csup	188.5	283.5	52.00	52.00	1453.5	163.4	1633.6	1141.6	1141.6	3.1	31.4	737.4
15.0	Csup	199.5	304.5	52.00	52.00	1474.5	163.4	1797.0	1158.1	1158.1	3.1	34.6	811.1
16.0	Csup	210.5	325.5	52.00	52.00	1495.5	163.4	1960.4	1174.6	1174.6	3.1	37.7	884.8
17.0	Csup	221.5	346.5	52.00	52.00	1516.5	163.4	2123.7	1191.1	1191.1	3.1	40.8	958.6
18.0	Csup	232.5	367.5	52.00	52.00	1537.5	163.4	2287.1	1207.5	1207.5	3.1	44.0	1032.3
19.0	Csup	243.5	388.5	52.00	52.00	1558.5	163.4	2450.4	1224.0	1224.0	3.1	47.1	1106.0



Di seguito si riporta una sintesi delle verifiche:

- Lunghezza dei pali di fondazione: $L_{\text{palo}} = 14 \text{ m}$;
- Massimo sforzo assiale agente sul palo : $N_{\text{ed}} = -962 \text{ kN}$
- Portanza verticale : $R = 1032 \text{ kN}$

$$N_{\text{ed}} < R$$

La verifica risulta soddisfatta.

8.2 Verifica di portanza orizzontale

In linea generale, per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita. Le metodologie di calcolo sono riportate nel paragrafo seguente.

8.3 Analisi agli stati limite

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni di normativa al paragrafo 6.4.3.1.1, applicando il coefficiente parziale (γ_T) della seguente tabella (vedasi tabella di normativa 6.4.VI) ed i coefficienti ξ_3 e ξ_4 , fattori di correlazione in funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

La valutazione è stata eseguita tenendo conto di effetto gruppo, cautelativamente assunto pari a 0.8.

Tabella 1 Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

8.4 Verifica a carico limite orizzontale - Broms

Per la verifica del carico limite orizzontale si fa riferimento alla teoria di Broms per il caso di pali con rotazione in testa impedita.

Per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo 0.8.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

In terreni coesivi si ha:

Palo corto:
$$H = 9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

Palo intermedio:
$$H = -9c_u d^2 \left(\frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3}} + 4.5$$

Palo lungo:
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

dove :

H = carico limite orizzontale del palo;

c_u = resistenza non drenata del terreno;

M_y = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

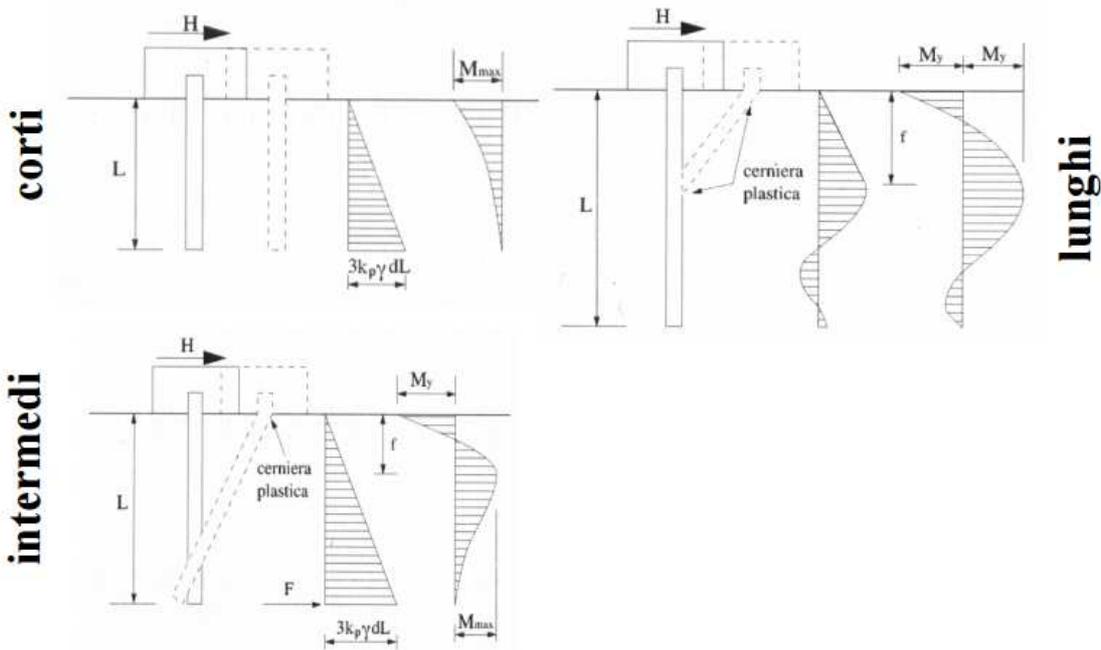
Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2$$

Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2}k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d}\right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$$

Dove, oltre ai termini già definiti,

k_p = coefficiente di spinta passiva.



**PROGETTO DEFINITIVO****DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA–CATANIA–PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO–CATANIA
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA
DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2**Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	30 di 49

Il valore di H dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni (Vpd). Per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo 0.8.

Il valore determinato con la teoria di Broms dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$H_{lim} = H / (\xi \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

dove:

H = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

ξ = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

γ_T = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

8.4.1 Risultati delle verifiche

	strato 1	strato 2	strato 3	strato 4	strato 5	
H (m)	19.4	31.0	0.0	0.0	0.0	
ϕ' medio (°)	30	24	0	0	0	valori medi
kp medio	3.00	2.37	1.00	1.00	1.00	2.61
ϕ' minimo (°)	30	24	0	0	0	
kp minimo	3.00	2.37	1.00	1.00	1.00	2.61
γ (kN/m ³)	21	21	0	0	0	21.00

L/D	12.73
-----	-------

ϕ micropali	1000	mm
L palo	14	m

ARMATURA		
N° gabbie	N° ferri/gabbia	ϕ
1	26	24

My	1668	kNm
ξ_3	1.7	-
ξ_4	1.7	-

	R3 (kN)
γ_T	1.3

Caso palo corto

$R_{trd,cal,media}$	17744.87	kN
$R_{trd,cal,min}$	17744.87	kN
$R_{trd,cal,media}/\xi_3$	10438.2	kN
$R_{trd,cal,min}/\xi_4$	10438.2	kN
$R_{tr,k}$	10438.2	kN

	R3 (kN)
$R_{tr,d}=R_{tr,k}/\gamma_T$	8029.4

Caso palo intermedio

$R_{trd,cal,media}$	4563.14	kN
$R_{trd,cal,min}$	4563.14	kN
$R_{trd,cal,media}/\xi_3$	2684.2	kN
$R_{trd,cal,min}/\xi_4$	2684.2	kN
$R_{tr,k}$	2684.2	kN

	R3 (kN)
$R_{tr,d}=R_{tr,k}/\gamma_T$	2064.8

Caso palo lungo

$R_{trd,cal,media}$	1233.6	kN
$R_{trd,cal,min}$	1233.6	kN
$R_{trd,cal,media}/\xi_3$	725.6	kN
$R_{trd,cal,min}/\xi_4$	725.6	kN
$R_{tr,k}$	725.6	kN

	R3 (kN)
$R_{tr,d}=R_{tr,k}/\gamma_T$	558.2

Efficienza 0.8

Si ricade nel caso di Caso palo lungo

	STR	SISMA
	A1 M1 R3	M1 R3
V_R (kN)	446.5	446.5
V (kN)	262	343
FS	1.70	1.30
	Verificato	Verificato

9. VERIFICHE STRUTTURALI PLINTO DI FONDAZIONE

Nei paragrafi seguenti si riportano le sollecitazioni e le verifiche a flessione e taglio del plinto di fondazione. La sezione resistente considerata per le verifiche ha larghezza pari ad 1 m e altezza pari all'altezza del plinto di fondazione ($H=0.80$ m).

Per il dimensionamento delle armature longitudinali e trasversali è stato fatto riferimento ad un modello agli elementi finiti in cui si schematizza la fondazione come una trave appoggiata, attraverso un frame lineare vincolato opportunamente in corrispondenza dei pali di fondazione.

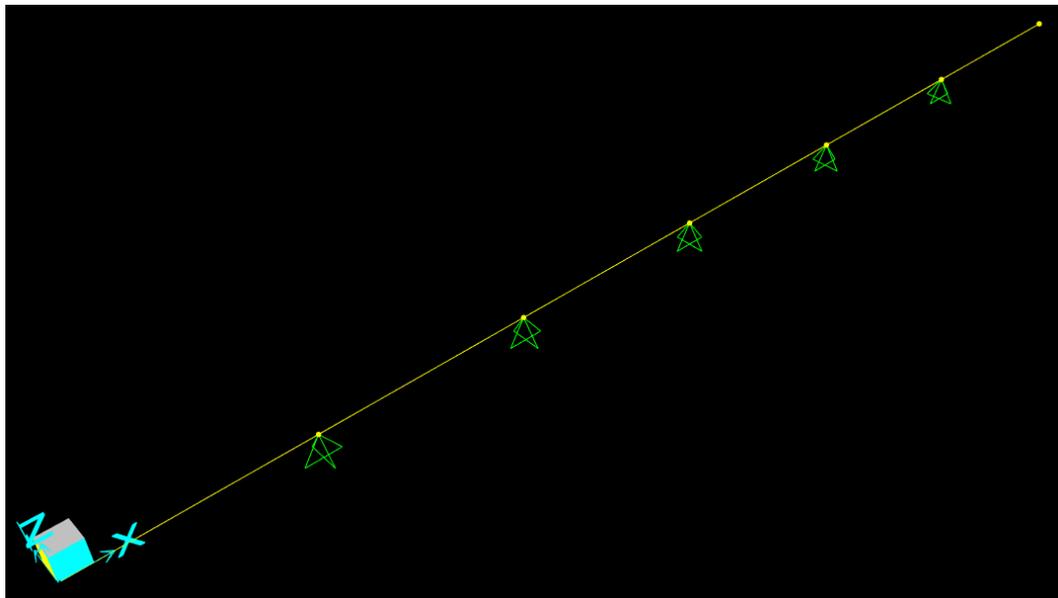


Figura 3: Modello agli elementi finiti della Fondazione

La fondazione è stata opportunamente caricata tenendo conto della sotto-spinta idraulica dell'acqua e del peso proprio dello strato di magrone superiore, come riportato nella tabella seguente:

Altezza falda da estradosso	h_w	=	4.50	[m]
Spessore fondazione	h_t	=	0.80	[m]
Altezza falda totale	Δh_w	=	5.30	[m]
Peso specifico acqua	γ_w	=	10.00	[kN/m ³]
Risultante trazione all'intradosso della fondazione	P_{inst}	=	-53.00	[kN/m ²]
Spessore magrone superiore	h_t	=	0.25	[m]
Peso specifico magrone superiore	γ_t	=	22.00	[kN/m ³]
Peso magrone superiore	P	=	5.5	[kN/m ²]

Inoltre, si è tenuto conto dei momenti applicati alle estremità della fondazione calcolati come riportato al §6 della presente relazione.

Di seguito si riportano le combinazioni effettuate:

ComboName	ComboType	AutoDesign	CaseName	ScaleFactor
Combo_SLU	Linear Add	No	DEAD	1
Combo_SLU			G1	1
Combo_SLU			M_SLU	1
Combo_SLU			Water	1.5
Combo_SLV	Linear Add	No	DEAD	1
Combo_SLV			G1	1
Combo_SLV			M_SLV	1
Combo_SLV			Water	1
Combo_Rara	Linear Add	No	DEAD	1
Combo_Rara			G1	1
Combo_Rara			M_Rara	1
Combo_Rara			Water	1

Di seguito si riportano le sollecitazioni massime e minime utilizzate per le verifiche:

	P [KN]	V [KN]	M [KN m]
max V	0	344.59	1153.24
min V	0	-203.11	581.09
Max M	0	-137.53	1153.24
Min M	0	207.06	-225.90

Le verifiche sono effettuate con il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite.

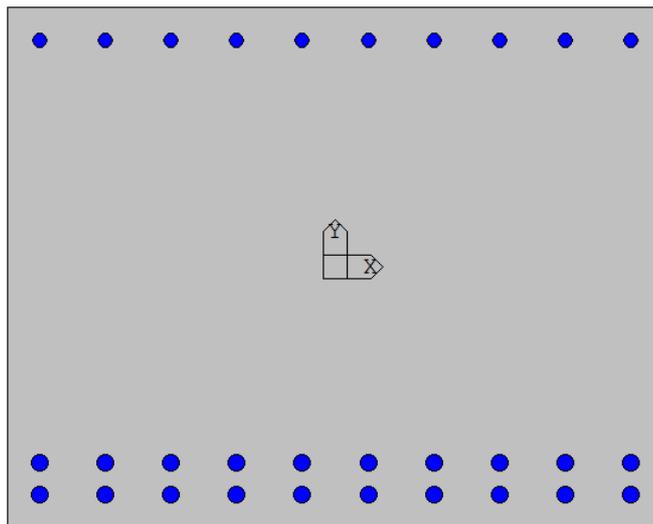
Il momento sollecitante positivo tende le fibre inferiori.

Le tensioni di trazione sono state assunte negative mentre quelle di compressione positive, salvo diversa indicazione.

9.1 Sintesi delle armature disposte

Si dispongono i seguenti quantitativi di armatura, nel rispetto delle prescrizioni del §4.1.6.1.1 delle NTC18.

		ϕ	passo	As	As,tot	As,min	Verifica As,min
		mm	mm	mm ²	mm ²	mm ²	
Tesa	Intradosso	24	100	4523.9	9047.8	2177.8	Verificato
	Intradosso	24	100	4523.9			
Compressa	Estradosso	22	100	3801.3	3801.3	-	
	Estradosso	-	-	-		-	



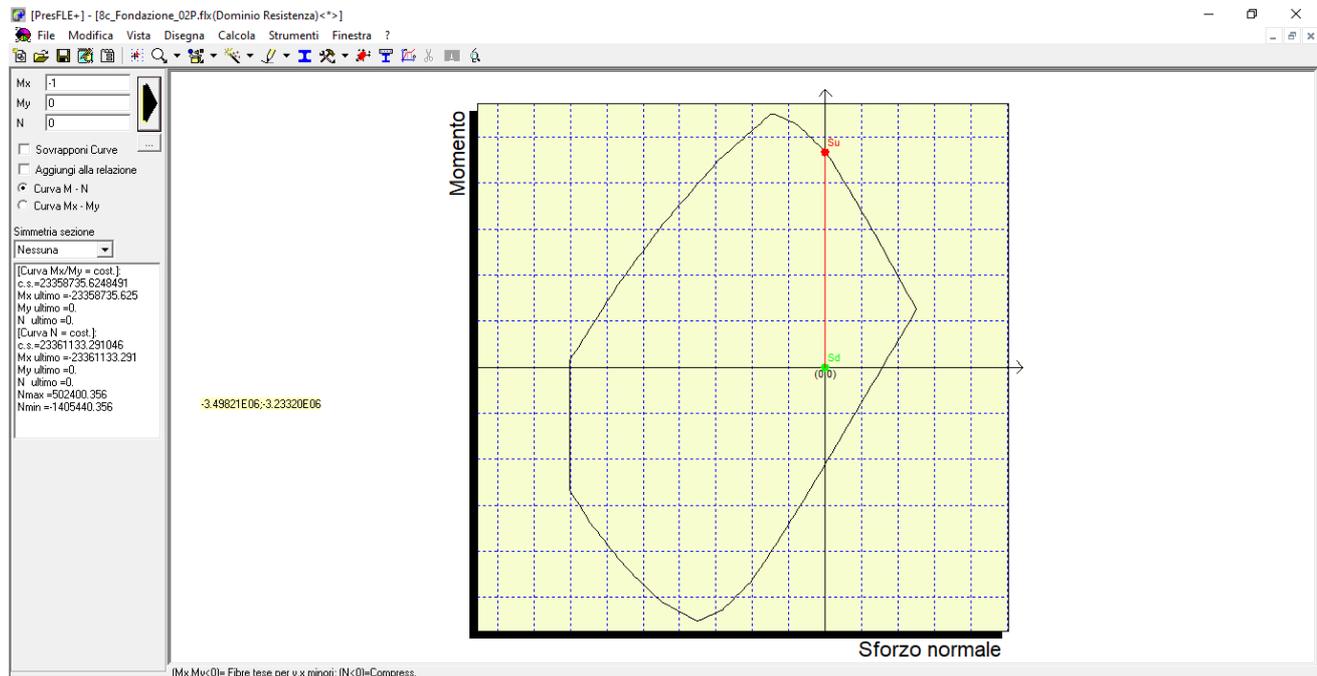
In accordo con quanto prescritto nel § 4.1.6.1.1 e nel §7.4.6.2.4. delle NTC18

Si dispongono staffe ϕ 10/15 a 5 bracci.

9.1.1 Verifiche SLU

9.1.1.1 Verifica a pressoflessione

Si riportano nel seguito il dominio M-N e i coefficienti di sicurezza nel caso di $N = \text{cost}$ e $M_x/M_y = \text{cost}$:



Frame	Station [m]	Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Ncost	CS,Mx/My cost
37	0	Combo_SLU	-10927200	0	0	2.14	2.14
37	0.5	Combo_SLU	-10994707	0	0	2.12	2.12
37	1	Combo_SLU	-11197230	0	0	2.09	2.09
37	1.5	Combo_SLU	-11534766	0	0	2.03	2.03
37	2	Combo_SLU	-12007318	0	0	1.95	1.95
37	2.5	Combo_SLU	-12614885	0	0	1.85	1.85
37	3	Combo_SLU	-13357466	0	0	1.75	1.75
37	3.5	Combo_SLU	-14235062	0	0	1.64	1.64
37	4	Combo_SLU	-15247672	0	0	1.53	1.53
37	4.5	Combo_SLU	-16395298	0	0	1.42	1.42
37	5	Combo_SLU	-17677938	0	0	1.32	1.32
38	0	Combo_SLU	-17677938	0	0	1.32	1.32
38	0.5	Combo_SLU	-14985973	0	0	1.56	1.56
38	1	Combo_SLU	-12429023	0	0	1.88	1.88

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	37 di 49

Frame	Station [m]	Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Ncost	CS,Mx/My cost
38	1.5	Combo_SLU	-10007087	0	0	2.33	2.33
38	2	Combo_SLU	-7720167	0	0	3.03	3.03
38	2.5	Combo_SLU	-5568261	0	0	4.19	4.20
38	3	Combo_SLU	-3551370	0	0	6.58	6.58
38	3.5	Combo_SLU	-1669493	0	0	13.99	13.99
38	4	Combo_SLU	77368	0	0	136.01	136.03
38	4.5	Combo_SLU	1689215	0	0	6.23	6.23
38	5	Combo_SLU	3166048	0	0	3.32	3.32
39	0	Combo_SLU	3166048	0	0	3.32	3.32
39	0.5	Combo_SLU	3184764	0	0	3.30	3.30
39	1	Combo_SLU	3068465	0	0	3.43	3.43
39	1.5	Combo_SLU	2817151	0	0	3.74	3.74
39	2	Combo_SLU	2430823	0	0	4.33	4.33
39	2.5	Combo_SLU	1909480	0	0	5.51	5.51
39	3	Combo_SLU	1253122	0	0	8.40	8.40
39	3.5	Combo_SLU	461750	0	0	22.79	22.79
39	4	Combo_SLU	-464638	0	0	50.27	50.28
39	4.5	Combo_SLU	-1526040	0	0	15.31	15.31
39	5	Combo_SLU	-2722457	0	0	8.58	8.58
40	0	Combo_SLU	-2722457	0	0	8.58	8.58
40	0.5	Combo_SLU	-1708658	0	0	13.67	13.67
40	1	Combo_SLU	-829874	0	0	28.15	28.15
40	1.5	Combo_SLU	-86104	0	0	271.29	271.31
40	2	Combo_SLU	522650	0	0	20.13	20.14
40	2.5	Combo_SLU	996390	0	0	10.56	10.56
40	3	Combo_SLU	1335115	0	0	7.88	7.88
40	3.5	Combo_SLU	1538826	0	0	6.84	6.84
40	4	Combo_SLU	1607521	0	0	6.55	6.55
40	4.5	Combo_SLU	1541202	0	0	6.83	6.83
40	5	Combo_SLU	1339868	0	0	7.85	7.85
41	0	Combo_SLU	1339868	0	0	7.85	7.85
41	0.5	Combo_SLU	818064	0	0	12.86	12.86
41	1	Combo_SLU	161245	0	0	65.26	65.27
41	1.5	Combo_SLU	-630589	0	0	37.04	37.05
41	2	Combo_SLU	-1557437	0	0	15.00	15.00
41	2.5	Combo_SLU	-2619301	0	0	8.92	8.92
41	3	Combo_SLU	-3816179	0	0	6.12	6.12

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	38 di 49

Frame	Station [m]	Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Ncost	CS,Mx/My cost
41	3.5	Combo_SLU	-5148071	0	0	4.54	4.54
41	4	Combo_SLU	-6614979	0	0	3.53	3.53
41	4.5	Combo_SLU	-8216901	0	0	2.84	2.84
41	5	Combo_SLU	-9953838	0	0	2.35	2.35
42	0	Combo_SLU	-9953838	0	0	2.35	2.35
42	0.5	Combo_SLU	-8671198	0	0	2.69	2.69
42	1	Combo_SLU	-7523572	0	0	3.10	3.11
42	1.5	Combo_SLU	-6510962	0	0	3.59	3.59
42	2	Combo_SLU	-5633366	0	0	4.15	4.15
42	2.5	Combo_SLU	-4890785	0	0	4.78	4.78
42	3	Combo_SLU	-4283218	0	0	5.45	5.45
42	3.5	Combo_SLU	-3810666	0	0	6.13	6.13
42	4	Combo_SLU	-3473130	0	0	6.73	6.73
42	4.5	Combo_SLU	-3270607	0	0	7.14	7.14
42	5	Combo_SLU	-3203100	0	0	7.29	7.29

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 1.32.

9.1.1.2 Verifica a taglio

Per le verifiche a taglio si procede prima con la verifica per elementi non armati a taglio, se questa è soddisfatta si dispongono i quantitativi minimi di armatura a taglio prescritti nel §4.1.6.1.1 delle NTC18, altrimenti si procede con il calcolo dell'armatura a taglio necessaria e si procede con la verifica per gli elementi armati a taglio.

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018 SENZA ARMATURE A TAGLIO

$V_{Ed} = T_{SLU}$	551.89	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	551890	N
R_{ck}	30	MPa
f_{ck}	24.9	MPa
c netto	40	mm
Ø staffa	10	mm
Ø arm tesa	24	mm
Hsezione	800	mm
d	738.00	mm
k	1.521	-
b_w	1000	mm
Ø	24	mm
n	10	-
strati	2	-
A_{sl}	4524	mm ²
ρ_l	0.00613	-
N_{Ed}	0	kN
N_{Ed}	0	N
A_c	800000.0	mm ²
σ_{cp}	0	MPa
f_{cd}	15.789	MPa
γ_c	1.5	-
$C_{Rd,c}$	0.12	-
V_{min}	0.327477	-
$V_{Rd,c}$	334040	N
$V_{Rd,c min}$	241678.3	N
$V_{Rd,c effettivo}$	334040	N
Verifica	NO	
T.S.	1.65	
C.S.	0.60	

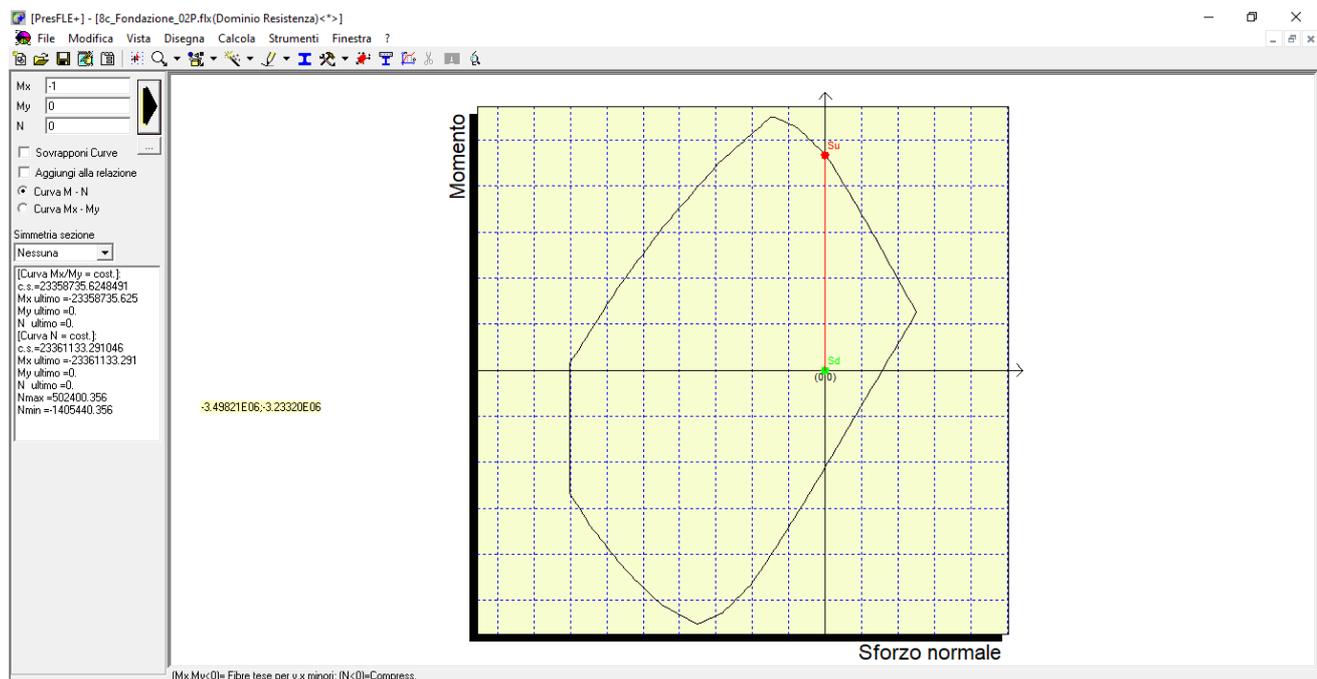
**VERIFICA A TAGLIO
SECONDO NTC2018
CON ARMATURE A TAGLIO**

$V_{Ed} = T_{SLU}$	551.89	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	551890	N
ϕ	10	mm
A_{ϕ}	78.53982	mm ²
bracci	5	-
A_{sw}	392.70	mm ²
s	150	mm
f_{ywd}	391.30	MPa
$\cot \theta$	1	-
α_c	1	-
$z = 0.9d$	664.2	mm
v	0.54024	-
$V_{Rd,s}$	680428	N
$V_{Rd,s \max}$	2832848	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	680428	N
Verifica	OK	
T.S.	0.81	
C.S.	1.23	

9.1.2 Verifiche SLV

9.1.2.1 Verifica a pressoflessione

Si riportano nel seguito i coefficienti di sicurezza nel caso di $N = \text{cost}$ e $M_x/M_y = \text{cost}$:



Frame	Station [m]	Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Ncost	CS,Mx/My cost
37	0	Combo_SLV	-13373000	0	0	1.75	1.75
37	0.5	Combo_SLV	-13407382	0	0	1.74	1.74
37	1	Combo_SLV	-13510530	0	0	1.73	1.73
37	1.5	Combo_SLV	-13682441	0	0	1.71	1.71
37	2	Combo_SLV	-13923118	0	0	1.68	1.68
37	2.5	Combo_SLV	-14232560	0	0	1.64	1.64
37	3	Combo_SLV	-14610766	0	0	1.60	1.60
37	3.5	Combo_SLV	-15057737	0	0	1.55	1.55
37	4	Combo_SLV	-15573472	0	0	1.50	1.50
37	4.5	Combo_SLV	-16157973	0	0	1.45	1.45
37	5	Combo_SLV	-16811238	0	0	1.39	1.39
38	0	Combo_SLV	-16811238	0	0	1.39	1.39
38	0.5	Combo_SLV	-14462109	0	0	1.62	1.62
38	1	Combo_SLV	-12181745	0	0	1.92	1.92

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	42 di 49

Frame	Station [m]	Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Ncost	CS,Mx/My cost
38	1.5	Combo_SLV	-9970145	0	0	2.34	2.34
38	2	Combo_SLV	-7827310	0	0	2.98	2.98
38	2.5	Combo_SLV	-5753240	0	0	4.06	4.06
38	3	Combo_SLV	-3747935	0	0	6.23	6.23
38	3.5	Combo_SLV	-1811395	0	0	12.90	12.90
38	4	Combo_SLV	56381	0	0	186.63	186.66
38	4.5	Combo_SLV	1855392	0	0	5.67	5.67
38	5	Combo_SLV	3585638	0	0	2.93	2.94
39	0	Combo_SLV	3585638	0	0	2.93	2.94
39	0.5	Combo_SLV	3344057	0	0	3.15	3.15
39	1	Combo_SLV	3033710	0	0	3.47	3.47
39	1.5	Combo_SLV	2654599	0	0	3.96	3.96
39	2	Combo_SLV	2206723	0	0	4.77	4.77
39	2.5	Combo_SLV	1690082	0	0	6.23	6.23
39	3	Combo_SLV	1104677	0	0	9.53	9.53
39	3.5	Combo_SLV	450506	0	0	23.36	23.36
39	4	Combo_SLV	-272429	0	0	85.74	85.75
39	4.5	Combo_SLV	-1064128	0	0	21.95	21.95
39	5	Combo_SLV	-1924593	0	0	12.14	12.14
40	0	Combo_SLV	-1924593	0	0	12.14	12.14
40	0.5	Combo_SLV	-1324204	0	0	17.64	17.64
40	1	Combo_SLV	-792580	0	0	29.47	29.47
40	1.5	Combo_SLV	-329721	0	0	70.84	70.85
40	2	Combo_SLV	64373	0	0	163.46	163.49
40	2.5	Combo_SLV	389703	0	0	27.00	27.01
40	3	Combo_SLV	646268	0	0	16.28	16.28
40	3.5	Combo_SLV	834068	0	0	12.62	12.62
40	4	Combo_SLV	953103	0	0	11.04	11.04
40	4.5	Combo_SLV	1003374	0	0	10.49	10.49
40	5	Combo_SLV	984879	0	0	10.68	10.69
41	0	Combo_SLV	984879	0	0	10.68	10.69
41	0.5	Combo_SLV	614739	0	0	17.12	17.12
41	1	Combo_SLV	175834	0	0	59.84	59.85
41	1.5	Combo_SLV	-331836	0	0	70.39	70.40
41	2	Combo_SLV	-908271	0	0	25.72	25.72
41	2.5	Combo_SLV	-1553470	0	0	15.04	15.04
41	3	Combo_SLV	-2267434	0	0	10.30	10.30

Opere di sostegno della trincea ferroviaria -
Relazione di calcolo opere di fondazione

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00	D 26	CLTR0005003	B	43 di 49

Frame	Station [m]	Comb.	Mx(daN*cm)	My(daN*cm)	N(daN)	CS,Ncost	CS,Mx/My cost
41	3.5	Combo_SLV	-3050163	0	0	7.66	7.66
41	4	Combo_SLV	-3901657	0	0	5.99	5.99
41	4.5	Combo_SLV	-4821915	0	0	4.84	4.84
41	5	Combo_SLV	-5810938	0	0	4.02	4.02
42	0	Combo_SLV	-5810938	0	0	4.02	4.02
42	0.5	Combo_SLV	-5157673	0	0	4.53	4.53
42	1	Combo_SLV	-4573172	0	0	5.11	5.11
42	1.5	Combo_SLV	-4057437	0	0	5.76	5.76
42	2	Combo_SLV	-3610466	0	0	6.47	6.47
42	2.5	Combo_SLV	-3232260	0	0	7.23	7.23
42	3	Combo_SLV	-2922818	0	0	7.99	7.99
42	3.5	Combo_SLV	-2682141	0	0	8.71	8.71
42	4	Combo_SLV	-2510230	0	0	9.31	9.31
42	4.5	Combo_SLV	-2407082	0	0	9.70	9.71
42	5	Combo_SLV	-2372700	0	0	9.84	9.85

Il coefficiente di sicurezza minimo è pari a 1.39.

9.1.2.1 Verifica a taglio

Per le verifiche a taglio si procede prima con la verifica per elementi non armati a taglio, se questa è soddisfatta si dispongono i quantitativi minimi di armatura a taglio prescritti nel §4.1.6.1.1 delle NTC18, altrimenti si procede con il calcolo dell'armatura a taglio necessaria e si procede con la verifica per gli elementi armati a taglio.

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2018 SENZA ARMATURE A TAGLIO

$V_{Ed} = T_{SLU}$	476.70	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	476700	N
R_{ck}	30	MPa
f_{ck}	24.9	MPa
c netto	40	mm
Ø staffa	10	mm
Ø arm tesa	24	mm
Hsezione	800	mm
d	738.00	mm
k	1.521	-
b_w	1000	mm
Ø	24	mm
n	10	-
strati	2	-
A_{sl}	4524	mm ²
ρ_l	0.00613	-
N_{Ed}	0	kN
N_{Ed}	0	N
A_c	800000.0	mm ²
σ_{cp}	0	MPa
f_{cd}	15.789	MPa
γ_c	1.5	-
$C_{Rd,c}$	0.12	-
V_{min}	0.327477	-
$V_{Rd,c}$	334040	N
$V_{Rd,c min}$	241678.3	N
$V_{Rd,c effettivo}$	334040	N
Verifica	NO	
T.S.	1.43	
C.S.	0.70	

**VERIFICA A TAGLIO
SECONDO NTC2018
CON ARMATURE A TAGLIO**

$V_{Ed} = T_{SLU}$	476.7	kN
$V_{Ed} = T_{SLU}$	476700	N
ϕ	10	mm
A_{ϕ}	78.53982	mm ²
bracci	5	-
A_{sw}	392.70	mm ²
s	150	mm
f_{ywd}	391.30	MPa
$\cot \theta$	1	-
α_c	1	-
$z = 0.9d$	664.2	mm
v	0.54024	-
$V_{Rd,s}$	680428	N
$V_{Rd,s \max}$	2832848	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	680428	N
Verifica	OK	
T.S.	0.70	
C.S.	1.43	

9.1.3 Verifiche SLE

9.1.3.1 Sollecitazioni per le verifiche

	N [KN]	M [KN m]
Comb rara	0.00	809.42
Comb quasi perm	0.00	809.42

9.1.3.1 Verifiche a fessurazione

fck	24.9	N/mm ²
fctm	2.56	N/mm ²
fyk	450.00	N/mm ²

	σ_t max	σ_{cls}-	U. d. m.	Verifica
Comb rara	-2.13	-4.86	N/mm ²	Verificare ampiezza fessure
Comb quasi perm		-4.86	N/mm ²	Verificare ampiezza fessure

È necessario verificare l'apertura delle fessure.

Combinazione Rara		
c	50	mm
s	100	mm
k ₂	0.4	-
k ₃	0.125	-
φ	24	mm
A _s	4569.1	mm ²
h _{eff}	251.65	mm
A _{eff}	251650	mm ²
ρ	0.01816	-
S _{rm}	186.1	mm
σ _t	-21.32	kg/cm ²
σ _s	1478.7	kg/cm ²
σ _{sr}	778.3	kg/cm ²
β ₁	1	-

β_2	0.5	-
$(1-\beta_1\beta_2(\sigma_{sr}/\sigma_s)^2)$	0.86	-
E	2100000	kg/cm ²
ϵ_{sr}	0.0006066	-
w_m	0.1129	mm
w_k	0.1919	mm
w limite	0.2	mm
Verifica	OK	

9.1.3.1 Verifica tensioni di esercizio

	$\sigma_c \text{ max}$	σ_c	U.d.m.	Verifica
Comb rara	13.69	6.63	N/mm ²	Verifica soddisfatta
Comb quasi perm	9.96	6.63	N/mm ²	Verifica soddisfatta

	$\sigma_s \text{ max}$	σ_s	U.d.m.	Verifica
Comb rara	-337.50	-147.87	N/mm ²	Verifica soddisfatta
Comb quasi perm	-337.50	-147.87	N/mm ²	Verifica soddisfatta