

E78 GROSSETO - FANO
Tratto Nodo di Arezzo – Selci – Lama (E45)
Adeguamento a quattro corsie del tratto
San Zeno – Arezzo – Palazzo del Pero, 1° lotto

PROGETTO DEFINITIVO

FI 508

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Roberto Salucci</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 633	I PROGETTISTI SPECIALISTICI <i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 <i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657 <i>Ing. Matteo Bordugo</i> Ordine Ingegneri Provincia di Pordenone al n. 750A <i>Ing. Giuseppe Festa</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629	PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria) GP INGEENNERIA <i>GESTIONE PROGETTI INGEENNERIA srl</i> (Mandante)  cooprogetti  engeko  Studio di Architettura e Ingegneria Moderna IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12): <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> 
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270		
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Francesco Pisani</i>		
VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO <i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i>		

OPERE D'ARTE MAGGIORI
Asse principale
VI.01 – Viadotto Montoncello
Relazione di calcolo delle fondazioni

CODICE PROGETTO	NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO DPFI508	P01VI01GETRE01_B		
LIV.PROG ANNO D 23	CODICE ELAB. P01VI01GETRE01	B	-
D			
C			
B	Revisione a seguito Istruttoria n°U. 0016028.09-01-2024	Gennaio '24	Cassarini Bordugo Guiducci
A	Emissione	Agosto '23	Cassarini Bordugo Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
1.1. DESCRIZIONE DELL'OPERA NUOVA.....	2
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	5
3. CARATTERISTICHE MATERIALI.....	6
3.1. CALCESTRUZZO SOTTOSTRUTTURE.....	6
3.2. ACCIAIO PER CARPENTERIA.....	6
4. VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO.....	7
5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO.....	7
6. VERIFICA DEI MICROPALI.....	9
7. ACCETTABILITA' DEI RISULTATI (CAP.10.2 NTC2018).....	14

1. PREMESSA

La presente relazione contiene il progetto del nuovo viadotto VI07 nell'ambito della progettazione per l'adeguamento a quattro corsie del tratto San Zeno – Arezzo – Palazzo del Pero, 1° lotto per il completamento della E78 GROSSETO – FANO - Tratto Nodo di Arezzo – Selci – Lama (E45).

1.1. DESCRIZIONE DELL'OPERA NUOVA

La struttura dell'impalcato ha uno schema statico a trave continua con la seguente scansione di luci 53+76+76+72 per complessivi 277m con un andamento planimetrico rettilineo.

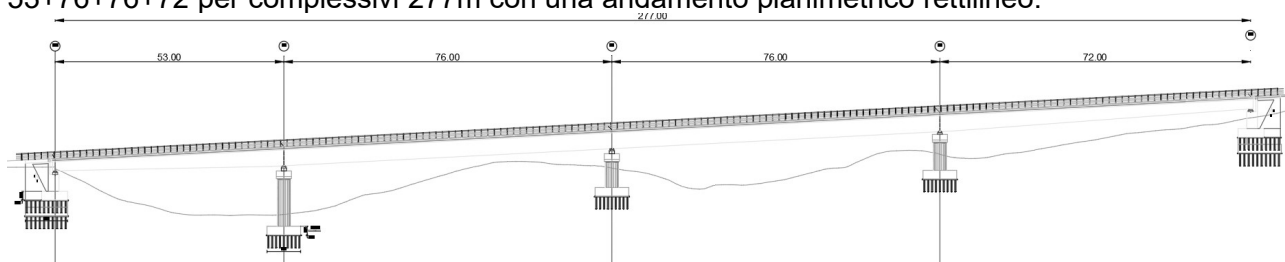


Figura 1.1 prospetto

L'impalcato è ripartito in due cordoli di lato 75cm ed una carreggiata di 12.75m, per una larghezza complessiva di 14.25m.

L'impalcato ha un retrotrave pari a 0.60m.

La sezione resistente è affidata alle tre travi in un sistema misto acciaio-clt poste a 4.5 m di interasse con una altezza variabile da 2.5m in spalla a 4m in pila e nella campata centrale. La soletta ha uno spessore complessivo di 32cm costituito da 7cm di predalle e da 25cm di spessore gettato in opera.

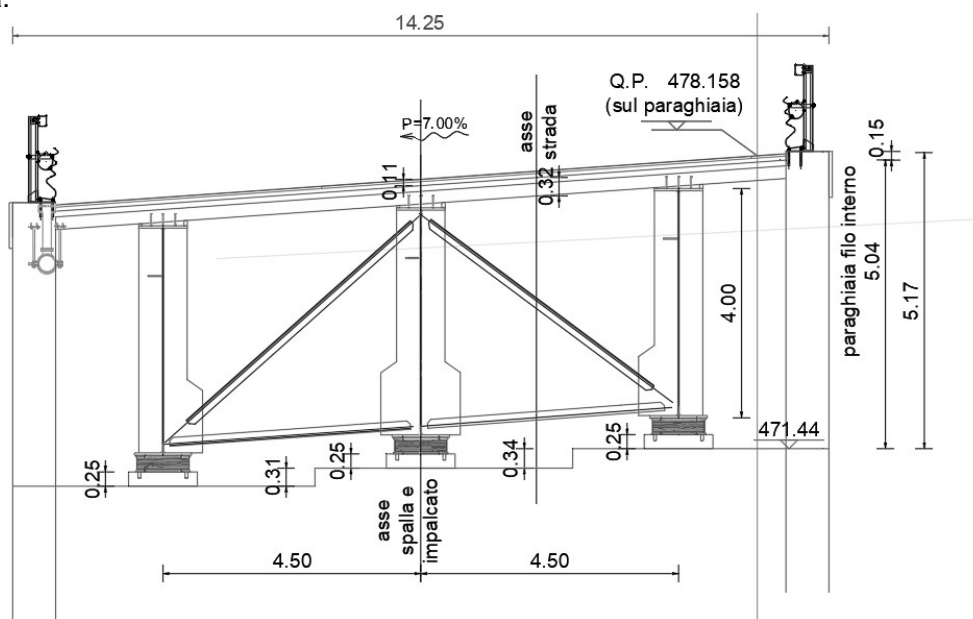


Figura 1.2 sezione tipo.

La collaborazione della soletta è affidata a pioli Nelson saldati alla piattabanda superiore.

La soletta è supportata da una trave rompitratta sostenuta dai traversi reticolari disposti con passo tipico di 4m.

Le pile sono costituite da fusti circolari con diametro 3m con un pulvino superiore con uno spessore di 1.8m.

Alla base la fondazione è costituita da plinti di spessore 2m e dimensioni in pianta 7.8mx10.5m su micropali.

Le spalle sono realizzate su fondazioni C su micropali, il muro frontale ha uno spessore di 2.5m e supporta un paraghiaia di spessore 40cm.

Si riportano di seguito gli schemi dei micropali, con diametro 30 cm e armati con un profilo cavo $\phi 219.1 \times 10$ mm, utilizzati per le sottostrutture di pile e spalle

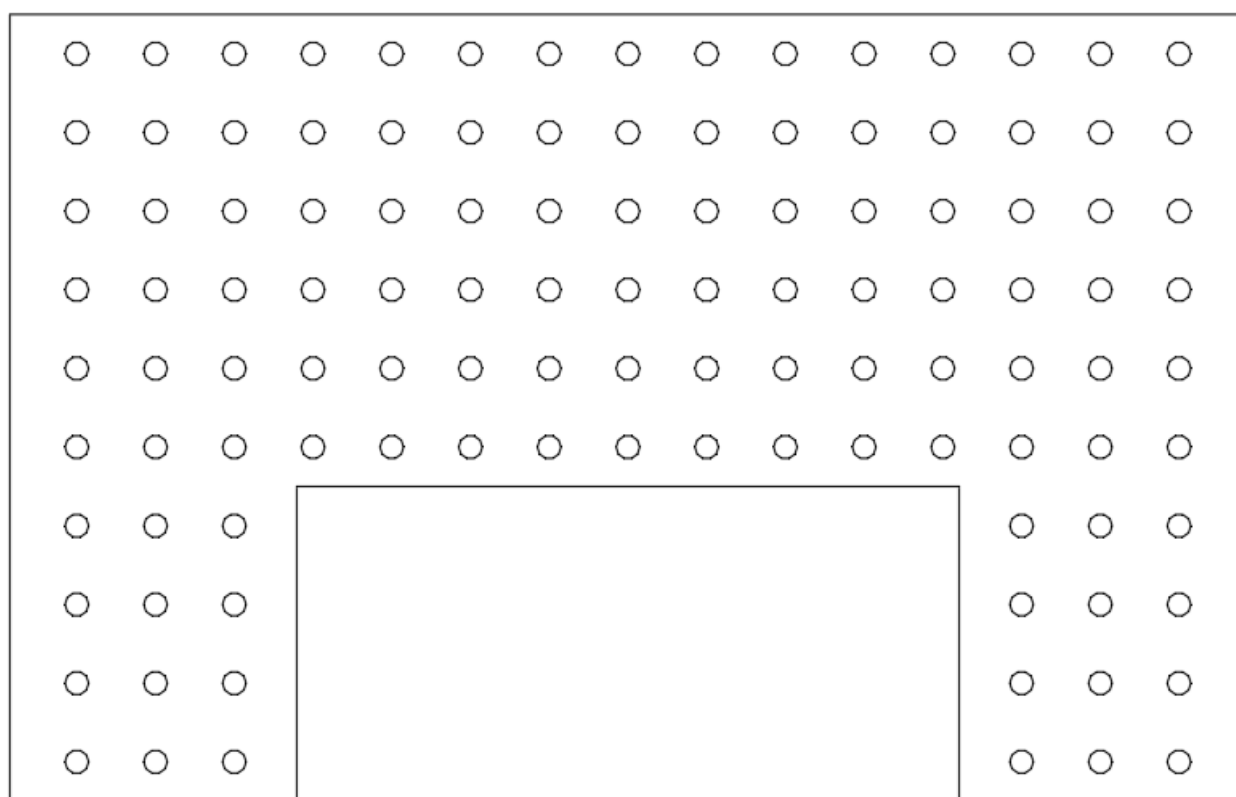


Figura 1.3. Micropali spalla

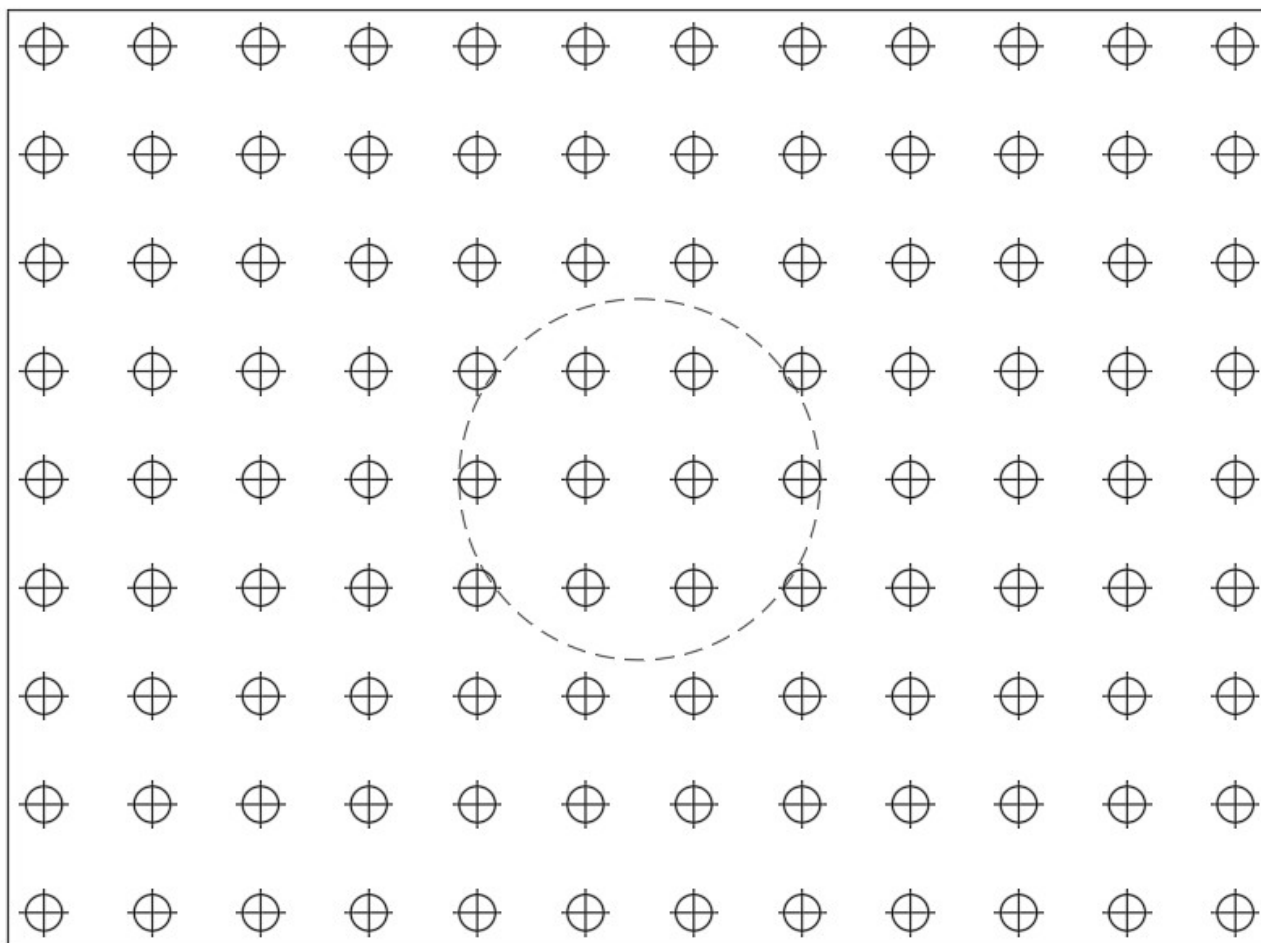


Figura 1.4. Micropali pila

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Si riportano le Normative adottate per le verifiche delle singole componenti strutturali:

D.M. 17-01-2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” [NTC18]

UNI EN1991-2 “Azioni sulle strutture: carichi da traffico su ponti” [EC1-2]

UNI EN1991-1-5 “Azioni sulle strutture: azioni in generale-azioni termiche” [EC1-1-5]

UNI EN1991-1-7 “Azioni sulle strutture: azioni in generale-azioni eccezionali” [EC1-1-7]

UNI EN1992-1-1 “Progettazione delle strutture in calcestruzzo: regole generali e regole per gli edifici” [EC2-1]

UNI EN1993-1-1 “Progettazione delle strutture in acciaio: regole generali e regole per gli edifici” [EC3-1]

UNI EN1993-1-5 “Progettazione delle strutture in acciaio: elementi strutturali a lastra” [EC3-1-5]

UNI EN1993-1-8 “Progettazione delle strutture in acciaio: progettazione dei collegamenti” [EC3-1-8]

UNI EN1993-1-9 “Progettazione delle strutture in acciaio: fatica” [EC3-1-9]

UNI EN1993-2 “Progettazione delle strutture in acciaio: Ponti di acciaio” [EC3-1-8]

UNI EN1994-1-1 “Progettazione delle strutture in composte acciaio-calcestruzzo: progettazione dei collegamenti” [EC4-1-1]

3. CARATTERISTICHE MATERIALI

3.1. CALCESTRUZZO SOTTOSTRUTTURE

MICROPALI

Malta iniezione pali:

- Classe di resistenza	C32/40
- Diam. massimo inerte	16 mm
- Classe di consistenza	S5
- Classe di esposizione	XA2

3.2. ACCIAIO PER CARPENTERIA

La carpenteria metallica sarà realizzata in acciaio patinabile a resistenza alla corrosione migliorata: tipo S355J2W - per elementi saldati per spessori $t \leq 40$ mm;

tipo S355K2W per elementi saldati per spessori $t > 40$ mm;

tipo S355J2W - per elementi non saldati, piastre sciolte ed angolari

Gli acciai con spessori $t \leq 40$ mm devono essere conformi alle prescrizioni del D.M. 17.1.2018, dovendo presentare le seguenti caratteristiche:

- tensione di rottura a trazione
- $S355 f_t \geq 510$ MPa
- tensione di snervamento $f_y \geq 355$ MPa
- $S355 f_y \geq 355$ MPa
- modulo elastico $E_s = 210.000$ MPa
- Gli acciai con spessori $t > 40$ mm devono essere conformi alle prescrizioni del D.M. 17.1.2018, dovendo presentare le seguenti caratteristiche:
- tensione di rottura a trazione
- $S355 f_t \geq 470$ MPa
- tensione di snervamento $f_y \geq 355$ MPa
- $S355 f_y \geq 335$ MPa
- modulo elastico $E_s = 210.000$ MPa

Vengono considerati elementi di carpenteria, quindi caratterizzati dalle specifiche soprariportate anche le predelle metalliche, gli elementi di interfaccia e collegamento degli apparecchi di appoggio.

L'assemblaggio dei conci delle travi principali sarà realizzato mediante giunzioni saldate, secondo quanto riportato negli elaborati progettuali.

4. VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Per quanto riguarda la vita nominale, con riferimento al par. 2.4.1 e alla tabella 2.4.I del D.M. 17/1/2018, qui riportata, si farà riferimento alla cat. 3, assumendo una vita nominale pari a $V_N = 50$ anni.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

La classe d'uso è la IV cui corrisponde un coefficiente d'uso $CU=2$

5. CARATTERISTICHE DEL TERRENO

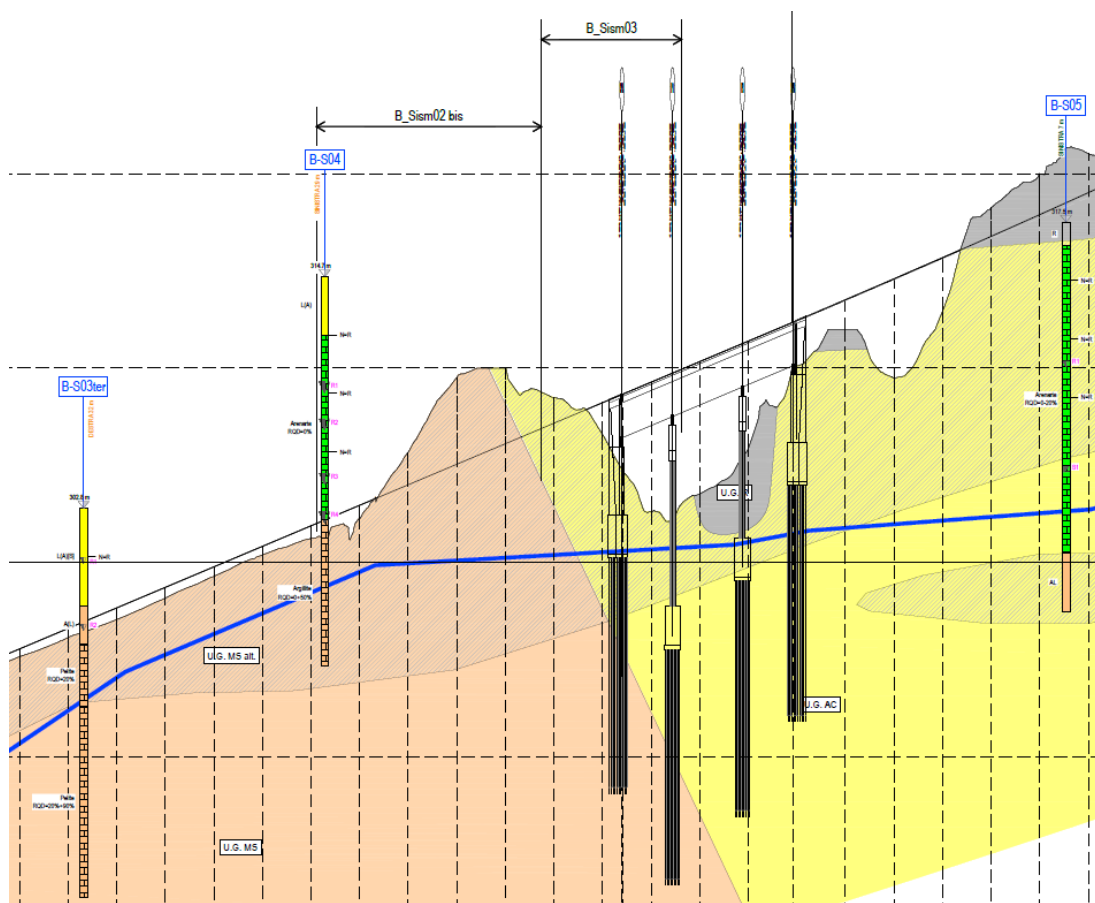
Per le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in sito si è fatto riferimento ai seguenti parametri:

Arenaria e marne di San Polo (valori minimi a favore di sicurezza)

$\phi' = 25^\circ$

$c_u = 0$

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$



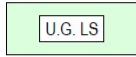
UNITA' GEOTECNICHE



UNITA' GEOTECNICA RIPORTI



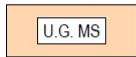
UNITA' GEOTECNICA FRANE



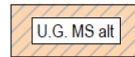
UNITA' GEOTECNICA LIMI SABBIOSI



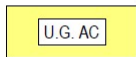
UNITA' GEOTECNICA GHIAIE SABBIOSE



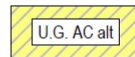
UNITA' GEOTECNICA MARNE DI SAN POLO
(GSI=38+40, $\sigma_c=7+10$)



UNITA' GEOTECNICA MARNE DI SAN POLO
ALTERATA



UNITA' GEOTECNICA ARENARIE DEL
CERVAROLA (GSI=35+40, $\sigma_c=7+10$)



UNITA' GEOTECNICA ARENARIE DEL
CERVAROLA ALTERATA

	Unità geotecnica	Unità geologica	γ/γ' (kN/m ³)	Variabilità parametri			Valori caratteristici			q_s per micropali tipo IGU (kPa)	V_s (m/s)	G_0 (MPa)	v (-)	Valori di deformabilità di riferimento			
				ϕ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)	ϕ'_k (°)	c'_k (kPa)	$c_{u,k}$ (kPa)					$M_{fond. Dir.}$ (MPa)	$E_{fond. Dir.}$ (MPa)	$E_{fond. Prof.}$ (MPa)	$E_{substr.}$ (MPa)
Tratta in progetto	R	r	20/10	26+35	0+10	-	35	0	-	100	200	80	0.25	-	20	30	-
	FN	fn	19.5/9.5	20+30	0+10	-	20+26	0+5	-	60	100+200	20+80	0.30	-	6+10	9+15	-
	LS	at	19.5/9.5	24+28	10+30	40+60	26	10	50	-	200+400	80+300	0.30	4+20	3+16	8+30	-
	GS	at	19.5/9.5	27+32	0	-	30	0	-	100+150	200+400	80+300	0.30	-	10+15	15+22	-
	MS alt	ms	19.5/9.5	24+32	10+80	-	28	10+50*	-	200+400	200+700	80+1000	0.20	-	20+240	25+300	-
	MS	ms	23/13	24+32	80+200	-	28	100	-	400+600	700+1000	1100+2300	0.20	-	-	-	1100+1400
	AC alt	ac	19.5/9.5	25+35	10+80	-	30	10+50*	-	200+400	200+700	80+1000	0.20	-	20+240	25+300	-
	AC	ac	23/13	25+35	80+210	-	32	90	-	400+600	700+1000	1100+2300	0.20	-	-	-	1100+1400

*Valore che incrementa con la profondità

Si adotta per il calcolo della portanza, a favore di sicurezza, il valore minimo per $q_s = s = 200$ Kpa = 0.2 Mpa di AC alterato.

Per Klaterale del micropalo si è assunto:

$K_{lat} = K_{vert}/10 \cong 50$ MN/mc

$K_{vert} = N_{sle} / D_z / A \cong 547$ MN/mc

Le fasi realizzative prevedono la realizzazione prima delle opere provv. e di fondazione a valle. Quindi ultimato il nuovo viadotto a valle si iniziano le lavorazioni provv. per eseguire le fondazioni a monte: tale successione di fasi consente di ridurre le reali interferenze e di considerare non più agenti i tiranti ed i micropali delle opere provv. a valle in fase di esecuzione delle opere a monte. Le geometrie sia in fase provv. sia in fase definitiva sono state verificate in tali presupposti.

Per il calcolo delle spinte orizzontali e delle pressioni verticali agenti sulle sottostrutture, si è considerato:

Misto cementato

$\phi' = 45^\circ$

$c_u = 0$

$\gamma = 25$ kN/m³

Terreno da rilevato

$\phi' = 35^\circ$

$c_u = 0$

$\gamma = 19$ kN/m³

6. VERIFICA DEI MICROPALI

Le azioni maggiori sui micropali si trovano sulle spalle e sono stati ricavati dal modello di calcolo della spalla. Si riportano di seguito le azioni di taglio e assiali ricavate dal modello di calcolo della spalla.

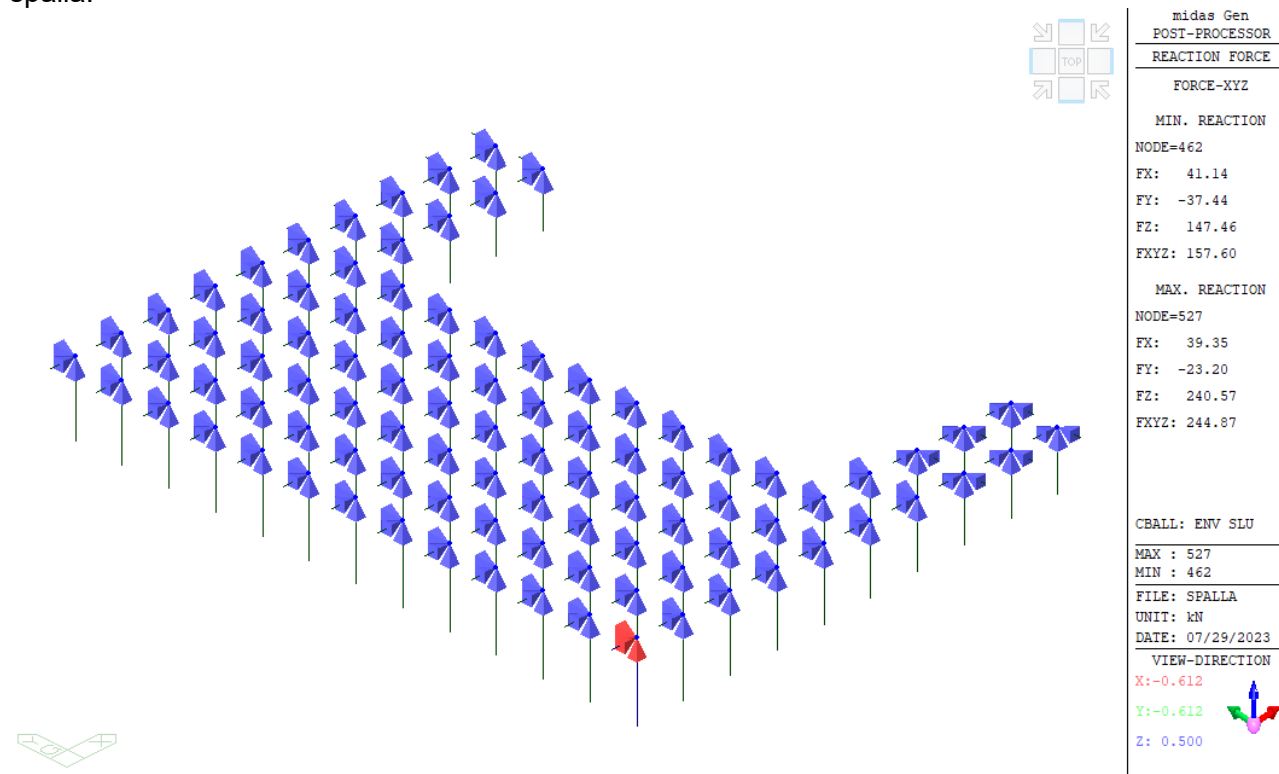


Figura 6.5 sollecitazioni agenti nei micropali in combinazione di inviluppo

Di seguito si riporta la verifica del micropalo nella combinazione peggiore:

SLU

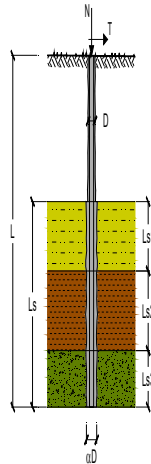
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: 581_Ver_Micropali_D300_Vlxx_SLU_v1

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	178.15	0.00	240.50
T (kN)	25.33	0.00	34.20



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ_s	$\gamma_{s\text{ traz}}$
SLU	A1+M1+R1	☐	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	☐	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	☐	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	☐	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.35	1.35	1.15	1.25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
ξ_{d1}	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_{d2}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0.3 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 10.00 (m)

Armatura:

☐ IPE	☐ INP	☐ HEA	☐ HEB	☐ HEM	☒ Tubi	☐ ALTRO
IPE 180	INP 160	HEA 300	HEB 160	HEM 200	ø219,1 x 10,0	

ø219,1 x 10,0

Area dell'armatura (Aarm): 6569 (mm²)

Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): 3.598E+07 (mm⁴)

Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): 328,475 (mm³)

Tipo di acciaio **S 355 (Fe 510)**

Tensione di snervamento dell'acciaio (fy): 355 (N/mm²)

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : 1.05

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{lim}): 338 (N/mm²)

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): 210,000 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): **50.0** (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto $QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$

Tipo di Terreno	Spessore ls_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	s_i media (MPa)	s_i minima (MPa)	s_i calcolo (MPa)	Qsi (kN)
	10.00	1.00	0.30	0.200	0.200	0.102	964.17
	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00

$Ls = 10.00$ (m) $QI = 964.17$ (kN)

Capacità portante di punta $Qp = \%Punta \cdot QI$ (consigliato 10-15%)

$\% Punta = 0\%$ $Qp = 0.00$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$Qlim = Qb + QI$

$Qlim = 964.17$ (kN)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$Fs = Qlim / N$ ($Fs > 1$)

$Fs = 4.01$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): **10.96** (N/mm²)

$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot E_{arm} \cdot J_{arm})^{0.5}$ $\eta = Pk / N$ (consigliato $\eta > 10$)

$Pk = 18197.13$ (MN) $\eta = 75.66$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot J_{arm}}}$$

$b = 0.839$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 20.37$ (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$$

$$\tau = 2 \cdot T/A_{arm}$$

$\sigma_{max} = 98.63$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -25.41$ (N/mm²)

$\tau = 10.41$ (N/mm²)

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

$\sigma_{id} = 100.26$ (N/mm²) **verifica soddisfatta**

SLV

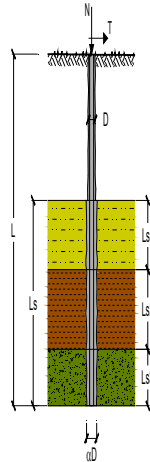
CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: 581_Ver_Micropali_D300_Vlxx_SLV_v1

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	180.00	0.00	180.00
T (kN)	40.00	0.00	40.00



coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale	
Metodo di calcolo			permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_s	$\gamma_{s\text{ trax}}$
SU	A1+M1+R1	☐	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	☐	1.00	1.30	1.45	1.60
	A1+M1+R3	☐	1.30	1.50	1.15	1.25
	SISMA	☒	1.00	1.00	1.15	1.25
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.35	1.35	1.15	1.25

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	DM88	prog.
ξ_{s1}	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_{s4}	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

Caratteristiche del micropalo:

Diametro di perforazione del micropalo (D): 0.3 (m)

Lunghezza del micropalo (L): 12.00 (m)

Armatura:

☐ IPE
 ☐ INP
 ☐ HEA
 ☐ HEB
 ☐ HEM
 ☒ Tubi
 ☐ ALTRO

IPE 180
 INP 160
 HEA 300
 HEB 160
 HEM 200
 ø219,1 x 10,0

ø219,1 x 10,0

Area dell'armatura (Aarm): 6569 (mm²)

Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): 3.598E+07 (mm⁴)

Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): 328,475 (mm³)

Tipo di acciaio S 355 (Fe 510)

Tensione di snervamento dell'acciaio (fy): 355 (N/mm²)

Coefficiente Parziale Acciaio γ_M : 1.05

Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{lim}): 338 (N/mm²)

Modulo di elasticità dell'acciaio (E_{arm}): 210,000 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

Coeff. di Winkler (k): 50.0 (MN/m³)

CAPACITA' PORTANTE ESTERNA

Capacità portante di fusto

$$QI = \sum_i \pi \cdot Ds_i \cdot s_i \cdot ls_i$$

Tipo di Terreno	Spessore ls_i (m)	α (-)	$Ds_i = \alpha \cdot D$ (m)	s_i media (MPa)	s_i minima (MPa)	s_i calcolo (MPa)	Qsi (kN)
	10.00	1.00	0.30	0.200	0.200	0.102	964.17
	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00

$Ls = 10.00$ (m) $QI = 964.17$ (kN)

Capacità portante di punta

$$Qp = \%Punta \cdot QI \quad (\text{consigliato } 10-15\%)$$

$\% Punta = 0\%$ $Qp = 0.00$ (kN)

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

$$Qlim = Qb + QI$$

$Qlim = 964.17$ (kN)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

$$Fs = Qlim / N \quad (Fs > 1)$$

$Fs = 5.36$

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam. (β) ($\beta = k \cdot D_{arm}$): 10.96 (N/mm²)

$$Pk = 2 \cdot (\beta \cdot Earm \cdot Jarm)^{0.5} \quad \eta = Pk / N \quad (\text{consigliato } \eta > 10)$$

$Pk = 18197.13$ (MN) $\eta = 101.10$

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot Earm \cdot Jarm}}$$

$b = 0.839$ (1/m)

Momento Massimo (M):

$M = 23.83$ (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

Tensioni nel singolo micropalo

$$\sigma = N/Aarm \pm M/Warm$$

$$\tau = 2 \cdot T/Aarm$$

$\sigma_{max} = 99.95$ (N/mm²) $\sigma_{min} = -45.14$ (N/mm²)

$\tau = 12.18$ (N/mm²)

$$\sigma_{td} = (\sigma^2 + 3 \tau^2)^{0.5}$$

$\sigma_{td} = 102.15$ (N/mm²) **verifica soddisfatta**

7. ACCETTABILITA' DEI RISULTATI (CAP.10.2 NTC2018)

Verifica dei risultati

Nel corso della progettazione sono state effettuate continue validazioni dei valori delle sollecitazioni, nei diversi elementi strutturali, emersi dal calcolo e delle verifiche condotte dal post processore del programma MIDAS CIVIL 2020 ver.3.2: tali calcolazioni di controllo sono state condotte con metodi consolidati della scienza delle costruzioni o con l'ausilio di altri software o fogli di calcolo.

Giudizio motivato di accettabilità

Dalle verifiche effettuate e sopra descritte appare evidente l'accettabilità dei risultati ottenuti, in quanto i valori qui determinati risultano sovrapponibili a quelli emersi dal calcolo effettuato con l'ausilio del software.