Direzione Progettazione e Realizzazione Lavori

# 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

*Dott. Geol. Roberto Salucci*

Ordine dei geologi
della Regione Lazio n. 633

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

*Arch. Santo Salvatore Vermiglio*

Ordine Architetti
Provincia di Reggio Calabria n. 1270

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

*Ing. Francesco Pisani*

VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO

*Arch.Pianif. Marco Colazza*

I PROGETTISTI SPECIALISTICI

*Ing. Ambrogio Sic[illegible]*

Ordine Ingegneri
Provincia di Roma n. A35111

*Ing. Moreno Panfili*

Ordine Ingegneri
Provincia di Perugia n. A2657

*Ing. Matteo Bordugo*

Ordine Ingegneri
Provincia di Pordenone al n. 790A

*Ing. Giuseppe Resta*

Ordine Ingegneri
Provincia di Roma n. 20629

PROGETTAZIONE ATI:

GPI INGEGNERIA
GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl (Mandataria)

cooprogetti (Mandante)

engeko (Mandante)

SAIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna (Mandante)

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INNTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12) :

*Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI*

Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI
ORDINE INGEGNERI
ROMA
N° 14035


## OPERE D'ARTE MAGGIORI

### Asse principale

### VI.05 – Viadotto Le Torri Dir. FANO

### Relazione di calcolo delle fondazioni

| CODICE PROGETTO | NOME FILE | REVISIONE | SCALA |
|---|---|---|---|
| PROGETTO: DPFI508 · LIV.PROG: D · ANNO: 23 | P01VI05GETRE01_B | _ | - |
| | CODICE ELAB.: P01VI05GETRE01 | | |

| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 |

# INDICE

1. **PREMESSA**.....2
2. **CARATTERISTICHE DEL TERRENO**.....5
3. **VERIFICA DI PORTANZA DEL PALO DI FONDAZIONE**.....7
   3.1. PALO FONDAZIONE SPALLE.....7
   3.2. PALO FONDAZIONE PILA.....13
4. ACCETTABILITA' DEI RISULTATI (CAP.10.2 NTC2018).....18

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo viene descritta la procedura seguita per il progetto e la verifica degli elementi strutturali principali costituenti l'opera d'arte denominata "*VI.05 - VIADOTTO LE TORRI DIR. FANO*", ricadente nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento **E78 GROSSETO – FANO - TRATTO NODO DI AREZZO – SELCI – LAMA (E45) – PALAZZO DEL PERO – 1° LOTTO (FI508).**

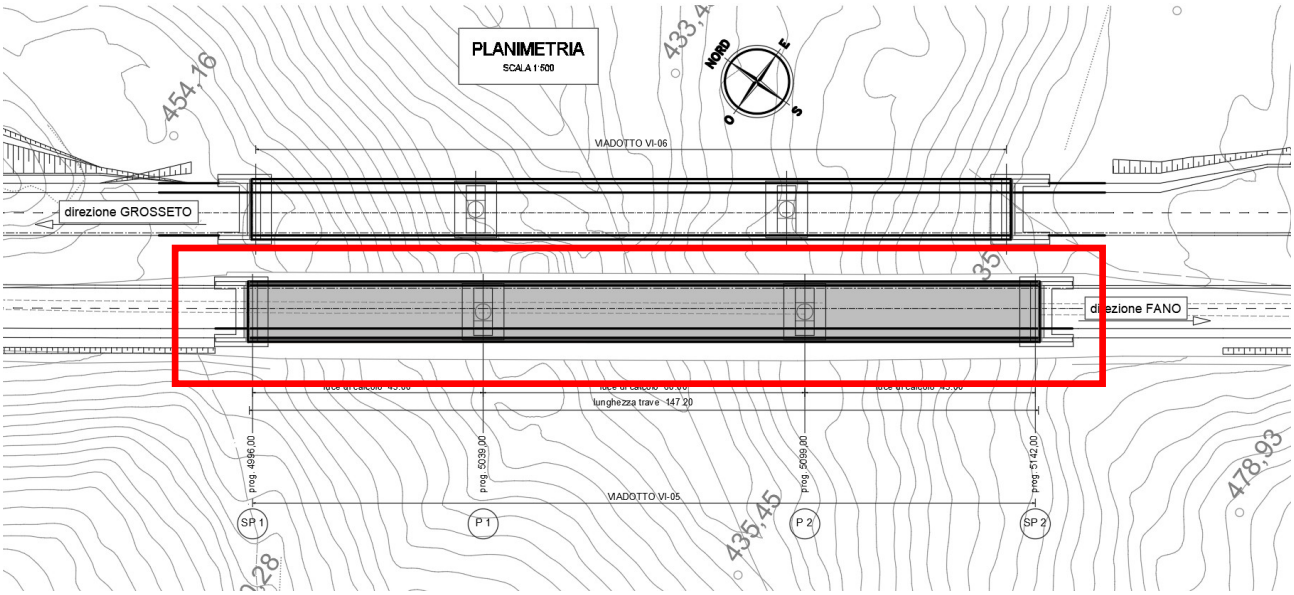
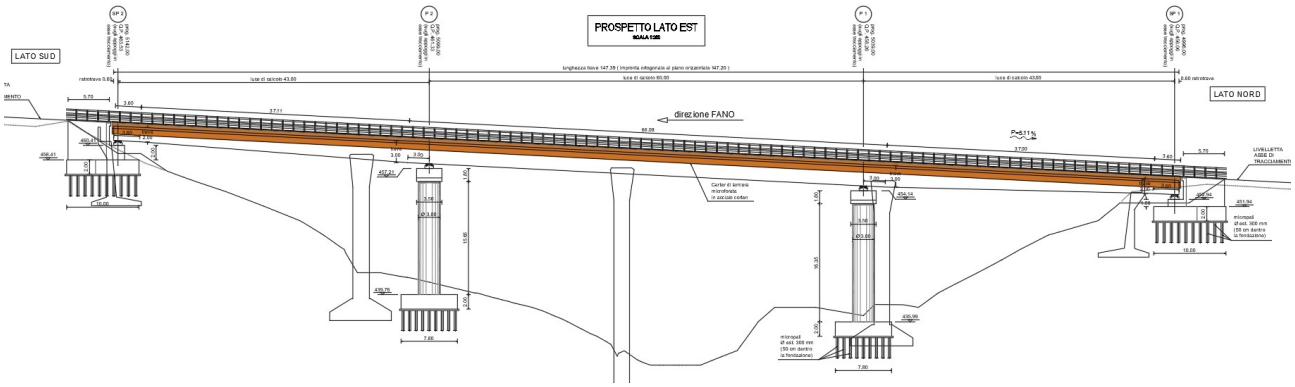



**Figura 1.1 Corografia**

L'opera d'arte è rappresentata da un viadotto costituito da 3 campate, con luce di calcolo pari a 43.00-60.00-43.00m, per uno sviluppo complessivo di 1247.20m.
L'impalcato, in sezione mista acciaio – cls, è realizzato secondo uno schema statico di trave continua.
La sezione trasversale, di larghezza complessiva 11.25m al netto del carter, è costituita da 2 travi in composizione saldata ad anima piena di altezza variabile pari a 2.00-3.00m, poste ad interasse di 7.00m, collegate da traversi reticolari aventi un interasse medio di massimo 6.00m.



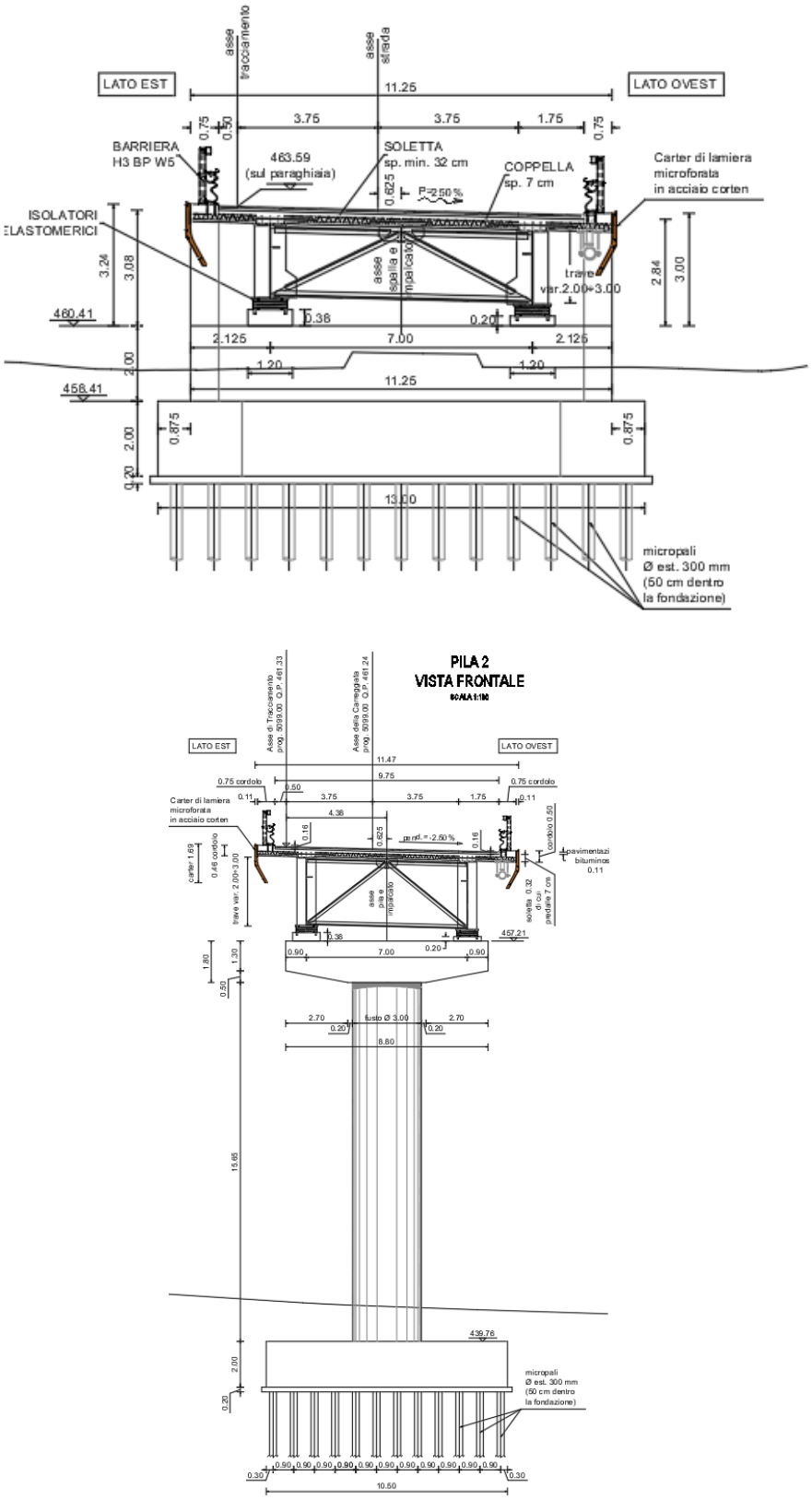


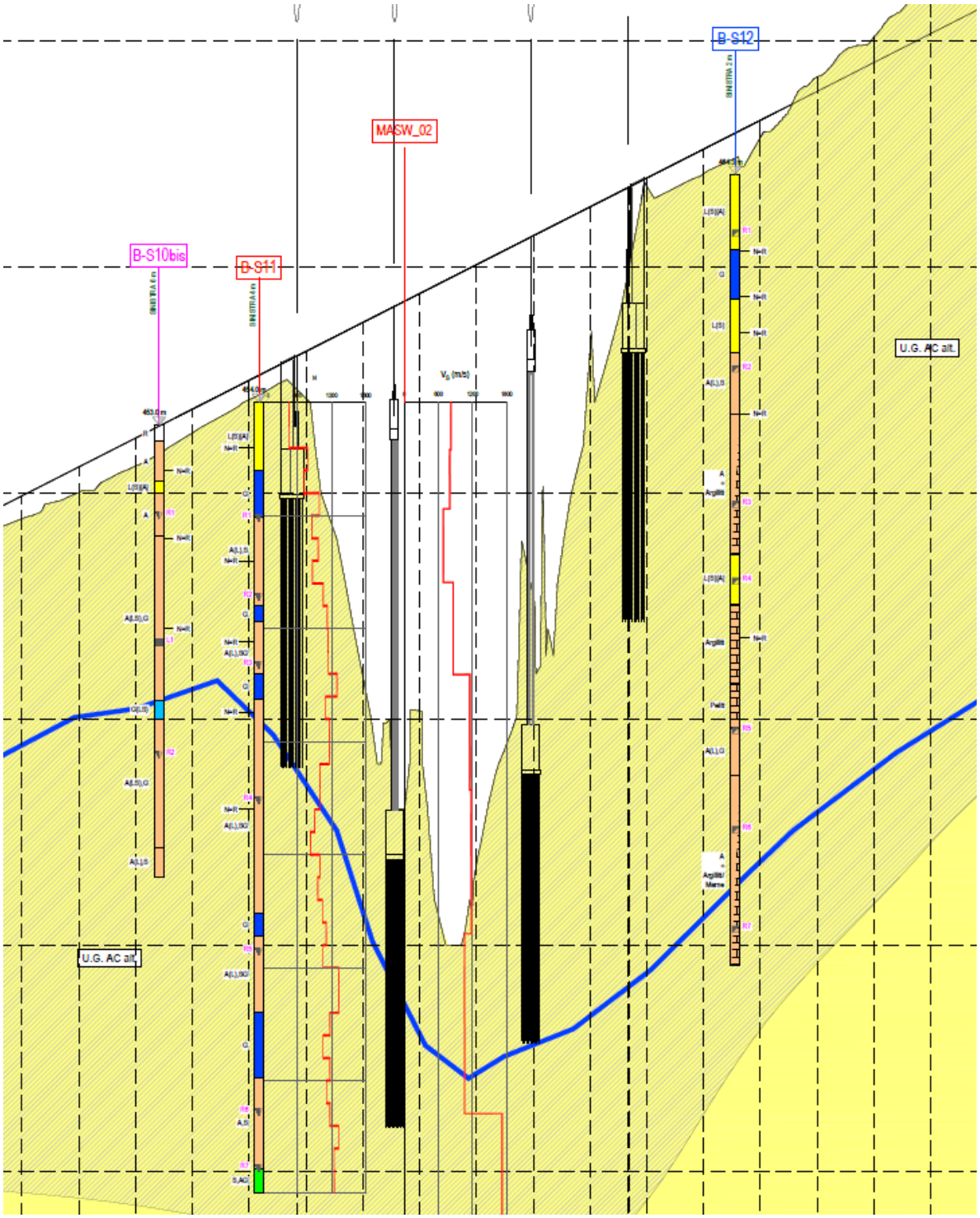

**Figura 1.2 Prospetto longitudinale e sezioni trasversali**

L'impalcato è costituito da una soletta in c.a. composta di lastre predalles e calcestruzzo gettato in opera per uno spessore complessivo pari a 25+7cm, resa collaborante con le travi principali per mezzo di connettori tipo Nelson; sono previsti, inoltre, dei controventi orizzontali (*attivi solo nella fase di varo della carpenteria metallica*) a livello di intradosso delle piattabande superiori delle travi principali.
Infine, l'impalcato è completato dalle opere di finitura e sicurezza quali binder, tappeto di usura e barriere del tipo H3 BP W5 ancorate su appositi cordoli laterali gettati sempre in opera.
Le spalle e le pèile sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera e sono fondate su micropali di diametro Ø300mm.
Per quanto riguarda, invece, lo schema degli appoggi, al fine di limitare le azioni sismiche trasferite dall'impalcato alle sottostrutture, si è previsto l'utilizzo di isolatori elastomerici ad alto smorzamento viscoso equivalente.

## 2. CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Per le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in sito si è fatto riferimento al seguente modello geotecnico.

Arenaria alterata (valori minimi a favore di sicurezza)



# LEGENDA

## UNITA' GEOTECNICHE

| | | | |
|---|---|---|---|
| U.G. R | UNITA' GEOTECNICA RIPORTI | U.G. FN | UNITA' GEOTECNICA FRANE |
| U.G. LS | UNITA' GEOTECNICA LIMI SABBIOSI | U.G. GS | UNITA' GEOTECNICA GHIAIE SABBIOSE |
| U.G. MS | UNITA' GEOTECNICA MARNE DI SAN POLO (GSI=38÷40, $\sigma_c$=7÷10) | U.G. MS alt | UNITA' GEOTECNICA MARNE DI SAN POLO ALTERATA |
| U.G. AC | UNITA' GEOTECNICA ARENARIE DEL CERVAROLA (GSI=35÷40, $\sigma_c$=7÷10) | U.G. AC alt | UNITA' GEOTECNICA ARENARIE DEL CERVAROLA ALTERATA |

| | Unità geotecnica | Unità geologica | γ/γ' | Variabilità parametri | | | Valori caratteristici | | | $q_s$ per micropali tipo IGU | $V_s$ | $G_0$ | ν | Valori di deformabilità di riferimento | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | φ' | c' | $c_u$ | φ'$_k$ | c'$_k$ | $c_{u\,k}$ | | | | | $M_{fond.}$ Dir. | $E_{fond.}$ Dir. | $E_{fond.}$ Prof. | $E_{substr}$ |
| | | | (kN/m$^3$) | (°) | (kPa) | (kPa) | (°) | (kPa) | (kPa) | (kPa) | (m/s) | (MPa) | (-) | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (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 qs= s = 200 Kpa = 0.2 Mpa di AC alterato.
Per Klaterale del micropalo si è assunto:
Klat = Kvert/10 ≅ 50 MN/mc
Kvert=Nsle / Dz / A ≅ 547 MN/mc

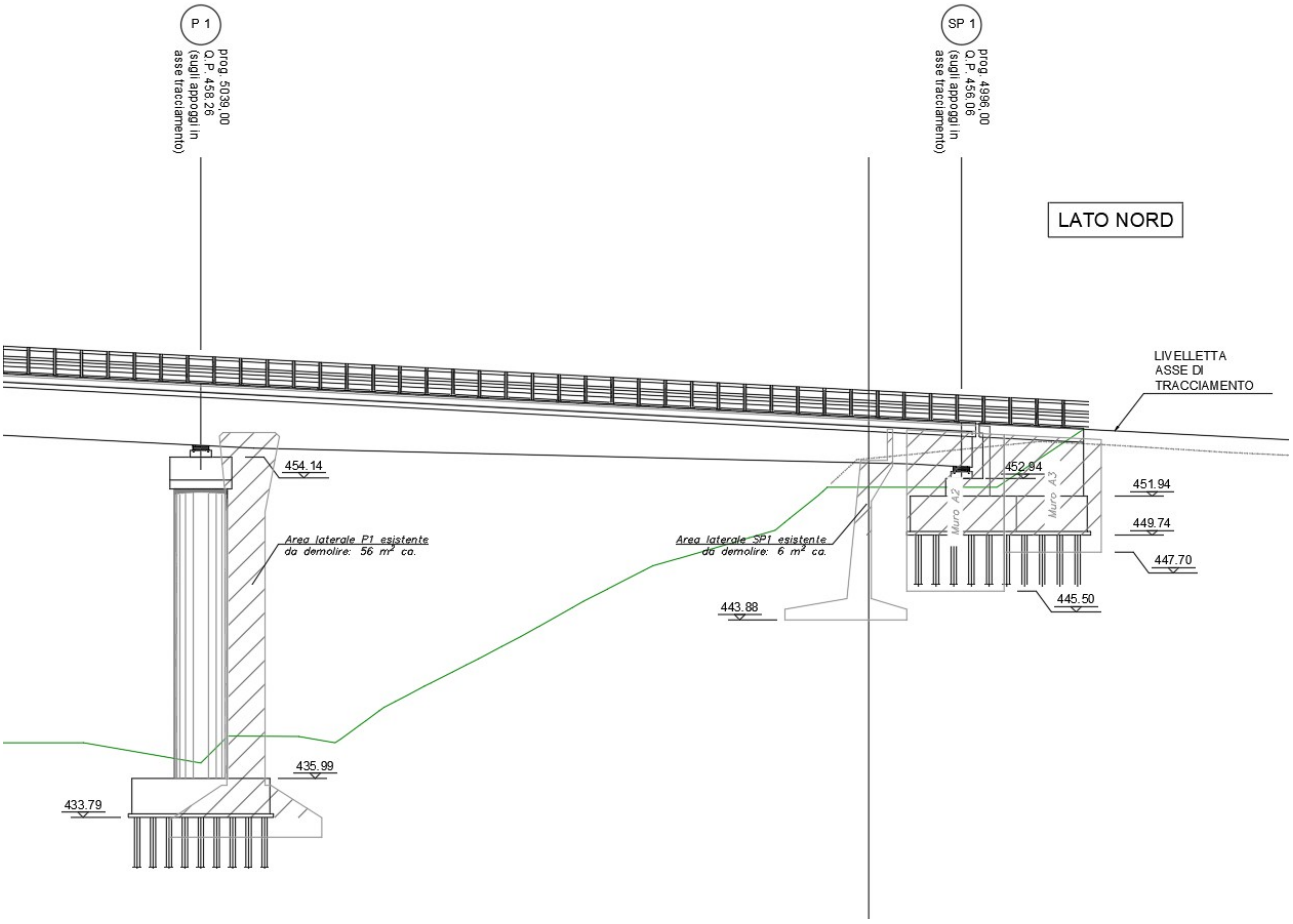
Per il calcolo delle spinte orizzontali e delle pressioni verticali agenti sulle sottostrutture, si è considerato:

- $\phi$'=25°
- c'= 0 kPa
- $\gamma$ = 19 kN/m$^3$

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 lavorazione 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 spalle e pile si adottano micropali più lunghi per compensare l'attraversamento di circa 3.00 m del plinto esistente (in corrispondenza delle fondazioni esistenti), quindi di lunghezza totale 15 m (12+3m):



## 3. VERIFICA DI PORTANZA DEL PALO DI FONDAZIONE

Si effettua la verifica di portanza del micropalo di fondazione ϕ300mm, L=12m, armato con un tubo Ø219 sp.10 maggiormente caricato.

### 3.1. PALO FONDAZIONE SPALLE

Per le spalle Il valore massimo dello sforzo normale di compressione risulta:

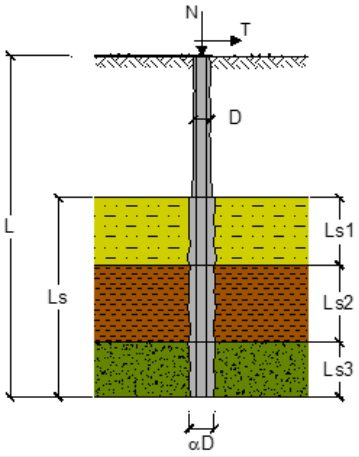
$N_{min}$ = 377.4kN COMB. SLU $N_{min}$ = 299.1 kN COMB. SLV

Facendo riferimento ai parametri dei terreni illustrati al cap.4 di questa relazione, si ottiene:

**SLU**

CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO

OPERA: 581_Ver_Micropali_D300_VI05_SLU_v1




DATI DI INPUT:

*Sollecitazioni Agenti:*

| | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|---|---|---|---|
| N (kN) | 279.56 | 0.00 | 377.40 |
| T (kN) | 35.11 | 0.00 | 47.40 |

| coefficienti parziali | | | azioni | | resistenza laterale | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Metodo di calcolo | | | permanenti $\gamma_G$ | variabili $\gamma_Q$ | $\gamma_s$ | $\gamma_{s\,traz}$ |
| 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. ○ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| $\xi_4$ | 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 | IN P 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 $\gamma_M$ 1.05

Tensione ammissibile dell'acciaio ($\sigma_{lim}$): 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*** $Ql = \Sigma_i \pi * Ds_i * s_i * ls_i$

| *Tipo di Terreno* | *Spessore $ls_i$ (m)* | *$\alpha$ (-)* | *$Ds_i = \alpha * D$ (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)* *Ql =* 964.17 *(kN)*

***Capacità portante di punta*** *Qp = %Punta*Ql* (consigliato 10-15%)

*% Punta* 0% *Qp =* 0.00 *(kN)*

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

*Qlim = Qb + Ql*

*Qlim =* **964.17** *(kN)*

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

*Fs =* **2.55**

**CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

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

**Pk = 2*(β*Earm*Jarm)$^{0,5}$** ***η = Pk / N (consigliato η> 10)***

***Pk =*** **18197.13** ***(MN)*** ***η =*** **48.22**

**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 = 28.24 (kN m)**

**VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO**

**Acciaio S 355 (Fe 510)**

***Tensioni nel singolo micropalo***

***σ = N/Aarm +/- M/Warm***

***τ = 2*T/Aarm***

$\sigma_{max}$ = 143.42 ***(N/mm²)*** $\sigma_{min}$ = -28.51 ***(N/mm²)***

***τ =*** 14.43 ***(N/mm²)***

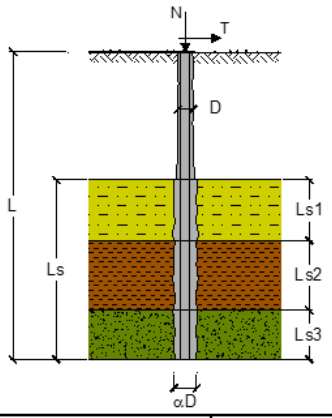
$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\ \tau^2)^{0,5}$

$\sigma_{id}$ = 145.58 ***(N/mm²)*** **verifica soddisfatta**

## SLV

**CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO**

**OPERA:** 581_Ver_Micropali_D300_VI05_SLV_v1




**DATI DI INPUT:**

***Sollecitazioni Agenti:***

| | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|---|---|---|---|
| N (kN) | 299.10 | 0.00 | 299.10 |
| T (kN) | 65.10 | 0.00 | 65.10 |

| coefficienti parziali | | | azioni | | resistenza laterale | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Metodo di calcolo | | | permanenti $\gamma_G$ | variabili $\gamma_Q$ | $\gamma_s$ | $\gamma_{s\,traz}$ |
| 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. ○ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| $\xi_4$ | 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 IPE 180 | ( ) INP INP 160 | ( ) HEA HEA 300 | ( ) HEB HEB 160 | ( ) HEM HEM 200 | (•) Tubi ø219,1 x 10,0 | ( ) ALTRO

## 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 $\gamma_M$ | 1.05 | |
| Tensione ammissibile dell'acciaio ($\sigma_{lim}$): | 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*** $Ql = \Sigma_i \pi * Ds_i * s_i * ls_i$

| *Tipo di Terreno* | *Spessore $ls_i$ (m)* | *$\alpha$ (-)* | *$Ds_i = \alpha * D$ (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)* *Ql =* 964.17 *(kN)*

***Capacità portante di punta*** *Qp = %Punta*Ql* (consigliato 10-15%)

*% Punta* 0% *Qp =* 0.00 *(kN)*

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

*Qlim = Qb + Ql*

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

*Qlim* = 964.17 *(kN)* *Fs* = 3.22

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

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

Pk = 2*(β*Earm*Jarm)$^{0,5}$ $\eta = Pk / N$ *(consigliato $\eta$> 10)*

*Pk* = 18197.13 *(MN)* $\eta$ = 60.84

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 = 38.78 (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

*Tensioni nel singolo micropalo*

$\sigma$ = *N/Aarm +/- M/Warm*

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

$\sigma_{max}$ = 163.60 *(N/mm²)* $\sigma_{min}$ = -72.53 *(N/mm²)*

$\tau$ = 19.82 *(N/mm²)*

$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\ \tau^2)^{0,5}$

$\sigma_{id}$ = 167.16 *(N/mm²)* verifica soddisfatta

La verifica di portanza è, pertanto, soddisfatta.

## 3.2. PALO FONDAZIONE PILA

Per le pile Il valore massimo dello sforzo normale di compressione risulta:

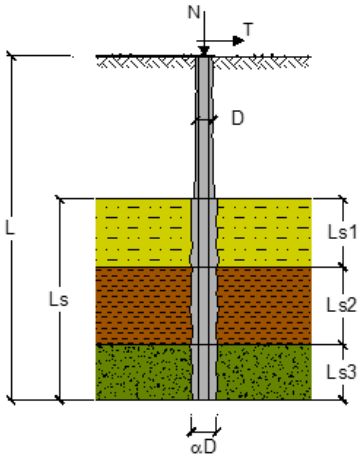
Nmin = 344kN COMB. SLU Nmin = 389 kN COMB. SLV

Facendo riferimento ai parametri dei terreni illustrati al cap.4 di questa relazione, si ottiene:

**SLU**

**CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO**

**OPERA:** 581_Ver_Micropali_D300_VI05_SLU_v1




**DATI DI INPUT:**

***Sollecitazioni Agenti:***

| | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|---|---|---|---|
| N (kN) | 254.81 | 0.00 | 344.00 |
| T (kN) | 7.63 | 0.00 | 10.30 |

| coefficienti parziali | | | azioni | | resistenza laterale | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Metodo di calcolo | | | permanenti $\gamma_G$ | variabili $\gamma_Q$ | $\gamma_s$ | $\gamma_{s\,traz}$ |
| 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. ○ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| $\xi_4$ | 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 | IN P 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 $\gamma_M$ | 1.05 | |
| Tensione ammissibile dell'acciaio ($\sigma_{lim}$): | 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*** $Ql = \Sigma_i \pi * Ds_i * s_i * ls_i$

| *Tipo di Terreno* | *Spessore $ls_i$ (m)* | *$\alpha$ (-)* | *$Ds_i = \alpha * D$ (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)* *Ql =* 964.17 *(kN)*

***Capacità portante di punta*** *Qp = %Punta*Ql* (consigliato 10-15%)

*% Punta* 0% *Qp =* 0.00 *(kN)*

**CARICO LIMITE DEL MICROPALO**

*Qlim = Qb + Ql*

**COEFFICIENTE DI SICUREZZA**

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

*Qlim* = 964.17 *(kN)* *Fs* = 2.80

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

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

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

*Pk* = 18197.13 *(MN)* $\eta$ = 52.90

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 = 6.14 (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

*Tensioni nel singolo micropalo*

$\sigma$ = *N/Aarm +/- M/Warm*

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

$\sigma_{max}$ = 71.05 *(N/mm²)* $\sigma_{min}$ = 33.69 *(N/mm²)*

$\tau$ = 3.14 *(N/mm²)*

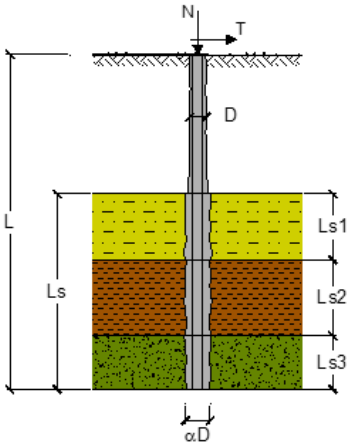
$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\ \tau^2)^{0.5}$

$\sigma_{id}$ = 71.25 *(N/mm²)* **verifica soddisfatta**

## SLV

**CAPACITA' PORTANTE DI UN MICROPALO**

**OPERA:** 581_Ver_Micropali_D300_VI05_SLV_v1




**DATI DI INPUT:**

***Sollecitazioni Agenti:***

| | Permanenti | Temporanee | Calcolo |
|---|---|---|---|
| **N (kN)** | 389.00 | 0.00 | 389.00 |
| **T (kN)** | 15.90 | 0.00 | 15.90 |

| coefficienti parziali | | | azioni | | resistenza laterale | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Metodo di calcolo | | | permanenti $\gamma_G$ | variabili $\gamma_Q$ | $\gamma_s$ | $\gamma_{s\ traz}$ |
| 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. ○ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_3$ | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.40 | 1.00 | 1.00 |
| $\xi_4$ | 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 | IN P 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 $\gamma_M$ | 1.05 | |
| Tensione ammissibile dell'acciaio ($\sigma_{lim}$): | 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*** $Ql = \Sigma_i \pi * Ds_i * s_i * ls_i$

| *Tipo di Terreno* | *Spessore $ls_i$ (m)* | *$\alpha$ (-)* | *$Ds_i = \alpha * D$ (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)* *Ql =* 964.17 *(kN)*

***Capacità portante di punta*** *Qp = %Punta*Ql* (consigliato 10-15%)

*% Punta* 0% *Qp =* 0.00 *(kN)*

CARICO LIMITE DEL MICROPALO

*Qlim = Qb + Ql*

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

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

*Qlim* = 964.17 *(kN)* *Fs* = 2.48

CAPACITA' PORTANTE PER INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO ELASTICO

Reaz. Laterale per unità di lunghezza e di spostam.(β) ($\beta = k^*D_{arm}$): 10.96 ($N/mm^2$)

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

*Pk* = 18197.13 *(MN)* $\eta$ = 46.78

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 = 9.47 (kN m)

VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio S 355 (Fe 510)

*Tensioni nel singolo micropalo*

$\sigma$ = *N/Aarm +/- M/Warm*

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

$\sigma_{max}$ = 88.05 *($N/mm^2$)* $\sigma_{min}$ = 30.38 *($N/mm^2$)*

$\tau$ = 4.84 *($N/mm^2$)*

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

$\sigma_{id}$ = 88.45 *($N/mm^2$)* verifica soddisfatta

La verifica di portanza è, pertanto, soddisfatta.

## 4. 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.