COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

APPALTATORE:

Mandataria

AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI

Mandanti

ATLANTE

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

HUB ENGINEERING
CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.

MANDANTI

HYpro srl

PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

IV08 – PONTE SUL CANALE AL KM 20+539,56

Relazione di calcolo fondazioni

L'Appaltatore		I progettisti (il Direttore della progettazione)	
Ing. Gianguido Babini	A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l. Il Direttore Tecnico (Ing. Gianguido Babini)	Ing. Massimo Facchini	
Data **18/12/2022**	*firma*	*Data* **18/12/2022**	*firma*

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702685
Valido dal 01/09/2023 al 31/08/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I 0 B	0 2	E	Z Z	C L	I V 0 8 0 3	0 0 1	B	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	Ing. M. Calderoni	Dicembre 2022	Ing. V. Calzona	Dicembre 2022	Ing. S. Canale	Dicembre 2022	
B	RdV	Ing. A.Zaza	Luglio 2023	Ing. M. Calderoni	Luglio 2023	Ing. S. Canale	Luglio 2023	Ing. M.Facchini Luglio 2023

File: LI0B02EZZCLIV0803001B.DOCX — n. Elab.

INDICE

1. PREMESSA 2
1.1 IV08 - ponte sul canale al km 20+539,56 nv17 2

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 4
2.1 Normativa di riferimento 4
2.2 Documenti di riferimento 4

3. METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE PALI 5
3.1 Analisi agli stati limite 5
3.2 Metodologia di calcolo della capacita' portante ai carichi verticali 6
3.3 Determinazione della resistenza di progetto a trazione 8
3.4 Metodologia per la determinazione del carico limite trasversale 9
3.5 Carico limite verticale di una palificata 10
3.6 Comportamento del palo soggetto ai carichi orizzontali - Modulo di reazione orizzontale del terreno 11

4. CALCOLO DELLE PALIFICATE DI FONDAZIONE 13
4.1 Pali di fondazione delle spalle: capacita' portante verticale 14
4.2 Pali di fondazione delle spalle: capacita' portante trasversale 21

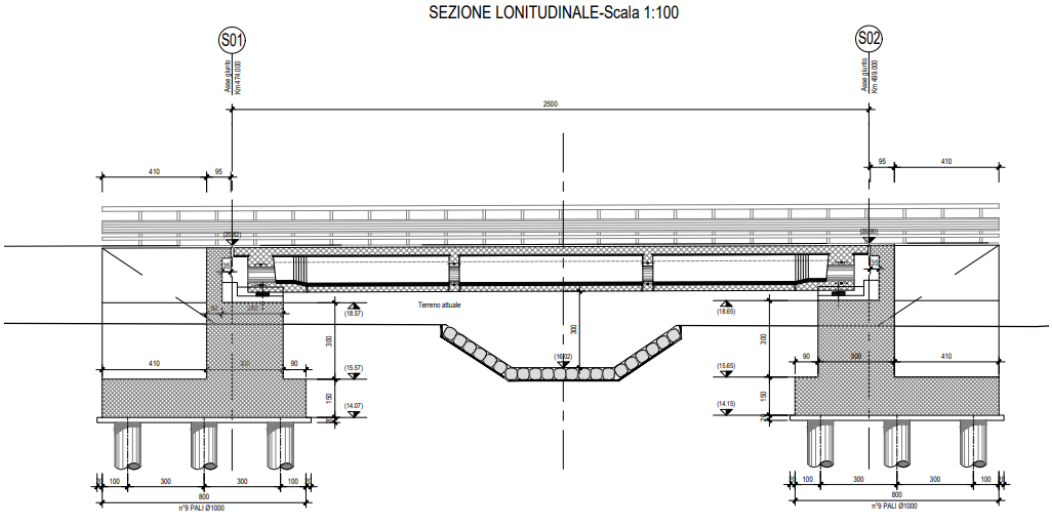
5. VERIFICA STRUTTURALE DEL SINGOLO PALO 22

7. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI ASSIALI DEL SINGOLO PALO E DEL GRUPPO 26

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

1. PREMESSA

Il presente elaborato attiene alla progettazione esecutiva per la realizzazione dei Lotti 2 e 3 Termoli - Ripalta del raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina sulla Linea Pescara – Bari, dal km 0+000 al km 24+900, per uno sviluppo di circa 24,9 km.
In particolare la presente relazione di calcolo fa riferimento al dimensionamento e verifica delle spalle del cavalcavia denominato “IV08 - Ponte sul canale al km 20+539,60” necessario per risolvere una interferenza idraulica dovuta alla viabilità di progetto NV17.



1.1 IV08 - PONTE SUL CANALE AL KM 20+539,56 NV17

L’impalcato è realizzato con un sistema di 3 cassoncini prefabbricati in C.A.P., aventi un interasse di 2,10 m e lunghezza pari a 25.00 m. Le travi principali sono solidarizzate da 4 traversi (2 sull'asse-appoggi e 2 in campata) prefabbricati insieme alle travi.
Ogni trave ha un'altezza costante pari a 1.40 m, una larghezza superiore di 2.10 m ed inferiore di 1.00 m. Lo spessore minimo della parte inferiore della trave è di 0.23 m mentre quello delle anime è di 0.14 m. La soletta di completamento in cemento armato ha uno spessore variabile tra 0.25÷0.30 m.
La precompressione è data da trefoli con sezione da 0,6” (1,39cmq), alcuni opportunamente inguainati.
I trasversi saranno armati in opera con barre tipo Dywidag.
Gli appoggi terminali dell’impalcato sono su spalle con muri in C.A. che poggiano su pali 9 pali di diametro Ø1000.
L’impalcato è vincolato alle sottostrutture mediante appoggi a cerniera sferica con superficie di rotazione rivestita con PTFE (Politetrafluoroetilene).
La spalla SP1 ha una platea rettangolare 8.0m x 8.0m e spessore 1.5m, su pali Ø1000 disposti con interassi pari a 3.00 m sia in direzione longitudinale che in direzione trasversale, di lunghezza pari a 25m. L’elevazione è composta dal muro frontale avente uno spessore di 3.0m e muri di risvolto con doppio spessore lungo l’altezza, pari a 1.0m allo spiccato che si riduce a 50cm sopra l’altezza del muro frontale.
La spalla SP2 ha le stesse caratteristiche geometriche della spalla SP1 precedentemente descritta.
Il sistema di vincolo dell’impalcato prevede il posizionamento degli apparecchi d’appoggio fissi longitudinali sulla spalla SP1, mobili sulla spalla SP2.

Firmato digitalmente da: Fabrizio Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Serial#: [illegible]
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

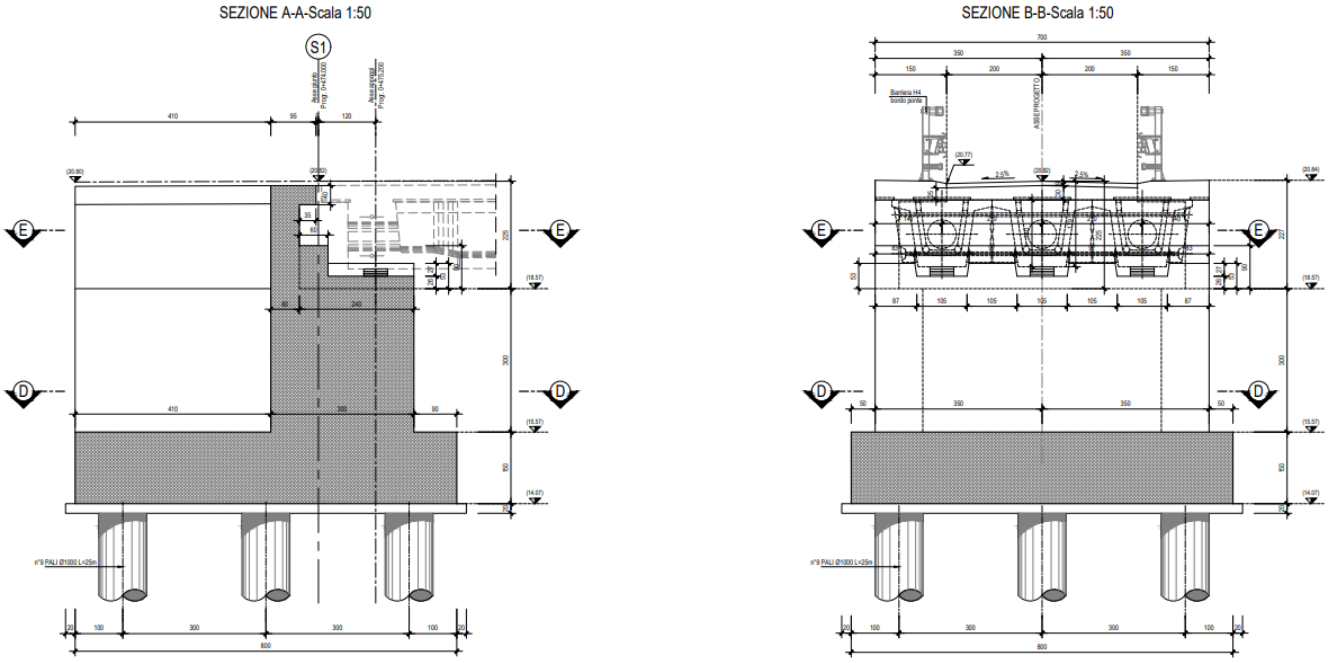


Figura 1-1: Carpenteria spalla

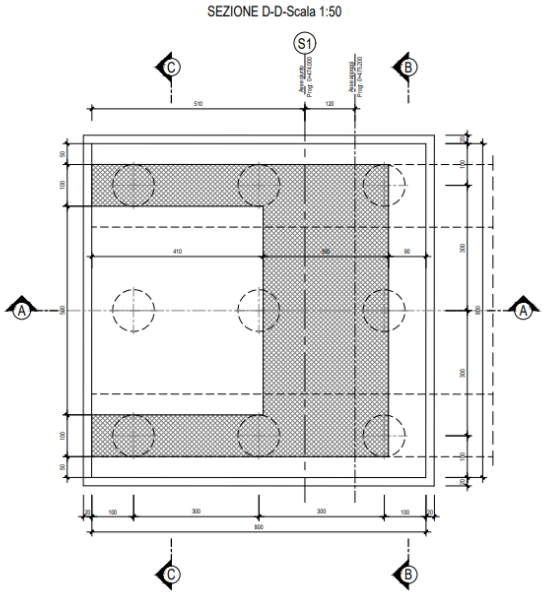


Figura 1-2: Pianta plinto

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

[N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
[N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
[N.3]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.
[N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
[N.5]. RFI DTC SICS MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
[N.6]. Raccomandazioni sui pali di fondazione. Associazione geotecnica italiana. Dicembre, 1984.

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai documenti presentati nell'ambito del progetto esecutivo.

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

3. METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE PALI

Nel presente capitolo si riportano le metodologie di calcolo della capacità portante per i pali trivellati di grande diametro previsti per le opere in progetto.

3.1 ANALISI AGLI STATI LIMITE

Le verifiche di capacità portante dei pali vengono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 14/01/2008. “Norme tecniche per le costruzioni”). La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

Fcd < Rcd

essendo

Rcd = Rk / gR

dove:

Fcd = carico assiale di compressione di progetto;
Rcd = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;
Rk = valore caratteristico della capacità portante limite del palo.

In particolare le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vengono condotte con riferimento ad almeno uno dei due approcci:
Approccio 1:
Combinazione 1: A1 + M1 + R1
Combinazione 2 : A2 + M1 + R2
Approccio 2:
Combinazione 1: A1 + M1 + R3
tenendo conto dei coefficienti parziali di riferimento normativo.

La resistenza di progetto a compressione Rc,d è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza Rc,k i coefficienti parziali γ_R riportati in tabella seguente , relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza Rc,k a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 (vedasi tabella seguente)
alle resistenze di calcolo Rcal; tali fattori sono funzione del numero di verticali d’indagine rappresentative.
Per ogni opera verrà assunto un coefficiente ξ_3 in funzione delle verticali di indagine eseguite.
In condizioni sismiche le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) vanno condotte con riferimento all’Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella successiva tabella e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari all’unità.

Documento firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

$$R_{c,k} = \text{Min}\left\{\frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4}\right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min}\left\{\frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4}\right\}$$

Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

3.2 METODOLOGIA DI CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE AI CARICHI VERTICALI

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

Qd = Qll / FSL + Qbl / FSB - W'p

dove:
Qll = portata laterale limite,
Qbl = portata di base limite,
W'p = peso efficace del palo
FSL = fattore di sicurezza per la portata laterale a compressione
FSB = fattore di sicurezza per la portata di base

Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione: $Qll = \pi \cdot D \cdot \Sigma i\ (\tau i \cdot hi)$

dove:
D = diametro palo,
τi = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,
hi = altezza dello strato i-esimo.

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

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: $\tau i = \beta \cdot \sigma'v \leq \tau_{l,max}$

dove:

- $\sigma'v$ = tensione verticale efficace litostatica,
- $\tau_{l,max}$ = 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), 0.5 (a trazione);
- ϕ = angolo di resistenza al taglio.

Depositi coesivi

Per i terreni coesivi superficiali la tensione tangenziale può essere valutata con la seguente espressione:

$\tau i = \alpha \cdot cu \leq \tau_{l,max}$

Dove:

- cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate
- α = parametro empirico assunto come da AGI:
- $\alpha = 0.90$ per $cu \leq 25$ kPa;
- $\alpha = 0.80$ per $25 \leq cu \leq 50$ kPa;
- $\alpha = 0.60$ per $50 \leq cu \leq 75$ kPa;
- $\alpha = 0.40$ per $cu \geq 75$ kPa.

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

Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite sono state utilizzate le seguenti relazioni:

Qbl = Ap qbl

dove:

Ap = area della base del palo,
qbl = portata limite specifica di base.

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Depositi incoerenti

Nei terreni incoerenti, la pressione di base del palo associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo, viene valutata con la relazione di Berezantzev (1965) indicata nelle Raccomandazioni AGI:

$$qb = Nq^* \cdot \sigma'v \leq qb,lim$$

essendo:

Nq* = coefficiente in funzione dell'angolo di resistenza al taglio del terreno (Raccomandazioni AGI);

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace;

qb,lim = pressione ultima di base massima consigliabile. Nel caso in esame si è fatto riferimento a quanto indicato da Gwidzala,1984, vedasi seguente tabella.

Valori di qblim secondo Gwizdala [1984]

	qb,lim (kPa)
GHIAIE	7300
SABBIE	5800
SABBIE LIMOSE	4300

Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi viene valutata con la seguente relazione:

$$qb = 9 \cdot cu + \sigma v \quad [kPa]$$

dove:

cu = resistenza al taglio non drenata [kPa];

σv = tensione totale verticale.

3.3 DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO A TRAZIONE

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

$$Q_d = Q_{LL} / FS_L + W'_P$$

dove:

Q_{LL} = portata laterale limite (da determinarsi in conformità a quanto già descritto nel precedente paragrafo),

W'_P = peso efficace del palo (alleggerito se sotto falda),

F_{SL} = fattore di sicurezza per la portata laterale a trazione

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

3.4 METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE TRASVERSALE

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.

Condizioni non drenate

Al fine di determinare la resistenza trasversale di calcolo del palo, nella teoria di Broms si adotta un diagramma semplificato con reazione nulla fino a (1.5·d) e quindi costante con la profondità con valore (9·cu·d). Le espressioni analitiche relative ai possibili meccanismi di collasso del sistema palo-terreno sono di seguito riportate:

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;

cu = resistenza non drenata del terreno;

My = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Condizioni drenate

Per un terreno incoerente si assume che la resistenza opposta dal terreno alla traslazione del palo vari linearmente con la profondità con legge:

$$p = 3 \cdot k_P \cdot \gamma \cdot z \cdot d$$

in cui

kp = coefficiente di spinta passiva;

z = profondità dal piano campagna;

γ = è il peso dell'unità di volume del terreno (se sottofalda γ').

Le espressioni analitiche relative ai possibili meccanismi di collasso del sistema palo-terreno sono di seguito riportate:

Palo corto:

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

Palo intermedio:

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

Palo lungo:

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

3.5 CARICO LIMITE VERTICALE DI UNA PALIFICATA

La valutazione del carico limite verticale di una palificata è eseguito come di seguito indicato:

$$R_{d,G} = N \cdot E \cdot R_{d,\ singolo\ palo}$$

La resistenza a carico verticale della palificata è data dal prodotto della resistenza del palo singolo per il numero N di pali del gruppo e per il fattore E di efficienza della palificata.

L'esperienza (Vesic, 1968) ha mostrato che per palificate in terreni incoerenti, l'efficienza risulta non minore dell'unità, quindi si può assumere E = 1 (per terreni incoerenti).

Per palificate in terreni coesivi, invece, l'efficienza risulta minore dell'unità e può essere valutata ad esempio con la formulazione empirica di Converse Labarre, di seguito esplicitata.

$$E = 1 - (\Phi / 90) \cdot [(n - 1) \cdot m + (m - 1) \cdot n] / (m \cdot n)$$

Dove:

E = efficienza della palificata

N = numero di pali per fila

M= numero di file

Φ = arctg (D/i) con D= diametro pali, i = interasse pali.

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

3.6 COMPORTAMENTO DEL PALO SOGGETTO AI CARICHI ORIZZONTALI - MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO

Lo studio dell'interazione tra palo soggetto ai carichi orizzontali ed il terreno viene effettuato ricorrendo alla teoria di Matlock e Reese che si basa sul noto modello di suolo alla Winkler (elastico-lienare), caratterizzato da un modulo di reazione orizzontale del terreno (EMR) definito come il rapporto fra la reazione del terreno per unità di lunghezza del palo (p) ed il corrispondente spostamento orizzontale (y):

$$E_{MR} = p / y \qquad [FL^{-2}]$$

Si osservi che, definito K_W [FL-3] il coefficiente di sottofondo di Winkler, per un palo di diametro D si ha:

$$E_{MR} = K_W \cdot D$$

L'andamento del modulo di reazione orizzontale con la profondità è funzione principalmente del tipo di terreno.

Per i terreni incoerenti si assume in genere una legge di variazione lineare caratterizzata dai seguenti parametri:

$$E_{MR} = E_{MR,0} + k_h \cdot z \qquad [FL^{-2}]$$

dove:

$E_{MR,0}$ = valore del modulo di reazione a testa palo;

kh = gradiente del modulo di reazione del terreno funzione principalmente della Dr;

z = profondità a partire dalla sommità del palo.

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
Actalis Qualified Electronic

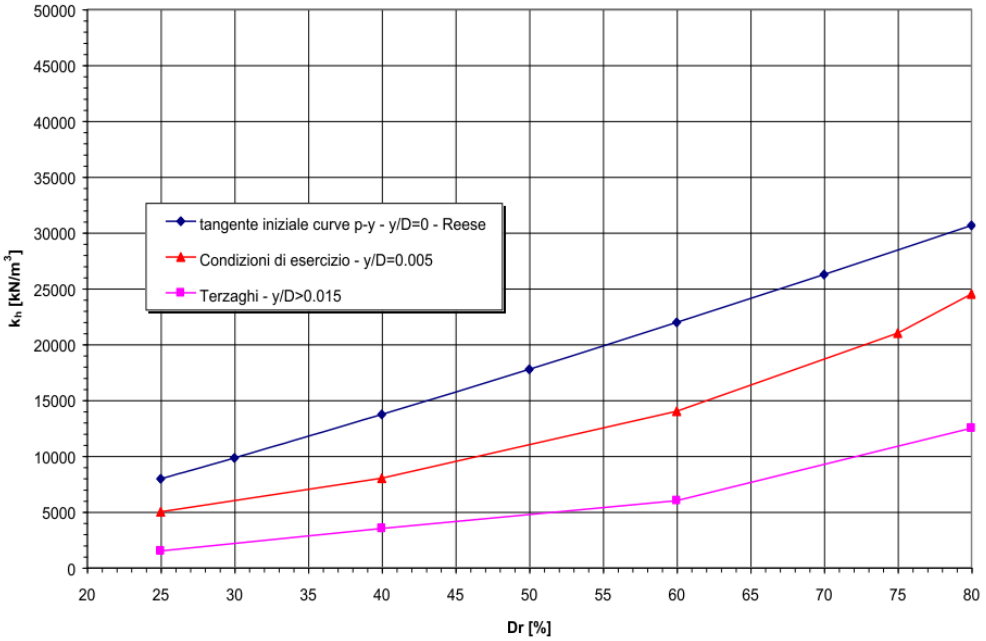
Nella seguente figura si riportano i valori di riferimento del gradiente kh corrispondente a valori secanti del modulo E_{MR} per pali isolati con basse deformazioni (y ≤ 0.005 D).

Per i terreni coesivi si assume in genere una legge del tipo:

$$E_{MR} = \xi \cdot cu, \text{ con } \xi = 300 \div 450,$$

corrispondenti a valori secanti del modulo E_{MR} per pali isolati con basse deformazioni (y ≤ 0.005 D).

Andamento del gradiente del modulo di reazione orizzontale - Terreni incoerenti sotto falda



Per le fondazioni delle opere in esame si considera:

- Per terreni coesivi: ξ= 350, il valore della resistenza al taglio non drenata generalmente è costante per i terreni sovraconsolidati che costituiscono il substrato dell'area, mentre varia con la profondità per i terreni coesivi da normal a poco consolidati che costituiscono le coperture alluvionali.
- Per terreni incoerenti: k_h = 8000 kN/m3

Firmato digitalmente
Facchini Massimo
Firmato il
14/03/2024 10:25
Seriale Certificato:
2702585
Valido dal 01/09/2023 al
01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic
Signature CA

4. CALCOLO DELLE PALIFICATE DI FONDAZIONE

Nel presente capitolo si riporta il calcolo della capacità portante per l'opera d'arte in esame.

La stratigrafia di riferimento è desunta dal profilo stratigrafico longitudinale del progetto definitivo.

Per il livello di falda di progetto da considerare per il dimensionamento delle opere definitive (lungo termine), in linea generale si è assunto il massimo rilevato da letture piezometriche.

Unità geotecnica	Profondità [m]	γ [kN/m³]	Nspt [-]	φ' [°]	c' [kPa]	cu [kPa]	Eo [MPa]
ba2	Da 0.0 a 2.0	19.0	-	33÷35	0	-	150÷200
CGC1g	Da 2.0 a 4.0	19.0	100	39	0	-	200÷600
CGC1s	Da 4.0 a 13.5	19.0	44÷100	35÷37	0	-	400÷800
CGC1g	Da 13.5 a 17.0	19.0	100	39	0	-	200÷600
CGC1s	Da 17.0 a 22.0	19.0	44÷100	35÷37	0	-	400÷800
CGC2	Da 22.0 a 24.0	20.0	58÷100	26	10	100÷200	400÷600
SSR	Da 24.0 a 30.0	19.5	-	35	0	-	600÷800

Dove:
γ = peso di volume naturale
Nspt = n. di colpi ogni 30cm da prova SPT
φ' = angolo di resistenza al taglio
c' = coesione drenata
cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate
Eo = modulo di deformazione elastico iniziale (a piccole deformazioni)

Tabella 4-1 stratigrafia di progetto per le fondazioni delle spalle

La capacità portante per le fondazioni del viadotto è stata valutata per pali di grande diametro D=1000 mm considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il: 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

- N. 8 verticali di indagine (tutti i sondaggi della zona Campomarino utilizzati per la caratterizzazione geotecnica), da cui ξ3 = 1.7;

Quindi per la verifica di capacità portante del palo si dovranno verificare le seguenti due condizioni:

• Nmax,SLU < Qd, la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo (riportata nelle seguenti tabelle);

• Nmax,SLE < Qll / 1.25 la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo (Qll, riportata nelle seguenti tabelle) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Inoltre si è considerato:

- testa palo a 2.5 m di profondità da p.c.;

- falda a circa 10 m p.c. (+3.41 m s.l.m.)

4.1 PALI DI FONDAZIONE DELLE SPALLE: CAPACITA' PORTANTE VERTICALE

Sulla base delle formulazioni sopra riportate, segue la curva di portanza del palo e viene verificata la portanza sul singolo palo maggiormente sollecitato e quella globale della palificata.

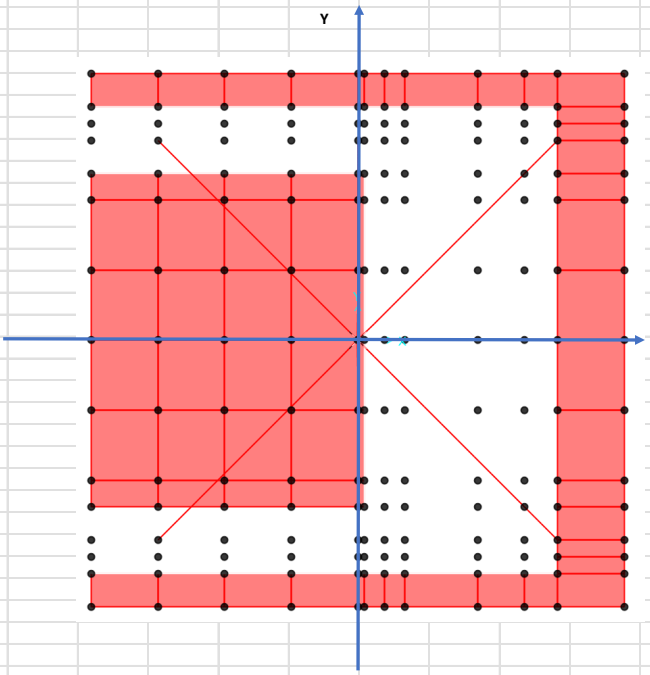
Le condizioni stratigrafiche e di falda da t.p. considerare nella verifica sono quelle riportate nel paragrafo precedente con riferimento alla relazione geotecnica di progetto.

Di seguito invece le sollecitazioni di calcolo all'estradosso fondazione e sul singolo palo, desunte dalle analisi strutturali:

SPALLA SP01 FISSA

TABLE: Base Reactions

OutputCase	CaseType	FX	FY	FZ	MX	MY	IMZ
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
STR01	Combination	1854	0	-13086	0	6521	0
STR02	Combination	2008	0	-14553	-484	10308	23
STR03	Combination	1963	109	-14553	-962	10210	-270
STR04	Combination	2008	167	-14553	-1753	10306	250
STR05	Combination	1963	276	-14553	-2231	10208	-43
STR06	Combination	2355	0	-13706	-2	9960	23
STR07	Combination	1963	605	-13706	-2768	8260	-1509
STR08	Combination	2309	621	-13706	-2845	9862	-1377
STR09	Combination	2355	167	-13705	-1271	9958	250
STR10	Combination	1963	771	-13705	-4037	8258	-1282
STR11	Combination	2309	788	-13705	-4113	9860	-1150
STR12	Combination	2547	0	-14161	-363	12203	17
STR13	Combination	2513	82	-14161	-722	12129	-203
STR14	Combination	2547	167	-14160	-1632	12201	244
STR15	Combination	2513	249	-14160	-1990	12127	24
SVL01	Combination	5312	802	-10381	-3253	21880	-376
SLV02	Combination	2072	2669	-10109	-10661	9693	-1179
SLV03	Combination	5363	802	-10256	-3182	21828	-376
SLV04	Combination	2124	2669	-9983	-10589	9642	-1179
R1	Combination	1373	0	-9694	0	4831	0
R2	Combination	1488	0	-10780	-359	7636	17
R3	Combination	1454	81	-10780	-713	7563	-200
R4	Combination	1488	111	-10780	-1205	7634	168
R5	Combination	1454	192	-10780	-1559	7562	-49
R6	Combination	1745	0	-10152	-2	7378	17
R7	Combination	1454	448	-10152	-2051	6119	-1118
R8	Combination	1711	460	-10152	-2107	7305	-1020
R9	Combination	1745	111	-10152	-848	7376	168
R10	Combination	1454	559	-10152	-2896	6117	-967
R11	Combination	1711	571	-10152	-2953	7304	-869
R12	Combination	1878	0	-10408	-242	8829	11
R13	Combination	1856	55	-10408	-481	8780	-135
R14	Combination	1878	111	-10408	-1088	8828	163
R15	Combination	1856	166	-10408	-1327	8778	16



Le azioni si intendono nel baricentro della palificata.

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

l'inviluppo reazioni vincolari								N.max	N.min	Tmax
C.C.	n°Nodo	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz			
		(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
SVL01		5.312	802	10.381	-3.253	21.880	-376	2.550	-243	597
SLV02		2.072	2.669	10.109	-10.661	9.693	-1.179	2.254	-8	378
SLV03		5.363	802	10.256	-3.182	21.828	-376	2.529	-250	603
SLV04		2.124	2.669	9.983	-10.589	9.642	-1.179	2.233	-15	382
		Max Palificata		10.381			Max	2.550		603
							Min		-250	378

STR = combinazioni SLU condizione STR
SLV = combinazioni sismiche
R = combinazioni SLE Rare

l'inviluppo reazioni vincolari

C.C.	n°Nodo	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz	N.max	N.min	Tmax
		(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
STR01		1.854	- 0	13.086	- 0	6.521	0	1.816	1.092	206
STR02		2.008	- 0	14.553	- 484	10.308	23	2.217	1.017	223
STR03		1.963	109	14.553	- 962	10.210	- 270	2.238	996	219
STR04		2.008	167	14.553	- 1.753	10.306	250	2.287	947	224
STR05		1.963	276	14.553	- 2.231	10.208	- 43	2.308	926	220
STR06		2.355	- 0	13.706	- 2	9.960	23	2.076	969	262
STR07		1.963	605	13.706	- 2.768	8.260	- 1.509	2.136	910	236
STR08		2.309	621	13.706	- 2.845	9.862	- 1.377	2.229	817	271
STR09		2.355	167	13.705	- 1.271	9.958	250	2.147	899	263
STR10		1.963	771	13.705	- 4.037	8.258	- 1.282	2.206	840	240
STR11		2.309	788	13.705	- 4.113	9.860	- 1.150	2.299	746	275
STR12		2.547	- 0	14.161	- 363	12.203	17	2.272	875	283
STR13		2.513	82	14.161	- 722	12.129	- 203	2.287	860	280
STR14		2.547	167	14.160	- 1.632	12.201	244	2.342	805	284
STR15		2.513	249	14.160	- 1.990	12.127	24	2.358	789	281
		Max Palificata		14.553			Max	2.358		284
							Min		746	206

l'inviluppo reazioni vincolari

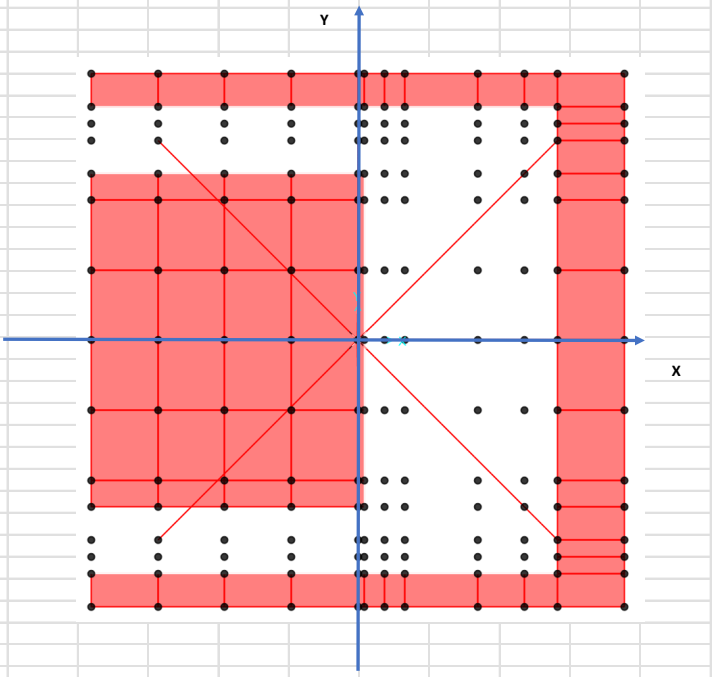
C.C.	n°Nodo	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz	N.max	N.min	Tmax
		(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
R1		1.373	- 0	9.694	- 0	4.831	0	1.345	809	153
R2		1.488	- 0	10.780	- 359	7.636	17	1.642	754	165
R3		1.454	81	10.780	- 713	7.563	- 200	1.658	738	162
R4		1.488	111	10.780	- 1.205	7.634	168	1.689	707	166
R5		1.454	192	10.780	- 1.559	7.562	- 49	1.704	691	163
R6		1.745	- 0	10.152	- 2	7.378	17	1.538	718	194
R7		1.454	448	10.152	- 2.051	6.119	- 1.118	1.582	674	175
R8		1.711	460	10.152	- 2.107	7.305	- 1.020	1.651	605	201
R9		1.745	111	10.152	- 848	7.376	168	1.585	671	194
R10		1.454	559	10.152	- 2.896	6.117	- 967	1.629	627	177
R11		1.711	571	10.152	- 2.953	7.304	- 869	1.698	558	203
R12		1.878	- 0	10.408	- 242	8.829	11	1.660	653	209
R13		1.856	55	10.408	- 481	8.780	- 135	1.671	642	206
R14		1.878	111	10.408	- 1.088	8.828	163	1.707	606	209
R15		1.856	166	10.408	- 1.327	8.778	16	1.718	595	207
		Max Palificata		10.780			Max	1.718		209
							Min		558	153

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

SPALLA SP02 MOBILE

TABLE: Base Reactions

OutputCase	CaseType	FX	FY	FZ	MX	MY	IMZ
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
STR01	Combination	1854	0	-13086	0	6521	0
STR02	Combination	2008	0	-14553	-484	10308	23
STR03	Combination	1963	109	-14553	-962	10210	-270
STR04	Combination	2008	167	-14553	-1753	10306	250
STR05	Combination	1963	276	-14553	-2231	10208	-43
STR06	Combination	2355	0	-13706	-2	9960	23
STR07	Combination	1963	605	-13706	-2768	8260	-1509
STR08	Combination	2309	621	-13706	-2845	9862	-1377
STR09	Combination	2355	167	-13705	-1271	9958	250
STR10	Combination	1963	771	-13705	-4037	8258	-1282
STR11	Combination	2309	788	-13705	-4113	9860	-1150
STR12	Combination	1970	0	-14161	-363	9303	17
STR13	Combination	1935	82	-14161	-722	9229	-203
STR14	Combination	1970	167	-14160	-1632	9301	244
STR15	Combination	1935	249	-14160	-1990	9227	24
SVL01	Combination	4053	801	-10245	-3248	15247	-378
SLV02	Combination	1695	2669	-10068	-10659	7703	-1180
SLV03	Combination	4104	801	-10120	-3177	15195	-378
SLV04	Combination	1746	2669	-9943	-10588	7652	-1180
R1	Combination	1373	0	-9694	0	4831	0
R2	Combination	1488	0	-10780	-359	7636	17
R3	Combination	1454	81	-10780	-713	7563	-200
R4	Combination	1488	111	-10780	-1205	7634	168
R5	Combination	1454	192	-10780	-1559	7562	-49
R6	Combination	1745	0	-10152	-2	7378	17
R7	Combination	1454	448	-10152	-2051	6119	-1118
R8	Combination	1711	460	-10152	-2107	7305	-1020
R9	Combination	1745	111	-10152	-848	7376	168
R10	Combination	1454	559	-10152	-2896	6117	-967
R11	Combination	1711	571	-10152	-2953	7304	-869
R12	Combination	1450	0	-10408	-242	6680	11
R13	Combination	1428	55	-10408	-481	6631	-135
R14	Combination	1450	111	-10408	-1088	6679	163
R15	Combination	1428	166	-10408	-1327	6630	16



Le azioni si intendono nel baricentro della palificata.

l'inviluppo reazioni vincolari

C.C.	n°Nodo	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz	N.max	N.min	Tmax
		(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
SVL01		4.053	801	10.245	- 3.248	15.247	- 378	2.166	111	459
SLV02		1.695	2.669	10.068	- 10.659	7.703	- 1.180	2.139	99	354
SLV03		4.104	801	10.120	- 3.177	15.195	- 378	2.145	104	465
SLV04		1.746	2.669	9.943	- 10.588	7.652	- 1.180	2.118	91	357
		Max Palificata		10.245			Max	2.166		465
							Min		91	354

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

STR = combinazioni SLU condizione STR
SLV = combinazioni sismiche
R = combinazioni SLE Rare

l'inviluppo reazioni vincolari

C.C.	n°Nodo	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz	N.max	N.min	Tmax
		(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
STR01		1.854	- 0	13.086	- 0	6.521	0	1.816	1.092	206
STR02		2.008	- 0	14.553	- 484	10.308	23	2.217	1.017	223
STR03		1.963	109	14.553	- 962	10.210	- 270	2.238	996	219
STR04		2.008	167	14.553	- 1.753	10.306	250	2.287	947	224
STR05		1.963	276	14.553	- 2.231	10.208	- 43	2.308	926	220
STR06		2.355	- 0	13.706	- 2	9.960	23	2.076	969	262
STR07		1.963	605	13.706	- 2.768	8.260	- 1.509	2.136	910	236
STR08		2.309	621	13.706	- 2.845	9.862	- 1.377	2.229	817	271
STR09		2.355	167	13.705	- 1.271	9.958	250	2.147	899	263
STR10		1.963	771	13.705	- 4.037	8.258	- 1.282	2.206	840	240
STR11		2.309	788	13.705	- 4.113	9.860	- 1.150	2.299	746	275
STR12		1.970	- 0	14.161	- 363	9.303	17	2.110	1.036	219
STR13		1.935	82	14.161	- 722	9.229	- 203	2.126	1.021	215
STR14		1.970	167	14.160	- 1.632	9.301	244	2.181	966	220
STR15		1.935	249	14.160	- 1.990	9.227	24	2.197	950	217
		Max Palificata		14.553			Max	2.308		275
							Min		746	206

l'inviluppo reazioni vincolari

C.C.	n°Nodo	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz	N.max	N.min	Tmax
		(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
R1		1.373	- 0	9.694	- 0	4.831	0	1.345	809	153
R2		1.488	- 0	10.780	- 359	7.636	17	1.642	754	165
R3		1.454	81	10.780	- 713	7.563	- 200	1.658	738	162
R4		1.488	111	10.780	- 1.205	7.634	168	1.689	707	166
R5		1.454	192	10.780	- 1.559	7.562	- 49	1.704	691	163
R6		1.745	- 0	10.152	- 2	7.378	17	1.538	718	194
R7		1.454	448	10.152	- 2.051	6.119	- 1.118	1.582	674	175
R8		1.711	460	10.152	- 2.107	7.305	- 1.020	1.651	605	201
R9		1.745	111	10.152	- 848	7.376	168	1.585	671	194
R10		1.454	559	10.152	- 2.896	6.117	- 967	1.629	627	177
R11		1.711	571	10.152	- 2.953	7.304	- 869	1.698	558	203
R12		1.450	- 0	10.408	- 242	6.680	11	1.541	772	161
R13		1.428	55	10.408	- 481	6.631	- 135	1.552	761	159
R14		1.450	111	10.408	- 1.088	6.679	163	1.588	725	162
R15		1.428	166	10.408	- 1.327	6.630	16	1.598	714	160
		Max Palificata		10.780			Max	1.704		203
							Min		558	153

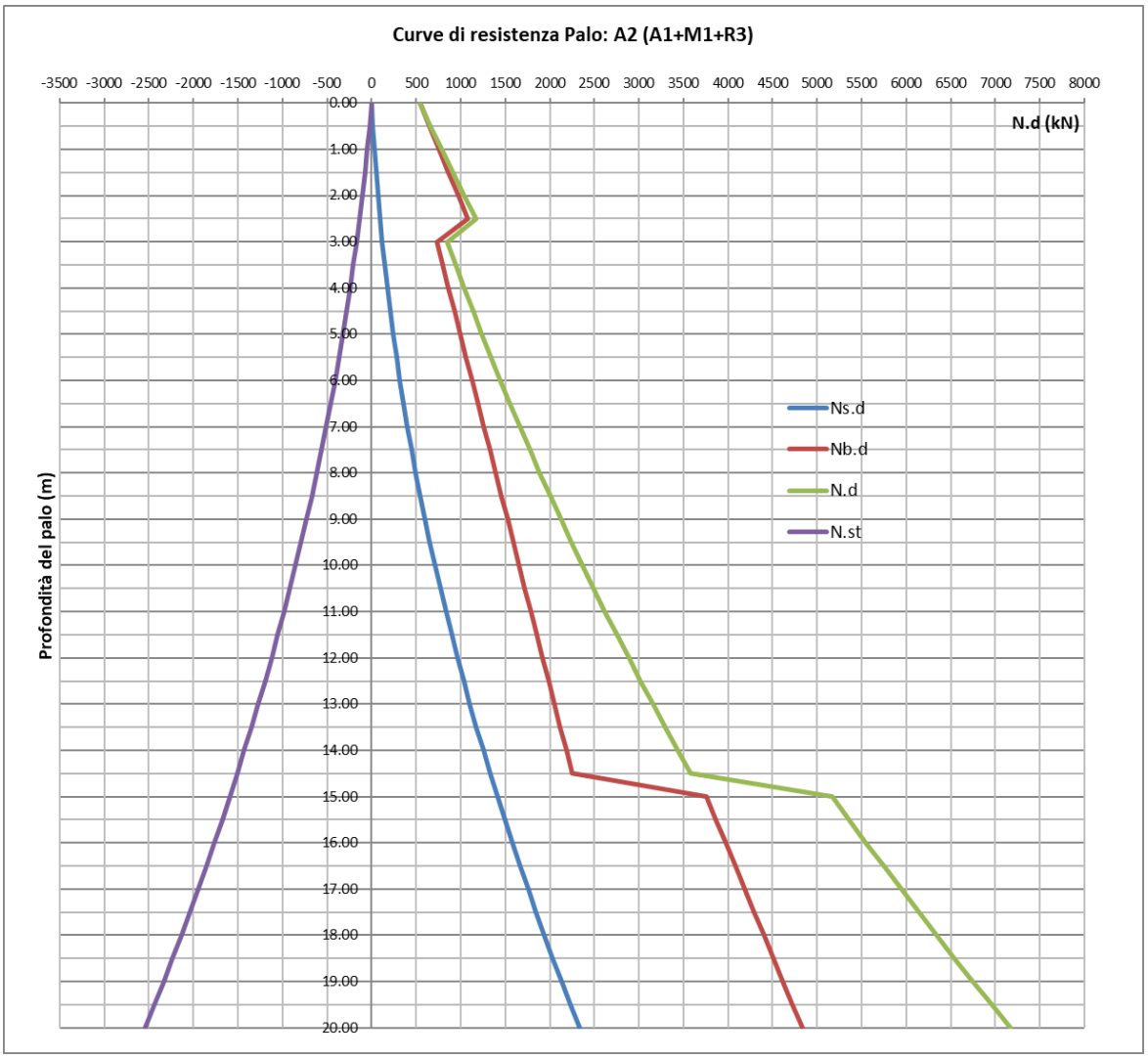
Di seguito si riportano la tabella riepilogativa delle resistenze e le curve di portanza di design.

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

altezza terreno p.c. - testa palo 2.5 m

L	Unità geotecnica	γt	ϕ'	σ'vz	γw	u	σ'vz	$\phi_{,punta}=\phi'-4$	Nq	Ns.lim	Nb.lim	N.lim	Ns.d	Nb.d	N.d	N.st
(m)		(kN/mc)	(°)	(kN/mq)	(kN/mc)	(kN/mq)	(kN/mq)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
-	CGC1g	19.00	39	47.50	-	-	47.50	35.00	33.30	-	1,242.16	1,242.16	-	541.25	541.25	-
0.50	CGC1g	19.00	39	57.00	-	-	57.00	35.00	33.30	26.86	1,488.23	1,515.09	13.74	648.47	662.21	- 22.46
1.00	CGC1g	19.00	39	66.50	-	-	66.50	35.00	33.30	62.67	1,734.31	1,796.98	32.06	755.69	787.75	- 49.13
1.50	CGC1g	19.00	39	76.00	-	-	76.00	35.00	33.30	98.49	1,980.38	2,078.87	50.38	862.91	913.29	- 75.80
2.00	CGC1g	19.00	39	85.50	-	-	85.50	35.00	33.30	138.78	2,226.46	2,365.24	70.99	970.13	1,041.12	- 104.58
2.50	CGC1g	19.00	39	95.00	-	-	95.00	35.00	33.30	183.55	2,472.53	2,656.08	93.89	1,077.36	1,171.24	- 135.46
3.00	CGC1s	19.00	35	104.50	-	-	104.50	31.00	20.63	232.79	1,679.12	1,911.91	119.08	731.64	850.72	- 168.45
3.50	CGC1s	19.00	35	114.00	-	-	114.00	31.00	20.63	286.51	1,830.69	2,117.21	146.55	797.69	944.24	- 203.55
4.00	CGC1s	19.00	35	123.50	-	-	123.50	31.00	20.63	344.71	1,982.27	2,326.98	176.32	863.73	1,040.06	- 240.76
4.50	CGC1s	19.00	35	133.00	-	-	133.00	31.00	20.63	407.39	2,133.84	2,541.23	208.38	929.78	1,138.16	- 280.07
5.00	CGC1s	19.00	35	142.50	-	-	142.50	31.00	20.63	474.54	2,285.42	2,759.96	242.73	995.83	1,238.56	- 321.49
5.50	CGC1s	19.00	35	152.00	-	-	152.00	31.00	20.63	546.17	2,437.00	2,983.16	279.37	1,061.87	1,341.24	- 365.01
6.00	CGC1s	19.00	35	161.50	-	-	161.50	31.00	20.63	622.27	2,588.57	3,210.84	318.30	1,127.92	1,446.22	- 410.64
6.50	CGC1s	19.00	35	171.00	-	-	171.00	31.00	20.63	702.85	2,740.15	3,443.00	359.52	1,193.96	1,553.48	- 458.38
7.00	CGC1s	19.00	35	180.50	-	-	180.50	31.00	20.63	787.91	2,891.72	3,679.64	403.02	1,260.01	1,663.03	- 508.23
7.50	CGC1s	19.00	35	190.00	-	-	190.00	31.00	20.63	877.45	3,043.30	3,920.75	448.82	1,326.06	1,774.88	- 560.18
8.00	CGC1s	19.00	35	199.50	-	-	199.50	31.00	20.63	971.46	3,194.88	4,166.34	496.91	1,392.10	1,889.01	- 614.24
8.50	CGC1s	19.00	35	209.00	-	-	209.00	31.00	20.63	1,069.95	3,346.45	4,416.40	547.29	1,458.15	2,005.44	- 670.40
9.00	CGC1s	19.00	35	218.50	-	-	218.50	31.00	20.63	1,172.91	3,498.03	4,670.94	599.96	1,524.20	2,124.15	- 728.67
9.50	CGC1s	19.00	35	228.00	-	-	228.00	31.00	20.63	1,280.36	3,649.60	4,929.96	654.91	1,590.24	2,245.16	- 789.05
10.00	CGC1s	19.00	35	237.50	-	-	237.50	31.00	20.63	1,392.28	3,801.18	5,193.46	712.16	1,656.29	2,368.45	- 851.54
10.50	CGC1s	19.00	35	247.00	-	-	247.00	31.00	20.63	1,508.67	3,952.76	5,461.43	771.70	1,722.33	2,494.03	- 916.13
11.00	CGC1s	19.00	35	256.50	-	-	256.50	31.00	20.63	1,629.54	4,104.33	5,733.88	833.53	1,788.38	2,621.91	- 982.83
11.50	CGC1s	19.00	35	266.00	-	-	266.00	31.00	20.63	1,754.89	4,255.91	6,010.80	897.64	1,854.43	2,752.07	-1,051.63
12.00	CGC1s	19.00	35	275.50	-	-	275.50	31.00	20.63	1,884.72	4,407.48	6,292.20	964.05	1,920.47	2,884.52	-1,122.55
12.50	CGC1s	19.00	35	285.00	-	-	285.00	31.00	20.63	2,019.02	4,559.06	6,578.08	1,032.75	1,986.52	3,019.27	-1,195.57
13.00	CGC1s	19.00	35	294.50	-	-	294.50	31.00	20.63	2,157.80	4,710.64	6,868.44	1,103.74	2,052.56	3,156.30	-1,270.69
13.50	CGC1s	19.00	35	304.00	-	-	304.00	31.00	20.63	2,301.06	4,862.21	7,163.27	1,177.01	2,118.61	3,295.62	-1,347.92
14.00	CGC1s	19.00	35	313.50	-	-	313.50	31.00	20.63	2,448.79	5,013.79	7,462.58	1,252.58	2,184.66	3,437.24	-1,427.26
14.50	CGC1s	19.00	35	323.00	-	-	323.00	31.00	20.63	2,601.00	5,165.36	7,766.37	1,330.44	2,250.70	3,581.14	-1,508.71
15.00	CGC1g	19.00	39	332.50	-	-	332.50	35.00	33.30	2,757.69	8,624.42	11,382.11	1,410.58	3,757.92	5,168.50	-1,592.26
15.50	CGC1g	19.00	39	342.00	-	-	342.00	35.00	33.30	2,918.85	8,870.49	11,789.35	1,493.02	3,865.14	5,358.16	-1,677.92
16.00	CGC1g	19.00	39	351.50	-	-	351.50	35.00	33.30	3,084.49	9,116.57	12,201.06	1,577.75	3,972.36	5,550.11	-1,765.69
16.50	CGC1g	19.00	39	361.00	-	-	361.00	35.00	33.30	3,254.61	9,362.64	12,617.26	1,664.76	4,079.58	5,744.35	-1,855.56
17.00	CGC1g	19.00	39	370.50	-	-	370.50	35.00	33.30	3,429.21	9,608.72	13,037.93	1,754.07	4,186.81	5,940.88	-1,947.54
17.50	CGC1g	19.00	39	380.00	-	-	380.00	35.00	33.30	3,608.28	9,854.80	13,463.07	1,845.67	4,294.03	6,139.69	-2,041.62
18.00	CGC1g	19.00	39	389.50	-	-	389.50	35.00	33.30	3,791.82	10,100.87	13,892.69	1,939.55	4,401.25	6,340.80	-2,137.82
18.50	CGC1g	19.00	39	399.00	-	-	399.00	35.00	33.30	3,979.85	10,346.95	14,326.79	2,035.73	4,508.47	6,544.20	-2,236.12
19.00	CGC1g	19.00	39	408.50	-	-	408.50	35.00	33.30	4,172.35	10,593.02	14,765.37	2,134.19	4,615.70	6,749.89	-2,336.52
19.50	CGC1g	19.00	39	418.00	-	-	418.00	35.00	33.30	4,369.33	10,839.10	15,208.42	2,234.95	4,722.92	6,957.87	-2,439.04
20.00	CGC1g	19.00	39	427.50	-	-	427.50	35.00	33.30	4,570.78	11,085.17	15,655.95	2,338.00	4,830.14	7,168.14	-2,543.66

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il: 14/03/2024 10:25
Certificato: 2702865



Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Pertanto, si ha sul palo più caricato:

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI

SPALLA FISSA

	Rz.tot (kN)	N.max (KN)	N.min (KN)	Tmin (KN)	Tmax (KN)
STR	14,553	2,358	746	284	206
SLV	10,381	2,550	- 250	603	378
R	10,780	1,718	-	209	153

SPALLA MOBILE

	Rz.tot (kN)	N.max (KN)	N.min (KN)	Tmin (KN)	Tmax (KN)
STR	14,553	2,308	746	206	275
SLV	10,245	2,166	91	354	465
R	10,780	1,704	558	153	203

CAPACITA' DEL SINGOLO PALO

Ns.d (kN)	Nb.d (kN)	N.d (kN)	N.st (kN)
1,578	3,972	5,550	- 1,766

VERIFICHE

spalle	Nc,max (SLU-SLV) (kN)	FS	Nt,max (SLU-SLV) (kN)	FS	N,max (SLE RARA) (kN)	FS
fissa	2,550	2.18	- 250	7.07	1,718	3.23
mobile	2,308	2.40	no traz.		1,704	3.26

Quindi le lunghezze verificate sono: L=16 metri

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Considerando la natura principalmente incoerente dei terreni di fondazione si omette la verifica globale della palificata.

4.2 PALI DI FONDAZIONE DELLE SPALLE: CAPACITA' PORTANTE TRASVERSALE

Dal modello dei "Pali a rotazione in testa impedita, terreni incoerenti" proposta in "FONDAZIONI - C. Viggiani", si è attestato che si tratta di comportamento di "PALO LUNGO", come riportato nella tabella che segue.

Dati del palo		
diametro	1000	mm
L	16	m
Ecls =	3.00E+07	kPa
Dati della palificata		
n° di file	4	
n° pali per fila	3	
interasse/D	3	

Terreni			
fusto	γt	19	kPa
	ϕ'	35	(°)
	Es.(z=0)	50,000	kPa
	Es.(z=L)	150,000	kPa
	v	0.2	
base	γt	19	kN/mc
	ϕ'	39	(°)
	Eb	800,000	kPa
	v	0.2	
	Go/G =	2.00	
	E0 (basse def	800,000	kPa

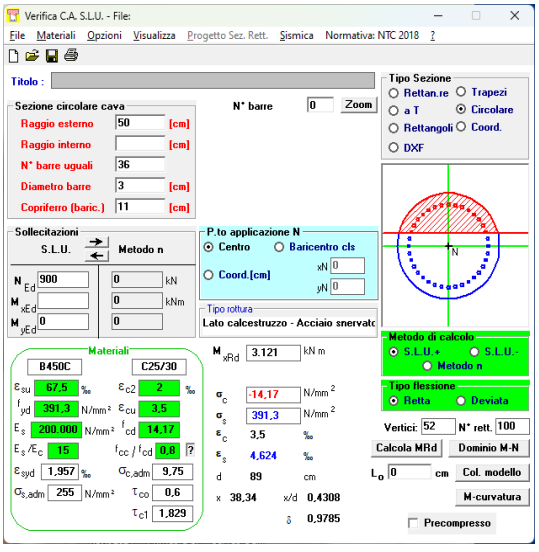
Calcolo Carico Limite Orizzontale - Terreni Incoerenti - Palo bloccato in testa

My =	3,121	kNm	(vedi calcolo riportato di lato)					
Palo CORTO			**Palo INTERMEDIO**			**Palo LUNGO**		
$kp_{fusto,med}$ =	3.69		$H/(kp\gamma d^3)$	131				
H =	26,923	kN	H =	9,170	kN	$Hu/(kp\gamma d^3)$	30	
$H/(kp\gamma d^3)$	384		f =	9.34	m	H =	**2,098**	kN
Mmax =	287,184	kNm	Mmax =	57,080	kNm	f =	4.46	m
NO PALO CORTO			**NO PALO INERMEDIO**			**OK PALO LUNGO**		
Hlim =	**2,098**	**kN**						

La verifica sulla capacità portante orizzontale è di seguito esplicitata.

SPALLA	$T_{,max}$ (SLU-SLV) (kN)	F>1
01	603	1.33

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA



Si è stimato My per una sezione circolare armata con 24+12 Φ 30 come di seguito riportato.
Per il palo lungo, il momento massimo lungo il fusto, che si verifica alla profondità f fornita dalla relazione [13.40] del testo cit., è stimato con la relazione

$$\frac{2}{3} H f = 2 My$$

Pertanto:

H.max = 603 kN
M.max = 907 kNm

5. VERIFICA STRUTTURALE DEL SINGOLO PALO

Di seguito si riporta la verifica avendo considerato le massime sollecitazioni (M=1116 kNm;T=607 kN) e la gabbia minima costituita da 24Φ30 per l'armatura longitudinale (singola coronella) e spirale Φ10/15 cm per l'armatura a taglio.

GENERAL DATA OF GENERIC RC CROSS-SECTION
Section Name: palo1000.secEC
(File path: D:\NEXTCLOUD\ITALGEOTECH_2022\CO04\ELABORAZIONI\IV08_FOND\ver\palo1000.secEC)

Section description:	
Section type:	Beam
Reference code:	EC2/EC8 Italian Annex
Exposure Class:	XC2 - Carbonation (long-term water contact/foundations)
Stress path:	Constant axial force force to achieve bending ULS
Type of bending:	Uniaxial (neutral axis always parallel to Y axis of reference system)
Reference of assigned forces:	Principal axes y,y of inertia

MATERIALS DATA

CONCRETE -	Class:	C25/30	
	Design compressive strength fcd:	14.2	MPa
	Shear reduced compressive strenght v1*fcd:	7.1	MPa (6.9)EC2
	Coeff Crd,c:	0.1200	(§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff K1:	0.1500	(§ 6.2.2(1) EC2
	Coeff v min:	0.0111	Mpa(§ 6.2.2(1) EC2
	Strain at max strength ec2:	0.0020	
	Ultimate strain ecu:	0.0035	
	Compression diagram stress-strain:	Parabola-Rettangle	
	Mean Elastic Modulus Ecm:	31475.8	MPa
	Mean tensile strength fctm:	2.6	MPa
	Es/Ec in SLS combination:	15.00	
	Stress limit in SLS Characteristic comb.:	15.0	kN/cm²
STEEL -	Longitudinal Bars and Stirrups:	B450C	
	Characteristic yield stress fyk:	450.00	MPa
	Tensile strength ftk:	450.0	MPa
	Design yield stress fyd:	391.3	MPa
	Design strength ftd:	391.3	MPa
	Design ultimate strain esu:	0.068	
	Mean elastic modulus Es:	200000.0	MPa
	SLS Charact. - Ss Limit:	360.00	MPa

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

GEOMETRICAL DATA OF CONCRETE CROSS-SECTION

Shape of Region:	Circular
Concrete Class:	C25/30

Radius:	50.0 cm
X center:	0.0 cm
Y center:	0.0 cm

CIRCULAR GENERATIONS OF LONGITUDINAL BARS

Gen.N.	Number of generated bars of the current linear generation
Xcenter	X-Coordinate [cm] center of circle along which are disposed the generated bars
Ycenter	Y-Coordinate [cm] center of circle along which are disposed the generated bars
Radius	Radius [cm] of circle along which are disposed the generated bars
N. Bars	Number of equidistant generated bars
Ø	Diameter [mm] of each generated bar

Gen.N.	Xcenter	Ycenter	Radius	N. Bars	Ø
1	0.0	0.0	42.0	24	30

SHEAR REINFORCEMENT

Stirrups diameter: 10 mm
Spacing of stirrups: 15.0 cm

Stirrups: One hoop

ULTIMATE LIMIT STATE - ASSIGNED DESIGN FORCES FOR EACH COMBINATION

MX d — Design bending force [kNm] around X axis of reference system
VY d — Design shear component [kN] parallel to Y reference axis

Comb.	N d	Mx d	Vy d
1	-920.00	1116.00	607.00

SERVICEABILITY LIMIT STATES - CHARACTERISTIC COMB. - ASSIGNED INTERNAL FORCES FOR EACH COMBINATION

N — Axial force [kN] appied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
MX — Bending force [kNm] around X axis of reference system. First cracking value is shown between brackets.

Comb.	N	Mx	My
1	0.00	520.00	0.00

CHECKS RESULTS

Checks OK for all assigned combinations

Min edge cover of longitudinal bars: 6.5 cm
Min distance between longitudinal bars: 8.0 cm
Min edge cover of stirrups: 5.5 cm

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

ULTIMATE LIMT STATES - N-MX-MY CAPACITY CHECKS

Check — Result of check
N — Design axial force [kN] applied at the centroid of concrete section (+ if compressive)
Mx — Design bending moment [kNm] around x axis principal of inerzia
N ult — Axial force capacity [kN] (+ if compressive)
Mx ult — Bending moment capacity [kNm] around x axis principal of inertia
S.F. — Safety Factor = vectorial ratio of (N ult,Mx ult,My ult) to (N,Mx,My). Check OK if ratio >=1.00
As Tension — Area [cm²] of bars in tension (beam section). Min area for code is shown between brackets [eq.(9.1N) EC2]

Comb.	Check	N	Mx	N ult	Mx ult	S.F.	As Tension
1	OK	-920.00	1116.00	-920.04	2030.25	1.819	106.0(12.1)

ULTIMATE LIMIT STATE - BENDING AND AXIAL FORCE - STRAIN VALUES

ec max — Ultimate compressive strain in concrete
ec* — Strain in the concrete fiber at ec2/ecu of depth (if ec*>0 then the section is all compressed)
Xc max — X-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
Yc max — Y-coordinate [cm] in the concrete point in wich is ec max
es max — Max strain in steel bars (+ if compressive)
Xs max — X-coordinate [cm] of bar in wich is es max
Ys max — Y-coordinate [cm] of bar in wich is es max
es min — Min strain in steel bars (+ if compressive)

Xs min X-coordinate [cm] of bar in wich is es min
Ys min Y-coordinate [cm] of bar in wich is es min

Comb.	ec max	ec*	Xc max	Yc max	es max	Xs max	Ys max	es min	Xs min	Ys min
1	0.00350	-0.00222	0.0	50.0	0.00243	0.0	42.0	-0.00878	0.0	-42.0

ULTIMATE LIMIT STATE - POSITION OF NEUTRAL AXIS FOR EACH COMBINATION

a, b, c Coeff. a, b, c in neutral axis equation: aX+bY+c=0 reference X,Y,O
x/d Ratio of the depth of neutral axis to the effective depth of the section
D Ratio of redistributed moment to the elastic moment in continuous beams [eq.(5.10)EC2]

Comb.	a	b	c	x/d	D
1	0.000000000	0.000133455	-0.003172761	0.285	0.796

ULTIMATE LIMIT STATES - SHEAR CHECKS

Stirrup diameter:	10	mm	
Stirrups spacing(pitch):	15.0	cm	< Max spacing for code = 45.0 cm
Area stirrup/m:	10.7	cm²/m	> Stirrup area strictly necessary for shear = 8.1cm²/m
Area stirrups/m:	10.7	cm²/m	> Min. Area stirrup bars (9.5N) = 7.6cm²/m

Check Result of check
Ved Design Shear Vy [kN] orthogonal to neutral axis
Vrd,max Shear resistance [kN] by concrete diagonal struts [(6.9) EC2]
Vrd,s Shear resistance [kN] by stirrups [(6.8) EC2]
Zm Main weighted inner lever arm [cm] of strips orthogonal to neutral axis:
are not included strips without an extreme compressed.
The weights are constituted by the length of lever arm for each strips.
Dm Main weighted effective depth [cm] of strips orthogonal to neutral axis.
bw Mean weighted shear width [cm] misurate parallel to the neutral axis =
= ratio of area of resistent strips to Zmed value
Ctg Cot of angle between the inclined concrete struts and beam axis (§6.2.3(1) EC2)
Ast min Min area [cm²/m] of stirrups: Ast min = 100*rw*bw. In wich rw is given from (9.5N) EC2
Ast Area of hoops+cross-ties strictly necessary for shear force[cm²/m]
A.Eff Effective Area of hoops+cross-ties in the shear direction in current comb. [cm²/m]

Comb.	Check	Ved	Vrd,max	Vrd,s	Zm|Dm	bw	Ctg	Ast min	Ast	A.Eff
1	OK	607.00	1599.49	799.80	76.3|84.7	85.9	2.50	7.6	8.1	10.7

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

SLS CHARACTERISTIC COMBINATIONS - STRESS LIMITATION [§ 7.2 EC2]

Tension in concrete: Not considered in any case
Check Result of Check
Reg Number of current concrete sub-region of the cross section
Sc max (Sc lim) Max compressive stress (+) in concrete [Mpa]. Code limit stress Sc lim is shown between brackets
Xc max, Yc max X-coordinae, Y-coordinate [cm] of concrete vertex corresponding to Sc max (reference X,Y,O)
Ss min (Ss lim) Min stess (- if tensile) in steel bars [Mpa], Code limit stress is shown between brackets
Xs min, Ys min X-coordinae, Y-coordinate [cm] of bar corresponding to Ss min (reference X,Y,O)
Ac eff Effective tension area [cm²] that is the area of concrete surrounding the tension reinforcement (for crack width control)
As eff Area of tension steel bars [cm²] within Ac eff (for crack width control)
r eff Geometrical ratio Ac eff/Ac eff [eq.(7.10) Ec2]

NComb	Reg	Check	Sc max	Xc max	Yc max	Ss min	Xs min	Ys min	Ac eff	As eff	r eff
1	1	OK	5.21 (15.0)	0.0	0.0	-124.4 (360.0)	0.0	-42.0	1240	49.5	0.040

SLS CHARACTERISTIC - CRACK WIDTH [§ 7.3.4 EC2]

Section is assumed always cracked even if flexural tensile stress does not exceeds fctm

Check	Result of check
e1	Greater concrete tensile strain (tension is -) assessed in cracked section
e2	Lesser concrete tensile strain within the entire section (tension is -)assessed in cracked section
k1	= 0.8 high bond bars assigned [see eq.(7.11) EC2]
kt	= 0.6 for frequent and characteristic SLS; = 0.4 for q.perm SLS [see eq.(7.9) EC2]
k2	= 0.5 for bending; =(e1 + e2)/(2*e1) for eccentric tension [see eq.(7.13) EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
k4	= 0.425 Coeff. in eq. (7.11) according to national annex
Ø	Bar diameter [mm] or equivalent diameter of tensile bars in Ac eff [eq.(7.11)]
e sm - e cm	Difference between the mean strain of tensile steel and concrete [eq.(7.8)] Between brackets: Minimum value of eq.(7.9) = 0.6 Smax / Es
sr max	Max final crack [mm] spacing
wk	Calculated value [mm] of crack width = sr max*(e sm - e cm) [eq.(7.8)]. Limit value of wk is shown between brackets
MX crack	First cracking bending moment around X axis[kNm]
MY crack	First cracking bending moment around Y axis[kNm]

Comb.	Check	e1	e2	k2	Ø	e sm - e cm	sr max	wk	Mx crack	My crack
1	OK	-0.00071	0	0.500	30.0	0.00038 (0.00037)	179	0.068	366.95	0.00

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

7. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI ASSIALI DEL SINGOLO PALO E DEL GRUPPO

Per quanto riguarda il calcolo dei cedimenti delle fondazioni, è stata prima di tutto analizzata la risposta del singolo palo considerando i metodi tradizionali proposti in letteratura.
Una descrizione sintetica dei metodi utilizzati e delle ipotesi cui fanno riferimento è riportata nei paragrafi seguenti.
Quindi dal cedimento del generico palo è stato calcolato il cedimento del gruppo di pali.

Metodo di Poulos & Davis (1980)

Nell'ambito del Metodo di Poulos & Davis (1980), il cedimento di un singolo palo isolato ws sotto l'azione di un carico Q è espresso dalla:

$$w_s = \frac{I_w}{EL} Q$$

nella quale Iw è un coefficiente d'influenza adimensionale funzione dei parametri L/D (con L=lunghezza del palo; D=diametro del palo), del coefficiente di Poisson del mezzo elastico con cui si rappresenta il terreno e K. Il terreno è modellato come un mezzo elastico stratificato alla Gibson, di spessore finito H e modulo crescente con la profondità. K è il rapporto tra il modulo di rigidezza del palo, Ep e il Modulo di Young del terreno, E.
Iw si ottiene come prodotto di quattro coefficienti I_0, R_k, R_v ed R_h ricavabili dai grafici nelle figure seguenti.
Si assume un modulo di rigidezza E crescente con la profondità con la seguente legge:

$$E = E_0 + E_0 * (\frac{\sigma'_v}{p_a})^n$$

con pa=100 kPa e n=0.25.

Metodo di Randolph & Wroth (1978)

Il metodo di Randolph & Wroth (1978) è un metodo analitico che considera il palo immerso in un mezzo elastico ed esamina separatamente l'interazione con tale mezzo della superficie laterale e della base del palo; le due soluzioni vengono poi sovrapposte.
Per il palo rigido il cedimento alla testa del palo è espresso dalla:

$$\frac{Q}{w r_0 G_L} = \frac{4 r_b G_b}{(1-\nu) r_0 G_L} + \frac{2\pi L G_m}{r_0 G_L}$$

dove Q è il carico totale agente alla testa del palo, GL il Modulo di taglio G valutato alla profondità L, r0 il raggio del palo, rb il raggio della base del palo e Gb il Modulo di taglio al di sotto della base del palo.
Per tenere conto della deformabilità del palo gli Autori propongono :

$$\frac{Q}{w r_o G_L} = \frac{\frac{4}{1-\nu}\frac{\eta}{\xi} + \frac{2\pi\rho}{\zeta}\frac{tgh(\mu L)}{\mu L}\frac{L}{r_o}}{1 + \frac{1}{\pi\lambda}\frac{4}{1-\nu}\frac{\eta}{\xi}\frac{tgh(\mu L)}{\mu L}\frac{L}{r_o}}$$

con: η=rb/r0.

Dall'analisi dei carichi, il valore di cedimento per la spalla, avendo considerato il valore del carico alla configurazione SLE (quasi permanente) può essere stimato nell'ordine tra i 10 mm il valore dei i cedimenti della spalla. Di seguito si riportano le valutazioni numeriche sul singolo palo e sul gruppo di pali.

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Calcolo del cedimento verticale

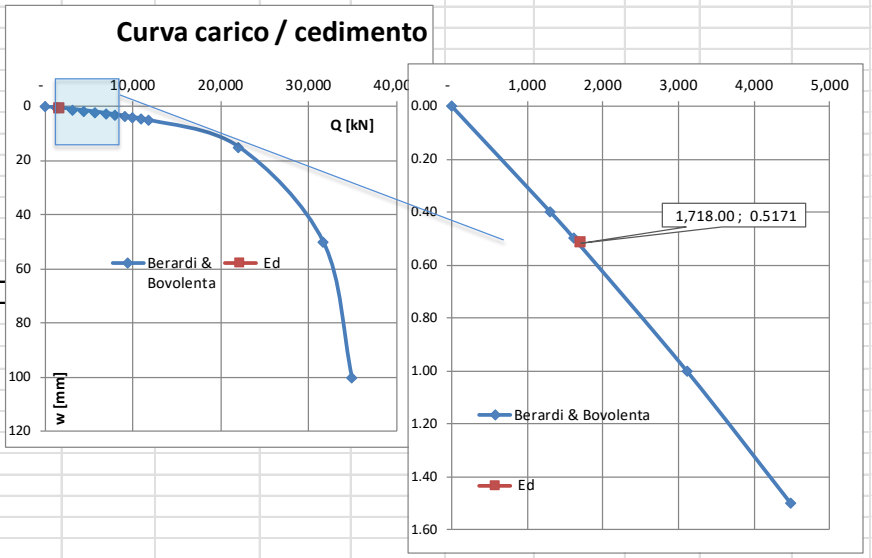
Randolph & Wroth, 1978 corretto da Berardi e Bovolenta [pag.420] (*)

Dati del palo

diametro	1000	mm
L	16	m
Epalo =	30,000,000	kN/mq

Q/w	1,032,141	kN/m	
Ed	1,718.00	kN	Ed<Rd: 'ok'
w	0.5171	mm	
w/D	0.0517%		
per w/D	0.50%	si verifica Q=	11787

	E	G	
Z = L/2	50,000	20833	kN/mq
Z = L	150,000	62500	kN/mq
sotto la base	800,000	333333	kN/mq
iniziali (basse deform.)	800,000	333333	kN/mq



Berardi & Bovolenta			(pag. 427)
	D	1	m
	rb	0.5	m
	ro	0.5	m
	L	16	m
	Ep	3.00E+07	kN/mq
modulo di poisson+	ni	0.2	
a profondità L/2	G'	20833	kN/mq
a profondità L	G	62500	kN/mq
sotto la base del palo	Gb	333333	kN/mq
a profondità L/2	E's	50000	kN/mq
a profondità L	Es	150000	kN/mq
sotto la base del palo	Eb	800000	kN/mq
	ita	1	
	csi	0.19	
	ρ	0.33	
	lamda	480	
	zita	2.35	
	mu*L	1.35	
	tanh(muL)/muL	0.648	

w/d	w (m)	G'/Go	G'	G(=G'/ρ)	Lamda	Denom.	Q	w (mm)
0.000%	-	1.2500	416,667	1,250,000	24	8.34	-	-
0.040%	0.00040	0.9686	322,872	968,617	31	6.69	1,308	0.400
0.050%	0.00050	0.9170	305,670	917,011	33	6.38	1,621	0.500
0.100%	0.00100	0.7241	241,371	724,113	41	5.25	3,113	1.000
0.150%	0.00150	0.5983	199,422	598,265	50	4.51	4,490	1.500
0.200%	0.00200	0.5097	169,895	509,684	59	3.99	5,764	2.000
0.250%	0.00250	0.4440	147,984	443,951	68	3.61	6,948	2.500
0.300%	0.00300	0.3932	131,079	393,236	76	3.31	8,049	3.000
0.350%	0.00350	0.3529	117,640	352,920	85	3.07	9,077	3.500
0.400%	0.00400	0.3201	106,701	320,102	94	2.88	10,039	4.000
0.450%	0.00450	0.2929	97,623	292,869	102	2.72	10,940	4.500
0.500%	0.00500	0.2699	89,969	269,906	111	2.58	11,787	5.000
1.500%	0.01500	0.1051	35,032	105,097	285	1.62	22,008	15.000
5.000%	0.05000	0.0335	11,167	33,501	896	1.20	31,597	50.000
10.000%	0.10000	0.0170	5,659	16,978	1767	1.10	34,851	100.000
0.0517%	0.00052	0.9088	302,918	908,753	33	6.33	1674	0.517

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

		VESIC [pag 419] (*)					Poulos pag 422		
		D =	1	m			D	1	m
		Ep	3.00E+07	kN/mq			rb	0.5	m
		Ap	0.785	mq			ro	0.5	m
		L	16	m			L+	16	m
	punta	Qb	112	kN			Ep	3.00E+07	kN/mq
	fusto	Qs	586	kN		modulo di poisson+	ni	0.2	
		Qd =	698	kN					
	resistenza limite base	qb	6800	kN/mq		a profondità L/2	G'	20833	kN/mq
		ν	0.5			a profondità L	G	62500	kN/mq
		Cb	0.1	sabbia media addensata		sotto la base del palo	Gb	333333	kN/mq
		Cs	0.157			a profondità L/2	E's	50000	kN/mq
		w1 =	0.00028	m		a profondità L	Es	150000	kN/mq
		w2 =	0.00165	m		sotto la base del palo	Eb	800000	kN/mq
		w3 =	0.00085	m			ita	1	
		w.tot	0.00277	m			csi	0.19	
			2.77	mm			ρ	0.33	
							lamda	480	
		Randolph & Wroth (pag. 420)					zita	3.48	
							mu*L	1.11	
		D	1	m			tanh(muL)/muL	0.725	
		L	16	m					
							Q =	1,718.00	kN
	modulo di poisson+	ni	0.2						
	a profondità L/2	G'	20833	kN/mq		Iw =	Q/w	2,927,728	
	a profondità L	G	62500	kN/mq					
	sotto la base del palo	Gb	333333	kN/mq			Ip	0.02	0.021347608
	a profondità L/2	E's	50000	kN/mq			w =	0.0006	m
	a profondità L	Es	150000	kN/mq				**0.5868**	mm
	sotto la base del palo	Eb	800000	kN/mq			w/D	0.059%	
tto la base del palo (basse def.)		Gbo	333333	kN/mq					
		ita	1						
		csi	3.06						
		mu	1.04						
		mu*L	16.70						
		tanh(muL)	1.00						
	Iw =	w/Q	1.52497E-06	m/kN					
		Q =	1,718.00	kN					
		W =	0.003	m					
			2.62	mm					

Firmato digitalmente da: Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702565
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Metodo di calcolo dei cedimenti del gruppo di pali

Il cedimento del singolo palo è stato esteso a quello del gruppo di pali, wpalificata. Il problema è stato studiato nell'ipotesi che ciascun palo si comporti come un elemento elastico indipendente dagli altri quindi il cedimento di una palificata può essere espresso come prodotto del cedimento del singolo palo per un coefficiente di amplificazione R, dipendente da fattori essenzialmente geometrici come il numero di pali della palificata n e il rapporto i/D ossia il rapporto tra l'interasse e il diametro dei pali. E' possibile stimare un cedimento della palificata massimo o medio.

$w_{palificata,\ max} = n \cdot R_{G,max} \cdot w_{s,max}$; $w_{palificata,\ medio} = n \cdot R_{G,medio} \cdot w_{s,\ medio}$

con:
$R_{G,max} = (0.5/R) + (0.13/R^2)$
$R_{G,medio} = 0.3 \cdot R^{-1.2}$
Per R, Randolph & Clancy (1993) e Mandolini (1994a) hanno proposto la relazione:
$R = n \cdot (i/L)^{0.5}$
e con:
n= numero di pali facenti parte della palificata;
$w_{s,max}$= cedimento massimo del singolo palo;
$w_{s,medio}$= cedimento medio del singolo palo;
i= interasse;
L= lunghezza dei pali.

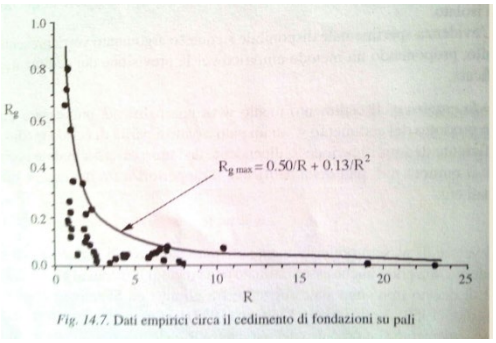


Fig. 14.7. Dati empirici circa il cedimento di fondazioni su pali

Stima sommaria dell'ordine di grandezza dei cedimenti della palificata

(metodo empirico)

Palificata	ϕ	1000	mm		***Dati della palificata***	
	L	16	m		n° di file	4
	n° pali	12			n° pali per fila	3
	i	3	m		interasse/D	3

Cedimento palo singolo	w_s =	0.517	mm	
R =	1.50			
$R_{g,max}$ =	0.39	coefficiente di riduzione max - inviluppo		
Cedimento medio palificata	**w =**	**1.144**	**mm**	(stima valore più probabile)
R_g =	0.18	coeff. di riduzione del gruppo		
R_s =	2.21	coeffi. di amplificazione		
$R_{ds,max}$ =	0.41			
Cedimento differenziale max	**Δw =**	**0.469**	**mm**	(stima w.max differenziale)

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

Calcolo Spostamento Orizzontale

Palo Isolato - Bloccato in testa

Analisi elastica di Matlock e Reese
(mezzo alla Winkler)

Palo	d =	1000	mm	
	L =	16	m	
Terreno	γ =	19.00	kN/m3	
Ecls =	30,000,000	kPa		
Eso =	50,000	kPa		
J =	0.04909	m4	$\lambda = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{E_{s0}}}$	
λ =	3.295	m		
L / λ =	4.86	> 4	*palo infinitamente lungo*	
H_{lim} =	603	kN	(dal calcolo del carico limite orizzontale)	
M.max (prog)	993	kNm		

Spostamento in testa (caso palo infinitamente lungo)

y.lim	3.66	mm
Rigidezza Orizzontale	164,727	kN/m

Effetto di gruppo - Carico limite verticale e orizzontale

			Qv.lim =	4,959.23	kN
N di pali =	12		H.lim =	2,097.55	kN
i = 3*D =	3	m			

(Vesic, 1968 - carichi verticali)

η =	1	
Q_{Glim} (Vesic)	59,511	kN

Converse - Labarre

$$\eta = 1 - \frac{arctg(d/i)}{\pi/2}\,\frac{(m-1)n + (n-1)m}{mn}$$

n° di file	4	
n° pali per fila	3	
η =	0.71	
Q_{Glim} = (Converse-Labarre)	42,242	kN

(Viggiani, 1999 - carichi orizzontali)

η =	0.5	
H_{Glim} =	12,585	kN

Q_{Glim} = N*η*Q_{lim} =	42,242	kN
H_{Glim} = N*η*H_{lim} =	12,585	kN

Firmato digitalmente da:
Facchini Massimo
Firmato il 14/03/2024 10:25
Seriale Certificato: 2702585
Valido dal 01/09/2023 al 01/09/2026
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA