

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria



Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

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

**IV02 – da km 0+486,603 a km 0+566,004 (Viabilità accesso fermata Campomarino)**

**Relazione di calcolo fondazioni**

L'Appaltatore  
Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.  
Il Direttore Tecnico  
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)  
Ing. Massimo Facchini

Data 31/07/2023

firma

Data 31/07/2023

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	CASCALA
<b>L I O B</b>	<b>0 2</b>	<b>E</b>	<b>Z Z</b>	<b>C L</b>	<b>I V 0 2 0 3</b>	<b>0 0 1</b>	<b>B</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	Emissione per RdV	Ing. M. Pugliese	Luglio 2023	Ing. V. Calzona	Luglio 2023	Ing. S. Canale	Luglio 2023	Ing. Salvatore Bellizzi Luglio 2023

File: LI0B02EZZCLIV0203001B.DOCX

n. Elab.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b> S.P.A.	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

## INDICE

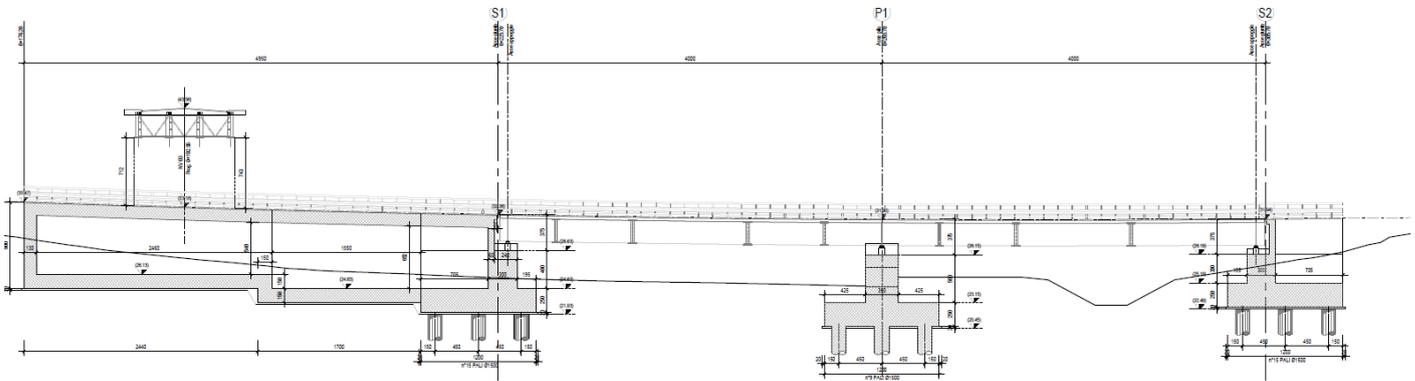
<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
1.1 IV02 - Viadotto sulla Viabilità di accesso alla Fermata di Campomarino NV04.....	2
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
2.1 Normativa di riferimento.....	4
2.2 Documenti di riferimento.....	4
<b>3. METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE PALI .....</b>	<b>5</b>
3.1 Analisi agli stati limite.....	5
3.2 Metodologia di calcolo della capacità 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
<b>4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</b>	<b>13</b>
<b>5. CALCOLO DELLE PALIFICATE DI FONDAZIONE .....</b>	<b>14</b>
5.1 Pali di fondazione delle pile: capacità portante verticale.....	15
5.2 Pali di fondazione delle pile: capacità portante trasversale.....	19
5.3 Pali di fondazione delle spalle: capacità portante verticale .....	21
5.4 Pali di fondazione delle spalle: capacità portante trasversale.....	33
<b>6. VERIFICA STRUTTURALE DEL SINGOLO PALO .....</b>	<b>35</b>
<b>7. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI ASSIALI DEL SINGOLO PALO E DEL GRUPPO.....</b>	<b>37</b>

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

## 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 dei pali di fondazione del cavalcavia denominato IV02 “Viabilità accesso fermata Campomarino”.



### 1.1 IV02 - VIADOTTO SULLA VIABILITÀ DI ACCESSO ALLA FERMATA DI CAMPOMARINO NV04

Questo viadotto si trova lungo la viabilità NV04, tra le progressive 0+486,603 e 0+566,004, che costituisce la strada di accesso alla fermata di Campomarino e scavalca un canale esistente (fosso Giardino).

È composto da due campate di lunghezza 40.00 m ciascuna. In prossimità della spalla A la viabilità prosegue su di uno scatolare di approccio per 41.40 m passando al di sotto del viadotto IV01. L'impalcato presenta larghezza costante di 18.75 m ed ospita una pista ciclabile di larghezza 5.00 m. La soluzione progettuale prevede impalcato continui in acciaio calcestruzzo con travi di altezza 2.40 m.

Gli appoggi terminali dell'impalcato sono entrambi delle usuali spalle con muri in C.A. che poggiano su pali del tutto simili a quelli delle pile.

Nel progetto definitivo viene adottata una soluzione molto particolare di impalcato asimmetrico con uno sbalzo molto pronunciato solo da un lato. Questa è una soluzione che presenta senz'altro una criticità in quanto, qualora si dovesse mantenere rigorosamente questo disegno, si avrebbe un impalcato sempre sollecitato a torsione già solo per i carichi permanenti nonché altri funzionamenti strutturali poco auspicati come avere appoggi che vanno in trazione in determinate combinazioni di carico.

Per ovviare a questa situazione il disegno dell'impalcato è stato modificato aumentando l'interasse trasversale delle 4 travi, simmettizzando la posizione della soletta rispetto a quella delle travi inferiori in modo da avere sbalzi uguali su entrambi i lati ed eliminare il puntone presente da un lato nel progetto definitivo, come si vede nella Figure seguenti.

Allo stesso tempo la pila è stata spostata in modo da posizionarla in asse all'impalcato, considerando che tale spostamento comporta l'allontanamento della fondazione della pila dal fosso Giardino la cui presenza, di fatto, ha imposto la realizzazione del viadotto stesso.

Le modifiche apportate non comportano aumento delle quantità nell'impalcato rispetto al progetto definitivo mentre si ha un aumento dimensionale del fusto pila che passa da 5.80 a 7.80m di larghezza e del pulvino che passa da 13.40m a 16.40 di larghezza a seguito dell'allargamento dell'impalcato metallico.

Il plinto di fondazione ed i pali rimangono immutati rispetto al progetto definitivo come anche le spalle.

In particolare, la fondazione delle spalle è costituita da una platea su n. 15 pali con diametro  $\Phi$  1500, di lunghezza

**LINEA PESCARA – BARI**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA  
LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>3</b>

di 22,00 m, armati con una gabbia costituita da n. 28+20  $\Phi$  28 e spirale  $\Phi$  12/20 mentre la fondazione del plinto è costituita da una platea su n. 9 pali  $\Phi$  1500, lunghezza pari a 22,00 m, e armati con una gabbia costituita da n. 28+20  $\Phi$  28 e spirale  $\Phi$  12/20.

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>									
	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>4</b>

## 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.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE S.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

### 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:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo

$$R_{cd} = R_k / g_R$$

dove:

$F_{cd}$  = carico assiale di compressione di progetto;

$R_{cd}$  = capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

$R_k$  = 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  $R_{c,d}$  è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati. Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (vedasi tabella seguente)

alle resistenze di calcolo  $R_{cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative.

Per ogni opera verrà assunto un coefficiente  $\xi_3$  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.

*Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche*

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	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.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

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

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

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	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:

$$Q_d = Q_{ll} / FSL + Q_{bl} / FSB - W'p$$

dove:

Q<sub>ll</sub> = portata laterale limite,

Q<sub>bl</sub> = 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:

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

dove:

D = diametro palo,

$\tau_i$  = tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,

h<sub>i</sub> = altezza dello strato i-esimo.

#### Depositi incoerenti

Per i depositi incoerenti, la tensione tangenziale ultima lungo il fusto del palo, in accordo ad esempio a Burland [1973], Reese & O'Neill [1988], Chen & Kulhawy [1994], O'Neill & Hassan [1994], può essere valutata con riferimento alla seguente espressione:  $\tau_i = \beta \cdot \sigma'v \leq \tau_{l,max}$

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).

- $\beta$  = coefficiente empirico  $\beta = k \cdot \tan \phi$

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR
			<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>7</b>

Essendo

- $K$  = coefficiente di pressione laterale = 0.7 (a compressione), 0.5 (a trazione);
- $\phi$  = angolo di resistenza al taglio.

È stato adottato un valore di  $\beta = 0,30$ .

### Depositi coesivi

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

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

Dove:

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

$\tau_{l,max}$  = 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:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

$A_p$  = area della base del palo,  
 $q_{bl}$  = portata limite specifica di base.

### 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:

$$q_b = N_q^* \cdot \sigma'_v \leq q_{b,lim}$$

essendo:

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

$\sigma'_v$  = tensione verticale efficace;

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

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>													
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>					COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR
					<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>8</b>

**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:

$$q_b = 9 \cdot c_u + \sigma_v \quad [\text{kPa}]$$

dove:

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata [kPa];

$\sigma_v$  = 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:

$$Q_d = Q_{LL} / F_{SL} + W'_p$$

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

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

### 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  $(1.5 \cdot d)$  e quindi costante con la profondità con valore  $(9 \cdot c_u \cdot d)$ . Le espressioni analitiche relative ai possibili meccanismi di collasso del sistema palo-terreno sono di seguito riportate:

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

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

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

dove:

H = carico limite orizzontale del palo;

$c_u$  = resistenza non drenata del terreno;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

#### 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

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva;

z = profondità dal piano campagna;

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

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

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

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

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

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

### 3.5 CARICO LIMITE VERTICALE DI UNA PALIFICATA

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

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

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

$\Phi = \arctg(D/i)$  con  $D$  = diametro pali,  $i$  = interasse pali.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

### 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 ( $E_{MR}$ ) definito come il rapporto fra la reazione del terreno per unità di lunghezza del palo ( $p$ ) ed il corrispondente spostamento orizzontale ( $y$ ):

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

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:

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

dove:

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

$k_h$  = gradiente del modulo di reazione del terreno funzione principalmente della  $D_r$ ;

$z$  = profondità a partire dalla sommità del palo.

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

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

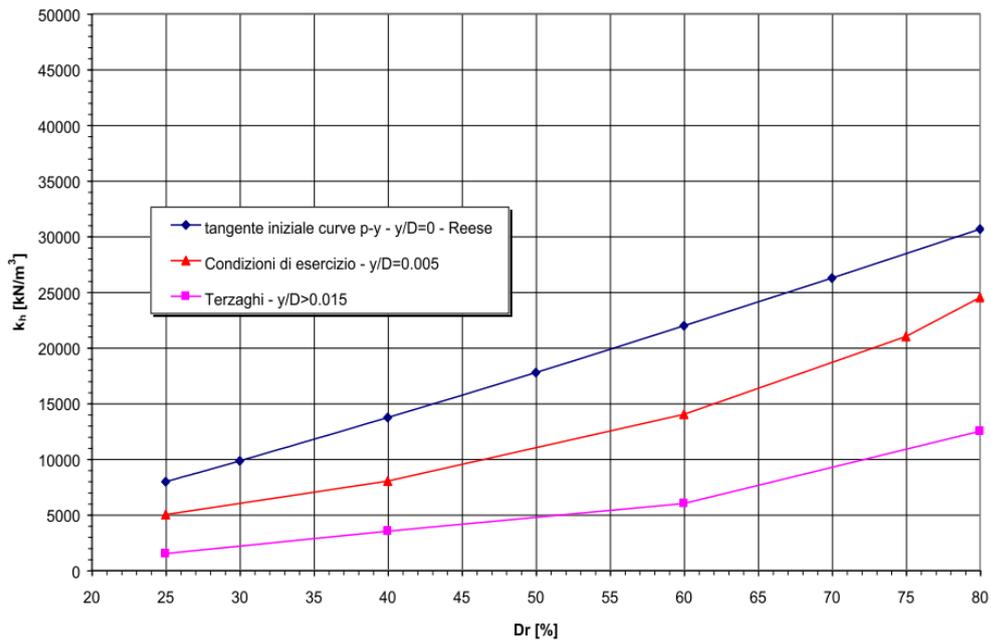
$$E_{MR} = \xi \cdot c_u, \text{ con } \xi = 300 \div 450,$$

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

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>12</b>

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



Per le fondazioni delle opere in esame si considera:

- Per terreni coesivi:  $\xi = 350$ , 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:  $k_h = 8000 \text{ kN/m}^3$

<b>MANDATARIA</b>  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	<b>MANDANTI</b> 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	13

#### 4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Di seguito si riportano i parametri di resistenza e deformabilità, la stratigrafia e la falda di progetto.

**Tabella 4.1 – Parametri geotecnici di progetto**

Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E_{op}$ [MPa]
ba3 – Argille limose	19,5	5	25	24
SSR – Sabbie/Sabbie limose	19,5	0	35	100

**Tabella 4.2 –Stratigrafia e falda di progetto**

Unità geotecnica	Profondità [m]	Falda [m da p.c.]
ba3 – Argille limose	Da 0m a 2,5m	5
SSR – Sabbie/Sabbie limose	Da 2,5 m a 30m	

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

## 5. CALCOLO DELLE PALIFICATE DI FONDAZIONE

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

La capacità portante per le fondazioni del viadotto è stata valutata per pali di grande diametro  $D=1500$  mm considerando l'Approccio 2 (A1+M1+R3) di normativa e quindi con i seguenti coefficienti parziali sulle resistenze di base e laterale:

- N. 8 verticali di indagine (tutti i sondaggi della zona Campomarino utilizzati per la caratterizzazione geotecnica), da cui  $\xi_3 = 1.7$ ;

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

- $N_{max,SLU} < Q_d$ , la massima sollecitazione assiale (sia statica, che sismica) allo SLU dovrà essere inferiore alla portata di progetto del palo (riportata nelle seguenti tabelle);
- $N_{max,SLE} < Q_{II} / 1.25$  la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo ( $Q_{II}$ , 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 cautelativamente a 5 m p.c..

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>15</b>

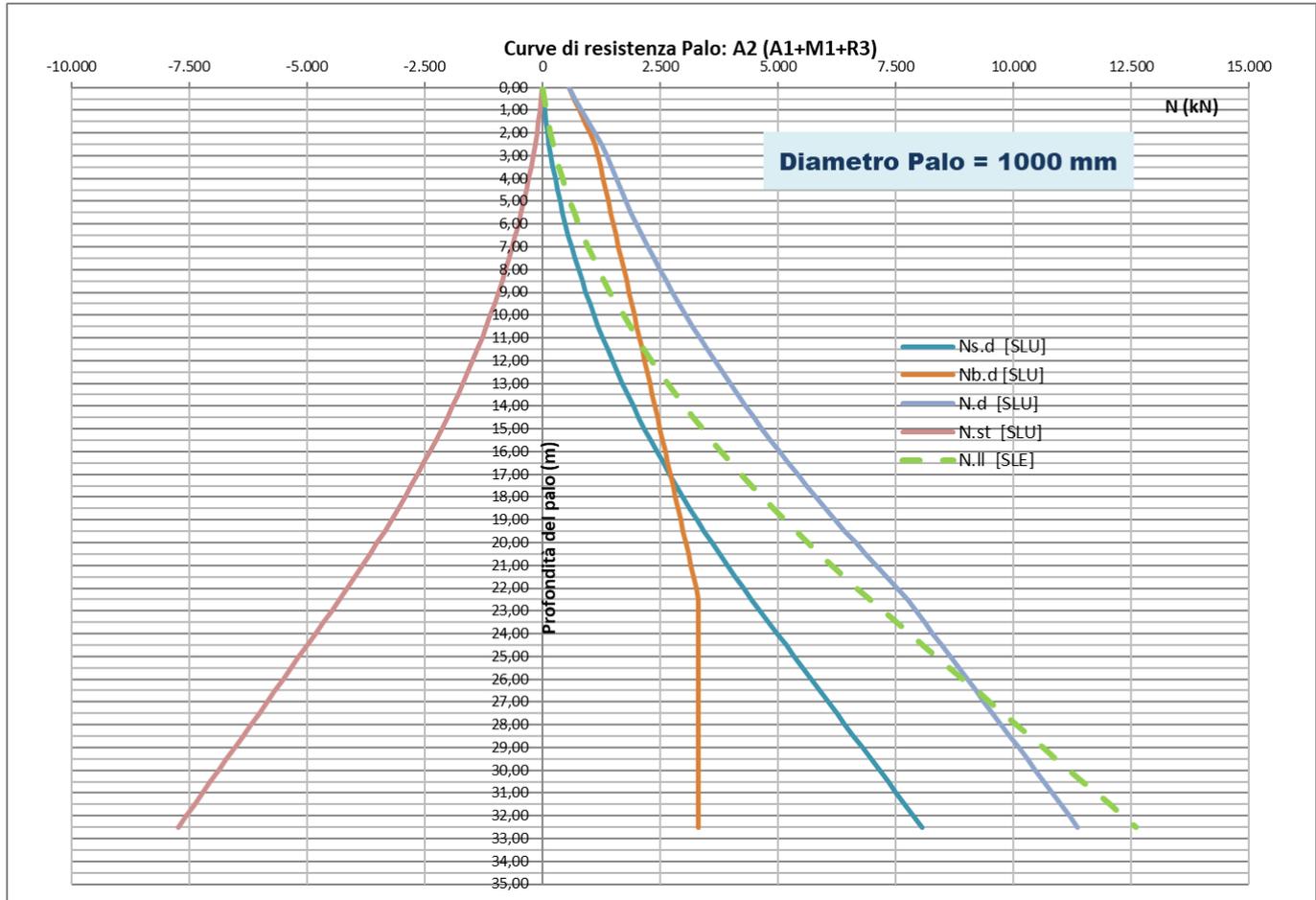
5.1 PALI DI FONDAZIONE DELLE PILE: CAPACITA' PORTANTE VERTICALE

Nelle immagini che seguono, si riportano le caratteristiche di portanza verticale per la tipologia strutturale del palo di progetto, del modello geotecnico adottato e dei criteri di calcolo, il tutto come specificato nei paragrafi che precedono.

z dal p.c.	z testa palo	Unità geotecnica	altezza terreno p.c. - testa palo 2.5 m altezza falda da p.c. 5 m						$\phi_{punta} = \phi' - 4$	Nq	[*] Gwizdala (1984)								
			$\gamma_t$	$\phi'$	$\sigma'_{VZ}$	$\gamma_w$	u	$\sigma'_{VZ}$			Ns.lim	Nb.lim [*]	N.lim	Ns.d [SLU]	Nb.d [SLU]	N.d [SLU]	N.st [SLU]	N.ii [SLE]	
(m)	(m)		(kN/mc)	(°)	(kN/mq)	(kN/mc)	(kN/mq)	(kN/mq)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
2,50	-	SSR	19,50	35	48,75	-	-	48,75	31,00	20,63	-	1.292	1.292	-	563	563	-	-	
3,00	0,50	SSR	19,50	35	58,50	-	-	58,50	31,00	20,63	41	1.551	1.592	21	676	697	24	33	
3,50	1,00	SSR	19,50	35	68,25	-	-	68,25	31,00	20,63	96	1.809	1.906	49	788	838	55	77	
4,00	1,50	SSR	19,50	35	78,00	-	-	78,00	31,00	20,63	152	2.068	2.219	78	901	978	86	121	
4,50	2,00	SSR	19,50	35	87,75	-	-	87,75	31,00	20,63	214	2.326	2.540	109	1.014	1.123	120	171	
5,00	2,50	SSR	19,50	35	97,50	-	-	97,50	31,00	20,63	283	2.584	2.867	145	1.126	1.271	157	226	
5,50	3,00	SSR	19,50	35	107,25	10,00	5,00	102,25	31,00	20,63	358	2.710	3.069	183	1.181	1.364	198	287	
6,00	3,50	SSR	19,50	35	117,00	10,00	10,00	107,00	31,00	20,63	441	2.836	3.277	226	1.236	1.461	242	353	
6,50	4,00	SSR	19,50	35	126,75	10,00	15,00	111,75	31,00	20,63	531	2.962	3.493	271	1.291	1.562	289	425	
7,00	4,50	SSR	19,50	35	136,50	10,00	20,00	116,50	31,00	20,63	627	3.088	3.715	321	1.346	1.666	339	502	
7,50	5,00	SSR	19,50	35	146,25	10,00	25,00	121,25	31,00	20,63	731	3.214	3.945	374	1.400	1.774	392	584	
8,00	5,50	SSR	19,50	35	156,00	10,00	30,00	126,00	31,00	20,63	841	3.340	4.181	430	1.455	1.885	449	673	
8,50	6,00	SSR	19,50	35	165,75	10,00	35,00	130,75	31,00	20,63	958	3.466	4.424	490	1.510	2.000	509	766	
9,00	6,50	SSR	19,50	35	175,50	10,00	40,00	135,50	31,00	20,63	1.082	3.592	4.674	553	1.565	2.118	572	866	
9,50	7,00	SSR	19,50	35	185,25	10,00	45,00	140,25	31,00	20,63	1.213	3.718	4.931	620	1.620	2.240	639	970	
10,00	7,50	SSR	19,50	35	195,00	10,00	50,00	145,00	31,00	20,63	1.351	3.844	5.194	691	1.675	2.366	709	1.081	
10,50	8,00	SSR	19,50	35	204,75	10,00	55,00	149,75	31,00	20,63	1.496	3.969	5.465	765	1.730	2.495	782	1.196	
11,00	8,50	SSR	19,50	35	214,50	10,00	60,00	154,50	31,00	20,63	1.647	4.095	5.743	843	1.784	2.627	858	1.318	
11,50	9,00	SSR	19,50	35	224,25	10,00	65,00	159,25	31,00	20,63	1.806	4.221	6.027	924	1.839	2.763	937	1.445	
12,00	9,50	SSR	19,50	35	234,00	10,00	70,00	164,00	31,00	20,63	1.971	4.347	6.318	1.008	1.894	2.902	1.020	1.577	
12,50	10,00	SSR	19,50	35	243,75	10,00	75,00	168,75	31,00	20,63	2.143	4.473	6.616	1.096	1.949	3.045	1.106	1.715	
13,00	10,50	SSR	19,50	35	253,50	10,00	80,00	173,50	31,00	20,63	2.323	4.599	6.922	1.188	2.004	3.192	1.195	1.858	
13,50	11,00	SSR	19,50	35	263,25	10,00	85,00	178,25	31,00	20,63	2.509	4.725	7.234	1.283	2.059	3.342	1.287	2.007	
14,00	11,50	SSR	19,50	35	273,00	10,00	90,00	183,00	31,00	20,63	2.702	4.851	7.552	1.382	2.114	3.496	1.383	2.161	
14,50	12,00	SSR	19,50	35	282,75	10,00	95,00	187,75	31,00	20,63	2.901	4.977	7.878	1.484	2.169	3.653	1.482	2.321	
15,00	12,50	SSR	19,50	35	292,50	10,00	100,00	192,50	31,00	20,63	3.108	5.103	8.211	1.590	2.223	3.813	1.584	2.487	
15,50	13,00	SSR	19,50	35	302,25	10,00	105,00	197,25	31,00	20,63	3.322	5.229	8.550	1.699	2.278	3.977	1.690	2.658	
16,00	13,50	SSR	19,50	35	312,00	10,00	110,00	202,00	31,00	20,63	3.542	5.354	8.897	1.812	2.333	4.145	1.798	2.834	
16,50	14,00	SSR	19,50	35	321,75	10,00	115,00	206,75	31,00	20,63	3.770	5.480	9.250	1.928	2.388	4.316	1.910	3.016	
17,00	14,50	SSR	19,50	35	331,50	10,00	120,00	211,50	31,00	20,63	4.004	5.606	9.610	2.048	2.443	4.491	2.025	3.203	
17,50	15,00	SSR	19,50	35	341,25	10,00	125,00	216,25	31,00	20,63	4.245	5.732	9.978	2.172	2.498	4.669	2.144	3.396	
18,00	15,50	SSR	19,50	35	351,00	10,00	130,00	221,00	31,00	20,63	4.493	5.858	10.352	2.298	2.553	4.851	2.265	3.595	
18,50	16,00	SSR	19,50	35	360,75	10,00	135,00	225,75	31,00	20,63	4.748	5.984	10.732	2.429	2.607	5.036	2.390	3.799	
19,00	16,50	SSR	19,50	35	370,50	10,00	140,00	230,50	31,00	20,63	5.010	6.110	11.120	2.563	2.662	5.225	2.518	4.008	
19,50	17,00	SSR	19,50	35	380,25	10,00	145,00	235,25	31,00	20,63	5.279	6.236	11.515	2.700	2.717	5.417	2.650	4.223	
20,00	17,50	SSR	19,50	35	390,00	10,00	150,00	240,00	31,00	20,63	5.555	6.362	11.917	2.841	2.772	5.613	2.784	4.444	
20,50	18,00	SSR	19,50	35	399,75	10,00	155,00	244,75	31,00	20,63	5.837	6.488	12.325	2.986	2.827	5.813	2.922	4.670	
21,00	18,50	SSR	19,50	35	409,50	10,00	160,00	249,50	31,00	20,63	6.127	6.614	12.740	3.134	2.882	6.016	3.063	4.901	
21,50	19,00	SSR	19,50	35	419,25	10,00	165,00	254,25	31,00	20,63	6.423	6.739	13.163	3.286	2.937	6.222	3.207	5.139	
22,00	19,50	SSR	19,50	35	429,00	10,00	170,00	259,00	31,00	20,63	6.726	6.865	13.592	3.441	2.991	6.432	3.355	5.381	
22,50	20,00	SSR	19,50	35	438,75	10,00	175,00	263,75	31,00	20,63	7.037	6.991	14.028	3.599	3.046	6.646	3.506	5.629	
23,00	20,50	SSR	19,50	35	448,50	10,00	180,00	268,50	31,00	20,63	7.354	7.117	14.471	3.761	3.101	6.863	3.660	5.883	
23,50	21,00	SSR	19,50	35	458,25	10,00	185,00	273,25	31,00	20,63	7.678	7.243	14.921	3.927	3.156	7.083	3.817	6.142	
24,00	21,50	SSR	19,50	35	468,00	10,00	190,00	278,00	31,00	20,63	8.008	7.369	15.377	4.096	3.211	7.307	3.978	6.407	
24,50	22,00	SSR	19,50	35	477,75	10,00	195,00	282,75	31,00	20,63	8.346	7.495	15.841	4.269	3.266	7.535	4.141	6.677	
25,00	22,50	SSR	19,50	35	487,50	10,00	200,00	287,50	31,00	20,63	8.691	7.599	16.289	4.445	3.311	7.756	4.308	6.953	
25,50	23,00	SSR	19,50	35	497,25	10,00	205,00	292,25	31,00	20,63	9.042	7.599	16.641	4.625	3.311	7.936	4.479	7.234	
26,00	23,50	SSR	19,50	35	507,00	10,00	210,00	297,00	31,00	20,63	9.396	7.599	16.994	4.806	3.311	8.117	4.650	7.516	
26,50	24,00	SSR	19,50	35	516,75	10,00	215,00	301,75	31,00	20,63	9.749	7.599	17.348	4.987	3.311	8.298	4.821	7.799	
27,00	24,50	SSR	19,50	35	526,50	10,00	220,00	306,50	31,00	20,63	10.102	7.599	17.701	5.167	3.311	8.478	4.992	8.082	
27,50	25,00	SSR	19,50	35	536,25	10,00	225,00	311,25	31,00	20,63	10.456	7.599	18.055	5.348	3.311	8.659	5.163	8.365	
28,00	25,50	SSR	19,50	35	546,00	10,00	230,00	316,00	31,00	20,63	10.809	7.599	18.408	5.529	3.311	8.840	5.335	8.647	
28,50	26,00	SSR	19,50	35	555,75	10,00	235,00	320,75	31,00	20,63	11.163	7.599	18.761	5.710	3.311	9.021	5.506	8.930	
29,00	26,50	SSR	19,50	35	565,50	10,00	240,00	325,50	31,00	20,63	11.516	7.599	19.115	5.891	3.311	9.202	5.677	9.213	
29,50	27,00	SSR	19,50	35	575,25	10,00	245,00	330,25	31,00	20,63	11.870	7.599	19.468	6.071	3.311	9.382	5.848	9.496	
30,00	27,50	SSR	19,50	35	585,00	10,00	250,00	335,00	31,00	20,63	12.223	7.599	19.822	6.252	3.311	9.563	6.019	9.778	
30,50	28,00	SSR	19,50	35	594,75	10,00	255,00	339,75	31,00	20,63	12.576	7.599	20.175	6.433	3.311	9.744	6.190	10.061	
31,00	28,50	SSR	19,50	35	604,50	10,00	260,00	344,50	31,00	20,63	12.930	7.599	20.529	6.614	3.311	9.925	6.362	10.344	
31,50	29,00	SSR	19,50	35	614,25	10,00	265,00	349,25	31,00	20,63	13.283	7.599	20.882	6.795	3.311	10.106	6.533	10.627	
32,00	29,50	SSR	19,50	35	624,00	10,00	270,00	354,00	31,00</										

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>16</b>



**RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PER I PALI ADOTTATI**

Lp	N.d [SLU]	N.st [SLU]	N.II [SLE]
[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
22,00	7.535	- 4.141	6.677

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

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>17</b>

**RIEPILOGO SOLLECITAZIONI**

**PILA P1 H=5m**

**Inviluppo reazioni vincolari**

Tipolog.	Nome	Rx	Ry	Rz	Mx	My	Mz	N,max	N,min	Tmax
Combo	Combo	(KN)	(KN)	(KN)	(KNm)	(KNm)	(KNm)	(KN)	(KN)	(KN)
<b>INVILUPPO: SLU</b>										
Nvert Max	SLU11	529	871	57.701	6.514	4.379	37	6.815	6.008	113
Nvert Min	SLU14	540	870	44.488	6.507	- 3.556	- 9	5.316	4.570	114
Vtrasv Max	SLU24	669	861	48.873	6.428	16.288	- 16	6.272	4.589	121
Vtrasv Min	SLU4	325	887	55.058	6.639	- 11.487	- 8	6.789	5.446	105
Mtrasv Max	SLU24	669	861	48.873	6.428	16.288	- 16	6.272	4.589	121
Mtrasv Min	SLU4	325	887	55.058	6.639	- 11.487	- 8	6.789	5.446	105
Vlong Max	SLU4	325	887	55.058	6.639	- 11.487	- 8	6.789	5.446	105
Vlong Min	SLU8	646	634	53.671	4.734	3.380	- 12	6.264	5.663	101
Mlong Max	SLU4	325	887	55.058	6.639	- 11.487	- 8	6.789	5.446	105
Mlong Min	SLU8	646	634	53.671	4.734	3.380	- 12	6.264	5.663	101
Mtorc Max	SLU11	529	871	57.701	6.514	4.379	37	6.815	6.008	113
Mtorc Min	SLU24	669	861	48.873	6.428	16.288	- 16	6.272	4.589	121
			Max Palificata	57.701				Max	6.815	121
<b>INVILUPPO: SLV GR</b>										
								Min	4.570	101
Nvert Max	SLV1	4.413	2.933	42.341	13.179	- 33.313	5	6.426	2.983	589
Nvert Min	SLV2	1.651	- 2.678	33.496	- 11.163	- 4.105	- 10	4.287	3.156	350
Vtrasv Max	SLV3	10.284	2.234	39.561	9.379	- 69.030	2	7.300	1.492	1.169
Vtrasv Min	SLV4	- 9.251	1.463	38.659	3.275	62.227	- 5	6.721	1.869	1.041
Mtrasv Max	SLV4	- 9.251	1.463	38.659	3.275	62.227	- 5	6.721	1.869	1.041
Mtrasv Min	SLV3	10.284	2.234	39.561	9.379	- 69.030	2	7.300	1.492	1.169
Vlong Max	SLV7	4.413	6.249	40.683	21.790	- 33.313	5	6.561	2.480	850
Vlong Min	SLV8	1.651	- 5.994	36.574	- 19.773	- 4.105	- 10	4.948	3.179	691
Mlong Max	SLV7	4.413	6.249	40.683	21.790	- 33.313	5	6.561	2.480	850
Mlong Min	SLV8	1.651	- 5.994	36.574	- 19.773	- 4.105	- 10	4.948	3.179	691
Mtorc Max	SLV11	4.413	2.933	42.341	13.179	- 33.313	5	6.426	2.983	589
Mtorc Min	SLV8	1.651	- 5.994	36.574	- 19.773	- 4.105	- 10	4.948	3.179	691
			Max Palificata	42.341				Max	7.300	1.169
<b>INVILUPPO: SLE RA</b>										
								Min	1.492	350
Nvert Max	RA1	265	655	41.631	4.903	- 1.687	2	4.688	4.626	79
Vtrasv Max	RA12	390	477	37.738	3.560	- 3.079	- 5	4.307	4.193	68
Vtrasv Min	RA12	456	640	40.596	4.786	12.970	- 11	4.991	4.511	87
Vtrasv Min	RA4	201	660	39.644	4.942	- 7.604	- 5	4.687	4.405	77
Mtrasv Max	RA12	456	640	40.596	4.786	12.970	- 11	4.991	4.511	87
Mtrasv Min	RA4	201	660	39.644	4.942	- 7.604	- 5	4.687	4.405	77
Vlong Max	RA4	201	660	39.644	4.942	- 7.604	- 5	4.687	4.405	77
Vlong Min	RA8	439	473	38.616	3.530	3.409	- 8	4.417	4.291	72
Mlong Max	RA4	201	660	39.644	4.942	- 7.604	- 5	4.687	4.405	77
Mlong Min	RA8	439	473	38.616	3.530	3.409	- 8	4.417	4.291	72
Mtorc Max	RA11	352	648	41.601	4.849	4.148	28	4.776	4.622	82
Mtorc Min	RA12	456	640	40.596	4.786	12.970	- 11	4.991	4.511	87
			Max Palificata	41.631				Max	4.991	87
<b>INVILUPPO: SLE QP</b>										
								Min	4.193	68
Nvert Max	QP1	- 126	685	37.556	5.141	3.600	1	4.497	4.363	77
Nvert Min	QP12	- 22	2	37.359	14	2.134	- 5	4.231	4.151	3
Vtrasv Max	QP2	- 22	677	37.359	5.078	2.134	- 5	4.418	4.339	75
Vtrasv Min	QP4	- 126	10	37.556	77	3.600	1	4.309	4.176	14
Mtrasv Max	QP1	- 126	685	37.556	5.141	3.600	1	4.497	4.363	77
Mtrasv Min	QP12	- 22	2	37.359	14	2.134	- 5	4.231	4.151	3
Vlong Max	QP1	- 126	685	37.556	5.141	3.600	1	4.497	4.363	77
Vlong Min	QP12	- 22	2	37.359	14	2.134	- 5	4.231	4.151	3
Mlong Max	QP1	- 126	685	37.556	5.141	3.600	1	4.497	4.363	77
Mlong Min	QP12	- 22	2	37.359	14	2.134	- 5	4.231	4.151	3
Mtorc Max	QP1	- 126	685	37.556	5.141	3.600	1	4.497	4.363	77
Mtorc Min	QP12	- 22	2	37.359	14	2.134	- 5	4.231	4.151	3
			Max Palificata	37.556				Max	4.497	77
								Min	4.151	3

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

Di seguito si riportano le caratteristiche delle sollecitazioni utilizzate per le verifiche a rottura in SLU e SLV e per le verifiche agli SLE, per ogni singola pila, nonché la stima dei coefficienti di sicurezza.

RIEPILOGO SOLLECITAZIONI					
PILA P1 H=5m					
Inviluppo	Rz.tot (kN)	N.max (KN)	N.min (KN)	Tmin (KN)	Tmax (KN)
SLU	57.701	6.815	4.570	101	121
SLV GR	42.341	7.300	1.492	350	1.169
SLE RA	41.631	4.991	4.193	68	87
SLE QP	37.556	4.497	4.151	3	77
LUNGHEZZE E CAPACITA' DEI PALI					
PILA P1 H=5m					
Pila	Lp	N.d [SLU]	N.st [SLU]	N.ii [SLE]	
	[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	
1	22	7.535	- 4.141	6.677	
COEFFICIENTI DI SICUREZZA					
PILA P1 H=5m					
Nc,max (SLU-SLV) (kN)	FS	Nt,max (SLU-SLV) (kN)	FS	N,max (SLE RARA) (kN)	FS
7.300	1,03	1.492	N.A.	4.991	1,34

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

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETA' CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>	PROGR <b>001</b>	REV <b>B</b>

## 5.2 PALI DI FONDAZIONE DELLE PILE: CAPACITA' PORTANTE TRASVERSALE

<b>VIADOTTO IV02</b> <b>Verifica palo D= 1500mm - L = 22 m</b>			rif.: "FONDAZIONI" - Carlo Viggiani rif.: "PROVE GEOTECNICHE IN SITU" - Alberto Bruschi		
<b>Dati del palo</b>			<b>Terreni</b>		
diametro	1500	mm	fusto	$\gamma_t$	20 kPa
L	22	m		$\phi'$	35 (°)
Ecls =	3,00E+07	kPa		Es.(z=0)	50.000 kPa
				Es.(z=L)	10.000 kPa
				v	0,2
<b>Dati della palificata</b>			base	$\gamma_t$	19,5 kN/mc
n° di file	4			$\phi'$	35 (°)
n° pali per fila	3			Eb	800.000 kPa
i/D	3			v	0,2
				Go/G =	2,00
				E0 (basse deform.)	800.000 kPa
<b>Calcolo Carico Limite Orizzontale - Terreni Incoerenti - Palo bloccato in testa</b>					
My =	6.188 kNm	(vedi calcolo riportato di lato)			
<b>Palo CORTO</b>		<b>Palo INTERMEDIO</b>		<b>Palo LUNGO</b>	
k <sub>f</sub> fusto,med =	3,69	H/(k <sub>p</sub> $\gamma$ d <sup>3</sup> )	109		
H =	78.363 kN	H =	26.402 kN	Hu/(k <sub>p</sub> $\gamma$ d <sup>3</sup> )	16
H/(k <sub>p</sub> $\gamma$ d <sup>3</sup> )	323	f =	12,77 m	H =	<b>3.822 kN</b>
Mmax =	1.149.319 kNm	Mmax =	224.769 kNm	f =	4,86 m
<b>NO PALO CORTO</b>		<b>NO PALO INTERMEDIO</b>		<b>OK PALO LUNGO</b>	
<b>Hlim =</b>	<b>3.822 kN</b>				
	1,70	Hk =	2.248,50		
	1,30	Hd =	1.729,61	coeffic.. Gruppo	0,80
				H'd = Hd * 0,80 =	<b>1.384 kN</b>

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018

Titolo :

Sezione circolare cava

Raggio esterno 75 [cm]  
 Raggio interno [cm]  
 N° barre uguali 48  
 Diametro barre 2,8 [cm]  
 Copriferro (baric.) 10 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.  
 DXF

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

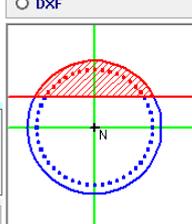
Materiali  
 B450C C25/30  
 E<sub>cu</sub> 67,5 % E<sub>c2</sub> 2 %  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup> E<sub>cu</sub> 3,5 %  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm<sup>2</sup> f<sub>cd</sub> 14,17 %  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 E<sub>syd</sub> 1.957 % σ<sub>c,adm</sub> 9,75  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm<sup>2</sup> τ<sub>co</sub> 0,6  
 τ<sub>c1</sub> 1,829

M<sub>xRd</sub> 6.188 kNm  
 σ<sub>c</sub> -14,17 N/mm<sup>2</sup>  
 α<sub>s</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 ε<sub>c</sub> 3,5 %  
 ε<sub>s</sub> 8,389 %  
 d 140 cm  
 x 41,21 x/d 0,2944  
 δ 0,808

Metodo di calcolo  
 S.L.U. +  S.L.U. -  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso



MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>												
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>				COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

Di seguito si riepilogano, per ogni pila, i carichi orizzontali resistenti dei pali, le massime azioni agenti e i coefficienti di sicurezza:

H.lim		COEFFICIENTI DI SICUREZZA	
PILA P1 H=5m		PILA P1 H=5m	
Pila	N.II [SLE] [kPa]	Tmax (SLU-SLV) (kN)	FS
1	1.384	1.169	1,18

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>21</b>

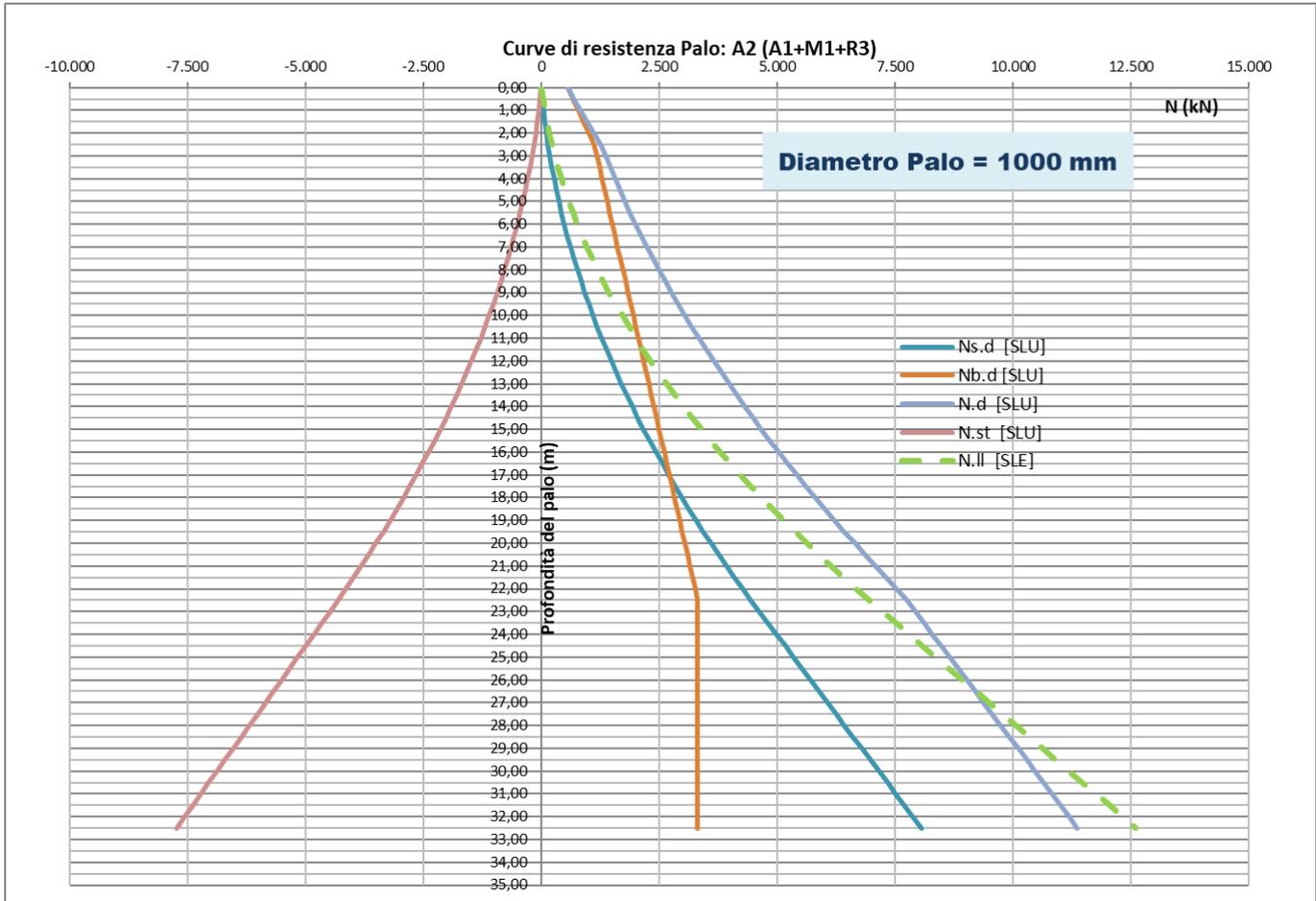
5.3 PALI DI FONDAZIONE DELLE SPALLE: CAPACITA' PORTANTE VERTICALE

Nelle immagini che seguono, si riportano le caratteristiche di portanza verticale per la tipologia strutturale del palo di progetto, del modello geotecnico adottato e dei criteri di calcolo, il tutto come specificato nei paragrafi che precedono. il palo considerato la curva di portanza del palo e viene verificata la portanza sul singolo palo maggiormente sollecitato e quella globale della palificata.

z dal p.c.	z testa palo	Unità geotecnica	altezza terreno p.c. - testa palo 2.5 m altezza falda da p.c. 5 m							Nq	[*] Gwizdala (1984)								
			$\gamma_t$	$\phi^i$	$\sigma'_{VZ}$	$\gamma_w$	u	$\sigma'_{VZ}$	$\phi_{punta} = \phi^i - 4$		Ns.lim	Nb.lim [*]	N.lim	Ns.d [SLU]	Nb.d [SLU]	N.d [SLU]	N.st [SLU]	N.ii [SLE]	
(m)	(m)		(kN/mc)	(°)	(kN/mq)	(kN/mc)	(kN/mq)	(kN/mq)		(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
2,50	-	SSR	19,50	35	48,75	-	-	48,75	31,00	20,63	-	1.292	1.292	-	563	563	-	-	-
3,00	0,50	SSR	19,50	35	58,50	-	-	58,50	31,00	20,63	41	1.551	1.592	21	676	697	24	24	33
3,50	1,00	SSR	19,50	35	68,25	-	-	68,25	31,00	20,63	96	1.809	1.906	49	788	838	55	55	77
4,00	1,50	SSR	19,50	35	78,00	-	-	78,00	31,00	20,63	152	2.068	2.219	78	901	978	86	86	121
4,50	2,00	SSR	19,50	35	87,75	-	-	87,75	31,00	20,63	214	2.326	2.540	109	1.014	1.123	120	120	171
5,00	2,50	SSR	19,50	35	97,50	-	-	97,50	31,00	20,63	283	2.584	2.867	145	1.126	1.271	157	157	226
5,50	3,00	SSR	19,50	35	107,25	10,00	5,00	102,25	31,00	20,63	358	2.710	3.069	183	1.181	1.364	198	198	287
6,00	3,50	SSR	19,50	35	117,00	10,00	10,00	107,00	31,00	20,63	441	2.836	3.277	226	1.236	1.461	242	242	353
6,50	4,00	SSR	19,50	35	126,75	10,00	15,00	111,75	31,00	20,63	531	2.962	3.493	271	1.291	1.562	289	289	425
7,00	4,50	SSR	19,50	35	136,50	10,00	20,00	116,50	31,00	20,63	627	3.088	3.715	321	1.346	1.666	339	339	502
7,50	5,00	SSR	19,50	35	146,25	10,00	25,00	121,25	31,00	20,63	731	3.214	3.945	374	1.400	1.774	392	392	584
8,00	5,50	SSR	19,50	35	156,00	10,00	30,00	126,00	31,00	20,63	841	3.340	4.181	430	1.455	1.885	449	449	673
8,50	6,00	SSR	19,50	35	165,75	10,00	35,00	130,75	31,00	20,63	958	3.466	4.424	490	1.510	2.000	509	509	766
9,00	6,50	SSR	19,50	35	175,50	10,00	40,00	135,50	31,00	20,63	1.082	3.592	4.674	553	1.565	2.118	572	572	866
9,50	7,00	SSR	19,50	35	185,25	10,00	45,00	140,25	31,00	20,63	1.213	3.718	4.931	620	1.620	2.240	639	639	970
10,00	7,50	SSR	19,50	35	195,00	10,00	50,00	145,00	31,00	20,63	1.351	3.844	5.194	691	1.675	2.366	709	709	1.081
10,50	8,00	SSR	19,50	35	204,75	10,00	55,00	149,75	31,00	20,63	1.496	3.969	5.465	765	1.730	2.495	782	782	1.196
11,00	8,50	SSR	19,50	35	214,50	10,00	60,00	154,50	31,00	20,63	1.647	4.095	5.743	843	1.784	2.627	858	858	1.318
11,50	9,00	SSR	19,50	35	224,25	10,00	65,00	159,25	31,00	20,63	1.806	4.221	6.027	924	1.839	2.763	937	937	1.445
12,00	9,50	SSR	19,50	35	234,00	10,00	70,00	164,00	31,00	20,63	1.971	4.347	6.318	1.008	1.894	2.902	1.020	1.020	1.577
12,50	10,00	SSR	19,50	35	243,75	10,00	75,00	168,75	31,00	20,63	2.143	4.473	6.616	1.096	1.949	3.045	1.106	1.106	1.715
13,00	10,50	SSR	19,50	35	253,50	10,00	80,00	173,50	31,00	20,63	2.323	4.599	6.922	1.188	2.004	3.192	1.195	1.195	1.858
13,50	11,00	SSR	19,50	35	263,25	10,00	85,00	178,25	31,00	20,63	2.509	4.725	7.234	1.283	2.059	3.342	1.287	1.287	2.007
14,00	11,50	SSR	19,50	35	273,00	10,00	90,00	183,00	31,00	20,63	2.702	4.851	7.552	1.382	2.114	3.496	1.383	1.383	2.161
14,50	12,00	SSR	19,50	35	282,75	10,00	95,00	187,75	31,00	20,63	2.901	4.977	7.878	1.484	2.169	3.653	1.482	1.482	2.321
15,00	12,50	SSR	19,50	35	292,50	10,00	100,00	192,50	31,00	20,63	3.108	5.103	8.211	1.590	2.223	3.813	1.584	1.584	2.487
15,50	13,00	SSR	19,50	35	302,25	10,00	105,00	197,25	31,00	20,63	3.322	5.229	8.550	1.699	2.278	3.977	1.690	1.690	2.658
16,00	13,50	SSR	19,50	35	312,00	10,00	110,00	202,00	31,00	20,63	3.542	5.354	8.897	1.812	2.333	4.145	1.798	1.798	2.834
16,50	14,00	SSR	19,50	35	321,75	10,00	115,00	206,75	31,00	20,63	3.770	5.480	9.250	1.928	2.388	4.316	1.910	1.910	3.016
17,00	14,50	SSR	19,50	35	331,50	10,00	120,00	211,50	31,00	20,63	4.004	5.606	9.610	2.048	2.443	4.491	2.025	2.025	3.203
17,50	15,00	SSR	19,50	35	341,25	10,00	125,00	216,25	31,00	20,63	4.245	5.732	9.978	2.172	2.498	4.669	2.144	2.144	3.396
18,00	15,50	SSR	19,50	35	351,00	10,00	130,00	221,00	31,00	20,63	4.493	5.858	10.352	2.298	2.553	4.851	2.265	2.265	3.595
18,50	16,00	SSR	19,50	35	360,75	10,00	135,00	225,75	31,00	20,63	4.748	5.984	10.732	2.429	2.607	5.036	2.390	2.390	3.799
19,00	16,50	SSR	19,50	35	370,50	10,00	140,00	230,50	31,00	20,63	5.010	6.110	11.120	2.563	2.662	5.225	2.518	2.518	4.008
19,50	17,00	SSR	19,50	35	380,25	10,00	145,00	235,25	31,00	20,63	5.279	6.236	11.515	2.700	2.717	5.417	2.650	2.650	4.223
20,00	17,50	SSR	19,50	35	390,00	10,00	150,00	240,00	31,00	20,63	5.555	6.362	11.917	2.841	2.772	5.613	2.784	2.784	4.444
20,50	18,00	SSR	19,50	35	399,75	10,00	155,00	244,75	31,00	20,63	5.837	6.488	12.325	2.986	2.827	5.813	2.922	2.922	4.670
21,00	18,50	SSR	19,50	35	409,50	10,00	160,00	249,50	31,00	20,63	6.127	6.614	12.740	3.134	2.882	6.016	3.063	3.063	4.901
21,50	19,00	SSR	19,50	35	419,25	10,00	165,00	254,25	31,00	20,63	6.423	6.739	13.163	3.286	2.937	6.222	3.207	3.207	5.139
22,00	19,50	SSR	19,50	35	429,00	10,00	170,00	259,00	31,00	20,63	6.726	6.865	13.592	3.441	2.991	6.432	3.355	3.355	5.381
22,50	20,00	SSR	19,50	35	438,75	10,00	175,00	263,75	31,00	20,63	7.037	6.991	14.028	3.599	3.046	6.646	3.506	3.506	5.629
23,00	20,50	SSR	19,50	35	448,50	10,00	180,00	268,50	31,00	20,63	7.354	7.117	14.471	3.761	3.101	6.863	3.660	3.660	5.883
23,50	21,00	SSR	19,50	35	458,25	10,00	185,00	273,25	31,00	20,63	7.678	7.243	14.921	3.927	3.156	7.083	3.817	3.817	6.142
24,00	21,50	SSR	19,50	35	468,00	10,00	190,00	278,00	31,00	20,63	8.008	7.369	15.377	4.096	3.211	7.307	3.978	3.978	6.407
24,50	22,00	SSR	19,50	35	477,75	10,00	195,00	282,75	31,00	20,63	8.346	7.495	15.841	4.269	3.266	7.535	4.141	4.141	6.677
25,00	22,50	SSR	19,50	35	487,50	10,00	200,00	287,50	31,00	20,63	8.691	7.599	16.289	4.445	3.311	7.756	4.308	4.308	6.953
25,50	23,00	SSR	19,50	35	497,25	10,00	205,00	292,25	31,00	20,63	9.042	7.599	16.641	4.625	3.311	7.936	4.479	4.479	7.234
26,00	23,50	SSR	19,50	35	507,00	10,00	210,00	297,00	31,00	20,63	9.396	7.599	16.994	4.806	3.311	8.117	4.650	4.650	7.516
26,50	24,00	SSR	19,50	35	516,75	10,00	215,00	301,75	31,00	20,63	9.749	7.599	17.348	4.987	3.311	8.298	4.821	4.821	7.799
27,00	24,50	SSR	19,50	35	526,50	10,00	220,00	306,50	31,00	20,63	10.102	7.599	17.701	5.167	3.311	8.478	4.992	4.992	8.082
27,50	25,00	SSR	19,50	35	536,25	10,00	225,00	311,25	31,00	20,63	10.456	7.599	18.055	5.348	3.311	8.659	5.163	5.163	8.365
28,00	25,50	SSR	19,50	35	546,00	10,00	230,00	316,00	31,00	20,63	10.809	7.599	18.408	5.529	3.311	8.840	5.335	5.335	8.647
28,50	26,00	SSR	19,50	35	555,75	10,00	235,00	320,75	31,00	20,63	11.163	7.599	18.761	5.710	3.311	9.021	5.506	5.506	8.930
29,00	26,50	SSR	19,50	35	565,50	10,00	240,00	325,50	31,00	20,63	11.516	7.599	19.115	5.891	3.311	9.202	5.677	5.677	9.213
29,50	27,00	SSR	19,50	35	575,25	10,00	245,00	330,25	31,00	20,63	11.870	7.599	19.468	6.071	3.311	9.382	5.848	5.848	9.496
30,00	27,50	SSR	19,50	35	585,00	10,00	250,00	335,00	31,00	20,63	12.223	7.599	19.822	6.252	3.311	9.563	6.019	6.019	9.778
30,50	28,00	SSR	19,50	35	594,75	10,00	255,00	339,75	31,00	20,63	12.576	7.599	20.175	6.433					

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>22</b>



**RIEPILOGO DELLE CARATTERISTICHE PER I PALI ADOTTATI**

Lp	N.d [SLU]	N.st [SLU]	N.II [SLE]
[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
22,00	7.535	- 4.141	6.677

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

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

**SPALLA S1**

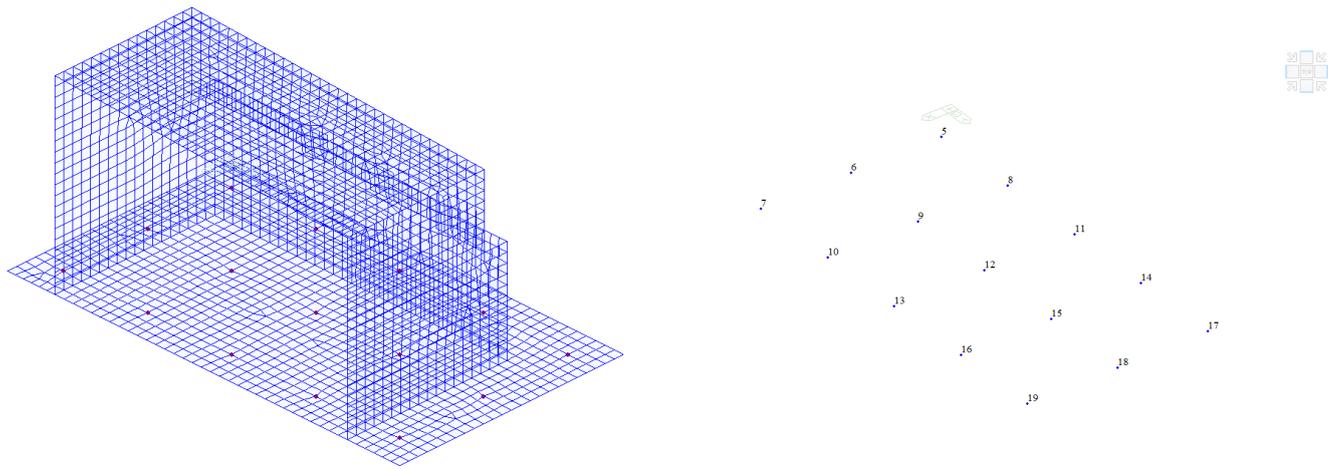


Figura 1: Identificativo Nodi scarichi sui pali di fondazione

Tabella 3: Scarichi sui pali di fondazione

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
5	SLE-F1(max)	7.366559	19.02136	2902.328	79.5217	28.08723	0
6	SLE-F1(max)	7.07831	20.02182	2824.184	38.50257	92.59185	0
7	SLE-F1(max)	6.882468	20.94537	2700.481	-8.21376	114.5069	0
8	SLE-F1(max)	3.642087	18.67825	2942.366	49.22136	56.73312	0
9	SLE-F1(max)	3.773171	19.87119	2785.615	7.888907	152.1191	0
10	SLE-F1(max)	3.716784	20.8443	2548.878	-49.447	168.5922	0
11	SLE-F1(max)	0.839203	17.97034	2922.441	26.35889	70.44546	0
12	SLE-F1(max)	1.058951	19.36758	2737.348	23.41072	176.4135	0
13	SLE-F1(max)	1.126291	20.72642	2448.556	20.47844	195.6297	0
14	SLE-F1(max)	-0.61298	17.27012	2930.997	-1.38669	56.94749	0
15	SLE-F1(max)	-0.54062	18.85216	2776.469	35.29538	152.1141	0
16	SLE-F1(max)	-0.58764	20.58202	2532.679	87.3885	167.3281	0
17	SLE-F1(max)	-2.21535	16.91866	2870.966	-45.7934	28.19326	0
18	SLE-F1(max)	-2.41052	18.66209	2792.857	-7.21718	90.13018	0
19	SLE-F1(max)	-2.54623	20.43105	2652.359	33.29166	113.6042	0
5	SLE-QP1	5.819757	12.00271	2640.151	57.06544	-26.2575	0
6	SLE-QP1	5.577137	14.52162	2649.472	17.27784	27.77706	0
7	SLE-QP1	5.394972	16.94327	2593.718	-27.7974	48.48589	0
8	SLE-QP1	2.99257	11.62388	2707.41	24.97924	0.982817	0
9	SLE-QP1	3.090923	14.34887	2640.874	-14.3009	86.84569	0
10	SLE-QP1	3.037918	16.83967	2489.549	-68.9376	104.2437	0
11	SLE-QP1	-0.03122	10.84889	2727.052	1.207954	14.22476	0

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>24</b>

12	SLE-QP1	0.210655	13.80026	2629.451	0.759717	114.2544	0
13	SLE-QP1	0.285639	16.71936	2431.933	1.489304	134.6362	0
14	SLE-QP1	-3.02496	10.09508	2713.769	-24.3225	0.725356	0
15	SLE-QP1	-2.947	13.24804	2649.075	13.45693	87.73872	0
16	SLE-QP1	-2.98899	16.57319	2500.657	68.69424	103.781	0
17	SLE-QP1	-6.1855	9.72705	2642.195	-63.2569	-26.3564	0
18	SLE-QP1	-6.39833	13.04566	2650.762	-25.1148	26.75922	0
19	SLE-QP1	-6.53357	16.42243	2593.275	15.31034	48.83325	0
5	SLU-ENV(max)	15.82144	52.87023	3876.508	111.4555	32.13092	0
6	SLU-ENV(max)	15.45241	49.07649	3780.389	55.38583	118.2886	0
7	SLU-ENV(max)	15.19953	45.1635	3628.074	-9.03992	147.5182	0
8	SLU-ENV(max)	6.83962	52.43546	3930.08	71.88044	71.14707	0
9	SLU-ENV(max)	7.024823	48.88589	3726.232	15.07592	200.0693	0
10	SLU-ENV(max)	6.954387	45.02456	3415.236	-64.4198	221.9792	0
11	SLU-ENV(max)	4.231689	51.50363	3903.539	41.10627	89.82245	0
12	SLU-ENV(max)	4.526269	48.21902	3661.255	37.02111	233.6228	0
13	SLU-ENV(max)	4.614225	44.8516	3283.778	32.74409	259.1848	0
14	SLU-ENV(max)	7.401824	50.5655	3917.542	3.562667	71.29244	0
15	SLU-ENV(max)	7.513472	47.5234	3722.823	53.98953	199.8968	0
16	SLU-ENV(max)	7.454271	44.63358	3407.285	125.8968	219.9879	0
17	SLU-ENV(max)	10.40175	50.07957	3844.652	-56.1832	32.08407	0
18	SLU-ENV(max)	10.17526	47.25127	3754.569	-3.43542	114.5372	0
19	SLU-ENV(max)	10.00931	44.40997	3581.137	52.21475	145.7464	0
5	SLV-ENV(max)	612.5499	796.8898	3144.884	176.6471	171.4846	0
6	SLV-ENV(max)	612.7084	745.4417	3025.221	134.6809	242.4936	0
7	SLV-ENV(max)	612.5286	693.0484	3055.846	81.90312	264.711	0
8	SLV-ENV(max)	581.3595	796.8873	2995.115	166.0807	199.3357	0
9	SLV-ENV(max)	581.4203	745.4602	2822.379	110.4159	284.4106	0
10	SLV-ENV(max)	581.1361	693.033	2872.109	29.66433	295.0631	0
11	SLV-ENV(max)	565.9465	796.3717	2887.22	146.9538	206.0277	0
12	SLV-ENV(max)	566.0139	745.0406	2667.082	125.1676	291.7211	0
13	SLV-ENV(max)	565.7676	692.9535	2783.399	96.60782	301.8897	0
14	SLV-ENV(max)	565.5443	795.6307	2864.779	118.5414	184.5918	0
15	SLV-ENV(max)	565.588	744.4877	2807.474	141.2565	258.1342	0
16	SLV-ENV(max)	565.3443	692.7359	2923.125	176.5118	266.5489	0
17	SLV-ENV(max)	564.6777	795.0154	2954.642	66.31204	150.5366	0
18	SLV-ENV(max)	564.8361	744.0591	2996.849	98.4865	202.212	0
19	SLV-ENV(max)	564.7574	692.395	3104.431	131.0659	225.3058	0
5	SLE-R-ENV(max)	11.96189	33.85422	2911.638	82.59844	30.75463	0
6	SLE-R-ENV(max)	11.68337	31.63517	2829.317	41.50153	95.60295	0
7	SLE-R-ENV(max)	11.48834	29.32432	2704.929	-5.42274	117.5451	0
8	SLE-R-ENV(max)	5.026721	33.52439	2951.347	52.48362	59.53674	0

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>25</b>

9	SLE-R-ENV(max)	5.163968	31.49203	2790.228	10.9864	155.1824	0
10	SLE-R-ENV(max)	5.109105	29.22744	2549.44	-46.7392	171.5986	0
11	SLE-R-ENV(max)	2.662401	32.83053	2930.88	29.4928	73.34502	0
12	SLE-R-ENV(max)	2.878327	30.99787	2741.704	26.3854	179.4898	0
13	SLE-R-ENV(max)	2.942794	29.11153	2452.096	23.15142	198.6177	0
14	SLE-R-ENV(max)	4.418979	32.1352	2940.314	1.588079	59.85422	0
15	SLE-R-ENV(max)	4.495426	30.48667	2785.197	38.217	155.2335	0
16	SLE-R-ENV(max)	4.446402	28.9651	2540.224	90.14598	170.3657	0
17	SLE-R-ENV(max)	6.030446	31.77533	2884.37	-43.2487	31.03698	0
18	SLE-R-ENV(max)	5.85146	30.29202	2805.718	-4.62325	93.1858	0
19	SLE-R-ENV(max)	5.718872	28.81092	2663.928	35.86994	116.6811	0
5	SLE-F1(min)	3.618545	9.577741	2547.706	26.3654	-59.9766	0
6	SLE-F1(min)	3.387773	12.96322	2605.364	-14.3427	-8.71056	0
7	SLE-F1(min)	3.206012	16.18703	2540.857	-59.3125	11.63271	0
8	SLE-F1(min)	2.299895	9.123758	2596.44	-14.0065	-34.2124	0
9	SLE-F1(min)	2.395057	12.74295	2584.346	-51.4428	48.33576	0
10	SLE-F1(min)	2.341579	16.07866	2465.742	-101.743	66.30178	0
11	SLE-F1(min)	-0.29603	8.213469	2598.812	-43.5294	-22.2778	0
12	SLE-F1(min)	-0.01301	12.1027	2558.578	-39.8552	73.79828	0
13	SLE-F1(min)	0.073798	15.95529	2420.321	-32.8996	94.9013	0
14	SLE-F1(min)	-4.20629	7.378156	2567.242	-69.2134	-35.8964	0
15	SLE-F1(min)	-4.11996	11.49738	2561.308	-28.119	45.49717	0
16	SLE-F1(min)	-4.14241	15.80192	2458.737	32.42583	62.03883	0
17	SLE-F1(min)	-8.30465	7.001178	2484.551	-104.4	-61.9269	0
18	SLE-F1(min)	-8.51566	11.28199	2549.919	-64.0094	-14.987	0
19	SLE-F1(min)	-8.63521	15.65185	2497.436	-20.7545	6.093177	0
5	SLU-ENV(min)	-2.24942	-1.58598	3372.02	31.56768	-93.5573	0
6	SLU-ENV(min)	-2.56859	6.935964	3469.622	-23.9313	-26.2498	0
7	SLU-ENV(min)	-2.80451	15.26695	3400.725	-85.4872	0.790162	0
8	SLU-ENV(min)	1.087049	-2.20698	3439.971	-22.1675	-58.7929	0
9	SLU-ENV(min)	1.206948	6.630873	3442.559	-73.3153	52.15549	0
10	SLU-ENV(min)	1.136383	15.10643	3301.423	-142.278	76.2388	0
11	SLU-ENV(min)	-2.42257	-3.4495	3446.742	-61.6197	-42.7451	0
12	SLU-ENV(min)	-2.03266	5.754423	3410.162	-56.3716	87.38182	0
13	SLU-ENV(min)	-1.91067	14.9207	3236.091	-46.5251	115.7461	0
14	SLU-ENV(min)	-11.636	-4.58138	3405.4	-96.0294	-61.4401	0
15	SLU-ENV(min)	-11.5174	4.927289	3410.844	-39.5026	48.23448	0
16	SLU-ENV(min)	-11.5377	14.69641	3287.05	44.21267	70.36507	0
17	SLU-ENV(min)	-21.0842	-5.07666	3290.771	-142.3	-96.8215	0
18	SLU-ENV(min)	-21.3767	4.634677	3393.879	-87.1925	-34.9111	0
19	SLU-ENV(min)	-21.5294	14.48311	3340.636	-27.7504	-6.93856	0
5	SLV-ENV(min)	-602.4	-767.255	1999.062	-86.0491	-276.829	0

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>26</b>

6	SLV-ENV(min)	-603.031	-711.839	2218.457	-120.766	-244.189	0
7	SLV-ENV(min)	-603.225	-655.642	2161.802	-155.046	-225.506	0
8	SLV-ENV(min)	-575.768	-767.966	2249.345	-137.675	-252.479	0
9	SLV-ENV(min)	-575.654	-712.176	2374.999	-157.907	-171.167	0
10	SLV-ENV(min)	-575.482	-655.834	2111.697	-183.998	-146.137	0
11	SLV-ENV(min)	-565.284	-768.902	2365.955	-163.865	-234.665	0
12	SLV-ENV(min)	-564.904	-712.788	2480.641	-140.991	-126.533	0
13	SLV-ENV(min)	-564.52	-655.992	2062.562	-108.121	-94.8117	0
14	SLV-ENV(min)	-569.749	-769.56	2335.285	-182.269	-240.362	0
15	SLV-ENV(min)	-569.653	-713.264	2354.94	-129.546	-148.575	0
16	SLV-ENV(min)	-569.492	-656.065	2040.306	-51.9476	-124.128	0
17	SLV-ENV(min)	-574.051	-769.623	2086.688	-200.065	-258.805	0
18	SLV-ENV(min)	-574.591	-713.204	2150.229	-158.244	-213.745	0
19	SLV-ENV(min)	-574.775	-656.022	2026.56	-111.944	-194.216	0
5	SLE-R-ENV(min)	-0.97679	-5.25511	2538.396	23.28867	-62.644	0
6	SLE-R-ENV(min)	-1.21729	1.349877	2600.231	-17.3417	-11.7217	0
7	SLE-R-ENV(min)	-1.39986	7.808077	2536.409	-62.1035	8.594499	0
8	SLE-R-ENV(min)	0.915262	-5.72238	2587.459	-17.2688	-37.0161	0
9	SLE-R-ENV(min)	1.00426	1.122114	2579.734	-54.5403	45.27246	0
10	SLE-R-ENV(min)	0.949258	7.695516	2465.18	-104.45	63.29532	0
11	SLE-R-ENV(min)	-2.11923	-6.64672	2590.373	-46.6633	-25.1774	0
12	SLE-R-ENV(min)	-1.83239	0.472404	2554.222	-42.8298	70.72193	0
13	SLE-R-ENV(min)	-1.74271	7.57018	2416.781	-35.5726	91.91327	0
14	SLE-R-ENV(min)	-9.23825	-7.48693	2557.926	-72.1882	-38.8031	0
15	SLE-R-ENV(min)	-9.15601	-0.13713	2552.579	-31.0406	42.37777	0
16	SLE-R-ENV(min)	-9.17646	7.418838	2451.191	29.66834	59.00131	0
17	SLE-R-ENV(min)	-16.5505	-7.8555	2471.148	-106.945	-64.7706	0
18	SLE-R-ENV(min)	-16.7776	-0.34794	2537.058	-66.6033	-18.0427	0
19	SLE-R-ENV(min)	-16.9003	7.27198	2485.866	-23.3328	3.0162	0

**MASSIMI**

Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
SLE-F1(max)	7	21	2.942	87	196	-
SLE-QP1	6	17	2.727	69	135	-
SLU-ENV(max)	16	53	3.930	126	259	-
SLV-ENV(max)	613	797	3.145	177	302	-
SLE-R-ENV(max)	12	34	2.951	90	199	-
SLE-F1(min)	4	16	2.605	32	95	-
SLU-ENV(min)	1	15	3.470	44	116	-
SLV-ENV(min)	- 565	- 656	2.481	- 52	- 95	-
SLE-R-ENV(min)	1	8	2.600	30	92	-

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>27</b>

**MINIMI**

Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
SLE-F1(max)	- 3	17	2.449	- 49	28	-
SLE-QP1	- 7	10	2.432	- 69	26	-
SLU-ENV(max)	4	44	3.284	- 64	32	-
SLV-ENV(max)	613	797	3.145	177	302	-
SLE-R-ENV(max)	3	29	2.452	- 47	31	-
SLE-F1(min)	- 9	7	2.420	- 104	62	-
SLU-ENV(min)	- 22	5	3.236	- 142	97	-
SLV-ENV(min)	- 603	770	1.999	- 200	277	-
SLE-R-ENV(min)	- 17	8	2.417	- 107	65	-

**RIEPILOGO SOLLECITAZIONI**

**IV02 - Spalla S1**

	N.max (kN)	N.min (kN)	Tmin (kN)	Tmax (kN)
Inviluppo				
SLU	3.930	3.236	- 22	53
SLV	3.145	1.999	- 770	797
SLE RARA	2.951	2.417	- 17	34
SLE QP	2.727	- 69	- 7	6

**LUNGHEZZE E CAPACITA' DEI PALI**

**IV02 - Spalla S1**

Pila	Lp	N.d [SLU]	N.st [SLU]	N.ii [SLE]
	[m]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	22	7.535	- 4.141	6.677

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

**IV02 - Spalla S1**

Nc,max (SLU-SLV) (kN)	FS	Nt,max (SLU-SLV) (kN)	FS	N,max (SLE RARA) (kN)	FS
3.930	1,92	1.999	N.A.	2.951	2,26

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>28</b>

**SPALLA S2**

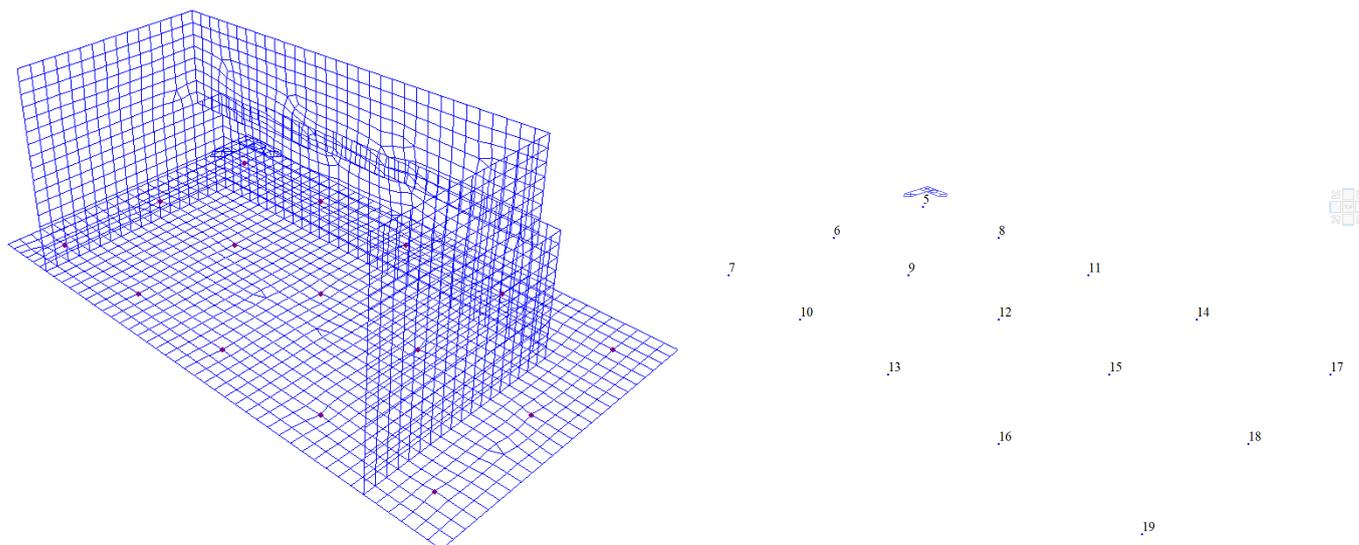


Figura 2: Identificativo Nodi scarichi sui pali di fondazione

Tabella 4: Scarichi sui pali di fondazione

Node	Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
5	SLE-F1(max)	462.5802	12.62429	3834.903	92.53891	10.22465	0
6	SLE-F1(max)	462.3592	11.18501	3750.513	87.52827	121.6942	0
7	SLE-F1(max)	461.9803	9.79946	3530.484	87.28224	155.0301	0
8	SLE-F1(max)	455.1971	11.68243	3895.207	12.75259	27.28216	0
9	SLE-F1(max)	455.0866	10.19392	3812.093	24.89442	99.88857	0
10	SLE-F1(max)	454.755	8.506869	3635.883	59.46484	130.0459	0
11	SLE-F1(max)	447.253	9.880172	3838.025	-31.6544	30.20213	0
12	SLE-F1(max)	447.3375	8.54092	3775.487	-29.0332	72.51658	0
13	SLE-F1(max)	447.0662	7.120822	3642.733	-25.3603	105.4192	0
14	SLE-F1(max)	445.291	7.99902	3723.077	-81.6343	17.58167	0
15	SLE-F1(max)	445.2466	6.824592	3658.299	-88.7886	84.13043	0
16	SLE-F1(max)	444.9407	5.719572	3512.151	-115.17	112.0492	0
17	SLE-F1(max)	445.9532	6.998907	3484.099	-163.663	-0.88423	0
18	SLE-F1(max)	445.7469	5.789771	3427.895	-157.128	91.24983	0
19	SLE-F1(max)	445.4253	4.485932	3288.442	-153.334	125.1436	0
5	SLE-QP1	447.57	-1.71255	3604.542	86.65161	-45.5892	0
6	SLE-QP1	447.3269	-0.08535	3608.536	81.51827	56.96666	0
7	SLE-QP1	446.9419	1.632395	3486.206	80.66506	89.49241	0
8	SLE-QP1	446.5633	-2.64869	3677.65	3.348247	-29.9361	0
9	SLE-QP1	446.4398	-1.07146	3685.155	15.79906	35.07175	0
10	SLE-QP1	446.1082	0.335183	3604.635	52.16398	66.27885	0
11	SLE-QP1	444.9802	-4.42565	3642.119	-43.6828	-26.5907	0
12	SLE-QP1	445.0555	-2.70803	3668.166	-39.4841	9.885116	0
13	SLE-QP1	444.7811	-1.05494	3626.596	-33.6705	44.2287	0
14	SLE-QP1	443.098	-6.27625	3548.69	-95.5594	-36.8994	0

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>29</b>

15	SLE-QP1	443.0441	-4.40656	3569.021	-100.54	24.12613	0
16	SLE-QP1	442.7366	-2.45525	3505.461	-124.784	53.21793	0
17	SLE-QP1	440.7299	-7.25698	3336.433	-178.965	-52.6638	0
18	SLE-QP1	440.5146	-5.42926	3359.78	-170.157	35.12156	0
19	SLE-QP1	440.1887	-3.68492	3271.523	-163.911	68.45607	0
5	SLU-ENV(max)	764.9922	41.7722	5403.743	133.7889	32.54287	0
6	SLU-ENV(max)	764.7807	34.48478	5267.816	128.4317	189.0255	0
7	SLU-ENV(max)	764.272	34.93902	5072.334	130.7879	234.2072	0
8	SLU-ENV(max)	745.3236	40.4703	5480.083	20.88808	57.42367	0
9	SLU-ENV(max)	745.1327	33.02699	5350.865	40.4277	152.3995	0
10	SLU-ENV(max)	744.6003	33.03033	5222.734	94.9624	191.9822	0
11	SLU-ENV(max)	724.7951	37.93007	5397.309	-41.099	60.94929	0
12	SLU-ENV(max)	724.839	30.64511	5290.495	-39.25	109.203	0
13	SLU-ENV(max)	724.3449	30.97377	5228.247	-35.5239	152.1326	0
14	SLU-ENV(max)	712.1856	35.27019	5230.906	-111.536	41.1121	0
15	SLU-ENV(max)	712.0813	28.17846	5123.662	-127.257	127.4069	0
16	SLU-ENV(max)	711.5887	28.8879	5027.614	-170.013	164.1509	0
17	SLU-ENV(max)	709.7728	33.83873	4886.047	-228.088	12.64168	0
18	SLU-ENV(max)	709.5663	26.64389	4794.881	-223.601	141.3199	0
19	SLU-ENV(max)	709.1449	27.04484	4699.105	-222.166	187.7036	0
5	SLV-ENV(max)	1170.703	912.5419	5002.132	287.579	507.8503	0
6	SLV-ENV(max)	1170.814	969.7135	4184.72	269.532	627.682	0
7	SLV-ENV(max)	1170.396	1027.861	3352.118	244.0739	660.1497	0
8	SLV-ENV(max)	1153.82	912.0302	4790.962	239.4164	549.8483	0
9	SLV-ENV(max)	1153.22	968.4703	3933.405	222.6598	614.7601	0
10	SLV-ENV(max)	1152.586	1024.919	3258.562	211.6482	617.5831	0
11	SLV-ENV(max)	1198.741	910.6253	4507.188	206.9433	546.9487	0
12	SLV-ENV(max)	1198.376	966.643	3693.723	171.6672	554.8233	0
13	SLV-ENV(max)	1197.694	1021.92	3397.145	120.9478	547.6632	0
14	SLV-ENV(max)	1250.658	908.6356	4277.719	164.7416	498.1202	0
15	SLV-ENV(max)	1250.22	964.8942	3787.233	138.199	533.2044	0
16	SLV-ENV(max)	1249.527	1019.489	3521.003	78.59011	530.6952	0
17	SLV-ENV(max)	1301.434	907.2046	4234.537	75.24385	436.976	0
18	SLV-ENV(max)	1301.763	963.4377	3943.071	114.1956	498.5545	0
19	SLV-ENV(max)	1301.413	1017.638	3682.899	165.3623	522.2749	0
5	SLE-R-ENV(max)	470.4099	23.79334	3847.136	95.22572	14.55484	0
6	SLE-R-ENV(max)	470.2018	19.70903	3763.047	90.18459	125.9088	0
7	SLE-R-ENV(max)	469.8257	15.66143	3542.42	89.84636	159.1388	0
8	SLE-R-ENV(max)	460.6133	22.86099	3903.154	15.83971	31.76455	0
9	SLE-R-ENV(max)	460.5029	18.72238	3820.448	27.83331	104.2889	0
10	SLE-R-ENV(max)	460.1691	14.37096	3643.86	62.15633	134.215	0
11	SLE-R-ENV(max)	450.272	21.06501	3849.129	-28.4468	34.7569	0
12	SLE-R-ENV(max)	450.3518	17.0718	3779.749	-26.0561	77.10749	0
13	SLE-R-ENV(max)	450.0765	12.98669	3646.84	-22.7867	109.7712	0

**LINEA PESCARA – BARI**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA  
LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>30</b>

14	SLE-R-ENV(max)	445.9099	19.18566	3737.573	-78.4766	22.04222	0
15	SLE-R-ENV(max)	445.8607	15.35564	3665.861	-85.8068	88.95678	0
16	SLE-R-ENV(max)	445.5525	11.5838	3512.679	-112.656	116.7092	0
17	SLE-R-ENV(max)	448.6842	18.18062	3501.244	-160.84	3.363933	0
18	SLE-R-ENV(max)	448.4867	14.31808	3438.334	-154.382	96.10416	0
19	SLE-R-ENV(max)	448.1657	10.34625	3291.758	-150.784	130.0335	0
5	SLE-F1(min)	440.6367	-31.4695	3449.631	80.87894	-81.8104	0
6	SLE-F1(min)	440.3697	-23.4474	3511.522	73.98851	14.43263	0
7	SLE-F1(min)	439.9821	-15.3061	3453.467	72.11593	46.38357	0
8	SLE-F1(min)	442.6818	-32.4399	3532.867	-9.11273	-67.0323	0
9	SLE-F1(min)	442.5601	-24.4533	3599.672	3.699617	-7.41446	0
10	SLE-F1(min)	442.2288	-16.6121	3581.967	42.60178	24.41859	0
11	SLE-F1(min)	444.1175	-34.2524	3513.631	-60.0993	-63.2819	0
12	SLE-F1(min)	444.1982	-26.1135	3597.271	-53.6532	-30.7567	0
13	SLE-F1(min)	443.9251	-18.0099	3615.317	-44.837	4.472689	0
14	SLE-F1(min)	438.9737	-36.1262	3439.199	-114.931	-71.9594	0
15	SLE-F1(min)	438.917	-27.8291	3514.141	-116.717	-14.3349	0
16	SLE-F1(min)	438.6114	-19.4086	3501.515	-137.966	15.50768	0
17	SLE-F1(min)	430.2173	-37.1014	3248.132	-200.683	-85.9248	0
18	SLE-F1(min)	429.9713	-28.8499	3322.31	-188.452	-0.55861	0
19	SLE-F1(min)	429.6429	-20.629	3249.011	-178.57	32.45577	0
5	SLU-ENV(min)	581.2262	-58.1819	4705.94	108.4516	-196.933	0
6	SLU-ENV(min)	580.7948	-43.7527	4904.554	102.1031	-61.5692	0
7	SLU-ENV(min)	580.2261	-36.7401	4803.131	101.589	-14.8581	0
8	SLU-ENV(min)	595.6452	-59.616	4826.359	-20.8438	-179.021	0
9	SLU-ENV(min)	595.4742	-45.241	5038.005	1.106689	-96.2789	0
10	SLU-ENV(min)	595.0425	-38.7412	5002.728	60.11007	-47.0295	0
11	SLU-ENV(min)	609.2906	-62.2721	4792.255	-94.8972	-174.028	0
12	SLU-ENV(min)	609.4328	-47.6872	5039.671	-83.9073	-130.412	0
13	SLU-ENV(min)	609.0943	-40.8901	5059.452	-69.9636	-75.5791	0
14	SLU-ENV(min)	614.148	-65.0134	4680.648	-173.572	-182.905	0
15	SLU-ENV(min)	614.0788	-50.2151	4907.317	-176.764	-103.688	0
16	SLU-ENV(min)	613.6783	-43.0343	4889.667	-211.155	-57.5667	0
17	SLU-ENV(min)	607.4084	-66.424	4405.788	-295.618	-197.405	0
18	SLU-ENV(min)	607.0365	-51.7144	4615.872	-279.082	-77.9371	0
19	SLU-ENV(min)	606.5474	-44.8881	4507.817	-266.08	-30.4862	0
5	SLV-ENV(min)	547.7592	-954.238	2850.426	-98.9404	-43.4741	0
6	SLV-ENV(min)	548.2989	-1008.39	2863.402	-154.095	29.01557	0
7	SLV-ENV(min)	548.2568	-1060.87	2660.554	-210.565	59.5361	0
8	SLV-ENV(min)	563.4939	-955.282	3247.96	-200.592	-14.1827	0
9	SLV-ENV(min)	563.3887	-1009.69	3235.875	-183.554	39.21398	0
10	SLV-ENV(min)	563.0869	-1063.07	2916.069	-107.43	71.50094	0
11	SLV-ENV(min)	517.4645	-956.42	3515.444	-256.764	13.99248	0
12	SLV-ENV(min)	517.1357	-1011.61	3475.311	-217.721	58.43692	0

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	31

13	SLV-ENV(min)	516.6052	-1066.02	2849.489	-162.263	98.19694	0
14	SLV-ENV(min)	465.4593	-957.103	3618.722	-309.744	29.95483	0
15	SLV-ENV(min)	465.1013	-1013.58	3251.889	-274.289	112.325	0
16	SLV-ENV(min)	464.7683	-1069.51	2531.525	-269.041	149.2055	0
17	SLV-ENV(min)	413.8447	-957.356	3310.162	-376.851	15.85236	0
18	SLV-ENV(min)	413.9981	-1014.6	2822.692	-337.567	131.1889	0
19	SLV-ENV(min)	413.9205	-1072.5	2081.376	-301.482	177.219	0
5	SLE-R-ENV(min)	432.8071	-42.6386	3437.398	78.19213	-86.1406	0
6	SLE-R-ENV(min)	432.5272	-31.9715	3498.987	71.33219	10.21811	0
7	SLE-R-ENV(min)	432.1367	-21.168	3441.531	69.55181	42.2749	0
8	SLE-R-ENV(min)	437.2656	-43.6184	3524.92	-12.1999	-71.5147	0
9	SLE-R-ENV(min)	437.1437	-32.9817	3591.317	0.76073	-11.8148	0
10	SLE-R-ENV(min)	436.8147	-22.4762	3573.989	39.91028	20.2495	0
11	SLE-R-ENV(min)	441.0986	-45.4373	3502.527	-63.3068	-67.8367	0
12	SLE-R-ENV(min)	441.184	-34.6444	3593.009	-56.6303	-35.3477	0
13	SLE-R-ENV(min)	440.9148	-23.8758	3611.21	-47.4107	0.12067	0
14	SLE-R-ENV(min)	438.3548	-47.3129	3424.703	-118.089	-76.42	0
15	SLE-R-ENV(min)	438.3029	-36.3602	3506.579	-119.699	-19.1612	0
16	SLE-R-ENV(min)	437.9996	-25.2728	3500.987	-140.481	10.8477	0
17	SLE-R-ENV(min)	427.4862	-48.2831	3230.987	-203.507	-90.173	0
18	SLE-R-ENV(min)	427.2314	-37.3782	3311.871	-191.198	-5.41294	0
19	SLE-R-ENV(min)	426.9025	-26.4893	3245.695	-181.119	27.56585	0

**MASSIMI**

Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
SLE-F1(max)	463	13	3.895	93	155	-
SLE-QP1	448	2	3.685	87	89	-
SLU-ENV(max)	765	42	5.480	134	234	-
SLV-ENV(max)	1.302	1.028	5.002	288	660	-
SLE-R-ENV(max)	470	24	3.903	95	159	-
SLE-F1(min)	444 -	15	3.615	81	46	-
SLU-ENV(min)	614 -	37	5.059	108 -	15	-
SLV-ENV(min)	563 -	954	3.619 -	99	177	-
SLE-R-ENV(min)	441 -	21	3.611	78	42	-

**MINIMI**

Load	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN*m)	MY (kN*m)	MZ (kN*m)
SLE-F1(max)	445	4	3.288 -	164 -	1	-
SLE-QP1	440 -	7	3.272 -	179 -	53	-
SLU-ENV(max)	709	27	4.699 -	228	13	-
SLV-ENV(max)	1.302	1.028	5.002	288	660	-
SLE-R-ENV(max)	446	10	3.292 -	161	3	-
SLE-F1(min)	430 -	37	3.248 -	201 -	86	-
SLU-ENV(min)	580 -	66	4.406 -	296 -	197	-
SLV-ENV(min)	414 -	1.073	2.081 -	377 -	43	-
SLE-R-ENV(min)	427 -	48	3.231 -	204 -	90	-

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b> S.P.A.	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>								
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>	PROGR <b>001</b>	REV <b>B</b>

### RIEPILOGO SOLLECITAZIONI

#### IV02 - Spalla S2

Inviluppo	N.max (KN)	N.min (KN)	Tmin (KN)	Tmax (KN)
SLU	5.480	4.406	66	765
SLV	5.002	2.081	1.073	1.302
SLE RARA	3.903	3.231	48	470
SLE QP	3.685	179	7	2

### LUNGHEZZE E CAPACITA' DEI PALI

#### IV02 - Spalla S2

Pila	Lp [m]	N.d [SLU] [kPa]	N.st [SLU] [kPa]	N.ii [SLE] [kPa]
1	22	7.535	4.141	6.677

### COEFFICIENTI DI SICUREZZA

#### IV02 - Spalla S2

Nc,max (SLU-SLV) (kN)	FS	Nt,max (SLU-SLV) (kN)	FS	N,max (SLE RARA) (kN)	FS
5.480	1,37	2.081	N.A.	3.903	1,71

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

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETA' CONSORTILE S.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>	PROGR <b>001</b>

### 5.4 PALI DI FONDAZIONE DELLE SPALLE: CAPACITA' PORTANTE TRASVERSALE

<b>VIADOTTO IV02</b> <b>Verifica palo D= 1500mm - L = 22 m</b>			rif.: "FONDAZIONI" - Carlo Viggiani rif.: "PROVE GEOTECNICHE IN SITU" - Alberto Bruschi		
<b>Dati del palo</b>			<b>Terreni</b>		
diametro	1500	mm	fusto	$\gamma_t$	20 kPa
L	22	m		$\phi'$	35 (°)
Ecls =	3,00E+07	kPa		Es.(z=0)	50.000 kPa
				Es.(z=L)	10.000 kPa
				v	0,2
<b>Dati della palificata</b>			base	$\gamma_t$	19,5 kN/mc
n° di file	4			$\phi'$	35 (°)
n° pali per fila	3			Eb	800.000 kPa
i/D	3			v	0,2
				Go/G =	2,00
				E0 (basse deform.)	800.000 kPa
<b>Calcolo Carico Limite Orizzontale - Terreni Incoerenti - Palo bloccato in testa</b>					
My =	6.188 kNm		(vedi calcolo riportato di lato)		
<b>Palo CORTO</b>			<b>Palo INTERMEDIO</b>		<b>Palo LUNGO</b>
$k_{p_{fusto,med}}$ =	3,69		H/( $k_p \gamma d^3$ )	109	
H =	78.363 kN		H =	26.402 kN	Hu/( $k_p \gamma d^3$ ) = 16
H/( $k_p \gamma d^3$ )	323		f =	12,77 m	H = <b>3.822</b> kN
Mmax =	1.149.319 kNm		Mmax =	224.769 kNm	f = 4,86 m
<b>NO PALO CORTO</b>			<b>NO PALO INTERMEDIO</b>		<b>OK PALO LUNGO</b>
<b>Hlim =</b>	<b>3.822 kN</b>				
	1,70		Hk =	2.248,50	
	1,30		Hd =	1.729,61	coeffic.. Gruppo = 0,80
					H'd = Hd * 0,80 = <b>1.384</b> kN

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018

TITOLO: \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 75 [cm]  
 Raggio interno: \_\_\_\_\_ [cm]  
 N° barre uguali: 48  
 Diametro barre: 2,8 [cm]  
 Copriferro (baric.): 10 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls  
 Coord.[cm]: xN 0, yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: B450C C25/30

$\epsilon_{su}$ : 67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰  
 $E_s$ : 200.000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 14,17 ‰  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8  
 $\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 9,75  
 $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0,6  
 $\tau_{c1}$ : 1,829

M<sub>xRd</sub>: 6.188 kNm  
 $\sigma_c$ : -14,17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3,5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 8,389 ‰  
 d: 140 cm  
 x: 41,21 x/d: 0,2944  
 $\delta$ : 0,808

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi  
 a T Circolare  
 Rettangoli Coord.  
 DXF

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviala

Vertici: 52 N° rett.: 100  
 Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>o</sub>: 0 cm Col. modello  
 M-curvatura  
 Precompresso

**LINEA PESCARA – BARI**

**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA  
LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>34</b>

**H.lim**

IV02 - Spalla S1	
Pla	N.II [SLE]
	[kPa]
1	1.384

**COEFFICIENTI DI SICUREZZA**

IV02 - Spalla S1		IV02 - Spalla S2	
T.max	FS	T.max	FS
(SLU-SLV)		(SLU-SLV)	
(kN)		(kN)	
797	1,74	1.302	1,15

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR
			<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>35</b>

## 6. VERIFICA STRUTTURALE DEL SINGOLO PALO

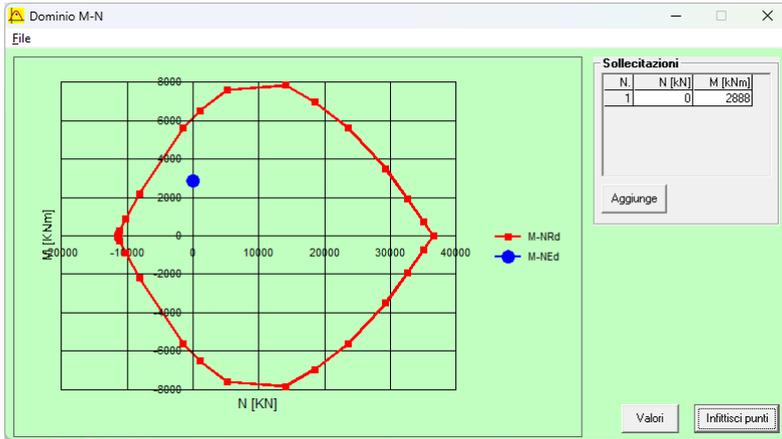
### PALO PILA

Di seguito si riporta la verifica strutturale del palo per le sollecitazioni massime in esercizio:

T.max = 1169 kN      M.max = 2888 kNm

L'armatura longitudinale è costituita da 39Φ30 mentre l'armatura a taglio è costituita da una spirale Φ10/15 cm.

### Verifica a Flessione.



### Verifica a taglio.

#### 4.1.2.1.3.2 Elementi CON armature trasversali resistenti al taglio

V.Ed =		<b>1169</b> kN		
deve risultare	V.Rd > V.Ed		(4.1.2.1.3.2 NTC)	
dove:				
V.Rd = min (V.Rsd; V.Rcd)				
V.Rsd = 0,9*d*A.sw/s * fyd ((ctg(alfa)+ctg(teta))*sen(alfa)				[4.1.18 NTC]
V.Rcd = 0,9*d * bw * alfa.c * F'cd ((ctg(alfa)+ctg(teta))/(1+ctg(teta))^2				[4.1.19 NTC]
d (mm)	alfa (°)	teta (°)	alfa'c (cautelativo)	f'cd=50%*f'cd
1.279	45	<b>21,81</b>	1	8,30
1 ≤ ctg teta ≤ 2,5	2,50	ok		
V.Rsd	1.681	kN		
V.Rcd	6.136	kN		
V.rd=min(V.Rsd;V.R.cd)	<b>1.681</b>	kN		[4.1.20 NTC]
V.Rd > V.Ed	ok			
<b>Calcolo armature trasversali</b>	si utilizzano staffe / sagomati - d =	<b>12</b>	mm	
	bracci / n.	<b>2</b>		
	passo (s)	<b>150</b>	mm	
Asw	226,19	mmq		
Asw.min (50%di V.Ed)>Asw	78,65	ok		
V per le am. longit.appoggio	1.687	ok		

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

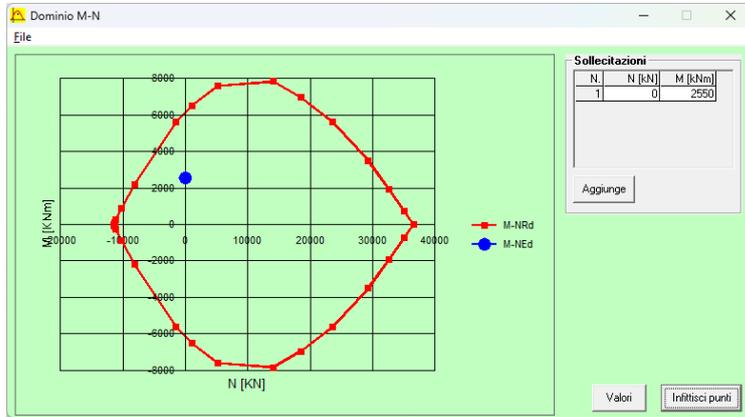
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>36</b>

**PALO SPALLA**

Di seguito si riporta la verifica strutturale del palo per le sollecitazioni massime in esercizio:  
T.max = 1032 kN      M.max = 2550 kNm

L'armatura longitudinale è costituita da 39Φ30 mentre l'armatura a taglio è costituita da una spirale Φ10/15 cm.

**Verifica a Flessione.**



**Verifica a taglio.**

**4.1.2.1.3.2 Elementi CON armature trasversali resistenti al taglio**

V.Ed = **1032 kN**  
deve risultare V.Rd > V.Ed (4.1.2.1.3.2 NTC)  
dove:  
V.Rd = min (V.Rsd; V.Rcd)  
V.Rsd = 0,9\*d\*A.sw/s \* fyd ((ctg(alfa)+ctg(teta))\*sen(alfa)) [4.1.18 NTC]  
V.Rcd = 0,9\*d \* bw \* alfa.c \* F'cd ((ctg(alfa)+ctg(teta))/(1+ctg(teta)^2)) [4.1.19 NTC]

d (mm)	alfa (°)	teta (°)	alfa'e (cautelativo)	f'cd=50%*f'cd
1.279	45	<b>21,81</b>	1	8,30
1 ≤ ctg teta ≤ 2,5		2,50	ok	
V.Rsd	1.681	kN		
V.Rcd	6.136	kN		
V.rd=min(V.Rsd;V.R.cd)	<b>1.681</b>	kN	[4.1.20 NTC]	
V.Rd > V.Ed	ok			
<b>Calcolo armature trasversali</b>	si utilizzano staffe / sagomati - d = <b>12</b> mm			
	bracci / n. <b>2</b>			
	passo (s) <b>150</b> mm			
Asw	226,19	mmq		
Asw.min (50%di V.Ed)>Asw	69,44	ok		
V per le arm. longit.appoggio	1.687	ok		

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>											
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

## 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  $w_s$  sotto l'azione di un carico  $Q$  è espresso dalla:

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

nella quale  $I_w$  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,  $E_p$  e il Modulo di Young del terreno,  $E$ .

$I_w$  si ottiene come prodotto di quattro coefficienti  $I_0$ ,  $R_k$ ,  $R_v$  ed  $R_n$  ricavabili dai grafici nelle figure seguenti. Si assume un modulo di rigidezza  $E$  crescente con la profondità con la seguente legge:

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

con  $p_a=100$  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,  $G_L$  il Modulo di taglio  $G$  valutato alla profondità  $L$ ,  $r_0$  il raggio del palo,  $r_b$  il raggio della base del palo e  $G_b$  il Modulo di taglio al di sotto della base del palo.

Per tenere conto della deformabilità del palo gli Autori propongono :

$$\frac{Q}{w r_0 G_L} = \frac{\frac{4}{1 - \nu} \frac{\eta}{\xi} + \frac{2 \pi \rho \operatorname{tgh}(\mu L)}{\zeta} \frac{L}{\mu L} \frac{L}{r_0}}{1 + \frac{1}{\pi \lambda} \frac{4}{1 - \nu} \frac{\eta}{\xi} \frac{L}{\mu L} \frac{L}{r_0}}$$

con:  $\eta = r_b / r_0$ .

### Metodo di calcolo dei cedimenti del gruppo di pali

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>001</b>	<b>B</b>	<b>38</b>

**Calcolo del cedimento verticale**

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

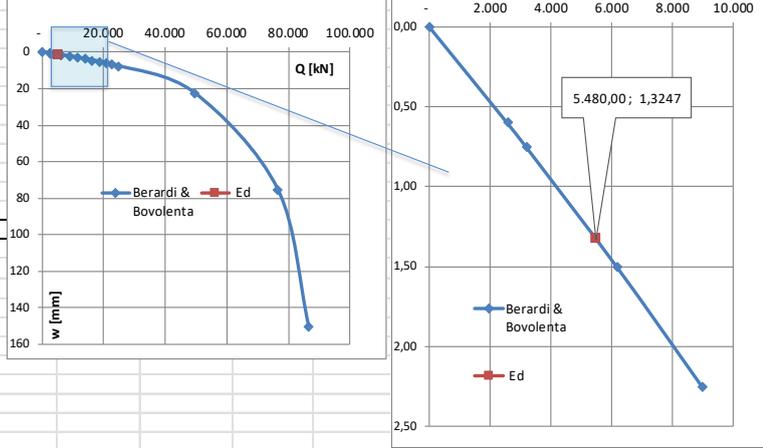
<b>Dati del palo</b>		
diametro	1500	mm
L	22	m
Epalo =	30.000.000	kN/mq

Q/w	1.608.775	kN/m
Ed	5.480,00	kN
w	1,3247	mm

w/D	0,0883%
per w/D	0,50%
si verifica Q=	24704

	E	G	
Z = L/2	50.000	20833	kN/mq
Z = L	10.000	4167	kN/mq
sotto la base	800.000	333333	kN/mq
iniziali (basse deform.)	800.000	333333	kN/mq

**Curva carico / cedimento**



Berardi & Bovolenta (pag. 427)		w/d	w (m)	G'/Go	G'	G(=G'/p)	Lamda	Denom.	Q	w (mm)
D	1,5 m	0,000%	-	1,2500	416.667	83.333	360	11,04	-	-
rb	0,75 m	0,040%	0,00060	0,9686	322.872	64.574	465	8,78	2.559	0,600
ro	0,75 m	0,050%	0,00075	0,9170	305.670	61.134	491	8,37	3.178	0,750
L	22 m	0,100%	0,00150	0,7241	241.371	48.274	621	6,82	6.160	1,500
Ep	3,00E+07 kN/mq	0,150%	0,00225	0,5983	199.422	39.884	752	5,81	8.964	2,250
modulo di poisson+ ni	0,2	0,200%	0,00300	0,5097	169.895	33.979	883	5,09	11.605	3,000
a profondità L/2 G'	20833 kN/mq	0,250%	0,00375	0,4440	147.984	29.597	1014	4,57	14.096	3,750
a profondità L G	4167 kN/mq	0,300%	0,00450	0,3932	131.079	26.216	1144	4,16	16.451	4,500
sotto la base del palo Gb	333333 kN/mq	0,350%	0,00525	0,3529	117.640	23.528	1275	3,84	18.679	5,250
a profondità L/2 E's	50000 kN/mq	0,400%	0,00600	0,3201	106.701	21.340	1406	3,57	20.792	6,000
a profondità L Es	10000 kN/mq	0,450%	0,00675	0,2929	97.623	19.525	1537	3,35	22.797	6,750
sotto la base del palo Eb	800000 kN/mq	0,500%	0,00750	0,2699	89.969	17.994	1667	3,17	24.704	7,500
ita	1	1,500%	0,02250	0,1051	35.032	7.006	4282	1,84	49.574	22,500
csi	0,01	5,000%	0,07500	0,0335	11.167	2.233	13433	1,27	76.546	75,000
p	5,00	10,000%	0,15000	0,0170	5.659	1.132	26505	1,14	86.648	150,000
lamda	7.200									
zita	2,39	0,0883%	0,00132	0,7616	253.851	50.770	591	7,12	5480	1,325
mu*L	0,32									
tanh(muL)/muL	0,968									

Randolph & Wroth (pag. 420)		Poulos pag 422	
D	1,5 m	D	1,5 m
rb	0,75 m	rb	0,75 m
ro	0,75 m	ro	0,75 m
L	22 m	L+	22 m
Ep	3,00E+07 kN/mq	Ep	3,00E+07 kN/mq
modulo di poisson+ ni	0,2	modulo di poisson+ ni	0,2
a profondità L/2 G'	20833 kN/mq	a profondità L/2 G'	20833 kN/mq
a profondità L G	4167 kN/mq	a profondità L G	4167 kN/mq
sotto la base del palo Gb	333333 kN/mq	sotto la base del palo Gb	333333 kN/mq
a profondità L/2 E's	50000 kN/mq	a profondità L/2 E's	50000 kN/mq
a profondità L Es	10000 kN/mq	a profondità L Es	10000 kN/mq
sotto la base del palo Eb	800000 kN/mq	sotto la base del palo Eb	800000 kN/mq
to la base del palo (basse def.) Gbo	333333 kN/mq	sotto la base del palo Eb	800000 kN/mq
ita	1	ita	1
csi	5,68	csi	0,01
mu	0,51	p	5,00
mu*L	11,23	lamda	7.200
tanh(muL)	1,00	zita	3,61
		mu*L	0,26
lw = w/Q	1,3852E-06 m/kN	tanh(muL)/muL	0,979
Q =	5.480,00 kN	Q =	5.480,00 kN
W =	0,008 m	lw = Q/w	4.129.793
	7,59 mm	lp	0,02
		w =	0,0013 m
			1,3269 mm
		w/D	0,088%

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE S.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>			COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>		PROGR <b>001</b>

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.

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

con:

$$R_{G, \text{max}} = (0.5/R) + (0.13/R^2)$$

$$R_{G, \text{medio}} = 0.3 \cdot R^{-1.2}$$

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;

$w_{s, \text{max}}$ = cedimento massimo del singolo palo;

$w_{s, \text{medio}}$ = cedimento medio del singolo palo;

i= interasse;

L= lunghezza dei pali.

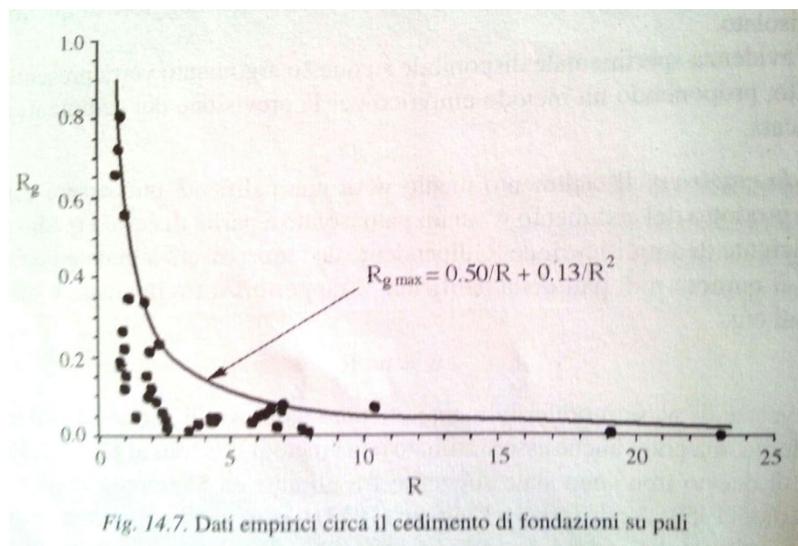


Figura 3 Dati empirici circa il cedimento di fondazioni su pali

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>Relazione di calcolo</b> <b>fondazioni</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 03</b>			PROGR <b>001</b>

Dall'analisi dei carichi, il valore di cedimento per la spalla e per la pila 1, avendo considerato il valore del carico alla configurazione SLE (quasi permanente) può essere stimato nell'ordine tra i 20-30 mm per la spalla e tra i 10-20mm per la pila, con conseguente intensità dell'ordine dei 10mm per i cedimenti differenziali tra spalla e pila. Di seguito si riportano le valutazioni numeriche sul singolo palo e sul gruppo di pali.

### Stima sommaria dell'ordine di grandezza dei cedimenti della palificata

(metodo empirico)

<b>Palificata</b>	$\phi$	1500	mm	<b>Dati della palificata</b>	
	L	22	m	n° di file	4
	n° pali	12		n° pali per fila	3
	i	4,5	m	interasse/D	3
<b>Cedimento palo singolo</b>	$w_s =$	1,325	mm		
R =	1,57				
$R_{g,max} =$	0,37	coefficiente di riduzione max - involuppo			
<b>Cedimento medio palificata</b>	<b>w =</b>	<b>2,783</b>	<b>mm</b>	(stima valore più probabile)	
$R_g =$	0,18	coeff. di riduzione del gruppo			
$R_s =$	2,10	coeff. di amplificazione			
$R_{ds,max} =$	0,42				
<b>Cedimento differenziale max</b>	<b><math>\Delta w =</math></b>	<b>1,156</b>	<b>mm</b>	(stima w.max differenziale)	

**Relazione di calcolo  
fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	03	001	B	41

**Calcolo Spostamento Orizzontale**

**Palo Isolato - Bloccato in testa**

Analisi elastica di Matlock e Reese

(mezzo alla Winkler)

Palo	d =	1500 mm
	L =	22 m
Terreno	$\gamma$ =	19,50 kN/m <sup>3</sup>
Ecls =	30.000.000	kPa
Eso =	50.000	kPa

J =	0,24850 m <sup>4</sup>	$\lambda = 4 \sqrt{\frac{4EJ}{E_{s0}}}$
-----	------------------------	---

$\lambda$ =	4,942 m	
L / $\lambda$ =	4,45	> 4 <i>palo infinitamente lungo</i>

Hd =	1.169	kN
M.max (prog)	2.888	kNm
Spostamento in testa (caso palo infinitamente lungo)		
y.lim	4,73	mm
Rigidzza Orizzontale	247.091	kN/m

**Effetto di gruppo - Carico limite verticale e orizzontale**

N di pali =	12	Qv.lim =	7.535 kN
i = 3*D =	4,5 m	H.lim =	3.822 kN

**(Vesic, 1968 - carichi verticali)**

$\eta$ =	1
Q <sub>Glim</sub> (Vesic)	90.418 kN

**Converse - Labarre**

n° di file	4	$\eta = 1 - \frac{\arctg(d/i)(m-1)n + (n-1)m}{\pi/2 mn}$
n° pali per fila	3	
$\eta$ =	0,71	
Q <sub>Glim</sub> = (Converse-Labarre)	64.181	kN

**(Viggiani, 1999 - carichi orizzontali)**

$\eta$ =	0,8
H <sub>Glim</sub> =	36.695 kN

Q<sub>Glim</sub> = N\* $\eta$ \*Q<sub>lim</sub> = 64.181 kN

H<sub>Glim</sub> = N\* $\eta$ \*H<sub>lim</sub> = 36.695 kN