

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI
INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA
NAZIONALE

VIADOTTI

VI02 – Viadotto su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo delle fondazioni

SCALA:

-

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

I A 7 L 0 0 D 0 9 R H V I 0 2 0 3 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	Emissione esecutiva	<i>J. Dinelli</i>	Maggio 2020	<i>A.F. Rotunno</i>	Maggio 2020	<i>T. Paoletti</i>	Maggio 2020	

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Attozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 26743

File: IA7L 00 D 09 RH VI0203 001 A.doc

n. Elab.:

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	8
3.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	9
4.	METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE DEI PALI.....	11
4.1	PREMESSA.....	11
4.2	ANALISI AGLI STATI LIMITE.....	11
4.3	METODOLOGIA DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI	13
4.4	<i>DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO A TRAZIONE</i>	16
4.5	<i>VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE DI UNA PALIFICATA</i>	17
5.	METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI.....	18
5.1	PREMESSA.....	18
5.2	ANALISI AGLI STATI LIMITE.....	18
5.3	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE - BROMS.....	18
6.	METODOLOGIA PER L'ANALISI DELLE PALIFICATE	22
6.1	COMPORAMENTO DEL PALO SOGGETTO AI CARICHI ORIZZONTALI - MODULO DI REAZIONE ORIZZONTALE DEL TERRENO.....	22
6.2	VALUTAZIONE DEL MOMENTO ADIMENSIONALE LUNGO IL PALO	24
6.3	ANALISI PALIFICATA SPALLA E STIMA DEFORMAZIONI.....	25
7.	SOLLECITAZIONI SUI PALI	27
8.	VERIFICA STRUTTURALE DEL PALO	29
8.1	DETERMINAZIONE MOMENTO FLETTENTE	29
8.1.1	<i>Momento flettente SLU/SLV</i>	29
8.1.2	<i>Momento flettente SLE rara</i>	31

**PROGETTO DEFINITIVO**INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE**VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	3 di 42

8.1.3	Momento flettente SLE quasi permanente	32
8.2	VERIFICA PRESSO-FLESSIONE E TAGLIO	33
8.3	INCIDENZE	37
9.	VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE	38
9.1	VERIFICA A CAPACITÀ PORTANTE DEL SINGOLO PALO	38
9.2	VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE DELLA PALIFICATA	39
10.	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE	39
11.	ALLEGATI	42

1. PREMESSA

Nelle immediate vicinanze della stazione di Brindisi è presente una complessa realtà industriale principalmente legata al Porto e al polo petrolchimico. Il collegamento tra l'aera portuale e la stazione di Brindisi, ad oggi, è fortemente penalizzato da una moltitudine di intersezioni a raso all'interno di un'area fortemente urbanizzata.

Obiettivo della presente progettazione consiste nell'incentivare il traffico merci su ferro integrando il sistema portuale con il sistema ferroviario riducendo in questo modo le interferenze tra le attività di terminalizzazione ed il traffico urbano. Tale intervento presenta elevati vantaggi in termini di sicurezza in quanto, oltre ad allontanare il traffico merci da un tessuto urbano costituito da numerosi passaggi a livello, concentra le operazioni di manovra dei treni merci all'interno della nuova "stazione elementare".



Scopo della presente progettazione è la realizzazione del completamento dell'infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale.

Il progetto si compone di due lotti:

Lotto 1: opere a carico del Comune di Brindisi (a cura del Comune e in corso di realizzazione):


- Binario di corretto tracciato (Binario III) e precedenza in sinistra (Binario IV) della suddetta nuova Stazione Elementare;
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la Dorsale del Consorzio ASI di Brindisi (Porto di Brindisi) e la nuova Stazione Elementare per l'arrivo/partenza di treni merci a modulo 750m (circa 1,78 Km)

Lotto 2: opere a carico di RFI, oggetto della presente progettazione:

- Binari I e II della nuova stazione per l'arrivo/partenza treni di merci a modulo 750m
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la suddetta nuova Stazione Elementare e la linea Bari – Lecce (OO.CC. + armamento)
- Posto di comunicazione e bivio di collegamento della nuova tratta con la Linea Adriatica (al km 764+230 circa della linea Bari – Lecce)
- Impianti di trazione elettrica e apparati tecnologici della nuova stazione merci, della tratta di collegamento tra questa e la Linea Adriatica e del bivio sulla Linea Adriatica per l'allaccio della nuova linea.

Pertanto, il progetto risponde ai seguenti obiettivi:

- Realizzazione di una stazione a modulo 750 m, coerentemente con gli standard europei di trasporto merci;
- Velocizzazione delle attività di manovra e terminalizzazione, per accesso diretto dei treni provenienti da nord in una stazione dedicata a traffico merci, con itinerari di arrivo a 60 km/h;
- Integrazione del sistema ferroviario con quello portuale;
- Riduzione delle interferenze tra le attività di terminalizzazione su ferro e il traffico urbano, con vantaggi soprattutto in termini di sicurezza;
- Incentivo al traffico merci su ferro;
- Separazione del traffico merci, in parte altamente pericolose, dal traffico viaggiatori in stazione di Brindisi centrale.

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A	FOGLIO 6 di 42


Nella presente relazione si riporta la verifica delle fondazioni profonde delle spalle del Ponte Fiume Grande VI02 presente nell'ambito del Progetto Definitivo dell'infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'infrastruttura ferroviaria nazionale.

In particolare, verranno affrontati i seguenti aspetti:

- metodologie per la valutazione della capacità portante dei pali e per l'esecuzione delle relative verifiche (portata singolo palo a compressione, a trazione e portata di gruppo);
- metodologie per la determinazione del carico limite orizzontale dei pali per l'esecuzione delle relative verifiche;
- valutazioni per l'analisi delle palificate: comportamento del palo soggetto ai carichi orizzontali e determinazione del modulo di reazione orizzontale palo – terreno; valutazione del parametro alfa ($= M_o/T_o$) e del momento adimensionale lungo il palo;
- verifiche geotecniche e strutturali del singolo palo.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili ([N.1]).


In allegato si riporta inoltre la verifica degli scavi provvisori necessari alla realizzazione delle fondazioni delle spalle. Nelle analisi è stato considerato lo scavo in corrispondenza della spalla B in quanto presenta battente idrico e altezza maggiori. I risultati ottenuti possono quindi essere estesi anche agli scavi della spalla A e delle spalle del viadotto VI01.

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A	FOGLIO 7 di 42

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018.
- [N.2]. Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica.
- [N.3]. Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- [N.4]. C.M. 21/01/2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni.
- [N.5]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 D: Manuale di progettazione delle opere civili 2020– Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture.
- [N.6]. RFI DTC SI PS SP IFS 001 D: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili 2020– Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e in acciaio.
- [N.7]. UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento.
- [N.8]. UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- [N.9]. UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti.
- [N.10]. UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- [N.11]. UNI EN 1993-2:2007: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti.
- [N.12]. UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici.
- [N.13]. UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti.
- [N.14]. STI 2014 –Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>												
<p>VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7L</td> <td>00</td> <td>D 09 RH</td> <td>VI0203001</td> <td>A</td> <td>8 di 42</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	8 di 42
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	8 di 42								

2.2 Documenti di riferimento

- [DC1]. ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell’area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Relazione Geotecnica Generale (Doc. IA7L00D10GEGE0006001)
- [DC2]. ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell’area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico di linea (Doc. IA7L00D10F7GE0006002)
- [DC3]. ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell’area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – VI02 - Relazione di calcolo spalle (Doc. IA7L00D09CLVI0204001)

3. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La stratigrafia di calcolo è stata definita sulla base dei sondaggi BH05 e BH07. In Tabella 1 si riportano la stratigrafia e i valori caratteristici dei parametri geotecnici assunti in accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica [DC1].

La falda è assunta a -2 m da piano campagna.

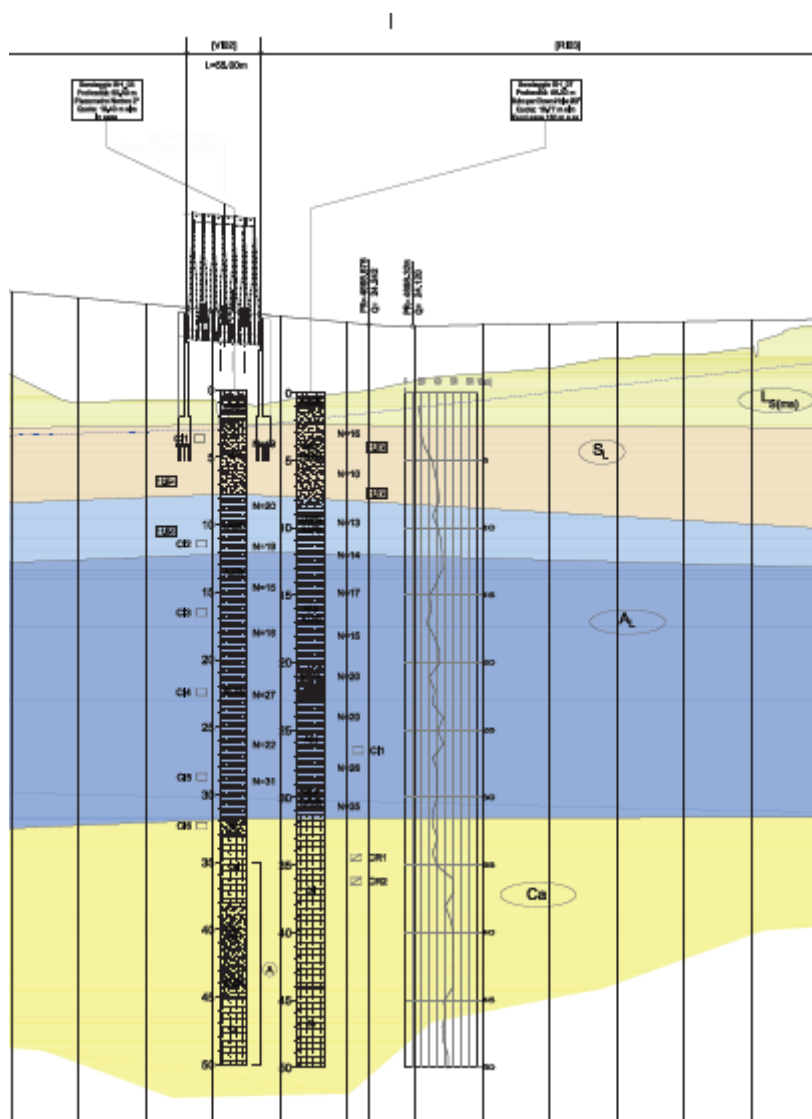


Figura 1 – Profilo geotecnico in corrispondenza del VI02.

Tabella 1 – Stratigrafia di calcolo e valori dei parametri geotecnici caratteristici.

	da	a	γ	φ_k'	c_k'	c_{uk}	k_h
	(m p.c.)	(m p.c.)	(kN/m ³)	(°)	(kPa)	(kPa)	kN/m ³
LS(ms)	0.0	1.5	19.0	26-30	0-5	60-120	-
SL	1.5	7.0	19.0	32-35	0	-	8000
LS(ga)	7.0	12.0	19.5	28-30	5-10	50-100	-
AL	12.0	32.0	20.0	24-28	15-20	$0.22 \cdot \sigma'_v \cdot OCR$ $0.8 (OCR=2)$	-
Cal	32.0		21.0	32-35	0	-	8000

essendo:

γ = peso di volume naturale


φ_k' = valore caratteristico dell'angolo di attrito

c_k' = valore caratteristico della resistenza al taglio in condizioni drenate

c_{uk} = valore caratteristico della coesione non drenata

k_h = gradiente del modulo di reazione del terreno per i materiali a grana grossa

La testa dei pali è stata considerata a -3.0 m dal piano campagna.

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
	VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A

4. METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE DEI PALI

4.1 Premessa

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.

La lunghezza palo di progetto è quella che soddisfa tutte le verifiche di capacità portante, anche in presenza di scalzamento. Si verificherà inoltre che la risposta del palo in esercizio sia di tipo “elastico”; verificando un adeguato coefficiente di sicurezza sulla portata ultima per attrito laterale:

- $N_{\max,SLE} < Q_{ll} / 1.25$ la massima sollecitazione assiale allo SLE RARA dovrà essere inferiore alla portata laterale limite del palo (Q_{ll} , riportata nelle seguenti tabelle) con un fattore di sicurezza di 1.25.

Il carico di progetto sul palo dovrà essere compatibile con le caratteristiche resistenti della sezione del palo.

4.2 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. La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

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

essendo

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

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 secondo l'Approccio (A1+M1+R3) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali delle tabelle di normativa 6.2.I, 6.2.II e 6.4.VI.

La resistenza di progetto a compressione $R_{c,d}$ è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ i coefficienti parziali γ_R riportati in tabella seguente (tabella di normativa 6.4.II), relativi alla condizione di pali trivellati.

Il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ a compressione del palo (o a trazione $R_{t,k}$) è ottenuto applicando i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 (vedasi tabella seguente) alle resistenze di calcolo $R_{c,cal}$ (o $R_{t,cal}$); tali fattori di correlazione sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

Per ogni opera verrà assunto un coefficiente ξ_3 in funzione delle verticali di indagine eseguite, sufficientemente rappresentative per la caratterizzazione geotecnica, secondo quanto indicato da normativa.

In condizioni sismiche le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi vanno condotte con riferimento allo stesso approccio utilizzato per le condizioni statiche (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella successiva tabella e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari all'unità.

Tabella 2 Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	γ_R	(R3)	(R3)	(R3)
Base	γ_b	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,15	1,15	1,15
Totale ⁽¹⁾	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

⁽¹⁾ da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

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

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

Tabella 3 Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

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

4.3 Metodologia di calcolo capacità 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:

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

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite,

Q_{bl} = portata di base limite,

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

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

F_{SB} = fattore di sicurezza per la portata di base ($=\xi_3 \cdot \gamma_b$).

Portata laterale

La portata laterale limite viene valutata con la seguente relazione:

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

dove:

D = diametro palo,

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

h_i = altezza dello strato i-esimo.

Depositi incoerenti

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

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

dove:

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

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

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

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

ϕ = angolo di resistenza al taglio.

Depositi coesivi

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

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

Dove:

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate

α = parametro empirico assunto come da Indicazione AGI:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\tau_i = \beta \cdot \sigma'_v \leq \tau_{l,max}$$

Dove

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

c_u = resistenza al taglio in condizioni non drenate;

σ'_v = tensioni verticali efficaci;

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

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);

σ'_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 Gwizdala, 1984, vedasi seguente tabella.

Tabella 4 – Valori di q_{blim} secondo Gwizdala [1984]

	$q_{b,lim}$ (kPa)
GHIAIE	7300
SABBIE	5800
SABBIE LIMOSE	4300

Depositi coesivi

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

$$q_b = 9 \cdot c_u + \sigma_v \leq q_{b,lim}$$

dove:

c_u = resistenza al taglio non drenata [kPa];

**PROGETTO DEFINITIVO**INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALEVI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	16 di 42

σ_v = tensione totale verticale;

$q_{b,lim}$ = pressione ultima di base massima consigliabile (3800 kPa in accordo a Engling e Reese, 1974).

4.4 Determinazione della resistenza di progetto a trazione

La portata a trazione di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “ Q_d ” 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 ($= \gamma_{st} \cdot \xi_3$).

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A	FOGLIO 17 di 42

4.5 *Verifica a carico limite verticale di una palificata*

Il carico limite verticale di una palificata viene valutato come:

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

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.

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
	VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A

5. METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI

5.1 Premessa

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

5.2 Analisi agli stati limite

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni di normativa [N.1] al paragrafo 6.4.3.1.1, applicando il coefficiente parziale (γ_T) della seguente tabella (vedasi tabella di normativa 6.4.VI) ed i coefficienti ξ_3 e ξ_4 , fattori di correlazione in funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative (tabella di normativa 6.4.IV).

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

Tabella 5 Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

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

5.3 Verifica a carico limite orizzontale - Broms

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

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

In terreni coesivi si ha:

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

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

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

dove :

H = carico limite orizzontale del palo;

c_u = resistenza non drenata del terreno;

M_y = momento di plasticizzazione del palo;

L = lunghezza del palo;

d = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

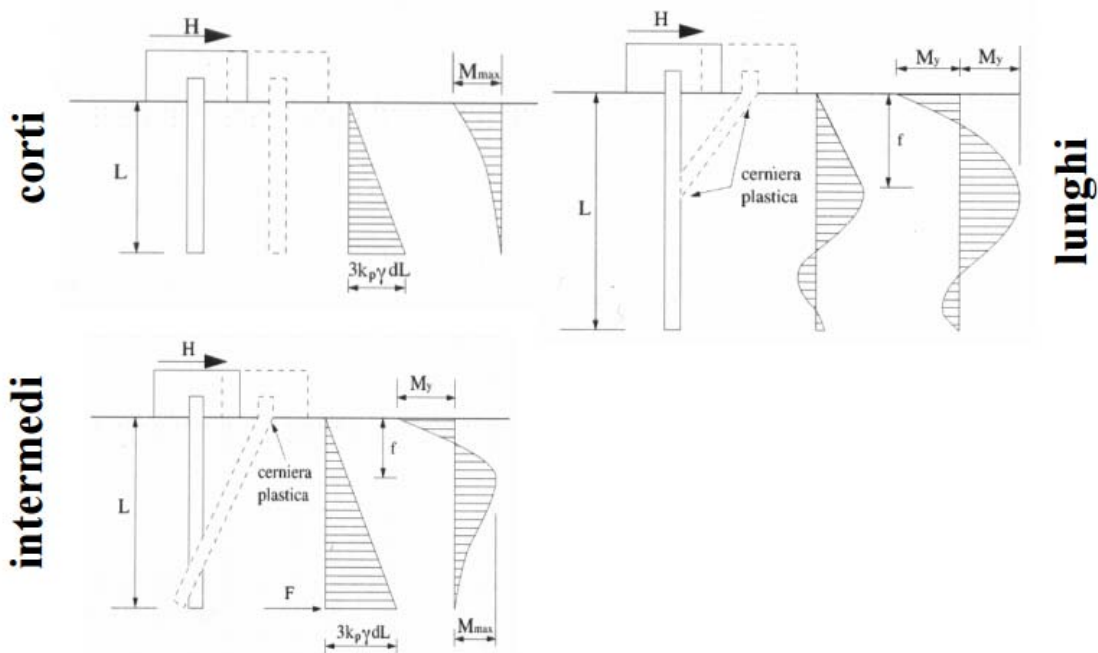
Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

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

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

Dove, oltre ai termini già definiti,

k_p = coefficiente di spinta passiva.



**PROGETTO DEFINITIVO**INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE**VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	21 di 42

Il valore di carico resistente di progetto (H_d) dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni (V_{pd}).

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

$$H_d = H_k / (\xi_3 \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

dove:

H_k = valore limite in funzione del meccanismo attivato valutato con teoria di Broms;

ξ_3 = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;


γ_T = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

V_{pd} = massima sollecitazione orizzontale di progetto.

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

Quindi per le palificate si verificherà:

$$H_d * 0.8 = (H_k * 0.8) / (\xi_3 \cdot \gamma_T) > V_{pd}$$

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
	VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A

6. METODOLOGIA PER L'ANALISI DELLE PALIFICATE

6.1 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 ;

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 ($y \leq 0.005 \cdot D$) per terreni sotto falda; in quanto per le palificate del presente lotto la configurazione dei pali è sempre sotto falda.

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 ($y \leq 0.005 \cdot D$).

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

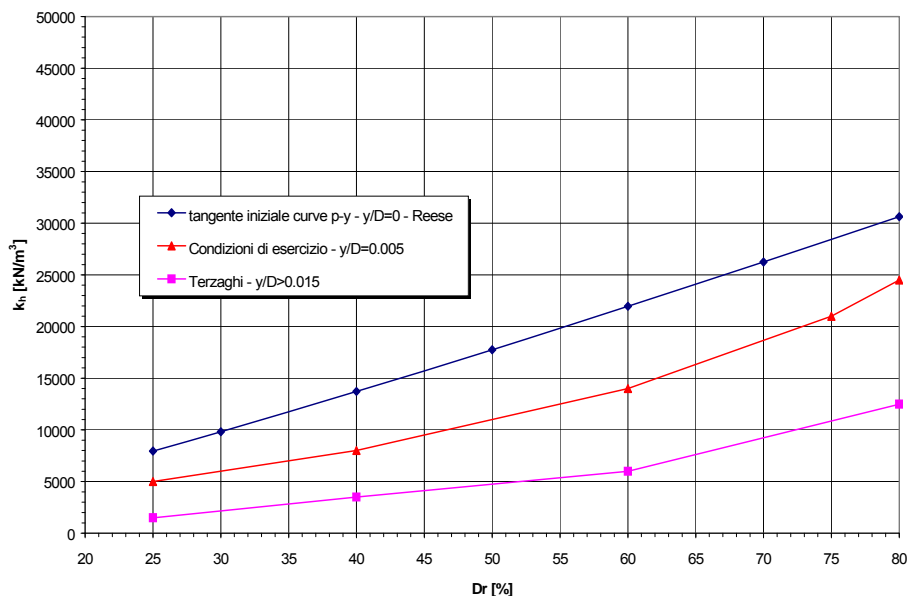


Figura 2. Andamento del gradiente del modulo di reazione orizzontale – Terreni sotto falda

Per le fondazioni delle opere in esame generalmente i terreni intercettati sono coesivi, sotto falda e quindi il modulo di reazione orizzontale palo-terreno viene valutato con i seguenti parametri:

- Per terreni coesivi: $\xi = 350$, il valore della resistenza al taglio non drenata è assunta come da stratigrafia di riferimento per l'opera;
- Per terreni incoerenti: $k_h = 8000 \text{ kN/m}^3$ in relazione alla densità relativa degli strati.

Inoltre al modulo di reazione orizzontale palo-terreno, viene applicato un coefficiente di riduzione per effetto gruppo della rigidità del terreno k_h , ai fini dell'analisi delle sollecitazioni sui pali. Cautelativamente si introduce lo stesso coefficiente di riduzione per effetto gruppo (0.8) applicato per la verifica del carico limite orizzontale dei pali (valutato con Broms).

6.2 Valutazione del momento adimensionale lungo il palo

Per ricavare il momento adimensionalizzato lungo il fusto del palo si ricorre al metodo di Matlock e Reese (1956), che utilizzando il metodo delle differenze finite, hanno risolto il problema del palo soggetto ad un carico orizzontale, mediante l'impiego di parametri adimensionali, ottenuti esprimendo l'equazione della linea elastica attraverso equazioni differenziali funzione del tipo di sollecitazione agente.

Nel caso in esame, considerando l'andamento del modulo di reazione orizzontale palo-terreno (E_{MR} , valutato in accordo al precedente paragrafo), si ricorre al metodo degli elementi finiti, adimensionalizzando la soluzione come segue:

$$M_0 = \alpha_m \cdot H_0$$

$$M(z) = M_0 \cdot M_{ad}(z)$$


essendo:

H_0 = azione tagliante in testa palo [F];

M_0 = azione flettente, conseguente ad H_0 , in testa al palo;

α_m = rapporto momento taglio in testa palo nell'ipotesi di rotazione impedita [L];

M_{ad} = momento flettente adimensionale lungo il fusto del palo.

	PROGETTO DEFINITIVO INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RH	DOCUMENTO VI0203001	REV. A	FOGLIO 25 di 42

6.3 Analisi palificata spalla e stima deformazioni





Relativamente alle palificate delle spalle, in accordo alle linee guida Italferr, si è adottato il seguente criterio progettuale:

- Azioni inerziali calcolate in condizioni sismiche con l'accelerazione massima al suolo sia per le spalle mobili che per le spalle fisse;
- Spinta del terreno in condizioni sismiche valutata in condizioni di equilibrio limite attivo (spinta attiva + Mononobe-Okabe), purchè sia verificata la condizione per la mobilitazione della spinta attiva sugli spostamenti dei pali di fondazione (ai sensi dell'Eurocodice EC7).

Quindi per le fondazioni delle spalle dei ponti/viadotti è stata svolta una analisi della palificata considerando i pali collegati (incastri) in testa ad un plinto di fondazione assimilabile ad un corpo infinitamente rigido. I valori massimi delle sollecitazioni agenti su ciascun palo e gli spostamenti della fondazione conseguenti ai carichi applicati sono stati determinati con l'ausilio del codice (dichiarare codice di calcolo).

Questa analisi è stata svolta considerando solo le combinazioni di carico sismiche, in quanto è finalizzata alla stima delle deformazioni massime in fondazione per la scelta dell'uso del coefficiente di spinta (k_0 , a riposo) o k_a (attiva) in condizioni sismiche per l'analisi delle palificate delle spalle. Infatti, in accordo alle linee guida Italferr relative alla valutazione della spinta del terreno sui muri di sostegno e sulle spalle di ponti fondati su pali, per il calcolo della spinta del terreno sulle opere di sostegno, occorre tenere presente che la mobilitazione della spinta attiva avviene per spostamenti di entità contenuta, come si evince dalla tabella desunta dall'EC7 - Parte 1 - Annesso C (C.3 "Movements to mobilise limit earth pressures), di seguito riportata.

Table C.1 — Ratios v_s/h

Kind of wall movement	v_s/h loose soil %	v_s/h dense soil %
a) 	0,4 to 0,5	0,1 to 0,2
b) 	0,2	0,05 to 0,1
c) 	0,8 to 1,0	0,2 to 0,5
d) 	0,4 to 0,5	0,1 to 0,2
where: v_s is the wall motion to mobilise active earth pressure h is the height of the wall		

Quindi per ogni palificata delle spalle sono state stimate le deformazioni massime a quota testa palo in funzione della geometria della palificata, dei carichi, della rigidezza assiale dei pali e del modulo di reazione orizzontale palo-terreno. Poi è stato stimato il rapporto V_s / h (della precedente tabella) in funzione dell'altezza complessiva della spalla. La scelta dell'uso del coefficiente di spinta (k_0 , a riposo) o k_a (attiva) in condizioni sismiche per l'analisi delle palificate delle spalle è nella relazione di calcolo strutturale delle spalle.

7. SOLLECITAZIONI SUI PALI

La fondazione della spalla poggia su 12 pali di diametro 1500 mm e lunghezza 35.0 m; nelle tabelle seguenti si riportano gli scarichi ottenuti in testa ai pali maggiormente sollecitati nelle combinazioni SLU (statiche e sismiche), GEO e SLE ([DC3]).

SLU/SLV		F1	F2	Fh	F3	Joint	OutputCase
		KN	KN	kN	KN	Text	Text
F3	max	-1041.62	-11.32	1041.68	5851.57	63	STR1
F3	min	-140.34	-341.92	369.60	1983.65	34	SIS-x7
F2	max	-1166.70	1001.34	1537.49	5212.73	60	STR1
F2	min	-300.24	-1182.26	1219.79	5316.60	65	STR5
F1	max	478.62	-432.71	645.23	3521.18	34	STR13
F1	min	-1302.81	434.12	1373.24	4900.54	41	STR10

GEO		F1	F2	Fh	F3	Joint	OutputCase
		KN	KN	kN	KN	Text	Text
F3	max	-994.57	21.80	994.81	5671.49	63	GEO1
F3	min	-557.05	626.37	838.24	2180.76	6	GEO4
F2	max	-1116.16	981.51	1486.33	5047.79	60	GEO1
F2	min	-267.80	-1082.14	1114.78	4872.91	65	GEO7
F1	max	439.01	-428.92	613.76	3495.48	34	GEO13
F1	min	-1216.29	448.16	1296.23	5093.17	41	GEO1

RARA		F1	F2	Fh	F3	Joint	OutputCase
		KN	KN	kN	KN	Text	Text
F3	max	-731.90	58.53	734.23	4032.93	63	RAR1
F3	min	182.38	-475.34	509.13	2394.74	34	RAR1
F2	max	-789.54	702.61	1056.90	3587.62	60	RAR1
F2	min	-315.39	-742.35	806.57	3086.45	68	RAR1
F1	max	253.77	-308.99	399.84	2495.36	34	RAR2
F1	min	-870.71	329.46	930.96	3651.70	41	RAR1



PROGETTO DEFINITIVO

INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE

VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	28 di 42

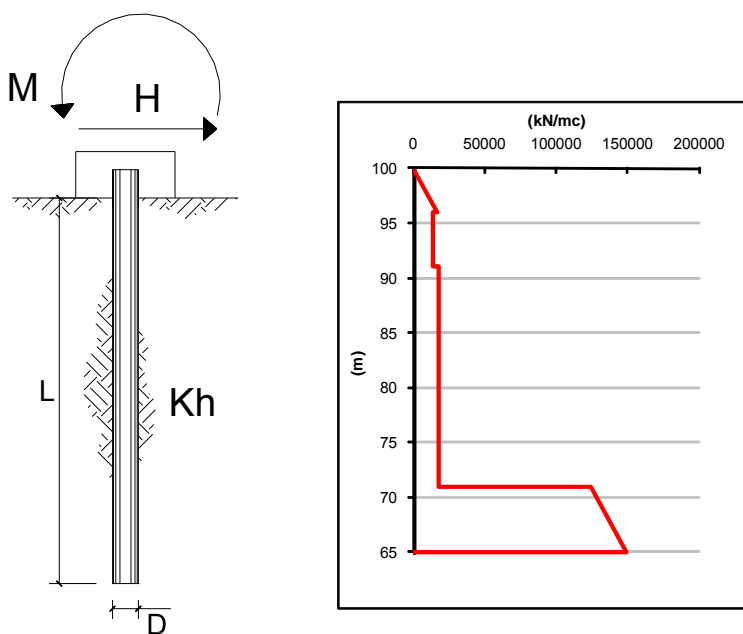
QUASI PERMANENTE		F1	F2	Fh	F3	Joint	OutputCase
		KN	KN	kN	KN	Text	Text
F3	max	-526.31	414.53	669.95	3473.40	41	QP
F3	min	53.87	-472.50	475.56	2344.99	34	QP
F2	max	-13.44	747.40	747.52	2867.59	6	QP
F2	min	-104.79	-640.05	648.57	2799.24	46	QP
F1	max	53.87	-472.50	475.56	2344.99	34	QP
F1	min	-539.36	628.79	828.43	3043.81	60	QP

8. VERIFICA STRUTTURALE DEL PALO

8.1 Determinazione momento flettente

A partire dal valore massimo del taglio sul singolo palo per ciascun gruppo di combinazioni di carico (SLU/SLV, SLE rara e SLE quasi permanente) è stato determinato l'andamento del momento flettente lungo il fusto del palo stesso, come di seguito riportato. Per la metodologia utilizzata si rimanda al paragrafo 6.1.

8.1.1 Momento flettente SLU/SLV



strati terreno	descrizione	quote (m)	k_h (kN/m^3)	η_h (kN/m^3)
p.c.=strato 1	SL	100.00	0	6400
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Ls(ga)	96.00	14000	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	AL	91.00	18000	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Cal	71.00		6400
<input type="checkbox"/> strato 5				
<input type="checkbox"/> strato 6				



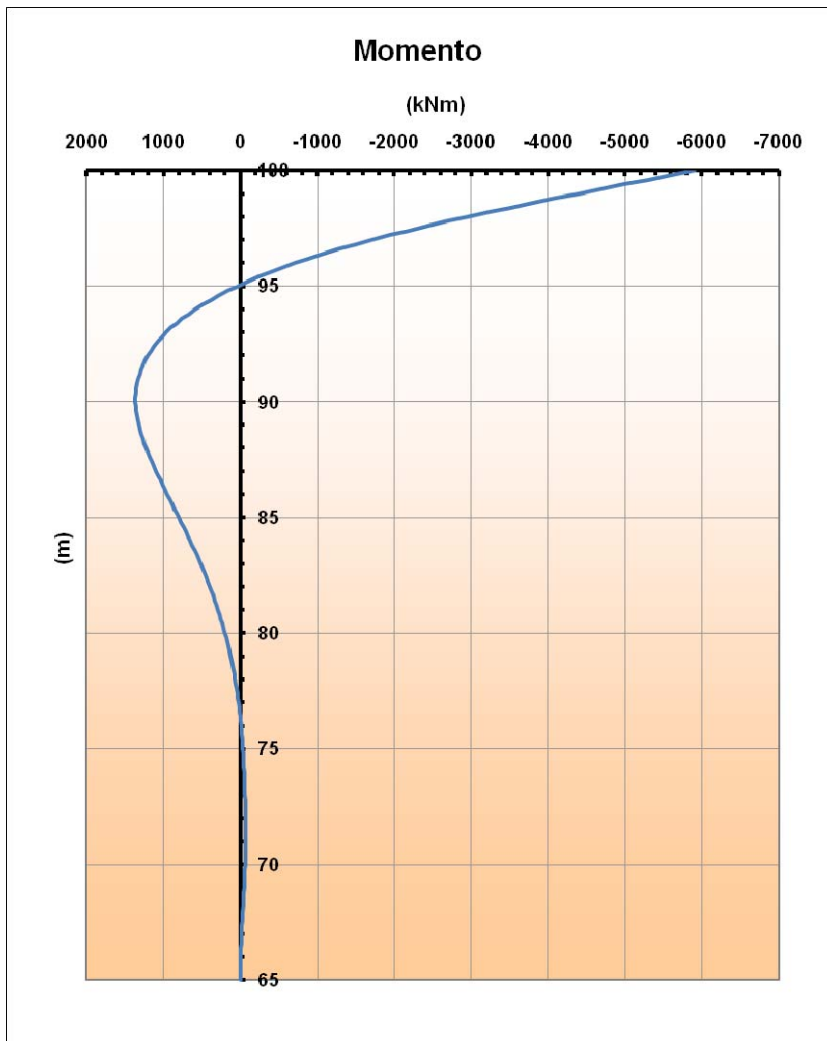
PROGETTO DEFINITIVO

INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE

VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni

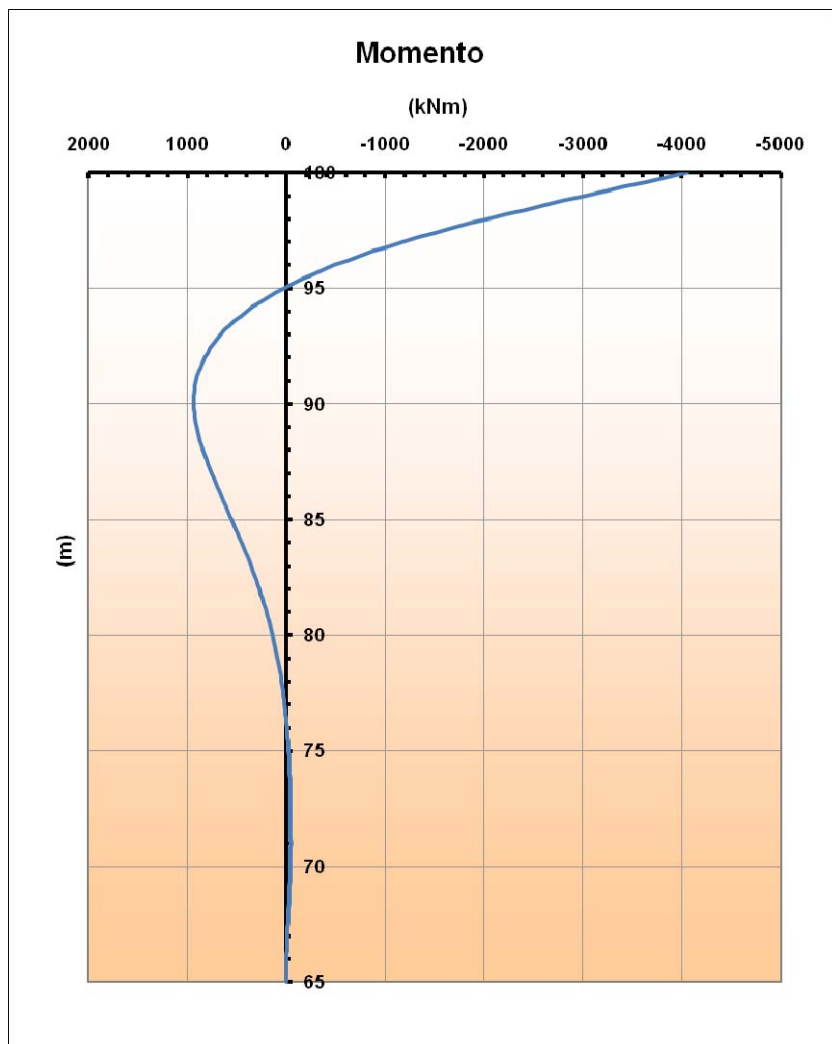
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	30 di 42

Diametro del palo	1.5	(m)
J palo	0.24850	(m ⁴)
Lunghezza del palo	35	(m)
Forza orizzontale in testa	1537.5	(kN)
Momento in testa	0	(kNm)
E cls	31475.8	(Mpa)
dimensione elementi	0.2	(m)



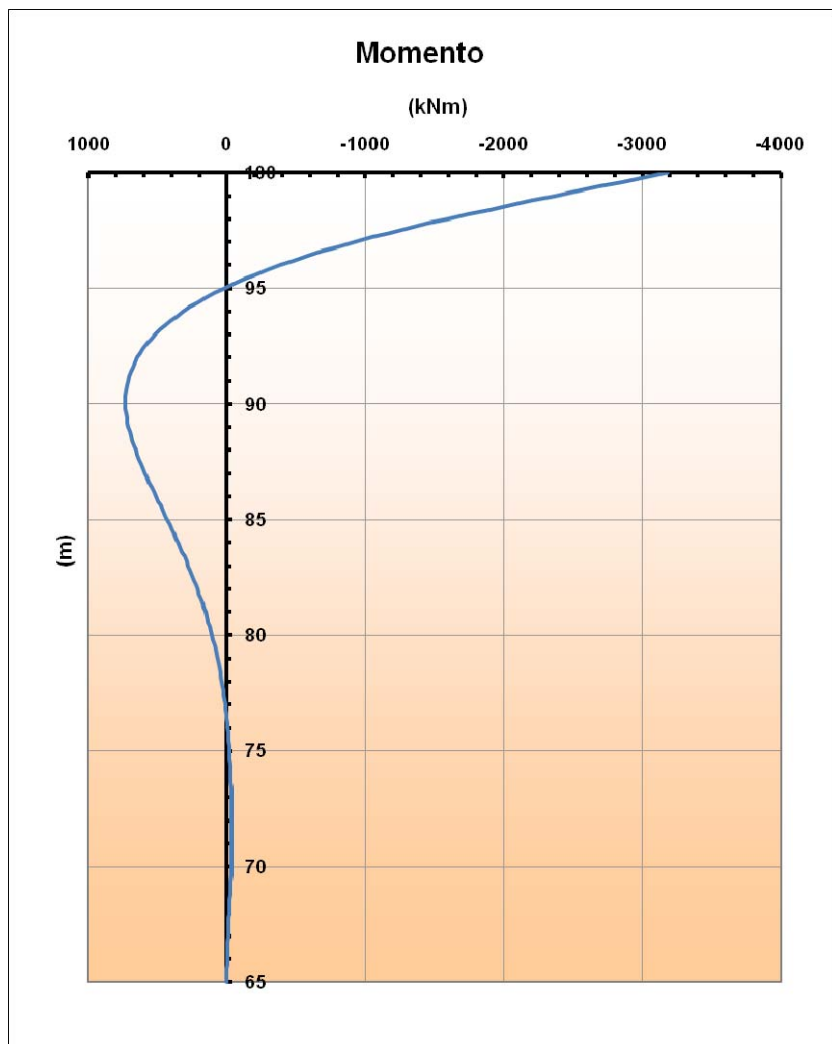
8.1.2 Momento flettente SLE rara

Diametro del palo	1.5 (m)
J palo	0.24850 (m ⁴)
Lunghezza del palo	35 (m)
Forza orizzontale in testa	1056.9 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	31475.8 (Mpa)
dimensione elementi	0.2 (m)



8.1.3 Momento flettente SLE quasi permanente

Diametro del palo	1.5	(m)
J palo	0.24850	(m ⁴)
Lunghezza del palo	35	(m)
Forza orizzontale in testa	828.43	(kN)
Momento in testa	0	(kNm)
E cls	31475.8	(Mpa)
dimensione elementi	0.2	(m)



8.2 Verifica presso-flessione e taglio

Si riassumono di seguito le sollecitazioni ottenute per i diversi stati limite.

	$z(M_{max})$	M_{max}	T_{max}	N
	(m)	(kNm)	(kN)	(kN)
SLU/SLV	0.0	5907.03	1537.49	5212.73
SLE RARA	0.0	4060.58	-	3587.62
SLE Q.P.	0.0	3182.81	-	3043.81

Il palo è armato con un doppio strato di armatura longitudinale; il primo, più esterno, è costituito da 44 barre $\Phi 30$ mm e il secondo da 36 barre $\Phi 30$ mm. L'armatura trasversale è costituita da due eliche continue $\Phi 12/10$.

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

NOME SEZIONE: palo-VI02

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Pilastro
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di progetto fcd:	141.60 daN/cm ²
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80 daN/cm ²
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750 daN/cm ²
	Resis. media a trazione fctm:	25.60 daN/cm ²
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	137.50 daN/cm ²
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	100.00 daN/cm ²
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0 daN/cm ²
	Resist. snerv. di progetto fyd:	3913.0 daN/cm ²
	Resist. ultima di progetto ftd:	3913.0 daN/cm ²
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm ²	



PROGETTO DEFINITIVO

INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE

VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	34 di 42

Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 75.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	65.3	44	30
2	0.0	0.0	57.8	36	30

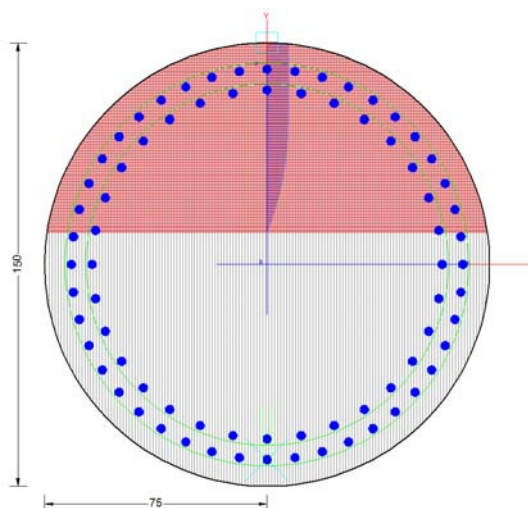
ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
Passo staffe: 10.0 cm
N. bracci: 4

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ. d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ. d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	521273	590703	0	153749	0



COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	358762	406058	0

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N° Comb.	N	Mx	My
1	304381	318281 (175834)	0 (0)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.5 cm
Copriferro netto minimo staffe: 7.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sn Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Sn Componente momento assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My res Momento flettente resistente [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)



PROGETTO DEFINITIVO

INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE

VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	36 di 42

As Totale Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	521273	590703	0	521283	1141718	0	1.93	565.5(53.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	75.0	0.00297	0.0	65.3	-0.00411	0.0	-65.3

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coef. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coef. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000054226	-0.000566982	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N. bracci: 4

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [daN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff	
1	S	153749	568699	161696	117.8]	96.9	137.2	1.000	1.208	40.5	42.6(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm ²]

Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	105.2	0.0	0.0	-1449	0.0	-65.3	1992	113.1

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm

Ver. Esito della verifica
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 \cdot S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00083	0	0.500	30.0	82	0.00054 (0.00043)	369	0.199 (0.20)	172535	0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	82.9	0.0	0.0	-1096	0.0	-65.3	1936	113.1

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00063	0	0.500	30.0	82	0.00043 (0.00033)	366	0.157 (0.20)	175834	0

8.3 Incidenze

Come riportato al paragrafo precedente, l'armatura in testa al palo è costituita da:

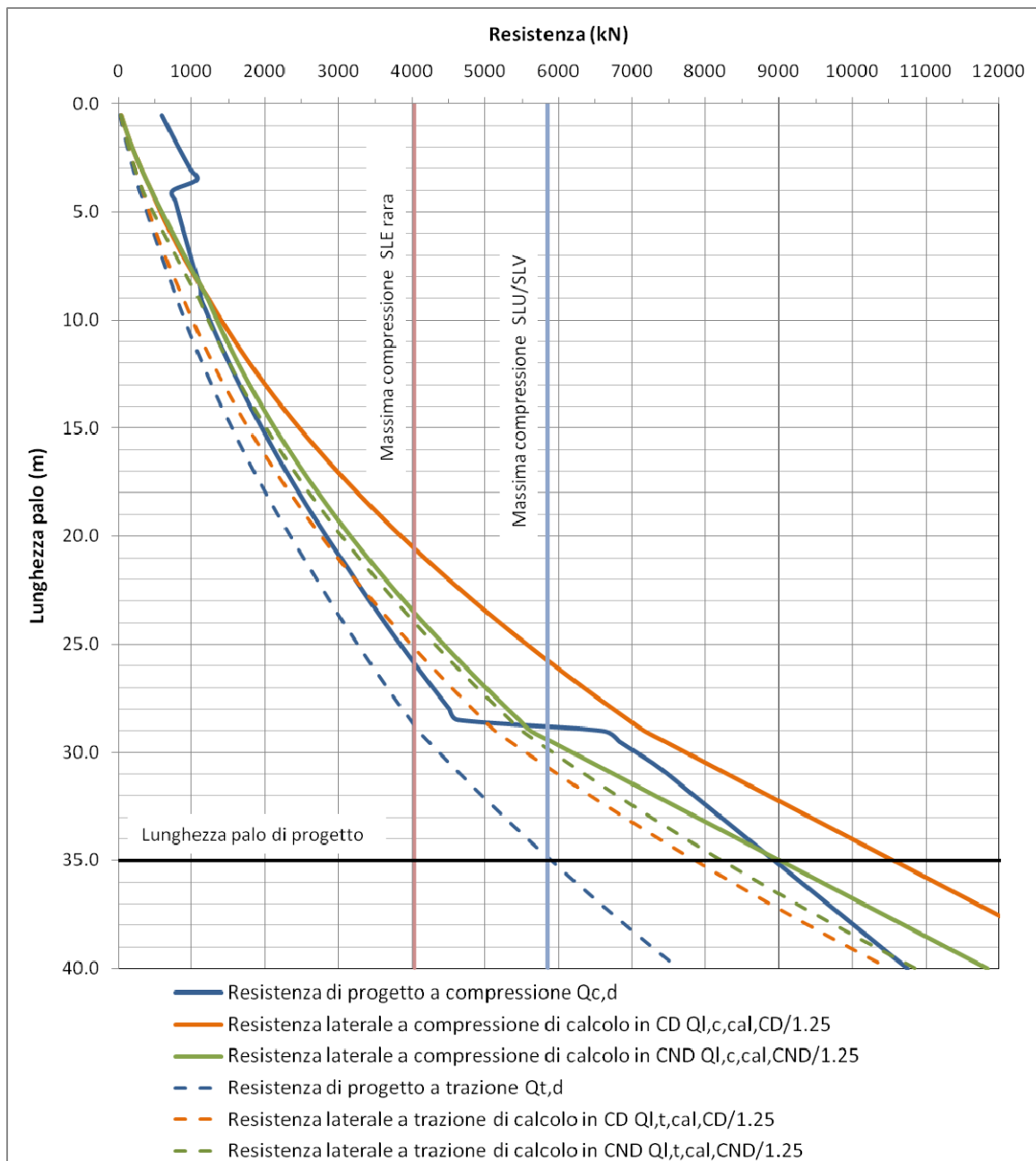
- armatura longitudinale: 44 Φ 30 + 36 Φ 30
- armatura trasversale: 2 Φ 12/10

con un'incidenza di 310 kg/m³.

Si ritiene necessario che tale armatura venga mantenuta per i primi 15 m di palo mentre al di sotto può considerarsi un'armatura ridotta con un'incidenza di 170 kg/m³.

9. VERIFICA A CARICO LIMITE VERTICALE

9.1 Verifica a capacità portante del singolo palo



In allegato sono riportate le curve in forma tabellare.

9.2 Verifica a carico limite verticale della palificata

Lo sforzo assiale massimo sulla palificata si ha in combinazione STR1 ed è pari a $E_d = 54831$ kN.

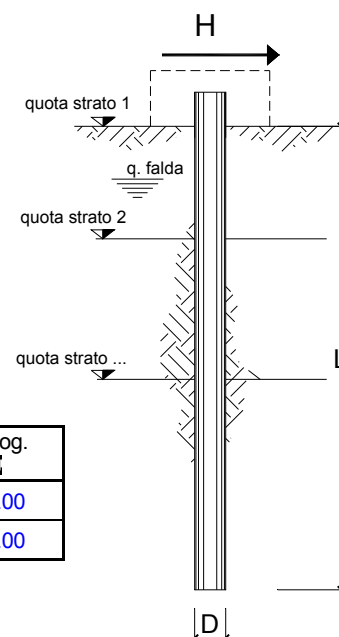
L'efficienza della palificata, valutata come riportato al paragrafo 4.5, è pari a 0.71 mentre la resistenza del singolo palo è pari a 8900 kN. La resistenza della palificata è pertanto pari a $R_d = 0.71 \cdot 12 \cdot 8900 = 75828$ kN e quindi la verifica risulta soddisfatta.

10. VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE

opera **VI02**

coefficienti parziali			A		M		R
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	$\gamma_{\phi'}$	γ_{cu}	γ_T
			γ_G	γ_Q			
SLU	A1+M1+R1	<input type="checkbox"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="checkbox"/>	1.00	1.30	1.00	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="checkbox"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.30
	SISMA	<input type="checkbox"/>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.00	1.00	1.30

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	T.A.	prog.
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00



strati terreno	descrizione	quote (m)	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	Parametri medi		Parametri minimi		
						k_p	c_u (kPa)	ϕ (°)	k_p	c_u (kPa)
p.c.=strato 1	SL	100.00	19	9	33.5	3.46		32	3.25	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Ls(ga)	96.00	19.5	9.5		1.00	75		1.00	50
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	AL	91.00	20	10		1.00	100		1.00	75
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Cal	71.00	21	11	33.5	3.46		32	3.25	
<input type="checkbox"/> strato 5						1.00			1.00	
<input type="checkbox"/> strato 6						1.00			1.00	

Quota falda	100	(m)
Diametro del palo D	1.50	(m)
Lunghezza del palo L	35.00	(m)
Momento di plasticizzazione palo My	11447.05	(kNm)
Step di calcolo	0.5	(m)

- palo impedito di ruotare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

	<u>H medio</u>		<u>H minimo</u>	
Palo lungo	4412.9	(kN)	4260.7	(kN)
Palo intermedio	19587.5	(kN)	11903.0	(kN)
Palo corto	62783.4	(kN)	52491.6	(kN)
H_{med}	4412.9	(kN)	H_{min}	4260.7 (kN)
		Palo lungo		Palo lungo
	H_k = Min(H_{med}/ξ₃ ; R_{min}/ξ₄)		2674.45	(kN)
	H_d = H_k/γ_T		2057.27	(kN)
Carico Assiale Permanente (G):	G =	1537.49	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)	
	F_d = G · γ_G + Q · γ_Q =		1537.49	(kN)
	FS = H_d / F_d =		1.34	

Come specificato al paragrafo 5.3 per le verifiche a carico limite orizzontale si considera cautelativamente un coefficiente di gruppo 0.8.

$$H_d * 0.8 = (H_k * 0.8) / (\xi_3 \cdot \gamma_T) \geq F_d$$

Pertanto la verifica si ritiene soddisfatta se:

$$FS = H_d / F_d \geq 1.25$$

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1500 (mm)

Raggio = 750 (mm)

Sforzo Normale = 5200 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

C25/30

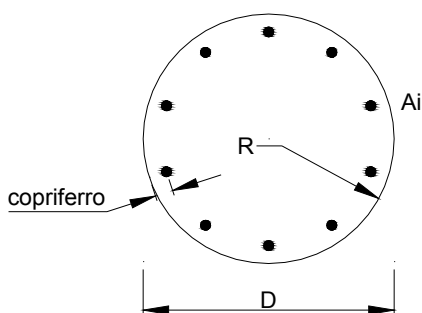
Rck = 30 (Mpa)

fck = 25 (Mpa)

γ_c = 1.5

α_{cc} = 0.85

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 14.17$ (Mpa)



Acciaio

tipo di acciaio

B450C

f_{yk} = 450 (Mpa)

γ_s = 1.15

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s / \gamma_E = 391.3$ (Mpa)

E_s = 210000 (Mpa)

ϵ_{ys} = 0.186%

ϵ_{uk} = 10.000%

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copriferro (mm)
44	φ 30	31101.77	97
36	φ 30	25446.90	172
0	φ 30	0.00	200

calcolo

Momento di Plasticizzazione

M_y = 11447.1 (kN m)

Inserisci



PROGETTO DEFINITIVO

INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA NAZIONALE

VI02 – Viadotto ferroviario su Fiume Grande – Relazione geotecnica e
di calcolo fondazioni

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D 09 RH	VI0203001	A	42 di 42

11. ALLEGATI

ALLEGATO 1 - CURVE DI CAPACITÀ PORTANTE – TABULATI

Lp	SLU - COMPRESSIONE								SLE	
	parametri medi		parametri minimi		compressione				compressione	
	Qb,d	Ql,c,d	Qb,d	Ql,c,d	Qb,d	Qlat,d	w'p,d	Qd	Ql,c,cal,CD/ 1.25	Ql,c,cal,CND/ 1.25
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0.5	650	28	573	28	573	28	7	594	43	43
1.0	706	59	621	60	621	59	14	666	90	90
1.5	761	93	670	93	670	93	21	741	141	141
2.0	815	129	718	130	718	129	29	819	196	196
2.5	870	168	766	168	766	168	36	898	254	254
3.0	924	209	814	210	814	209	43	980	317	317
3.5	978	253	862	254	862	253	50	1065	384	384
4.0	641	299	492	301	492	299	57	734	454	454
4.5	649	347	501	338	501	338	64	775	517	527
5.0	656	395	509	377	509	377	70	815	582	600
5.5	664	444	517	416	517	416	77	856	652	675
6.0	672	494	525	455	525	455	83	897	725	750
6.5	680	544	534	496	534	496	90	939	801	826
7.0	687	595	542	536	542	536	97	982	881	903
7.5	695	647	550	578	550	578	103	1025	964	981
8.0	703	699	558	620	558	620	110	1069	1051	1060
8.5	711	751	566	663	566	663	116	1113	1141	1140
9.0	540	804	575	706	540	706	123	1123	1235	1221
9.5	561	846	598	751	561	751	129	1183	1320	1284
10.0	583	889	621	797	583	797	135	1245	1409	1350
10.5	605	934	644	845	605	845	141	1309	1501	1418
11.0	626	981	667	894	626	894	147	1374	1597	1489
11.5	648	1029	690	945	648	945	153	1441	1695	1562
12.0	669	1079	713	998	669	998	159	1509	1797	1638
12.5	691	1130	736	1053	691	1053	165	1579	1902	1715
13.0	713	1183	759	1109	713	1109	171	1651	2010	1796
13.5	734	1237	782	1167	734	1167	177	1725	2121	1878
14.0	756	1293	805	1227	756	1227	183	1800	2236	1963
14.5	777	1351	828	1288	777	1288	188	1877	2353	2050
15.0	799	1410	851	1351	799	1351	194	1955	2474	2140
15.5	821	1471	874	1415	821	1415	200	2036	2599	2232
16.0	842	1533	897	1482	842	1482	206	2118	2726	2327
16.5	864	1597	920	1550	864	1550	212	2201	2857	2424
17.0	885	1662	943	1619	885	1619	218	2286	2990	2523
17.5	907	1729	966	1691	907	1691	224	2373	3128	2625
18.0	929	1798	989	1763	929	1763	230	2462	3268	2729

18.5	950	1868	1012	1838	950	1838	236	2552	3411	2835
19.0	972	1939	1035	1914	972	1914	242	2644	3558	2944
19.5	994	2013	1058	1992	994	1992	248	2738	3708	3055
20.0	1015	2087	1081	2072	1015	2072	254	2833	3861	3169
20.5	1037	2164	1104	2153	1037	2153	260	2930	4018	3285
21.0	1058	2242	1127	2236	1058	2236	266	3029	4177	3403
21.5	1080	2321	1150	2321	1080	2321	272	3129	4340	3524
22.0	1102	2402	1173	2407	1102	2402	278	3226	4506	3647
22.5	1123	2485	1196	2496	1123	2485	284	3324	4675	3773
23.0	1145	2569	1219	2585	1145	2569	290	3424	4848	3900
23.5	1166	2655	1242	2677	1166	2655	296	3526	5023	4031
24.0	1188	2743	1265	2770	1188	2743	302	3629	5202	4163
24.5	1210	2832	1288	2864	1210	2832	308	3734	5384	4298
25.0	1231	2922	1311	2961	1231	2922	314	3840	5570	4436
25.5	1253	3014	1334	3059	1253	3014	320	3948	5758	4576
26.0	1274	3108	1357	3159	1274	3108	326	4057	5950	4718
26.5	1296	3203	1380	3260	1296	3203	332	4168	6145	4863
27.0	1318	3300	1403	3363	1318	3300	338	4280	6343	5010
27.5	1339	3399	1426	3468	1339	3399	344	4394	6545	5159
28.0	1361	3499	1449	3574	1361	3499	349	4510	6749	5311
28.5	1382	3600	1472	3682	1382	3600	355	4627	6957	5465
29.0	3411	3703	3254	3792	3254	3703	361	6596	7168	5622
29.5	3411	3890	3301	3985	3301	3890	366	6824	7451	5904
30.0	3411	4076	3347	4181	3347	4076	371	7052	7734	6187
30.5	3411	4262	3394	4379	3394	4262	376	7280	8017	6470
31.0	3411	4448	3440	4577	3411	4448	381	7479	8299	6753
31.5	3411	4635	3485	4775	3411	4635	385	7661	8582	7035
32.0	3411	4821	3531	4973	3411	4821	390	7842	8865	7318
32.5	3411	5007	3576	5172	3411	5007	395	8024	9148	7601
33.0	3411	5193	3621	5370	3411	5193	400	8205	9430	7884
33.5	3411	5380	3631	5568	3411	5380	404	8387	9713	8166
34.0	3411	5566	3631	5767	3411	5566	409	8568	9996	8449
34.5	3411	5752	3631	5965	3411	5752	414	8750	10279	8732
35.0	3411	5938	3631	6163	3411	5938	419	8931	10561	9014
35.5	3411	6125	3631	6361	3411	6125	423	9113	10844	9297
36.0	3411	6311	3631	6560	3411	6311	428	9294	11127	9580
36.5	3411	6497	3631	6758	3411	6497	433	9476	11410	9863
37.0	3411	6683	3631	6956	3411	6683	438	9657	11692	10145
37.5	3411	6870	3631	7154	3411	6870	443	9838	11975	10428
38.0	3411	7056	3631	7353	3411	7056	447	10020	12258	10711

38.5	3411	7242	3631	7551	3411	7242	452	10201	12541	10994
39.0	3411	7428	3631	7749	3411	7428	457	10383	12823	11276
39.5	3411	7615	3631	7948	3411	7615	462	10564	13106	11559
40.0	3411	7801	3631	8146	3411	7801	466	10746	13389	11842

	SLU - TRAZIONE					SLE	
	p. medi	p.minimi	trazione			trazione	
Lp	Ql,t,d	Ql,t,d	Ql,t,d	w'p,d	Qt,d	Ql,t,cal,CD/ 1.25	Ql,t,cal,CND/ 1.25
(m)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0.5	19	19	19	0	19	31	31
1	39	39	39	9	48	64	64
1.5	61	61	61	22	83	101	101
2	85	85	85	35	120	140	140
2.5	110	111	110	49	159	182	182
3	137	138	137	62	199	226	226
3.5	166	167	166	75	241	274	274
4	197	198	197	88	285	324	324
4.5	241	232	232	102	334	369	397
5	285	268	268	115	382	416	471
5.5	330	303	303	128	432	466	545
6	376	340	340	141	481	518	620
6.5	422	377	377	155	531	572	697
7	469	414	414	168	582	629	774
7.5	516	453	453	181	634	689	852
8	564	491	491	194	686	751	931
8.5	612	531	531	208	738	815	1010
9	661	571	571	221	792	882	1091
9.5	700	612	612	234	846	943	1155
10	740	654	654	247	901	1007	1220
10.5	781	698	698	261	959	1072	1289
11	824	744	744	274	1018	1140	1359
11.5	868	791	791	287	1078	1211	1432
12	914	839	839	300	1140	1283	1508
12.5	961	890	890	314	1203	1358	1586
13	1010	941	941	327	1268	1436	1666
13.5	1060	995	995	340	1335	1515	1748
14	1111	1049	1049	353	1403	1597	1833
14.5	1164	1106	1106	367	1472	1681	1921
15	1218	1164	1164	380	1544	1767	2010
15.5	1274	1223	1223	393	1616	1856	2102
16	1332	1284	1284	406	1691	1947	2197
16.5	1390	1347	1347	420	1766	2040	2294
17	1450	1411	1411	433	1844	2136	2393
17.5	1512	1476	1476	446	1922	2234	2495
18	1575	1543	1543	459	2003	2334	2599

18.5	1640	1612	1612	473	2085	2437	2705
19	1706	1682	1682	486	2168	2542	2814
19.5	1773	1754	1754	499	2253	2649	2925
20	1842	1827	1827	512	2340	2758	3039
20.5	1912	1902	1902	526	2428	2870	3155
21	1984	1979	1979	539	2517	2984	3273
21.5	2057	2056	2056	552	2609	3100	3394
22	2132	2136	2132	565	2697	3219	3517
22.5	2208	2217	2208	579	2786	3340	3643
23	2285	2299	2285	592	2877	3463	3771
23.5	2364	2383	2364	605	2969	3588	3901
24	2445	2469	2445	619	3063	3716	4034
24.5	2527	2556	2527	632	3158	3846	4169
25	2610	2645	2610	645	3255	3978	4306
25.5	2695	2735	2695	658	3353	4113	4446
26	2781	2827	2781	672	3452	4250	4588
26.5	2868	2920	2868	685	3553	4389	4733
27	2958	3015	2958	698	3656	4531	4880
27.5	3048	3111	3048	711	3759	4675	5029
28	3140	3209	3140	725	3865	4821	5181
28.5	3233	3309	3233	738	3971	4970	5335
29	3328	3410	3328	751	4079	5120	5492
29.5	3454	3536	3454	764	4219	5328	5700
30	3582	3665	3582	778	4360	5539	5911
30.5	3713	3796	3713	791	4503	5754	6126
31	3845	3929	3845	804	4649	5972	6344
31.5	3979	4064	3979	817	4796	6194	6566
32	4116	4201	4116	831	4946	6419	6791
32.5	4254	4340	4254	844	5098	6648	7019
33	4395	4481	4395	857	5252	6879	7251
33.5	4537	4625	4537	870	5407	7115	7486
34	4682	4770	4682	884	5565	7354	7725
34.5	4829	4918	4829	897	5725	7596	7967
35	4978	5067	4978	910	5888	7841	8213
35.5	5128	5219	5128	923	6052	8090	8462
36	5281	5373	5281	937	6218	8343	8714
36.5	5437	5529	5437	950	6386	8599	8970
37	5594	5686	5594	963	6557	8858	9230
37.5	5753	5847	5753	976	6729	9121	9492
38	5914	6009	5914	990	6904	9387	9759

38.5	6078	6173	6078	1003	7081	9657	10028
39	6243	6339	6243	1016	7259	9930	10301
39.5	6411	6508	6411	1029	7440	10206	10578
40	6581	6678	6581	1043	7623	10486	10858

ALLEGATO 2 – ANALISI STABILITÀ SCAVI PROVVISORIALI

1.1	METODOLOGIA DI VERIFICA ADOTTATA.....	2
1.2	MODELLO DI CALCOLO	4
1.3	RISULTATI DELLE ANALISI	6

1.1 Metodologia di verifica adottata

Le analisi di stabilità sono state condotte utilizzando il modulo VSP del software Paratie Plus.

Tale software permette di calcolare la stabilità complessiva di un versante, di un fronte di scavo o di un rilevato in cui può o meno essere presente un'opera di sostegno flessibile. Paratie Plus utilizza i metodi dell'equilibrio limite, prevede la possibilità di scegliere diversi metodi di analisi e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite con metodologie differenti.

In particolare prevede il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

- Metodo di Bishop semplificato;
- Metodo di Janbu semplificato;
- Metodo di Morgenstern & Price.

Tutti questi si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo di una potenziale superficie di scorrimento, suddividono la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e istituiscono le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si ottiene un sistema risolvibile in cui le incognite (il coefficiente di sicurezza e le azioni interne fra i conci) superano le equazioni disponibili. La differenza fra i diversi metodi risiede nel modo in cui il problema viene reso staticamente determinato; in generale vengono introdotte ulteriori ipotesi, diverse da un metodo all'altro, relativamente alle azioni di interazione fra conci adiacenti. Nelle analisi effettuate si è fatto riferimento al metodo di Bishop. Tale metodo assume che i vari conci si scambino azioni solo normali alle facce, vale a dire azioni orizzontali; richiede inoltre che la superficie di scivolamento sia un arco di cerchio e determina il coefficiente di sicurezza imponendo l'equilibrio alla rotazione dell'ammasso attorno al centro della circonferenza.

Per la definizione delle superfici da analizzare invece Paratie Plus offre la possibilità di scegliere tra le seguenti metodologie:

- Archi di cerchio aventi centro noto e raggi compresi in un intervallo;
- Archi di cerchio entranti e uscenti in posizioni note;
- Griglia dei centri e limiti geometrici sui raggi.

Nel caso in esame è stato utilizzato il secondo modo e pertanto è stato definito un intervallo di entrata (a monte), uno di uscita (a valle) e il raggio massimo. Sulla base di questi intervalli il programma ha generato diversi archi di cerchio contraddistinti ovviamente da diversi centri.

Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene quindi definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$F_s = \frac{T_{\text{disp}}}{T_{\text{mob}}}$$

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura corticali (con profondità minori di 1 m ca.).

La verifica allo stato limite ultimo richiesta dalle NTC18 per la stabilità dei fronti di scavo e rilevati in condizioni statiche, paragrafo 6.8.2, prevede l'utilizzo della combinazione 2 A2+M2+R2 dell'approccio 1. I coefficienti da utilizzare sono riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 1 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU (Tab. 5.2.V - NTC2018).

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

Tabella 2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 3 - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

In accordo con quanto indicato al punto 2.4.1 del DM2018 la verifica in condizioni sismiche non viene effettuata in quanto gli scavi hanno carattere provvisorio con durata inferiore a 2 anni.

1.2 Modello di calcolo

Lo scavo necessario alla realizzazione della fondazione della spalla B del VI02 presenta un'altezza massima di circa 3.2 m. Cautelativamente si considera che lo scavo avvenga interamente nell'unità geotecnica più superficiale Ls(ms) i cui parametri sono riportati in Tabella 4. La falda è stata considerata ad una quota di + 1.6 m rispetto al fondo dello scavo.

Tabella 4 – Stratigrafia di calcolo e valori dei parametri geotecnici caratteristici.

	γ (kN/m ³)	ϕ_k' (°)	c_k' (kPa)	ϕ_d' (°)	c_d' (kPa)
LS(ms)	19.0	28	3	23	2.4

Nelle figure che seguono si riporta un'immagine del modello di calcolo e le condizioni imposte al programma per la ricerca della superficie critica.

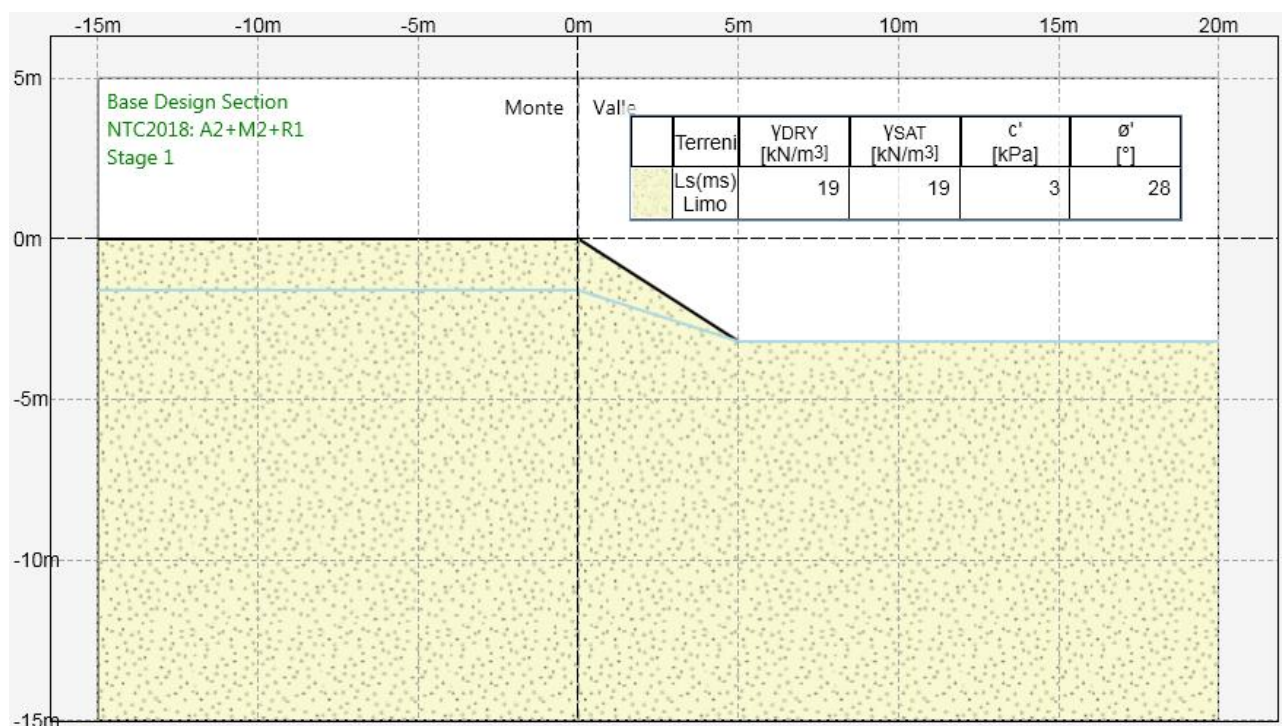



Figura 1 - Modello di calcolo stabilità.

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1 Eredita le proprietà dalla Fase: ▼

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop ▼

Definizione Superficie Critica  ▼

Massimo numero di iterazioni

Passo Conci

Tolleranza FS

Contributo del muro all'analisi di stabilità Ignora muro ▼

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

Intervalli

Estremo iniziale sinistra	<input type="text" value="-10 m"/>	Estremo iniziale destra	<input type="text" value="6.5 m"/>
Estremo finale sinistra	<input type="text" value="-1.5 m"/>	Estremo finale destra	<input type="text" value="15 m"/>
Suddivisioni intervallo s	<input type="text" value="10"/>	Suddivisioni intervallo d	<input type="text" value="10"/>
Raggio Massimo	<input type="text" value="30 m"/>	Numero Raggi	<input type="text" value="10"/>

Applica OK Annulla

Figura 2 - Definizione superfici da analizzare.

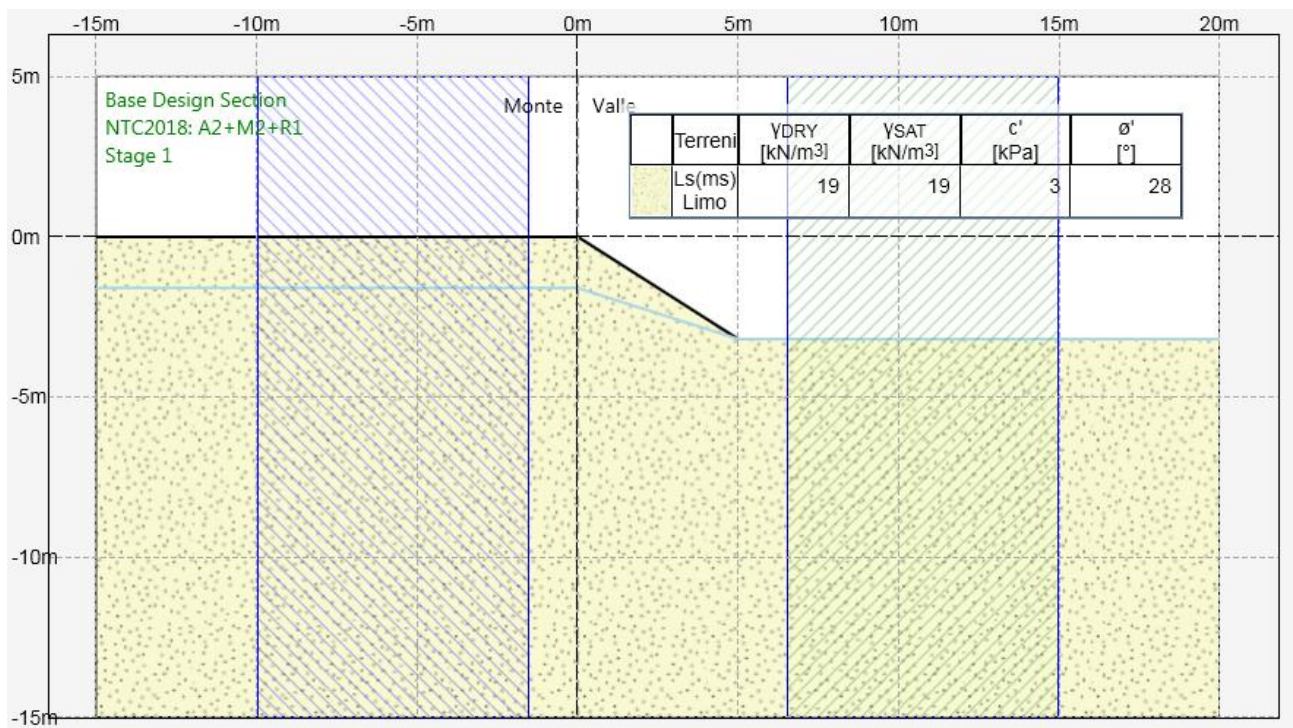


Figura 3 – Limiti ricerca superfici critiche.

1.3 Risultati delle analisi

Nelle immagini seguenti si riportano le superfici analizzate e la superficie caratterizzata dal valore minimo del fattore di sicurezza.

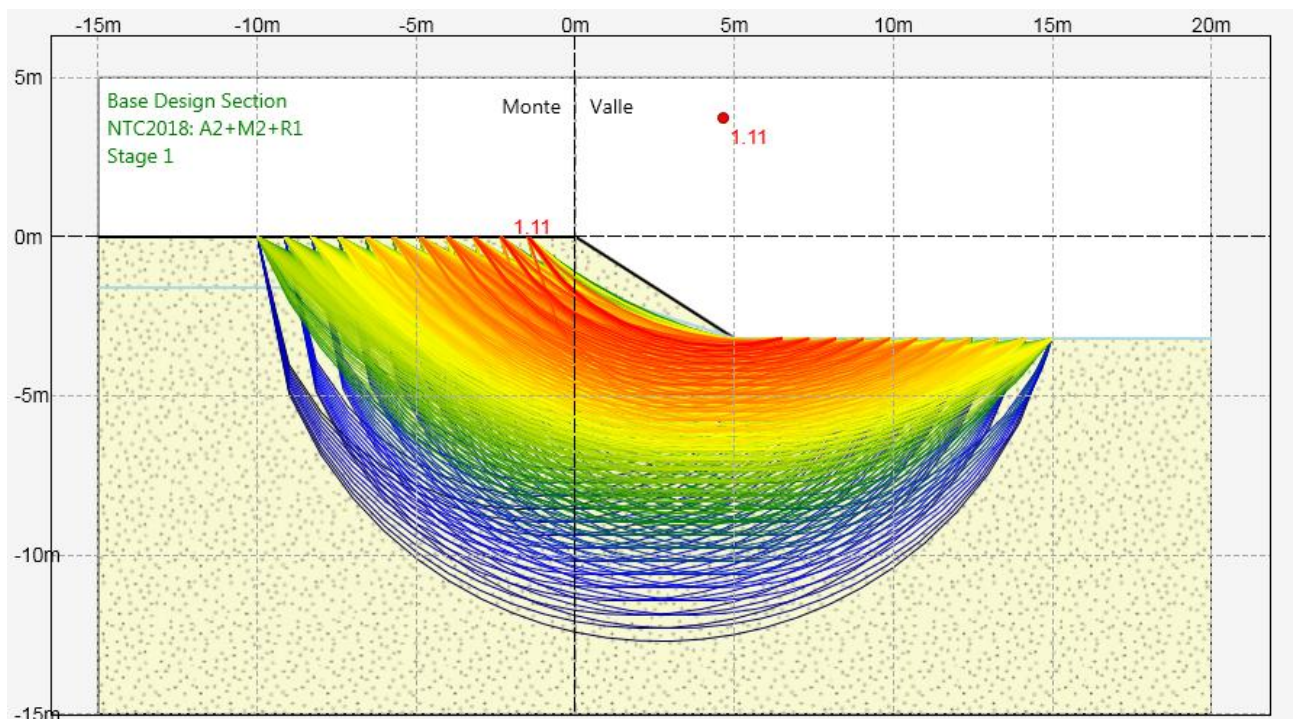


Figura 4 – Superfici analizzate.

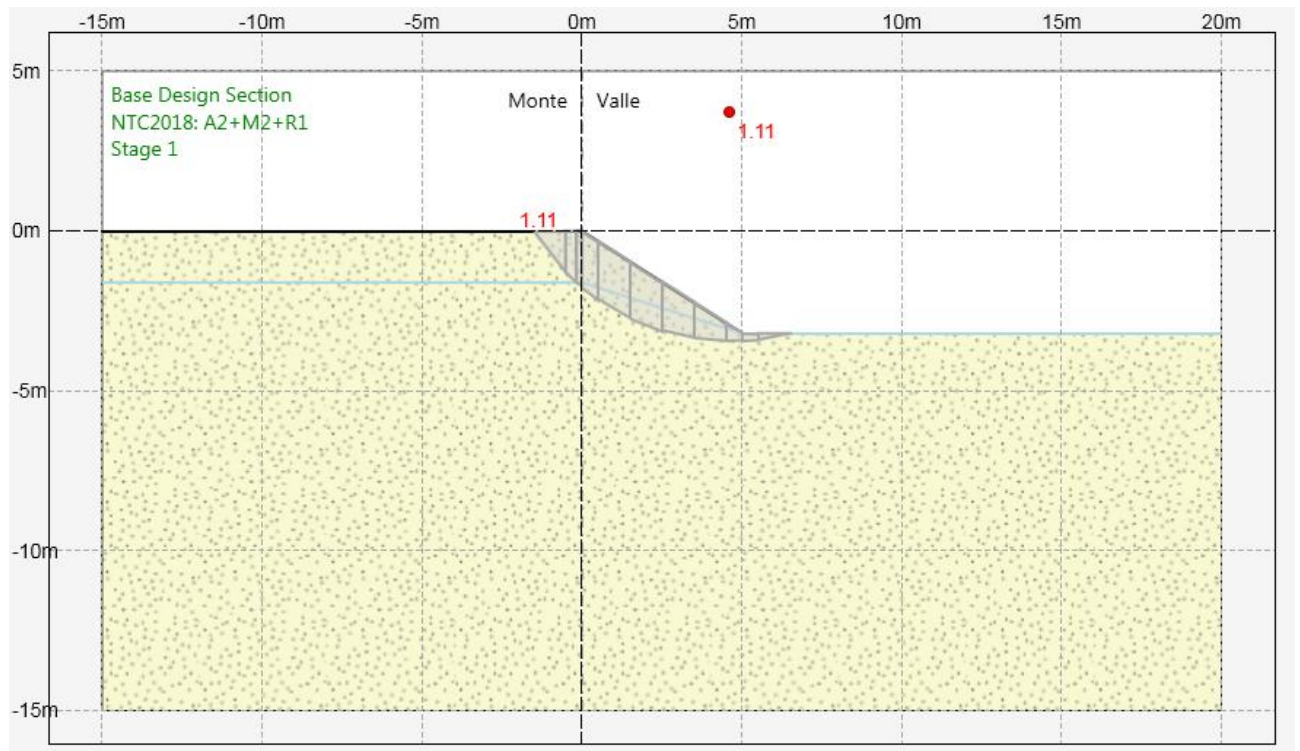


Figura 5 – Superficie critica.

Il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a $FS = 1.11$. Tale valore è superiore a $\gamma_R = 1.1$ e pertanto la verifica è soddisfatta.