

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

CONSORZIO:

HIRPINIA - ORSARA AV

SOCI:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA VIADOTTI

VI01 - VIADOTTO SUL CERVARO DA 41+114.64 A 41.428.29

Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA - ORSARA AV Il Direttore Tecnico Ing. P. M. Gianvecchio 08/02/2022	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	 Ing. A. Miazzon

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

IF3A 02 E ZZ RP VI0003 001 A -

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	C 08.00 – Emissione 180 gg	L. Rampin	08/02/2022	L. Rampin	08/02/2022	L. Rampin	08/02/2022	Ing. A. Miazzon
								08/02/2022

File: IF3A02EZZRPVI0003001A.docx.docx

n. Elab.: -

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 2 di 39

Indice

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	DOCUMENTI NORMATIVI.....	5
3	DOCUMENTI DI PROGETTO	6
3.1	GEOTECNICA	6
3.2	STUDI IDRAULICI	6
3.3	ELABORATI GENERALI VIADOTTO.....	6
3.4	SOTTOSTRUTTURE.....	7
4	METODOLOGIE DI CALCOLO CAPACITA' PORTANTE DEI PALI SINGOLI	8
4.1	PREMESSA.....	8
4.2	METODOLOGIA DI CALCOLO CAPACITÀ PORTANTE AI CARICHI VERTICALI.....	8
4.2.1	PORTATA LATERALE	8
5	ANALISI PALIFICATE DI FONDAZIONE.....	14
5.1	METODOLOGIE DI CALCOLO	14
5.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	14
5.3	PREVISIONE CARICO-SPOSTAMENTO PER CARICHI LATERALI	19
5.4	CEDIMENTO DI GRUPPO DI PALI PER CARICHI VERTICALI	19
5.5	METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI	20
5.5.1	PREMESSA	20
5.5.2	VERIFICA A CARICO LIMITE ORIZZONTALE - BROMS	20
6	CRITERI DI VERIFICA PALI.....	22
6.1	VERIFICA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	22
6.1.1	ANALISI AGLI STATI LIMITE.....	22
6.1.2	RESISTENZA PALI SINGOLI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI DI COMPRESSIONE	23
6.1.3	RESISTENZA PALI SINGOLI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI DI TRAZIONE	23
6.1.4	RESISTENZA PALI SINGOLI SOGGETTI AD AZIONI TRASVERSALI.....	24
6.2	VERIFICHE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL GRUPPO DI PALI: DOMINI DELLE RESISTENZE.....	24
6.3	VERIFICHE PALI AGLI SLE.....	24
6.3.1	VERIFICHE CEDIMENTI VERTICALI E TRASVERSALI	24
6.3.2	VERIFICHE A FESSURAZIONE.....	25
7	ANALISI FONDAZIONE A POZZO.....	27

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RP</td> <td>VI0003 001</td> <td>A</td> <td>3 di 39</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	3 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	3 di 39													

7.1	PREMESSA.....	27
7.2	CAPACITA' PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL SINGOLO DIAFRAMMA.....	27
7.3	CAPACITA' PORTANTE DEL BLOCCO DI DIAFRAMMI	27
7.4	CRITERI DI VERIFICA DELLA STABILITA' VERTICALE E ORIZZONTALE DEL POZZO.....	37

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RP</td> <td>VI0003 001</td> <td>A</td> <td>4 di 39</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	4 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	4 di 39													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni																		

1 PREMESSA

Nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari si inserisce il Raddoppio della Tratta Apice-Orsara – II° Lotto Funzionale Hirpinia-Orsara, oggetto della presente relazione di PE

Nella presente relazione si riportano i criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni su pozzi e pali del viadotto VI01 sul torrente Cervaro relativo alla progettazione definitiva del raddoppio della tratta Apice Orsara (itinerario Napoli – Bari).

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

1. metodologie per la valutazione della capacità portante dei pali e per l'esecuzione delle relative verifiche (portata singolo palo a compressione e a trazione);
2. metodologie per la determinazione del carico limite orizzontale dei pali per l'esecuzione delle relative verifiche;
3. metodologia per l'analisi delle palificate di fondazione;
4. metodologie per l'analisi delle fondazioni a pozzo e per l'esecuzione delle relative verifiche.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 17/01/2018).

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 5 di 39

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI NORMATIVI

La presente relazione è stata redatta in accordo alla normativa vigente:

- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 Gennaio 2018 - “Norme tecniche per le costruzioni” (NTC18);
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7: Istruzioni per l’applicazione dello “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. supplemento ordinario alla G. U. n° 42 del 20/2/2018 (nel seguito indicate come CNTC19);
- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 Gennaio 2008 - “Nuove Norme tecniche per le costruzioni” (NTC08);
- Circolare 2 febbraio 2009 n.617: Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al DM 14 gennaio 2008,. supplemento ordinario n° 27 alla G. U. n° 47 del 26/2/2009 (nel seguito indicate come CNTC09);
- OPCM 20 marzo 2003 n. 3274: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- OPCM 3 maggio 2005 n. 3431: Ulteriori modifiche ed integrazioni dell’ordinanza del Presidente del consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- UNI EN 1990:2006: Criteri generali di progettazione strutturale;
- UNI EN 1991-1-1:2004 Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici;
- UNI EN 1991-1-3:2015 Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve;
- UNI EN 1991-1-4:2010 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento;
- UNI EN 1991-1-5:2004 Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche;
- UNI EN 1992-1-1:2015 Parte 1-1: Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1997-1:2013 Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN 1998-1:2013 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-3:2005 Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici;
- UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- UNI EN 206-1:2016 Parte 1: Calcestruzzo –Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- UNI EN 11104: 2016 Parte 1: Calcestruzzo –Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1;
- Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n.3685 del 21 Ottobre 2003;
- Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture;
- Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale;
- 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.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 6 di 39

3 DOCUMENTI DI PROGETTO

Si indicano i documenti di progetto a cui questa relazione è riferita:

3.1 GEOTECNICA

- IF3A.0.2.E.ZZ.RB.GE.01.0.6.001.A Relazione Geotecnica Generale
- IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GE.01.0.6.001.A Profilo Geotecnico - Tratta all'aperto lato Bari
- IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GE.01.0.6.002.A Profilo Geotecnico - Tratta all'aperto lato Napoli
- IF3A.0.2.E.ZZ.F6.GE.01.0.6.003.A Profilo Geotecnico - Tratta all'aperto finestre

3.2 STUDI IDRAULICI

- IF3A.0.2.E.ZZ.RI.ID.00.0.2.001.A Relazione idraulica viadotti - modelli idraulici bidimensionali
- IF3A.0.2.E.ZZ.RI.ID.00.0.2.004.A Relazione riguardante la geomorfologia fluviale e fenomeni di flussi detritici del Torrente Cervaro

3.3 ELABORATI GENERALI VIADOTTO

- IF3A.0.2.E.ZZ.RG.VI.00.0.0.001.A Relazione Tecnico-Descrittiva delle Opere Civili
- IF3A.0.2.E.ZZ.TT.VI.00.0.0.001.A Tabella Materiali e Note generali
- IF3A.0.2.E.ZZ.WZ.VI.00.0.X.001.A Piattaforma in corrispondenza di Fire Fighting Point (FFP)
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.9.001.A Schema conci travate e distribuzione dei materiali
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.A.001.A Pianta soletta in calcestruzzo e sezioni tipiche - Carpenteria
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.A.002.A Forometria soletta, particolari costruttivi e finiture
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.9.006.A Dettagli di saldatura
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.9.002.A Ritegno sismico trasversale a dispositivo antisollevamento campate 40m e 33mm
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.9.003.A Ritegno sismico trasversale a dispositivo antisollevamento campate 60m
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.9.004.A Ritengni longitudinali campate 40m, 60m, 33m
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.9.005.A Schemi controfrecce di montaggio
- IF3A.0.2.E.ZZ.BZ.VI.00.0.7.001.A Schemi apparecchi di appoggio e giunti
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.00.0.9.001.A Relazione di calcolo ponte 40m doppio (SPB-P6)
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.00.0.9.002.A Relazione di calcolo ponte 40m doppio (P4-P3)
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.00.0.9.003.A Relazione di calcolo ponte 60m doppio (P3-P2)
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.00.0.9.004.A Relazione di calcolo ponte 60m singolo (P2-P1)
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.00.0.9.005.A Relazione di calcolo ponte 33m singolo (P1-SPA)
- IF3A.0.2.E.ZZ.RP.VI.00.0.3.001.A Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 7 di 39

- IF3A.0.2.E.ZZ.MI.VI.00.0.0.001.A Piano di Manutenzione viadotto
- IF3A.0.2.E.ZZ.RH.VI.00.0.0.001.A Sistemi di ispezione visiva e accessibilità per la manutenzione e il monitoraggio degli impalcati - Relazione descrittiva
- IF3A.0.2.E.ZZ.TT.VI.00.0.0.002.A Incidenza delle armature nel viadotto

3.4 SOTTOSTRUTTURE

- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.4.001.A Spalla A: Relazione di calcolo strutture in elevazione
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.5.002.A Pile P1,P2,P3: Relazione di calcolo strutture in elevazione
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.5.003.A Pile P4, P5, P6 Relazione di calcolo strutture in elevazione
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.4.002.A Spalla B: Relazione di calcolo strutture in elevazione
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.3.001.A Relazione di calcolo fondazioni spalla A e spalla B
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.3.002.A Relazione di calcolo fondazioni pile P1, P2, P3
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.3.003.A Relazione di calcolo fondazioni pile P4, P5, P6
- IF3A.0.2.E.ZZ.CL.VI.01.0.2.000.A Relazione di calcolo opere provvisionali per pile e spalle

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 9 di 39

cu = resistenza al taglio in condizioni non drenate

α = parametro empirico assunto come da Indicazione AGI:

$$\alpha = 0.90 \text{ per } cu \leq 25 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.80 \text{ per } 25 \leq cu \leq 50 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.60 \text{ per } 50 \leq cu \leq 75 \text{ kPa};$$

$$\alpha = 0.40 \text{ per } cu \geq 75 \text{ kPa}.$$

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

4.2.1.1 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 1 – Valori di q_{blim} secondo Gwizdala [1984]

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

Cautelativamente per le unità in esame si assume:

- terreni con angolo di resistenza al taglio $\varphi' = 36^\circ$ e 37° : $N_q^* = 19$; $q_b \leq 5800$ kPa

Depositi coesivi

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

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

dove:

cu = resistenza al taglio non drenata [kPa];

σ_v = tensione totale verticale;

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

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite rimangono analoghi a quelli descritti precedentemente. In accordo a quanto discusso in Meyerhof (1976) la portata di base negli strati sabbioso-ghiaiosi andrà abbattuta rispetto a quella caratteristica dello

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 11 di 39

Nel caso in esame, la formazione rocciosa è costituita dall'unità FAE (Formazione Flysch di Faeto). Considerando cautelativamente il valore minore della resistenza compressione monoassiale (5 MPa) ed anche considerando cautelativamente $N \square = 1.0$, si otterrebbe comunque un valore piuttosto alto della portata di base: $q_b = 10$ MPa.

Un altro riferimento per la valutazione della portata di base di pali in roccia è dato da Zhang e Einstein (1998), la cui relazione è riportata nella figura seguente, dove la pressione di base del palo è associabile a cedimenti pari al 10% del diametro del palo. Anche in questo caso considerando cautelativamente il valore minore della resistenza a compressione monoassiale (5 MPa) si stima una portata di base di 10 MPa.

Cautelativamente considerando la alternanza nella formazione del Flysch di Faeto di strati di marna e strati di calcareniti, si è assunta una portata di base limite in roccia:

9. unità FAE: $q_b = 6000$ kPa

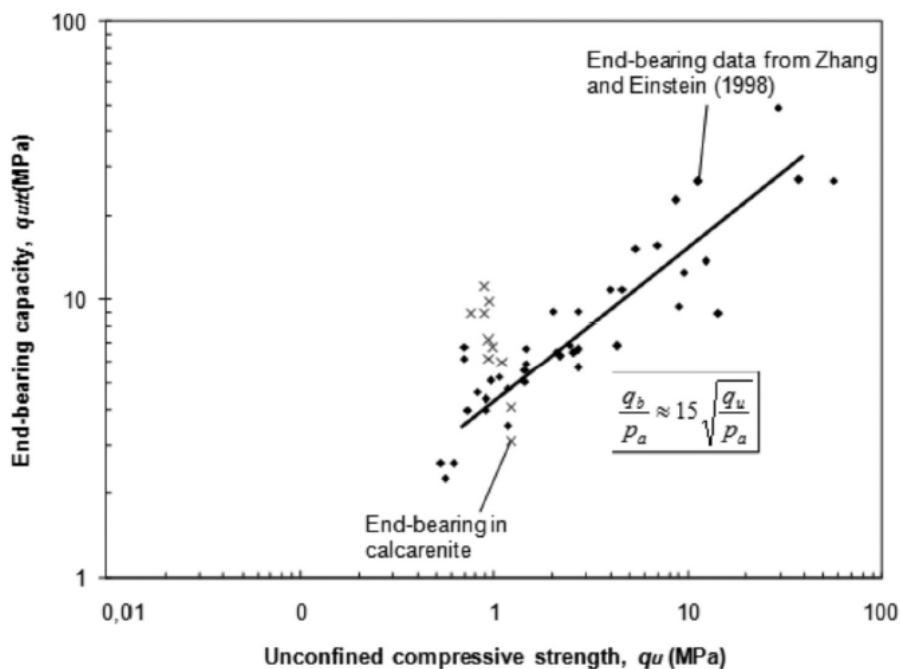


Figura 4.2. – Portata limite di base in roccia – Zhang e Einstein (1998)

Per la portata laterale si è adottato il minore tra i valori ottenuti dalle seguenti correlazioni empiriche presenti in letteratura che legano i valori dell'adesione "ultima" calcestruzzo-roccia alla resistenza del terreno:

$$\tau_{lim} = \alpha \cdot \sigma_c \quad (1) \quad (\text{Horvath, 1983})$$

$$\tau_{lim} = \alpha \cdot \beta \cdot \sigma_c \quad (2) \quad (\text{Williams \& Pells, 1981})$$

dove σ_c è la resistenza a compressione della roccia intatta, α e β sono coefficienti di riduzione (Figura 4.3), il primo stimato a partire dai valori della resistenza a compressione σ_c (a), il secondo a partire dai valori del fattore di riduzione j , definito dal rapporto tra il modulo elastico dell'ammasso roccioso e della roccia intatta, che può essere stimato a partire dall'RQD (b) (Doc.Rif. [10]).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 12 di 39

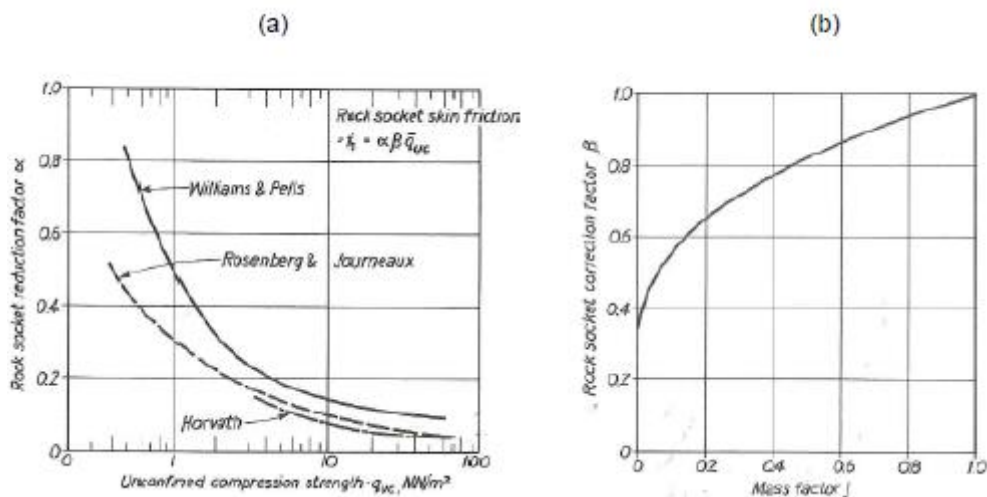


Figura 4.3. Valori dei coefficienti di riduzione α e β

I valori di questi coefficienti sono riportati nelle tabelle sottostanti.

Tabella 2 – Valori del coefficiente α a partire dai valori della resistenza a compressione della roccia intatta

σ_c	α	α
MPa	Horvath (1983)	Williams & Pells (1981)
1	0.200	0.480
3	0.150	0.230
5	0.100	0.180
10	0.080	0.140
15	0.055	0.125
20	0.050	0.110
30	0.040	0.095
> 30	0.040	0.095

Tabella 3 – Valori del coefficiente β a partire dal mass factor j

R.Q.D. (%)	Frequ. delle fratt. per m	Mass factor j
0-25	15	0.2
25-50	da 15 a 8	0.2
50-75	da 8 a 5	0.2-0.5
75-90	da 5 a 1	0.5-0.8
90-100	1	0.8-1.0

Materiale	Mass factor j	β
Cappellaccio	0.20	0.640
Roccia sana	0.40	0.740

$$\tau_{lim} = 2.5 \cdot \tau_{amm} = 2.5 \cdot (\alpha \cdot \sigma_c) \quad (3)$$

con α valutato graficamente (vedasi figura seguente), a partire dalla resistenza a compressione della roccia intatta σ_c .

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 13 di 39

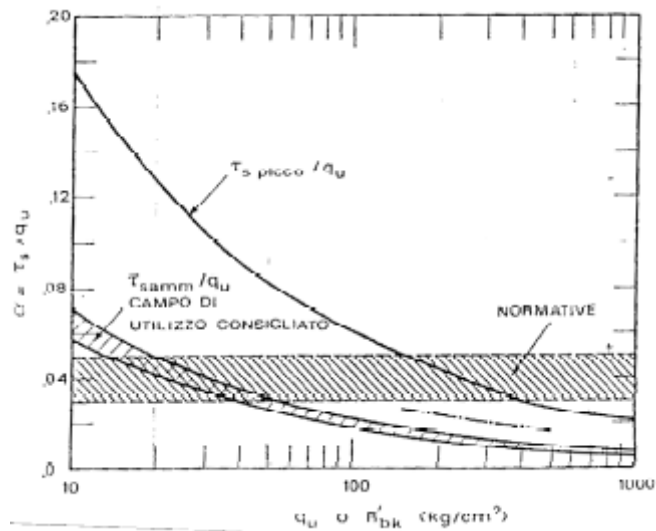


Figura 4.4. Campo di utilizzo consigliato del rapporto tra adesione ammissibili calcestruzzo-roccia e resistenza alla compressione semplice

Il valore della portata laterale unitaria adottata nei calcoli è dato dal minore tra i valori ottenuti con le (1)-(2)-(3).

Nel caso in esame la formazione rocciosa è costituita dall'unità FAE (Formazione Flysch di Faeto). Considerando cautelativamente il valore minore della resistenza compressione monoassiale (5 MPa), si ottengono i seguenti valori di resistenza laterale con le tre relazioni precedentemente esposte:

- a) $T_{lim} = 0.10 \cdot 5000 = 500 \text{ kPa}$
- b) $T_{lim} = 0.18 \cdot 0.64 \cdot 5000 = 576 \text{ kPa}$
- c) $T_{lim} = 2.5 \cdot 0.037 \cdot 5000 = 460 \text{ kPa}$

Quindi si assume cautelativamente una tensione laterale di adesione limite nell'unità FAE di 300 kPa.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 14 di 39

5 ANALISI PALIFICATE DI FONDAZIONE

5.1 METODOLOGIE DI CALCOLO

Le analisi delle palificate sono condotte tramite il codice Group (Ensoft, Inc)

L'analisi statica nello spazio della palificata è stata condotta considerando fondazioni costituite da pali collegati (incastrati) in testa ad un plinto di fondazione assimilabile ad un corpo infinitamente rigido.

Con tale metodo si tiene conto del fatto che il comportamento della palificata è influenzato sia dalla rigidità orizzontale dei singoli pali che della loro rigidità assiale, nonché dell'influenza reciproca fra i vari elementi (effetto gruppo per carichi orizzontali e verticali).

5.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

I modelli che studiano il comportamento dei pali singoli e dei pali in gruppo soggetti ad azioni orizzontali sono riconducibili a tre categorie:

- modelli basati sulla schematizzazione del terreno come un mezzo alla Winkler;
- modelli basati sulla schematizzazione del terreno come un continuo elastico, risolti con metodi agli elementi di contorno (BEM, Boundary Element Method) o con metodi agli elementi finiti (FEM, Finite Element Method);
- modelli basati sulla schematizzazione del terreno come un continuo deformabile (elasto – plastico), risolti con metodi agli elementi finiti (FEM, Finite Element Method).

I modelli basati sulla schematizzazione alla Winkler caratterizzano il terreno come una serie di molle indipendenti tra loro; conseguentemente, le deformazioni si verificano solo nei punti in cui le forze sono non nulle. I metodi basati sul modello alla Winkler, denominati anche metodi alle curve $p - y$, sono i più diffusi ed utilizzati. Questi consentono, difatti, di caratterizzare in modo abbastanza semplice la non linearità della risposta, la variazione della rigidità del terreno con la profondità, la stratificazione (POULOS & DAVIS, 1980). I parametri che caratterizzano la risposta del terreno (il modulo di reazione k , rappresentativo della rigidità delle molle) sono determinati sulla base di un cospicuo numero di osservazioni sperimentali.

Nel caso specifico l'analisi dei pali alle azioni orizzontali è sviluppata con LPile e Group della Ensoft che caratterizzano il terreno con curve $p-y$ (per maggiori dettagli vedasi il § 5.2.1) e consentono anche di considerare gli effetti di gruppo (Reese et al). Il metodo adottato per considerare gli effetti gruppo prevede l'introduzione di un fattore moltiplicativo (vedasi § 5.2.3), minore di uno, che riduca il valore di reazione p del terreno in corrispondenza dei pali del gruppo. I valori di tale coefficiente, sempre minori di uno, vengono assegnati a ciascun palo in ragione della posizione occupata all'interno del gruppo. Tale coefficiente moltiplicativo tiene conto degli effetti di interazione con gli altri pali del gruppo nel suo complesso: interazioni tra pali posti lungo la retta di applicazione del carico, interazione tra pali disposti in direzione ortogonale alla retta di applicazione del carico, interazione tra pali disposti con un angolo β tra loro.

Per quanto riguarda le azioni verticali il software Group per l'analisi dell'interazione terreno-palo utilizza le curve di trasferimento non lineari $t-z$ per il laterale e $Q-w$ per la base che mettono in relazione il carico trasferito al terreno con lo spostamento del palo (vedasi § 5.2.2); in questo tipo di interazione non si tiene conto degli effetti di gruppo.

5.2.1 Curve $p-y$ di L-Pile e Group

Sia Lpile che Group costruiscono le curve $p-y$ in base alla natura del terreno e alcuni parametri caratteristici. Nel caso in esame si sono utilizzate le curve che il software prevede per:

- “static loading” e “stiff clays with free water”
- “static loading ” e “sand” al di sopra e al di sotto della linea di falda

Nelle tabelle successive sono riportati i coefficienti k_s , ϵ_{50} , k che intervengono nella costruzione delle curve $p-y$; per maggiori dettagli si rimanda al manuale teorico del programma Group.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 15 di 39

Tabella 4: Coefficiente k_s per terreni argillosi

Average Undrained Shear Strength*	k_s (static loading)	k_c (cyclic loading)
50-100 kPa (1,000-2,000 psf)	135 MN/m ³ (500 pci)	55 MN/m ³ (200 pci)
100-200 kPa (2,000-4,000 psf)	270 MN/m ³ (1,000 pci)	110 MN/m ³ (400 pci)
200-400 kPa (4,000-6,000 psf)	540 MN/m ³ (2,000 pci)	220 MN/m ³ (800 pci)

Tabella 5: Coefficiente ε_{50} per terreni argillosi

Average Undrained Shear Strength	ε_{50}
50-100 kPa (1,000-2,000 psf)	0.007
100-200 kPa (2,000-4,000 psf)	0.005
200-400 kPa (4,000-6,000 psf)	0.004

Tabella 6: Coefficiente k_s per terreni sabbiosi sotto falda

Recommended k	Relative Density		
	Loose	Medium	Dense
MN/m ³ (pci)	5.4 (20.0)	16.3 (60.0)	34 (125.0)

Tabella 7: Coefficiente k_s per terreni sabbiosi sopra falda (static e cyclic loading)

Recommended k	Relative Density		
	Loose	Medium	Dense
MN/m ³ (pci)	6.8 (25.0)	24.4 (90.0)	61.0 (225.0)

5.2.2 Curve t-z e Q-w

In Group il meccanismo di trasferimento del carico assiale è rappresentato nella Figura 5.1 da cui risulta che l'interazione palo-terreno viene rappresentata dalle curve t-z per il laterale e dalla curva Q-w per la base. Le curve di trasferimento sono costruite (vedasi Figura 5.2÷Figura 5.5) in accordo ai criteri di Reese and O'Neill (1987).

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 16 di 39

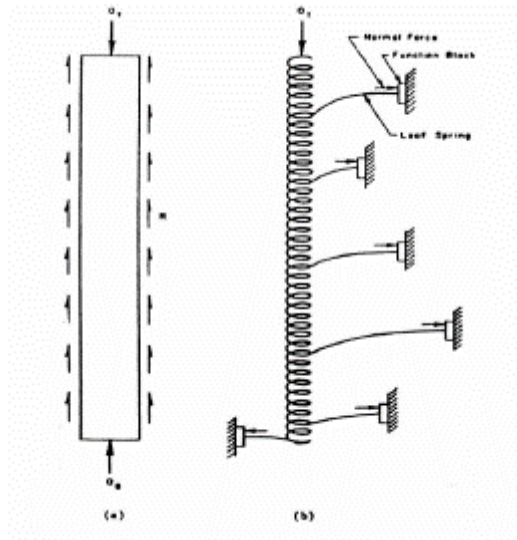


Figura 5.1. Meccanismo di trasferimento del carico assiale

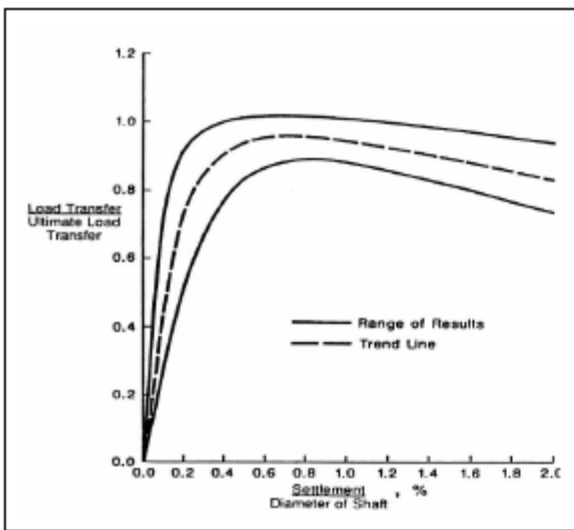


Figura 5.2. Argille. Curva di trasferimento laterale

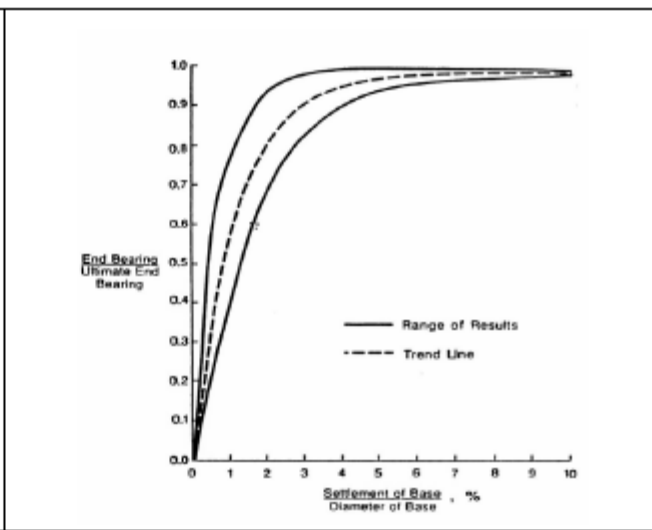


Figura 5.3. Argille. Curva di trasferimento base

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
M-INGEGNERIA PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 17 di 39

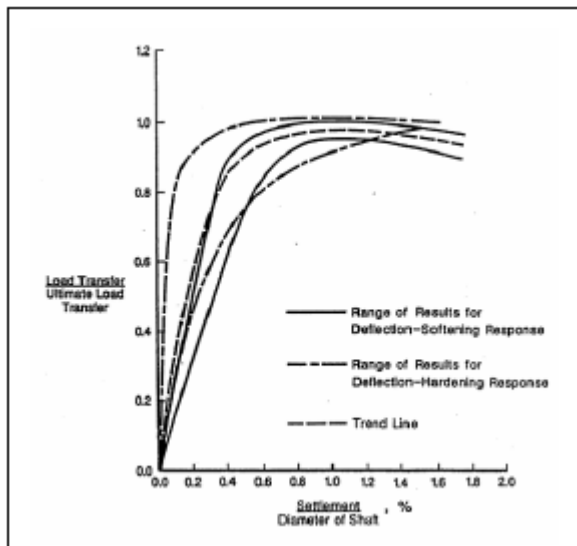


Figura 5.4. Sabbie. Curva di trasferimento laterale

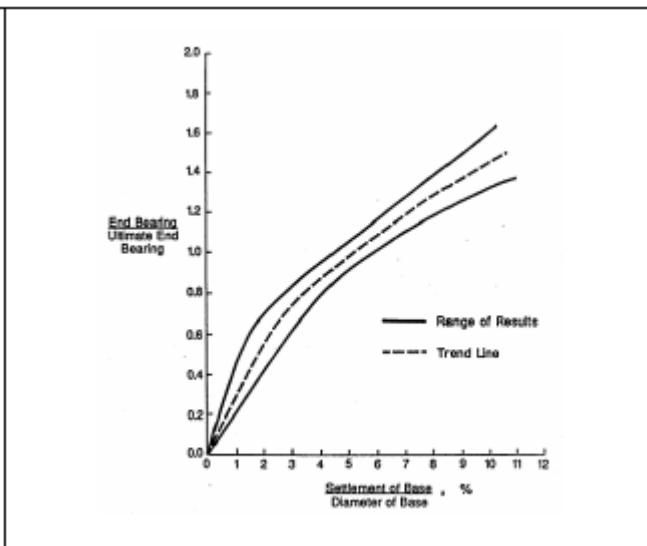


Figura 5.5. Sabbie. Curva di trasferimento base

5.2.3 Effetto gruppo

Il carico totale agente su un gruppo di pali con interasse s sufficientemente ridotto ($s/D < 6$), sottoposto ad una sollecitazione orizzontale statica, si ripartisce in maniera non uniforme tra i singoli pali. L'aliquota di carico assorbita da ciascun palo è condizionata, principalmente, dalla fila di appartenenza dei pali all'interno del gruppo.

Il complesso della sperimentazione disponibile evidenzia come la fila che assorbe l'aliquota maggiore di carico è la fila frontale, quella cioè, che incontra la resistenza di un terreno non disturbato dalla presenza di file a lei antistanti.

Le file successive, invece, assorbono aliquote di carico minori. Il fenomeno di disomogenea distribuzione dei carichi in ragione della fila di appartenenza del gruppo va sotto il nome di shadowing (BROWN ET AL., 1988).

Il metodo di analisi del gruppo di pali proposto da BROWN & REESE (1985) prevede la definizione dei fattori moltiplicativi delle curve $p - y$. In particolare, utilizza un solo coefficiente f responsabile dello schiacciamento del valore di p nella curva $p - y$ (Figura 5.6).

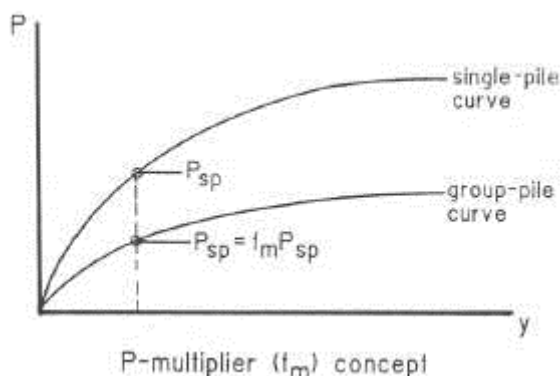


Figura 5.6. Modifica della curva $p - y$ mediante il coefficiente moltiplicativo f_m (da Brown et al., 1988)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 18 di 39

I valori de coefficiente f, sempre minori di uno, vengono assegnati a ciascun palo in ragione della posizione occupata all'interno del gruppo. Tale coefficiente moltiplicativo tiene conto degli effetti di interazione con gli altri pali del gruppo nel suo complesso: interazioni tra pali posti lungo la retta di applicazione del carico, interazione tra pali disposti in direzione ortogonale alla retta di applicazione del carico, interazione tra pali disposti con un angolo β tra loro (Figura 5.7).

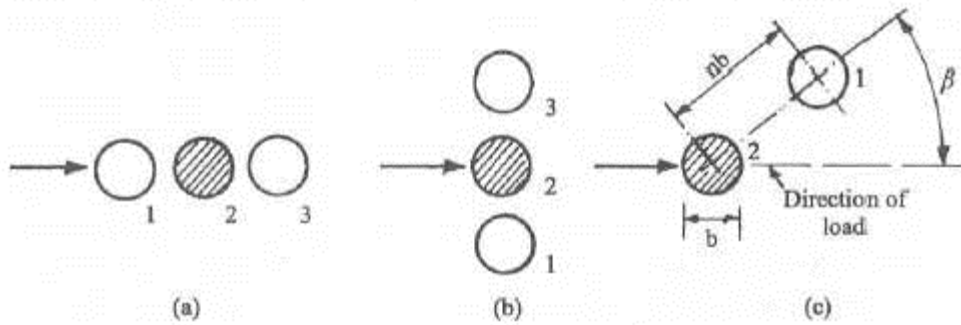


Figura 5.7. Effetti di interazione tra pali in linea (a), affiancati (b) o disposti con un'angolazione β tra loro (c) (da Reese & Van Impe, 2001).

Nel programma Group il coefficiente moltiplicativo f_{mi} viene determinato come prodotto di coefficienti β , ovvero:

$$f_{mi} = \beta_{1i} \times \beta_{2i} \times \beta_{3,i} \dots \beta_{ji} \quad m \neq i ,$$

che tengono conto dei seguenti effetti:

- side by side effect (Figura 5.8);
- leading effect (Figura 5.9);
- trailing effect (Figura 5.10);
- Skewed effect (Figura 5.11).

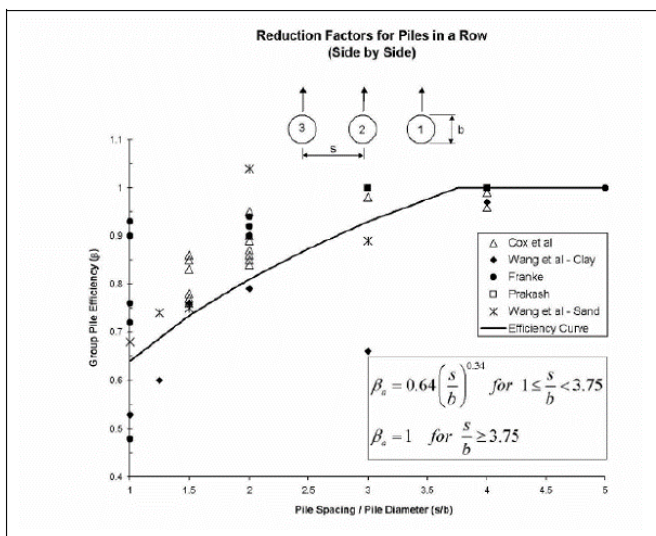


Figura 5.8. Fattori di riduzione per pali in linea "side by side effect"

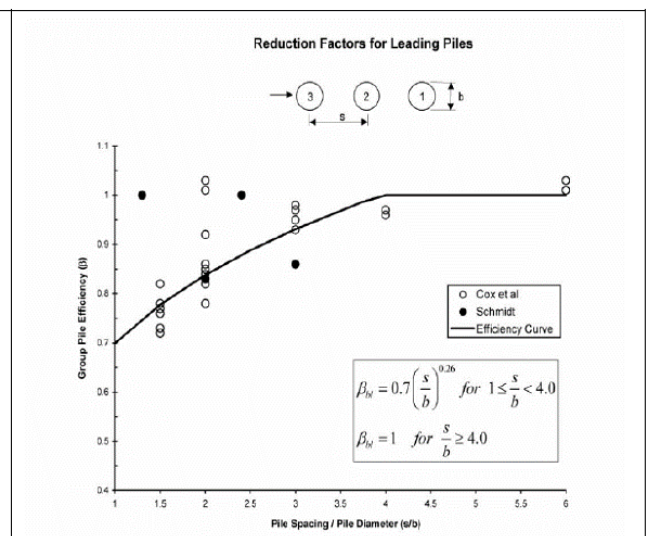


Figura 5.9. Fattori di riduzione per pali in linea "leading effect"

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 19 di 39

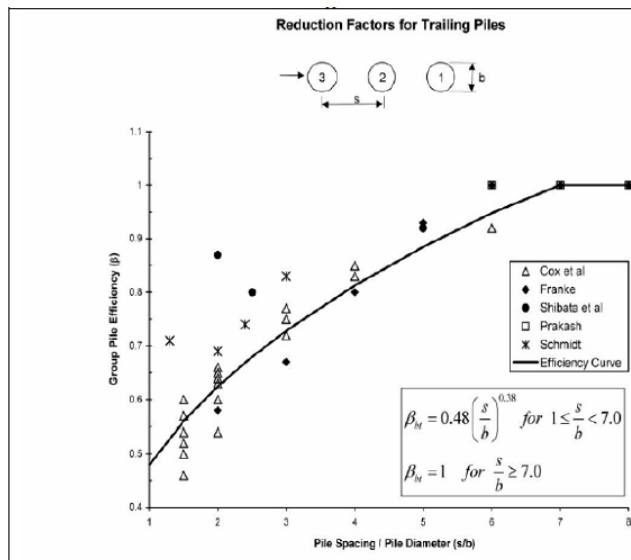


Figura 5.10. Fattori di riduzione per pali in linea “trailing effect”

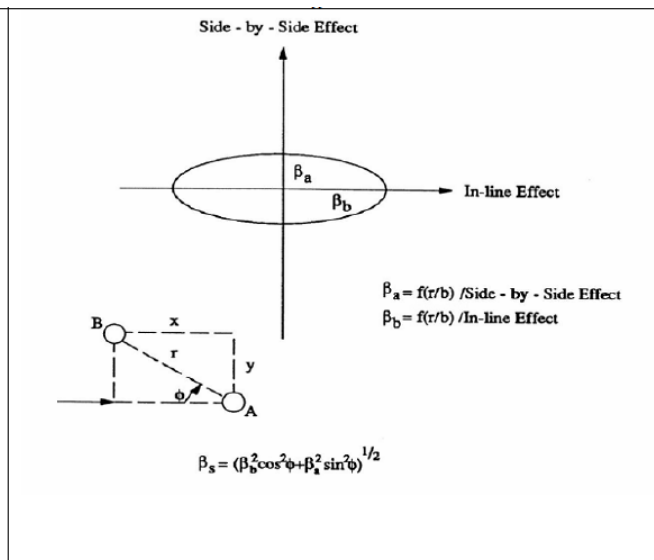


Figura 5.11. Fattori di riduzione per pali in linea “Skewed effect”

5.3 PREVISIONE CARICO-SPOSTAMENTO PER CARICHI LATERALI

Nel modello Group finalizzato alla determinazione degli spostamenti in condizioni SLE le curve p-y sono costruite per “cyclic loading” e gli effetti gruppo sono valutati in accordo ai criteri illustrati nel § 5.2.3.

5.4 CEDIMENTO DI GRUPPO DI PALI PER CARICHI VERTICALI

Per la valutazione del cedimento del gruppo di pali (EG) si amplifica il cedimento del plinto determinato con GROUP in accordo a quanto suggerito da Mandolini et al. (2005) che definisce il parametro:

$$R_G = 0.29 R^{-1.35}$$

Essendo:

$$R = \sqrt{\frac{n s}{L}}$$

dove:

n = numero di pali;

s = interasse pali;

L= lunghezza palo.

Il coefficiente amplificativo E_G per effetto gruppo si ottiene dalla seguente espressione:

$$E_G = R_G \times n$$

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER	
M-INGEGNERIA PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	
COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF3A 02 E ZZ RP VI0003 001 A 20 di 39	

5.5 METODOLOGIA PER LA DETERMINAZIONE DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE DEI PALI

5.5.1 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.

5.5.2 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:

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

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

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

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.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 21 di 39

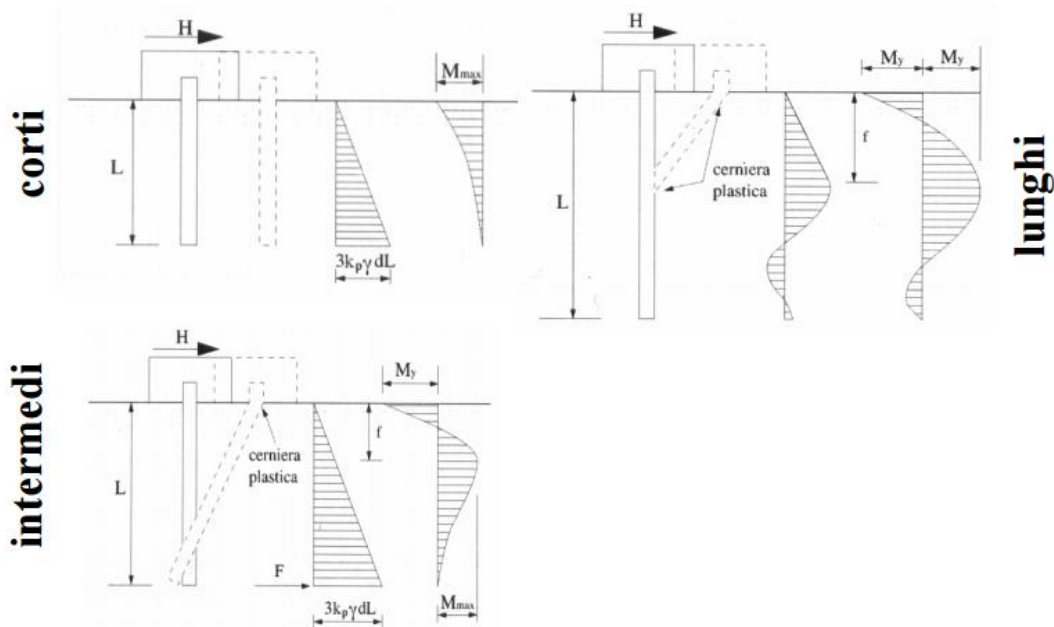
In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

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.



Il valore di H dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni (Vpd).

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

$$H_{lim} = H / (\xi \cdot \gamma_T) > Vpd$$

dove:

H_{lim} = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

ξ = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

γ_T = fattore parziale per pali soggetti a carichi orizzontali.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 22 di 39

6 CRITERI DI VERIFICA PALI

Ai fini del progetto delle fondazioni, sono stati considerati sia gli stati limite di esercizio (SLE) sia gli stati limite ultimi (SLU).

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera.

Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali e per le verifiche geotecniche.

6.1 VERIFICA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

6.1.1 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. 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 la combinazione (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).

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 8 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 ^{*)}	γ	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,25	1,25	1,25

^{*)} da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 23 di 39

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

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

Tabella 9 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

Per il calcolo delle fondazioni, in analogia con quanto previsto dal PD è stato assunto un coefficiente $\xi_3 = 1.5$

Il coefficiente ξ_3 assunto per le analisi ai fini del dimensionamento dei pali di fondazione, in accordo con quanto previsto nel PD, è pari a 1,5: la numerosità delle verticali di indagine è stata riferita all'intero sviluppo del viadotto, in virtù della sostanziale omogeneità stratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione

6.1.2 Resistenza pali singoli soggetti a carichi assiali di compressione

Nel caso di pali soggetti ad azioni di compressione risulta:

$$R_{c,d} = R_{s,d} + R_{b,d} - W'_d = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s} + \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} - W'_d,$$

Dove:

$$R_{s,k} = \frac{\sum_{j=1}^n A_{s,j} \cdot q_{s,j}}{\xi_3} : \quad \text{valore caratteristico della resistenza laterale;}$$

$$R_{b,k} = \frac{A_b \cdot q_b}{\xi_3} : \quad \text{valore caratteristico della resistenza di base;}$$

$$W'_d = \gamma_F \cdot W_k : \quad \text{valore di progetto del peso efficace del palo.}$$

6.1.3 Resistenza pali singoli soggetti a carichi assiali di trazione

Nel caso di pali soggetti ad azioni di trazione risulta:

$$R_{t,d} = R_{s,d} + W'_d = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s} + W'_d,$$

Dove:

APPALTATORE: Consortio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 24 di 39

$$R_{s,k} = \frac{\sum_{j=1}^n A_{s,j} \cdot q_{s,j}}{\xi_3} : \quad \text{valore caratteristico della resistenza laterale;}$$

$$W'_d = \gamma_F \cdot W_k : \quad \text{valore di progetto del peso efficace del palo.}$$

6.1.4 Resistenza pali singoli soggetti ad azioni trasversali

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni di normativa **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 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).

Tabella 10 Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

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

6.2 VERIFICHE DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL GRUPPO DI PALI: DOMINI DELLE RESISTENZE

Come indicato al § 6.4.3.1.1 delle NTC 2018, la resistenza a carico assiale di una palificata deve essere fatta in base alla resistenza caratteristica che risulta dalla somma delle resistenze caratteristiche dei pali che la costituiscono.

E' comunque necessario valutare possibili riduzioni della resistenza disponibile per effetto di gruppo, tenendo conto della tipologia dei pali, della natura dei terreni interessati e della configurazione geometrica della palificata.

Per tale motivo, in sede di dimensionamento della lunghezza delle palificate in gruppo, si è fatto riferimento non alla capacità portante del palo singolo, come da prassi usuale fino alla introduzione delle NTC 2018, ma a quella del gruppo di pali valutata secondo la teoria dei Domini di Resistenza delle fondazioni su pali, ossia del luogo dei punti rappresentativi delle condizioni di collasso dell'intera palificata.

Per ulteriori dettagli sul metodo di calcolo applicato si rimanda al lavoro di Di Laora, de Sanctis, Aversa (2018).

6.3 VERIFICHE PALI AGLI SLE

6.3.1 Verifiche cedimenti verticali e trasversali

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d,$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Nel caso specifico sono considerati i seguenti stati limite di servizio:

- eccessivi cedimenti;
- eccessivi spostamenti trasversali.

In aggiunta alle verifiche previste dalle NTC 2018 verrà controllato (vedasi: Manuale di progettazione delle opere

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 25 di 39

civili RFI - Parte II - Sez.2 - Ponti e strutture – par. 2.5.1.9.3) di avere in esercizio un adeguato margine di sicurezza rispetto alla portanza laterale ovvero:

$$R_{c,cal,LAT}/1.25 > N_{ag} ,$$

dove $R_{c,cal,LAT}$ è la resistenza laterale di calcolo

6.3.2 Verifiche a fessurazione

Con riferimento alla Tab. 4.1.III delle NTC08 in base alla classe di esposizione del calcestruzzo si qualifica automaticamente la “Condizione ambientale”.

Tabella 11: Condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 12: Condizioni ambientali e apertura delle fessure

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

dove:

$w_1 = 0.2$ mm;

$w_2 = 0.3$ mm;

$w_3 = 0.4$ mm.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF3A</td> <td>02</td> <td>E ZZ RP</td> <td>VI0003 001</td> <td>A</td> <td>26 di 39</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	26 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	26 di 39													
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni																		

Nell'ambito della verifica a fessurazione si controlla con metodo diretto che l'apertura delle fessure sia inferiore a quella limite prevista dalla norma per condizioni ambientali ordinarie corrispondenti alla classe di esposizione XC2 e armature poco sensibili.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
M-INGEGNERIA PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E Z Z RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 28 di 39

7.3.1 Schema di riferimento

Il problema di interazione di un pozzo immerso in un terreno stratificato viene risolto ricorrendo al modello di Winkler con leggi di comportamento delle molle di tipo non lineare.

Il pozzo è considerato come un prisma di rigidità infinita, a base rettangolare, quadrata o circolare sollecitato in testa da un sistema di forze esterne verticali, orizzontali e di momento (N , M , T) e lungo il fusto e alla base dalle reazioni del terreno (R_i).

Possono essere considerati due casi (vedi Figura 4.2).

Il caso a) si riferisce alla situazione in cui il pozzo è totalmente immerso in terreni stabili; dal lato della sicurezza le reazioni del terreno sono allora quelle sviluppabili al di sotto della quota dell'intradosso del plinto di fondazione.

Nel caso b) si è alla presenza di materiali instabili che possono esercitare spinte (S_p) sul pozzo; dal lato della sicurezza le reazioni del terreno sono allora calcolate a partire dalla quota di inizio, lato valle, del terreno stabile; le spinte esercitate dal terreno instabile sono riportate alla quota intradosso del plinto di fondazione e sommate ai carichi orizzontali esterni M e T .

Tenendo conto della stratificazione, il pozzo viene suddiviso in conci secondo lo schema riportato in Figura 7.2.

Al centro di ciascun elemento rettangolare o quadrato in cui vengono suddivise le quattro pareti laterali e la base del pozzo sono collocate le molle di reazione del terreno.

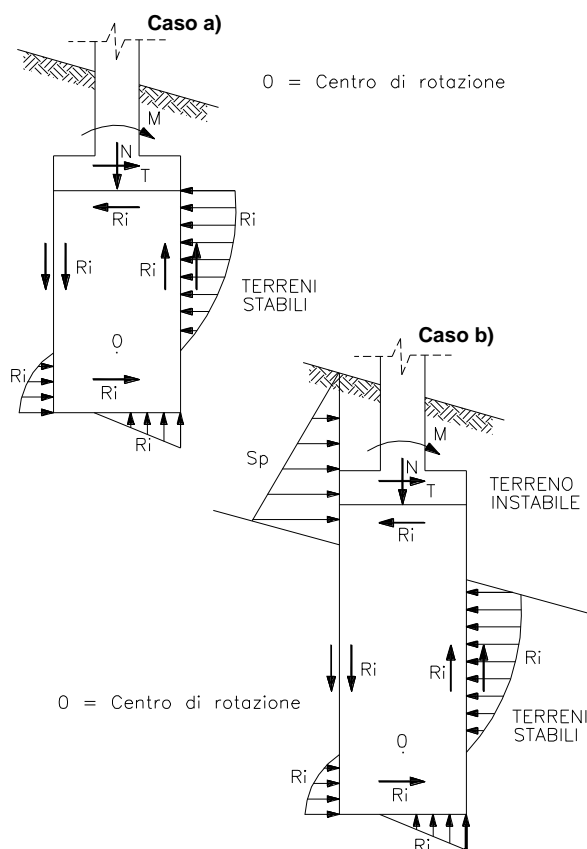


Figura 7.1. Schemi di analisi di pozzi in terreni stabili e instabili

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 29 di 39

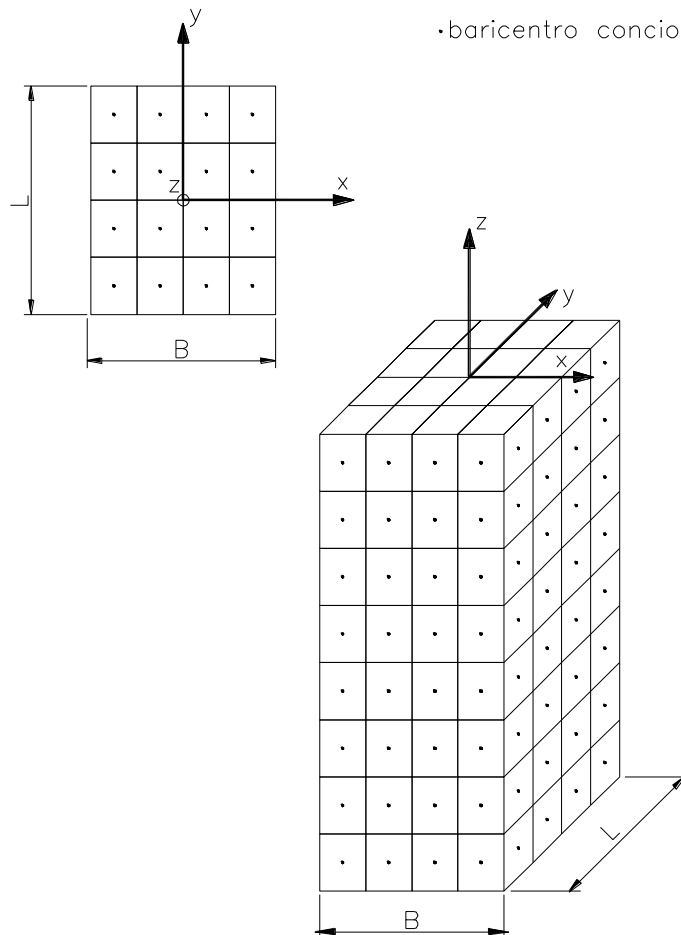


Figura 7.2. Schema di suddivisione in conci del pozzo

7.3.2 Caratteristiche delle molle di reazione del terreno

Le molle di reazione del terreno lungo il fusto constano di una componente normale e di una tangenziale (di attrito); le molle di reazione del terreno alla base sono caratterizzate dalla sola componente normale.

a. Comportamento in direzione normale

Le leggi che governano il comportamento dell'elemento normale delle molle di reazione del terreno, sono del tipo elastico non lineare plastico.

Il modulo di reazione di Winkler secante è valutato sulla base della seguente espressione:

$$\frac{k_w}{k_{w0}} = \frac{1}{1+k \cdot p/p_u} \quad (1)$$

essendo:

k_{w0} modulo di reazione di Winkler corrispondente a gradi di mobilitazione della reazione normale piccolissimi (FL⁻³)

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 30 di 39

k_W =	modulo di reazione di Winkler secante corrispondente al grado di mobilitazione indotto della reazione del terreno	(FL ⁻³)
p =	reazione del terreno mobilitata	(FL ⁻²)
p_U =	reazione limite del terreno	(FL ⁻²)
k =	costante empirica funzione del tipo di terreno	(-)

Il valore della costante k può essere stimato sulla base delle considerazioni riportate in Stroud [1988] e dei diagrammi riportati nelle figure Figura 7.3-Figura 7.5.

Il legame tra il modulo di reazione di Winkler (k_W) e il modulo di Young (E) del terreno è ottenuto in prima approssimazione facendo ricorso alle soluzioni basate sulla teoria di elasticità relative ai casi di:

- aree di forma rettangolare, disposte verticalmente all'interno del semispazio omogeneo ed isotropo, sottoposte ad un carico uniforme in direzione orizzontale (Poulos & Davis [1974]);
- fondazioni superficiali rigide, di forma circolare, poggianti sul semispazio omogeneo ed isotropo, sottoposte a carichi verticali (b_1) o a momenti (b_2) (Poulos & Davis [1974], pp.166-167);
- fondazioni rigide, di forma circolare, poggianti in profondità sul semispazio omogeneo ed isotropo, sottoposte a carichi verticali (c_1) e di momento (c_2) (Poulos & Davis [1974], pp. 180-181; Ledeniev & Scheliapin [1970]).

Nel caso di pozzi soggetti a rilevanti carichi orizzontali, poiché l'andamento delle pressioni lungo il fusto e alla base è di tipo triangolare, per semplicità i coefficienti di Winkler valutabili con le soluzioni di cui ai punti a) e c₁) sono moltiplicati rispettivamente per 3 e per 2, valori questi ultimi deducibili dal confronto delle soluzioni b₁-b₂) o c₁-c₂). Nel caso di pozzi soggetti a modesti carichi orizzontali, poiché l'andamento delle pressioni alla base è di tipo rettangolare o al più trapezoidale, per semplicità, e a favore di sicurezza, verranno mantenuti per la base i coefficienti di Winkler valutabili con la soluzione di cui al punto c₁).

Il valore delle reazioni limite normali del terreno (p_U) sono valutate sulla base delle indicazioni fornite da Brinch Hansen [1961] (lungo il fusto) e di Brinch Hansen [1970] (alla base).

b. Comportamento in direzione tangenziale

Le molle di attrito sulle quattro facce laterali del pozzo sono rappresentate da una bilatera; la bilatera è rappresentata dal valore limite (τ_{lim}) dell'aderenza laterale esercitabile tra pozzo e terreno e dal valore dello spostamento critico (y_{crit}) in corrispondenza del quale si ha la completa mobilitazione dell'aderenza laterale limite.

La bilatera è assunta identica nella direzione verticale ed orizzontale.

7.3.3 Determinazione della capacità portante orizzontale del pozzo

In presenza di materiali schematizzabili con modelli rigido-plastici e criteri di rottura di Mohr-Coulomb (angolo di attrito ϕ' e coesione c') o di Tresca (resistenza al taglio non drenata c_u) le reazioni limiti (p_U), esercitabili dalle terre lungo il fusto del pozzo in condizioni drenate e non drenate, possono essere valutate con la seguente espressione (Brinch Hansen [1961]):

$$p_U = i_\theta (\sigma'_v \cdot k_{\phi} + c' \cdot k_{tc}) \quad (2)$$

$$p_U = i_\theta (c_u \cdot k_{tc}) \quad (3)$$

essendo:

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA																	
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.6%;">COMMESSA</td> <td style="width: 16.6%;">LOTTO</td> <td style="width: 16.6%;">CODIFICA</td> <td style="width: 16.6%;">DOCUMENTO</td> <td style="width: 16.6%;">REV.</td> <td style="width: 16.6%;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF3A</td> <td style="text-align: center;">02</td> <td style="text-align: center;">E ZZ RP</td> <td style="text-align: center;">VI0003 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">31 di 39</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	31 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF3A	02	E ZZ RP	VI0003 001	A	31 di 39													

- σ'_v = pressione efficace alla generica profondità (FL⁻²)
 $k_{t\phi}$ = coefficiente di spinta tridimensionale alla generica profondità dovuto alla componente di resistenza di attrito (-)
 k_{tc} = coefficiente di spinta tridimensionale alla generica profondità dovuto alla componente di resistenza di coesione (-)
 i_θ = coefficiente amplificativo al fine di tener conto della inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale, vedi Kubo [1965] e Awoshika-Reese [1971]. (-)

I coefficienti di spinta $k_{t\phi}$ e k_{tc} sono ricavabili dai grafici di Figura 7.6 in funzione dell'angolo di attrito ϕ' e dell'infissione relativa z/B , essendo z la profondità generica rispetto al piano campagna, lato valle, e B il diametro del pozzo.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 32 di 39

- dati sperimentali relativi a sabbie e ghiaie sovraconsolidate (Stroud, 1988)

$$\text{---+---} \quad \frac{E'}{E_0} = \frac{1}{1+K \cdot p/p_u}$$

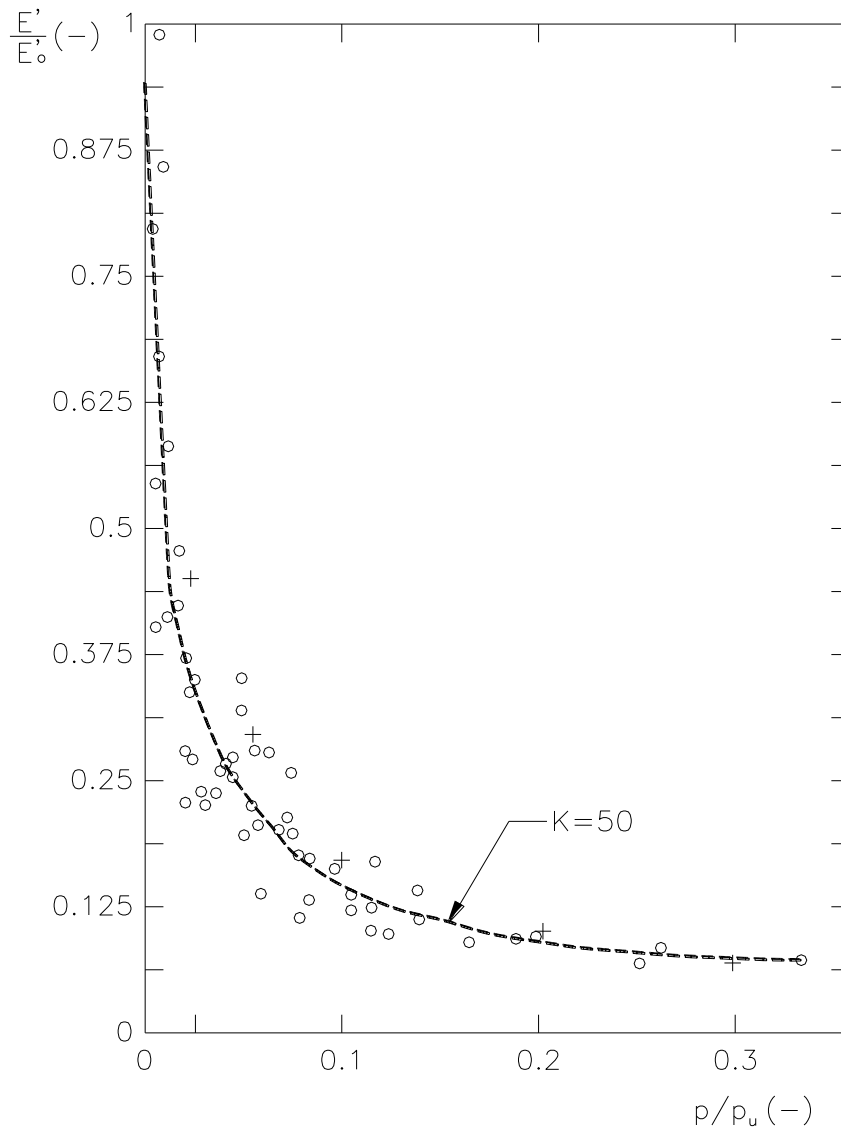


Figura 7.3: Variazione del modulo di elasticità in funzione del grado mobilitazione: sabbie e ghiaie sovraconsolidate

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 33 di 39

- dati sperimentali relativi ad argille sovraconsolidate (Stroud, 1988)

$$\text{---+} \quad \frac{E'}{E'_0} = \frac{1}{1+K \cdot p/p_u}$$

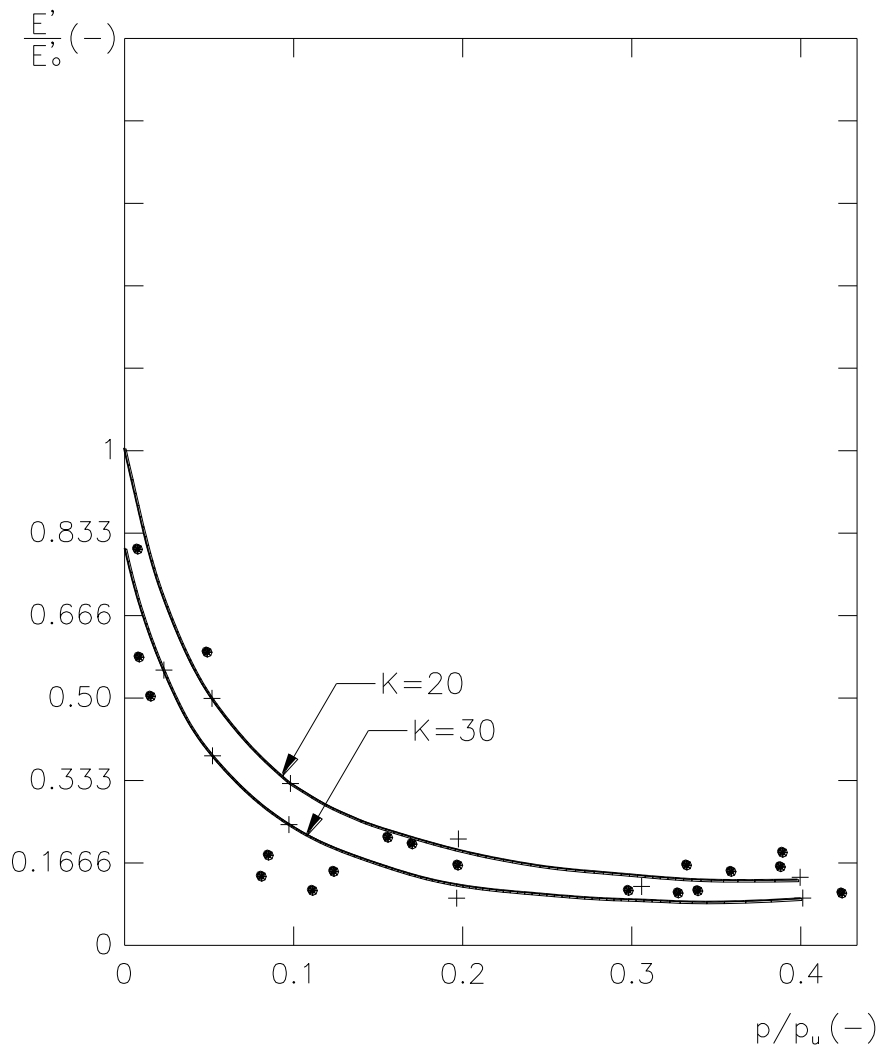


Figura 7.4: Variazione del modulo di elasticità in funzione del grado mobilitazione: argille sovraconsolidate

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 34 di 39

- dati sperimentali relativi a rocce tenere (marne ed arenarie) (Stroud, 1988)

$$+ \text{-----} + \frac{E'}{E_0} = \frac{1}{1 + K \cdot p/p_u}$$

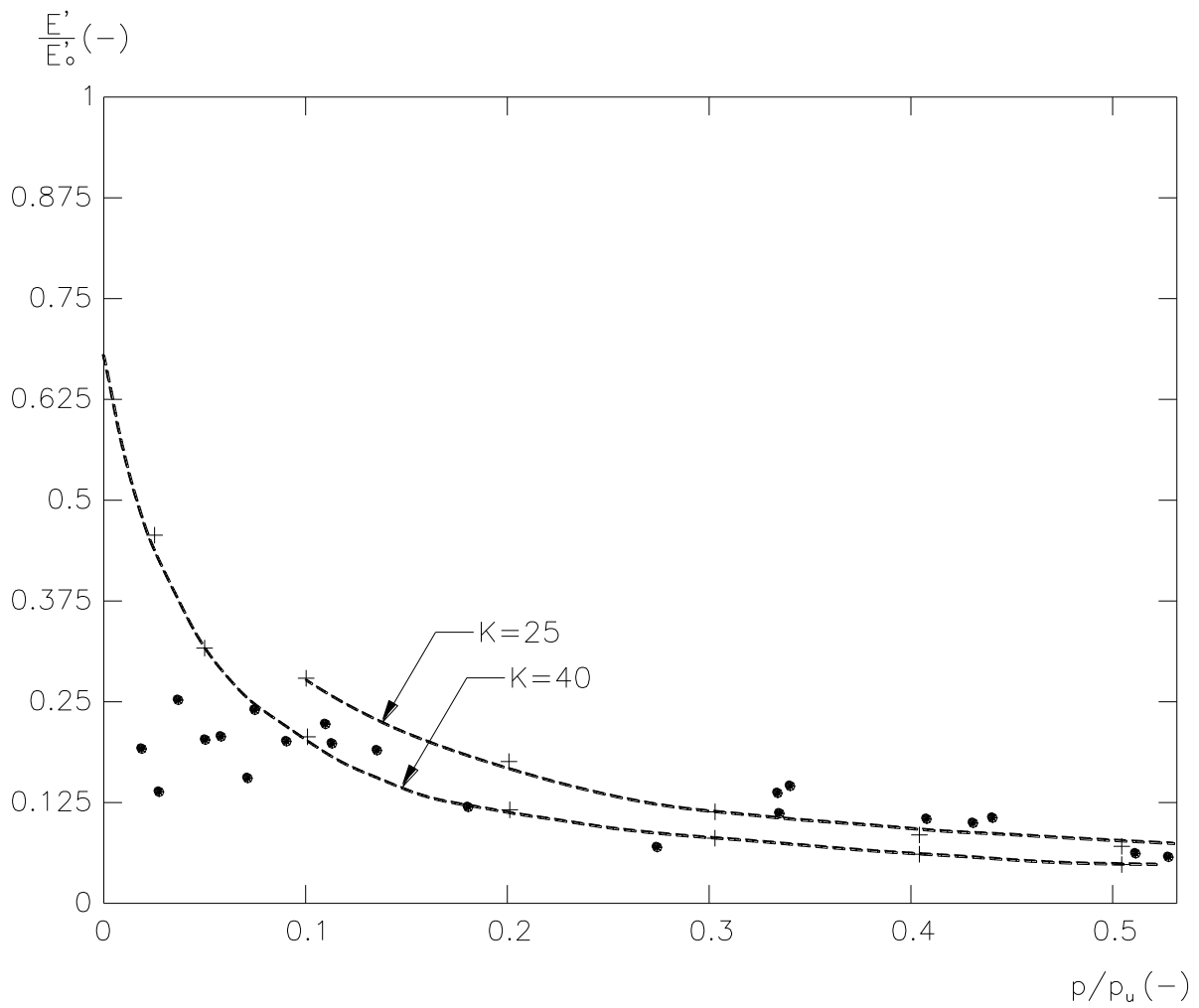


Figura 7.5: Variazione del modulo di elasticità in funzione del grado mobilitazione: rocce tenere (marne ed arenarie)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI		ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER		RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni		COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 35 di 39

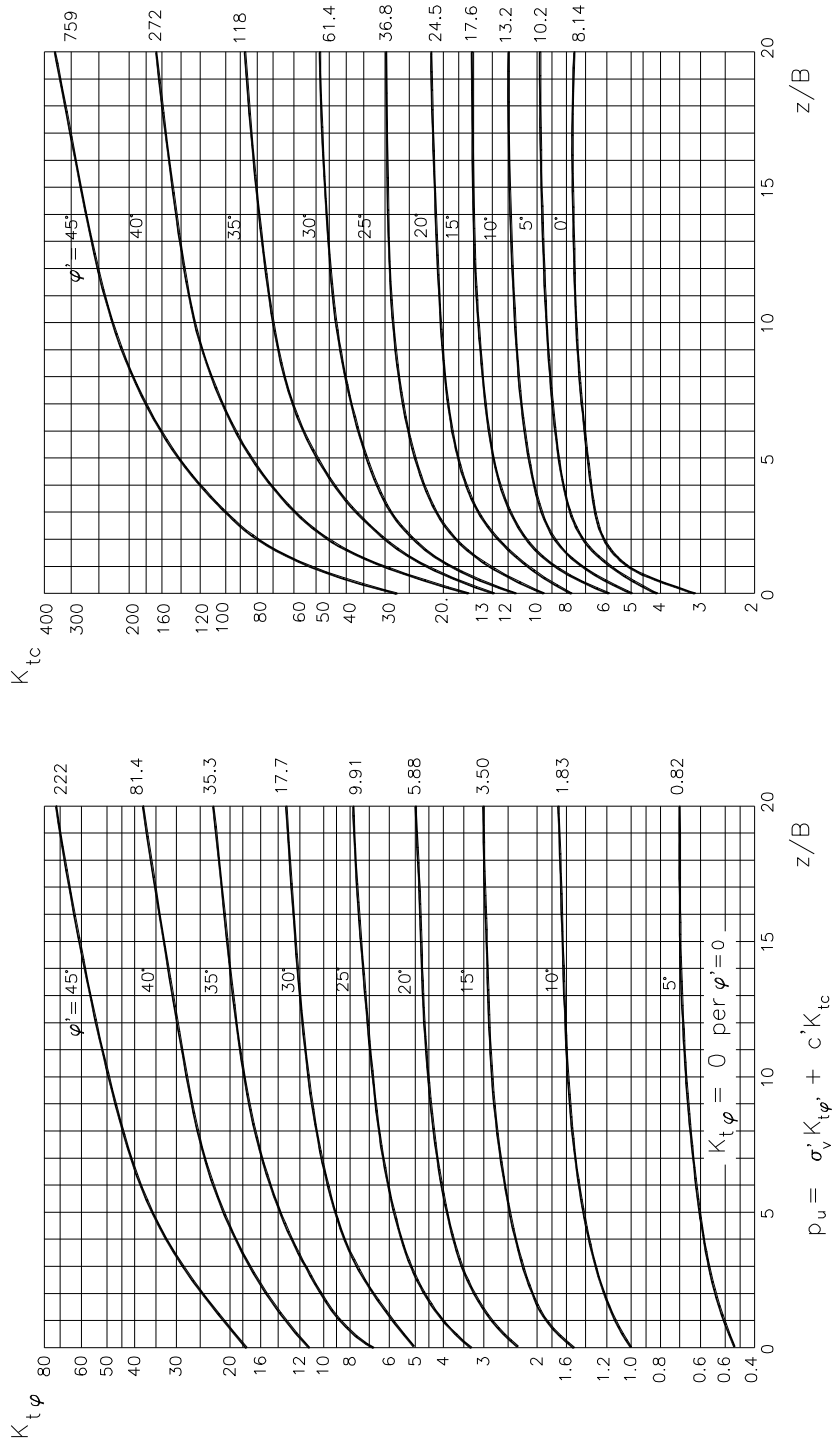


Figura 7.6: Valori dei coefficienti di spinta passiva tridimensionali (Brinch-Hansen 1961)

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 36 di 39

7.3.4 Capacità portante verticale del pozzo

In presenza di materiali schematizzabili con modelli rigido-plastici e criteri di rottura di Mohr-Coulomb (angolo di attrito ϕ' e coesione c') o di Tresca (resistenza al taglio non drenata c_u) le reazioni limiti (p_u), esercitabili dalle terre alla base del pozzo in condizioni drenate e non drenate, possono essere valutate dal lato della sicurezza con le seguenti espressioni (Brinch Hansen [1970]):

$$p_u = q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \quad (4)$$

$$p_u = (2 + \pi) \cdot c_u \cdot (1 + s_{c0} + d_{c0}) + q \quad (5)$$

essendo:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \cdot \tan^2(45 + \phi'/2) = \text{coefficiente di capacità portante} \quad (-)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi' = \text{coefficiente di capacità portante} \quad (-)$$

$$q' = \text{pressione geostatica verticale efficace agente alla quota di imposta del pozzo, lato valle} \quad (FL^{-2})$$

$$D = \text{profondità della base del pozzo rispetto al piano campagna} \quad (L)$$

$$B = \text{dimensione del pozzo parallela alla direzione dei carichi orizzontali} \quad (L)$$

$$L = \text{dimensione del pozzo ortogonale a B} \quad (L)$$

$$s_q = 1 + \sin \phi' \cdot \frac{B}{L} = \text{coefficiente di forma} \quad (-)$$

$$s_c = s_q = \text{coefficiente di forma per } \phi' > 25^\circ \quad (-)$$

$$s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \text{coefficiente di forma per } \phi' < 25^\circ \quad (-)$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \frac{D}{B} = \text{coefficiente di affondamento della fondazione per } D/B < 1 \quad (-)$$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right) = \text{coefficiente di affondamento della fondazione per } D/B > 1 \quad (-)$$

$$d_c = \frac{d_q \cdot s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} = \text{coefficiente di affondamento della fondazione} \quad (-)$$

$$s_{c0} = 0.2 \cdot \frac{B}{L} = \text{coefficiente di forma} \quad (-)$$

$$d_{c0} = 0.4 \cdot \frac{D}{B} = \text{coefficiente di affondamento della fondazione per } D/B < 1 \quad (-)$$

$$d_{c0} = 0.4 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{D}{B} \right) = \text{coefficiente di affondamento della fondazione per } D/B > 1 \quad (-)$$

$$q = \text{pressione geostatica verticale tot. agente a quota imposta del pozzo, lato valle} \quad (FL^{-2})$$

E' inteso che le reazioni limite calcolate risultano di compressione; nel caso in cui gli spostamenti alla base del pozzo fossero tali da generare sforzi di trazione in corrispondenza di un concio generico, la reazione in tale concio viene imposta pari a zero.

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 37 di 39

7.3.5 Procedura di calcolo

Il calcolo di un pozzo di diametro e lunghezza prefissata, sollecitato da un definito sistema di forze esterne agenti alla quota intradosso del plinto di fondazione (comprensivo dell'eventuale spinta delle terre esercitata da materiali instabili) avviene per successive iterazioni in base allo schema seguente:

- a) imposizione di uno spostamento verticale e di una rotazione attorno al centro di rotazione di primo tentativo;
- b) stima degli spostamenti normali e tangenziali indotti in corrispondenza del baricentro di ogni elemento in cui è suddiviso il pozzo;
- c) calcolo delle reazioni normali e tangenziali lungo il fusto e alla base del pozzo in funzione dello spostamenti stimati al punto b); per quanto riguarda i moduli di reazione di Winkler si fa riferimento inizialmente riferimento ai valori k_{w0} ;
- d) verifica delle condizioni di equilibrio alla traslazione verticale, orizzontale e alla rotazione attorno al centro di rotazione; se tale verifica non è soddisfatta il calcolo di cui ai punti a), b), c) e d) è ripetuto con altri valori degli spostamenti verticali e delle rotazioni, o variando la posizione del centro di rotazione, fino a convergenza;
- e) stima del grado di mobilitazione p/p_u in corrispondenza di ogni elemento in cui è suddiviso il pozzo e verifica della congruenza dei moduli di reazione di Winkler; se, i moduli di primo tentativo, non sono congruenti con il grado di mobilitazione indotto, la procedura di calcolo di cui ai punti precedenti viene ripetuta fino a convergenza.

7.4 CRITERI DI VERIFICA DELLA STABILITA' VERTICALE E ORIZZONTALE DEL POZZO

Il programma verifica l'equilibrio fra le azioni applicate e le risultanti delle reazioni.

Il calcolo finale, per quanto riguarda le verifiche GEO, di interesse per la presente trattazione, a convergenza ottenuta, fornisce:

- i valori lungo il fusto e alla base delle reazioni normali e tangenziali mobilitate e il relativo rapporto con la rispettiva reazione limite (p_u) o (τ_{lim});
- i valori del rapporto tra i moduli secanti e i moduli tangenti iniziali;
- la dimensione della parte reagente della base del pozzo;
- i valori degli spostamenti verticali, orizzontali e delle rotazioni del pozzo (combinazioni SLE);
- la profondità del centro di rotazione del pozzo.

Per il caso specifico vengono ovviamente omesse le verifiche strutturali in quanto effettuate su ogni singolo pannello in base alle azioni sollecitanti ottenute mediante il programma Group.

Per poter valutare i fattori di sicurezza agli equilibri verticali e orizzontali si possono incrementare alcune componenti di azioni (o ridurre alcune caratteristiche di reazione), graficando le corrispondenti componenti di deformazione. I moltiplicatori corrispondenti alla perdita di equilibrio, o ad una marcata curvatura dei grafici, o al raggiungimento di spostamenti critici; rappresentano i fattori di sicurezza.

APPALTATORE: Consorzio Soci HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandatario Mandanti ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 38 di 39

7.4.1 Valutazione del grado di mobilitazione delle reazioni normali e tangenziali lungo il fusto e alla base del pozzo

Tenendo conto di quanto sopra, nel caso in esame, una prima verifica può essere fatta in condizioni SLU GEO, al raggiungimento dei carichi di progetto.

In particolare, le verifiche SLU GEO possono essere ritenute soddisfatte sia per i carichi verticali, sia per quelli orizzontali, se risulta:

$$p/p_u \text{ e } \tau/\tau_{lim} \leq 100\%$$

al raggiungimento dei carichi massimi di progetto per la combinazione di carico considerata

Ovviamente, i valori di resistenza p_u e τ_{lim} sono calcolati riducendo le resistenze di calcolo per gli opportuni fattori γ_r e ξ previsti dalla normativa in modo analogo a quanto fatto per i gruppi di pali.

Per le verifiche di esercizio, al fine di valutare l'assenza di deformazioni eccessive, si controlla che sia anche verificato:

$$p/p_u \text{ e } \tau/\tau_{lim} \leq 60\%$$

7.4.2 Determinazione della capacità portante limite del pozzo mediante curva “push-over”

Una seconda valutazione della capacità limite dei pozzi di fondazione delle campate di scavalco dei viadotti è effettuata mediante elaborazione di una curva “push over”, in modo analogo a quanto fatto nel progetto definitivo, considerando il pozzo come elemento singolo ma, a differenza del PD, tenendo in conto gli effetti portanti della base, che ad ogni modo sono certamente presenti.

Sempre utilizzando il programma PozziJ, con parametri di resistenza settati per la combinazione SLU GEO, la testa del pozzo viene sollecitata applicando ricorsivamente un carico orizzontale H monotono crescente e la corrispondente sollecitazioni flettente a testa pozzo. Di fatto, al generico step di calcolo “i” si applicano le seguenti sollecitazioni in testa al pozzo:

- Sollecitazione tagliante: H_i
- Sollecitazione flettente: $M_i = H_i \cdot e$, dove “e” rappresenta l'eccentricità del carico data dalla altezza della pila.
- Azione assiale N: minimo valore di combinazione

I carichi applicati sono fatti crescere fino a quando è evidente il cambiamento di comportamento del pozzo da lineare a non lineare/plastico, in corrispondenza della completa plasticizzazione alla base del pozzo e lungo il fusto: oltre tale livello di carico non sono più possibili incrementi di sollecitazione, se non a prezzo di deformazioni indefinite. Tale carico orizzontale rappresenta il valore H_{lim} ricercato per valutare il grado di sicurezza della fondazione a pozzo, rispetto ai massimi carichi applicati nella combinazioni considerata.

L'analisi sopra descritta è ripetuta per le due direzioni longitudinali e trasversali, anche se in genere la direzione parallela al viadotto presenta le maggiori sollecitazioni alla base.

Nelle analisi pushover, in accordo con i criteri suggeriti dalle NTC 2018 per i pali caricati trasversalmente, il coefficiente di riduzione della resistenza ultima del terreno è sempre assunto pari a:

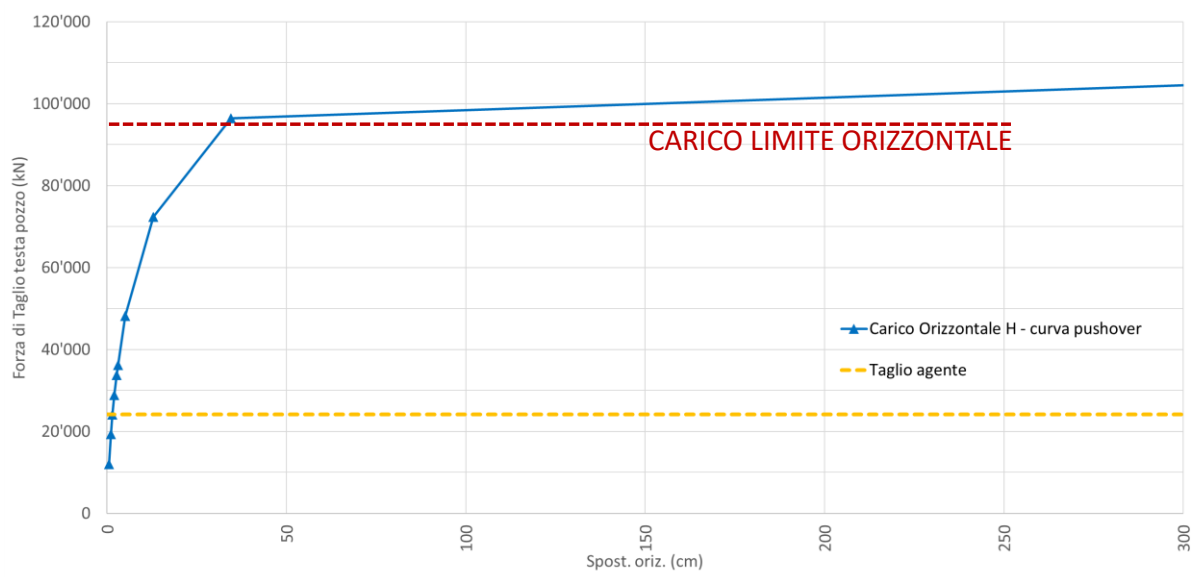
$$\xi_3 \cdot \gamma_T = 1.5 \cdot 1.3 = 1.95,$$

mentre per la resistenza alla base si assume un coefficiente di resistenza pari a:

- $\gamma_{R, \text{fond. sup}} = 2.3$ analogamente a quanto proposto per i pali in gruppo al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA - ORSARA AV WEBUILD ITALIA PIZZAROTTI	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A NET ENGINEERING PINI M-INGEGNERIA GCF ELETTRI-FER	RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA II LOTTO FUNZIONALE HIRPINIA - ORSARA					
PROGETTO ESECUTIVO Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni	COMMESSA IF3A	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RP	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 39 di 39

Nella seguente figura è illustrata, in forma di esempio, la curva pushover ottenuta per un pozzo al crescere della coppia H/M applicata alla testa dello stesso. La plasticizzazione del terreno ed e del conseguente valore di carico limite si rendono ben “visibili” attraverso il netto cambiamento del comportamento deformativo del pozzo stesso, al raggiungimento del “plateau” di resistenza che corrisponde al collasso del sistema.



- **Figura 7.7: Esempio Analisi pushover pozzo di fondazione**