

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:
CONSORZIO:



SOCI:



PROGETTAZIONE:
MANDATARIA:



MANDANTI:



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI - BARI RADDOPPIO TRATTA APICE - ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE - HIRPINIA

VIADOTTI

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI

APPALTATORE	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE	PROGETTISTA
Consorzio HIRPINIA AV Il Direttore Tecnico Ing. Vincenzo Moriello 21/02/2020	Il Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche Ing. G. Cassani	Alpina S.p.A. Ing. Paolo Galvanin

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

IF28	01	E	ZZ	RB	VI0003	001	A	-
------	----	---	----	----	--------	-----	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per consegna	P.Pazzaglia	21/02/2020	L.Zanelotti	21/02/2020	M.Vernaleone	21/02/2020	P.Galvanin 21/02/2020

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> <u>Soci</u> HIRPINIA AV SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> <u>Mandanti</u> ROCKSOIL S.P.A. NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 2 di 53

Indice

1	INTRODUZIONE	5
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	6
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	6
2.3	SOFTWARE	6
2.4	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	6
3	MATERIALI.....	8
3.1	ACCIAIO.....	8
3.1.1	ACCIAIO PER ARMATURA STRUTTURE IN C.A.	8
3.1.2	PROFILATI E PIASTRE METALLICHE.....	8
3.2	CALCESTRUZZO.....	8
3.2.1	CALCESTRUZZO MAGRO PER GETTI DI LIVELLAMENTO	8
3.2.2	CALCESTRUZZO PALI, DIAFRAMMI DI FONDAZIONE, CORDOLI E OPERE PROVVISORIALI	8
3.2.3	CALCESTRUZZO PER FONDAZIONI PILE E SPALLE	8
4	AZIONE SISMICA.....	10
4.1	CATEGORIE DI SUOLO	10
4.2	CATEGORIE TOPOGRAFICHE	10
4.3	ACCELERAZIONE MASSIMA E MAGNITUDO	10
5	CAPACITA' PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO.....	12
5.1	CRITERI DI CALCOLO	12
5.2	PARAMETRI CHE INFLUISCONO SULLA PORTANZA DEI PALI	12
5.3	PORTANZA LATERALE.....	13
5.3.1	STRATI ARGILLOSI.....	13
5.3.2	STRATI SABBIOSI E GHIAIOSI.....	13
5.3.3	FORMAZIONI	13
5.4	PORTANZA DI BASE	14
5.4.1	STRATI ARGILLOSI.....	14
5.4.2	STRATI SABBIOSO GHIAIOSI	14
5.4.3	FORMAZIONI	15
6	CAPACITA' PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO.....	16
6.1	METODI SEMPLIFICATI: BROMS (1964).....	16
6.2	METODI BASATI SULLE CURVE P-Y	17

APPALTATORE: Consorzio  Soci  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria  Mandanti  						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 3 di 53

7	CAPACITA' PORTANTE LIMITE DEL GRUPPO DI PALI	19
7.1	CAPACITA' PORTANTE VERTICALE DEL GRUPPO DI PALI	19
7.2	CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE GRUPPO DI PALI	19
8	ANALISI DI INTERAZIONE PALO TERRENO	22
8.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	22
8.1.1	CURVE P-Y DI L-PILE E GROUP	22
8.1.2	CURVE T-Z E Q-W.....	27
8.1.3	EFFETTO GRUPPO	29
8.2	PREVISIONE CARICO-SPOSTAMENTO PER CARICHI LATERALI	31
8.3	CEDIMENTO DI GRUPPO DI PALI PER CARICHI VERTICALI	31
9	CRITERI DI VERIFICA PALI.....	32
9.1	VERIFICA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	32
9.1.1	APPROCCIO PROGETTUALE	32
9.1.2	RESISTENZA PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI: ASPETTI GENERALI	33
9.1.3	RESISTENZA PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI DI COMPRESIONE	33
9.1.4	RESISTENZA PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI DI TRAZIONE.....	34
9.1.5	RESISTENZA PALI SOGGETTI AD AZIONI TRASVERSALI	34
9.2	VERIFICHE PALI IN GRUPPO	35
9.2.1	CARICHI VERTICALI	35
9.2.2	CARICHI ORIZZONTALI	35
9.3	VERIFICHE AGLI SLE	35
9.3.1	VERIFICHE CEDIMENTI VERTICALI E TRASVERSALI	35
9.3.2	VERIFICHE A FESSURAZIONE	36
10	FONDAZIONI A POZZO	38
10.1	PREMESSA.....	38
10.2	CAPACITA' PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL SINGOLO DIAFRAMMA.....	38
10.3	CAPACITA' PORTANTE DEL BLOCCO DI DIAFRAMMI	38
10.3.1	SCHEMA DI RIFERIMENTO.....	39
10.3.2	CARATTERISTICHE DELLE MOLLE DI REAZIONE DEL TERRENO	40
10.3.3	DETERMINAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE DEL POZZO.....	41
10.3.4	CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE DEL POZZO	47
10.3.5	PROCEDURA DI CALCOLO	48
10.4	CRITERI DI VERIFICA DELLA STABILITA' VERTICALE E ORIZZONTALE DEL POZZO.....	48
10.4.1	VALUTAZIONE DEL GRADO DI MOBILITAZIONE DELLE REAZIONI NORMALI E TANGENZIALI LUNGO IL FUSTO E ALLA BASE DEL POZZO	49
10.4.2	DETERMINAZIONE DELLA CAPACITÀ PORTANTE LIMITE DEL POZZO MEDIANTE CURVA "PUSH-OVER"	49
11	SPINTE DI FRANA SU POZZI	51

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 4 di 53

11.1	VALUTAZIONE DELLA SPINTA IN CONDIZIONI STATICHE	52
11.2	VALUTAZIONE DELLA SPINTA IN CONDIZIONI SISMICHE.....	53

APPALTATORE: <u>Consorzio</u> HIRPINIA AV	<u>Soci</u> SALINI IMPREGILO S.P.A. ASTALDI S.P.A.	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA				
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario</u> ROCKSOIL S.P.A.	<u>Mandanti</u> NET ENGINEERING S.P.A. ALPINA S.P.A.					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF28	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ RB	DOCUMENTO VI0003 001	REV. A	FOGLIO 5 di 53

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito della redazione del Progetto Esecutivo della tratta Apice - Orsara del Lotto 1 Apice – Irpinia - potenziamento della linea ferroviaria Napoli – Bari, il presente documento denominato “**Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni**” riporta la sintesi dei criteri di calcolo nel dimensionamento geotecnico e strutturale adottati per la progettazione esecutiva delle fondazioni dei Viadotti presenti all'interno del lotto.

Detti criteri riprendono e confermano in larga misura quanto già previsto nel progetto definitivo nell'analoga relazione tecnica e precisano, laddove necessario, i differenti approcci progettuali proposti, in particolare per quanto riguarda le verifiche geotecniche per i gruppi di pali soggetti a carichi orizzontali e per le fondazioni a pozzo.

Le due principali modifiche apportate ai criteri di calcolo delle fondazioni profonde dei viadotti riguardano:

- l'applicazione delle curve p-y per la determinazione del carico limite dei pali singoli ed in gruppo soggetti a carichi orizzontali, per meglio tenere conto delle complessità stratigrafiche, così come riportato ai successivi §§ 6.2 e 7.2: il criterio proposto si basa sulla determinazione del carico limite mediante elaborazione di una curva “push-over” tenendo conto della interazione tra palo/gruppo di pali e terreno e fattorizzando opportunamente le resistenze del terreno secondo i coefficienti di norma, fino al raggiungimento della completa plasticizzazione del terreno intorno al palo. Il carico per il quale si raggiunge la plasticizzazione del terreno rappresenta - dunque - il carico limite per carichi orizzontali del palo/gruppo di pali esaminato;
- determinazione della capacità portante verticale e orizzontale delle fondazioni a pozzo - realizzate con pannelli di diaframma - mediante metodi all'equilibrio elasto-plastico dell'intero blocco diaframmi+terreno in essi incluso. Tali metodi sono in grado di tenere conto sia del contributo resistente laterale del terreno, sia del contributo della base del pozzo, come meglio illustrato al successivo § 10.

Entrambe i metodi di calcolo sopra indicati sono correntemente utilizzati/proposti dal Committente per la progettazione di opere di fondazione profonda, in contesti similari a quello in esame, pertanto costituiscono un approfondimento delle analisi in sede di progettazione esecutiva.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>6 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	6 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	6 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- 1) 09 – VIADOTTI Elaborati generali; Viadotti ferroviari – Relazione sui criteri di calcolo delle fondazioni IF0G01D09RBV10003001

2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- 2) Decreto Ministeriale del 14/01/2008: “Approvazione delle Nuove Norma Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n.30.
- 3) Circolare 01/02/2009, n.617 - Istruzione per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008.
- 4) DM 06/05/2008 - “Integrazione al DM 14/01/2008 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- 5) RFI DTC SI MA IFS 001 A - “Manuale di progettazione delle opere civili”
- 6) RFI DTC SI SP IFS 001 A - “Capitolato generale tecnico d'appalto delle opere civili”
- 7) UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 - Progettazione Geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- 8) UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni,
- 9) strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- 10) Caltrans. Guidelines on Foundation Loading and Deformation Due to Liquefaction Induced Lateral Spreading.
- 11) California Department of Transportation, Sacramento, California, 2012
- 12) JRA (2002) – Specifications for Highway Bridges, JapanRoad Association. Part V: Seismic Design

2.3 SOFTWARE

- 1) Lpile, Ensoft Inc, versione 2016, release n. 9
- 2) Group, Ensoft Inc, versione 2016, release n.10
- 3) GeoStru, RC-SEC, Calcolo di sezioni in Cemento Armato
- 4) Pozzi J – Calcolo pozzo strutturali – T. Collotta 2010

2.4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1) BRINCH HANSEN J. [1961] "The ultimate resistance of rigid piles against transversal forces" The Danish Geotechnical Institute, Bulletin n°12, Copenhagen.
- 2) KUBO K. (1965) "Experimental study of the behaviour of laterally loaded piles" Proc. Sixth international conference on soil mechanics and foundation engineering, Montreal, vol.2
- 3) BRINCH HANSEN J. (1970) "A revised and extended formula for bearing capacity" The Danish Geotechnical Institute, Bulletin n°28, Bulletin n°28, Copenhagen.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>7 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	7 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	7 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

- 4) AWOSHIKA K., REESE L.C. (1971) "Analysis of foundation with widely spaced batter piles" Research report 117-3F, Project 3-5-68-117, Center for Highway Research, University of Texas at Austin.
- 5) LANCELLOTTA R. (1979) "Elementi di Geotecnica-Capacità portante di fondazioni superficiali" Libreria Editrice Universitaria Levrotto & Bella.
- 6) LEDENIEV W.W., SCHELIAPIN R.S. (1970) "Izvestia WUZOW, Stroitelotvo i Architektura" n°11, Novosibirsk.
- 7) POULOS H.G., DAVIS E.H. (1974) "Elastic solutions for soil and rock mechanics" John Wiley & Sons, Inc.
- 8) STROUD M.A. (1988) "The Standard Penetration Test-Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proc. of the Geotech. Conf. organized by ICE, Birmingham.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>8 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	8 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	8 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

3 MATERIALI

Il progetto strutturale delle fondazioni prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

3.1 ACCIAIO

3.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

- tensione caratteristica di rottura: ftk ≥ 540 MPa
- tensione caratteristica di snervamento: fyk ≥ 450 MPa
- allungamento caratteristico: ≥ 7.5 %
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento: 1.15 ≤ ftk/fyk < 1.35

3.1.2 Profilati e piastre metalliche

- - Acciaio tipo: EN 10025-S275 JR
- - Tensione di rottura a trazione: ftk ≥ 430 MPa
- - Tensione di snervamento: fyk ≥ 275 MPa

3.2 CALCESTRUZZO

3.2.1 Calcestruzzo magro per getti di livellamento

- Classe di resistenza: C12/15
- classe di esposizione: X0

3.2.2 Calcestruzzo pali, diaframmi di fondazione, cordoli e opere provvisionali

- Classe di resistenza: C25/30
- classe di consistenza: S4
- classe di esposizione: XC2
- dimensione massima dell'inerte: Dmax = 32 mm
- copriferro minimo: cf, min ≥ 60 mm

3.2.3 Calcestruzzo per fondazioni pile e spalle

- Classe di resistenza: C28/35
- classe di consistenza: S4
- classe di esposizione: XC2
- dimensione massima dell'inerte: Dmax = 25 mm

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>9 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	9 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	9 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

- copriferro minimo:

cf,min ≥ 40 mm

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>10 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	10 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	10 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

4 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è valutata in accordo alle NTC2008 di cui al Ref. 15 assumendo in generale (per maggiori dettagli si rimanda alle relazioni sismiche di cui al § 2.1):

- vita nominale: $VN = 75$ anni
- classe d'uso: III
- coefficiente d'uso: $CU = 1.5$
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $VR = VN \times CU$
- Categoria di suolo: C
- Coordinate geografiche di riferimento: ED50 dell'opera

Fanno eccezione le seguenti parti d'opera:

- VI03 campate P2-P3-P4 con relative pile
- VI04 campata di scavalco SP 163 con relative pile (pile P3 e P4)

per le quali si assume:

- vita nominale: $VN = 100$ anni
- classe d'uso: IV
- coefficiente d'uso: $CU = 2$

4.1 CATEGORIE DI SUOLO

Per tutti i viadotti la categoria di suolo è C.

4.2 CATEGORIE TOPOGRAFICHE

- Viadotto VI01: T1
- Viadotto VI02: T2
- Viadotto VI03: T1
- Viadotto VI04: T1

4.3 ACCELERAZIONE MASSIMA E MAGNITUDO

Nella tabella seguente si riassumono i parametri di base che caratterizzano l'azione sismica, la massima accelerazione al suolo e la magnitudo di riferimento.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF1N 01 E ZZ RG MD0000 001 A 11 di 53					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI						

Tabella 1: Parametri di base che caratterizzano l'azione sismica per i viadotti VI01-VI04

		Categoria di suolo	Categoria topografica	Vita nominale V_N	Classe d'uso	Accelerazione massima attesa al sito (SLV) a_{max}/g	Magnitudo (zona sismogenetica 927)
VI01		C	T1	75 anni	III	0.449	7.06
VI02		C	T2 con $h/H = 0.25$	75 anni	III	0.471	7.06
			T2 con $h/H=0$			0.449	7.06
VI03		C	T1	75 anni	III	0.448	7.06
	campata P2,P3,P4	C	T1	100 anni	IV	0.490	7.06
VI04		C	T1	75 anni	III	0.447	7.06
	campata P3,P4	C	T1	100 anni	IV	0.486	7.06

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>12 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	12 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	12 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

5 CAPACITA' PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL PALO SINGOLO

5.1 CRITERI DI CALCOLO

La capacità portante del palo di fondazione è valutata come somma della portata laterale e di base.

$$R_t = R_s + R_b$$

dove:

R_s = resistenza limite laterale;

R_b = resistenza limite di base.

La resistenza limite laterale e di base sono valutate con le seguenti relazioni:

$$R_s = \sum_{j=1}^n A_{s,j} \cdot q_{s,j}, \quad R_b = A_b \cdot q_b,$$

dove:

$A_{s,j}$ = area laterale del palo corrispondente allo strato j ;

$q_{s,j}$ = portanza laterale limite strato j ;

n = numero totali di strati;

A_b = area base palo;

q_b = portanza limite di base.

5.2 PARAMETRI CHE INFLUISCONO SULLA PORTANZA DEI PALI

I parametri che influiscono sulla portanza dei pali sono molteplici. Di certo il primo aspetto da affrontare è la scelta del tipo di palo che dipende dai seguenti fattori:

- natura dei terreni di fondazione;
- situazione geoidrologica;
- considerazioni di carattere economico;
- entità dei carichi e caratteristiche strutturali dell'opera;
- condizioni ambientali (fabbricati o impianti vicini, strutture interrato, attraversamento dei battenti d'acqua, sismicità locale, ecc.);
- esperienze locali: tecnologie esecutive e di controllo disponibili.

Le modalità di installazione sono il fattore che più influenza le caratteristiche geotecniche del terreno nell'intorno del palo e quindi di conseguenza la capacità portante del palo e il suo comportamento deformativo sotto carico.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>13 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	13 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	13 di 53													

La scelta quindi delle modalità di installazione tecnicamente più idonea è molto importante ai fini della buona riuscita dei pali; si ritiene opportuno nel caso in esame adottare pali trivellati tradizionali. Data la natura dei terreni la stabilità delle pareti di scavo richiede l'impiego di fanghi bentonici o rivestimenti provvisori con lamierini.

Nel seguito sono descritti i criteri adottati per la determinazione della portanza laterale e di base a seconda delle caratteristiche geotecniche dei terreni.

5.3 PORTANZA LATERALE

5.3.1 Strati argillosi

Ci si riferisce alle unità ALL1_A, BNA1b e coltre di frana:

$$q_{s,i} = \alpha_i \times c_{u,i}, \quad 0.23 \sigma'_v \leq q_{s,i} \leq 0.55 \sigma'_v \leq 100 \text{ kPa}$$

con:

- $q_{s,i}$ = portanza laterale dello strato i-esimo, $q_{s,lim} = 100 \text{ kPa}$ (AGI);
- $c_{u,i}$ = coesione caratteristica non drenata dello strato i-esimo;
- α_i = è un coefficiente empirico nello strato i-esimo funzione della $c_{u,i}$. Si assume valida la seguente legge di variazione (Raccomandazioni AGI):

$$\alpha = 0.9 \quad c_u \leq 25 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.8 \quad c_u = 25 \div 50 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.6 \quad c_u = 50 \div 75 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.4 \quad c_u \geq 75 \text{ kPa}$$

5.3.2 Strati sabbiosi e ghiaiosi

Ci si riferisce alle unità: ALL2_S e ALL3_G:

$$q_{s,i} = k_{s,i} \cdot \tan \phi'_i \cdot \sigma'_v \leq 170 \text{ kPa}, \text{ con } k_{s,i} = 0.6.$$

5.3.3 Formazioni

Le formazioni sono trattate come rocce tenere, utilizzando la seguente espressione:

$$q_{s,j} = \alpha \cdot q_u / 2 \leq 200 \text{ kPa}, \text{ con } \alpha = \chi \cdot (q_u / 2 \cdot p_a)^{-0.5}, \chi = 0.75.$$

APPALTATORE: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 	
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N LOTTO 01 E ZZ CODIFICA RG DOCUMENTO MD0000 001 REV. A FOGLIO 14 di 53

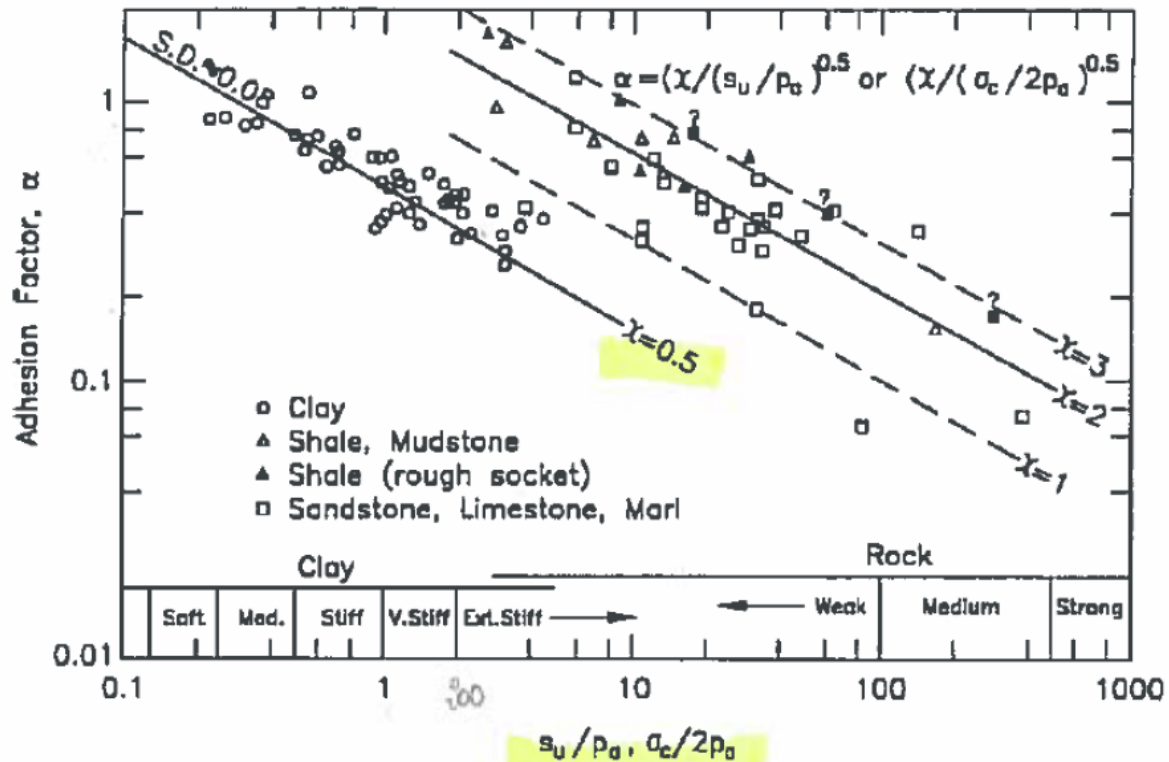


Figura 5.1. Variazioni del parametro α con i valori di resistenza dell'ammasso

5.4 PORTANZA DI BASE

5.4.1 Strati argillosi

La portanza di base negli strati argillosi è valutata con la seguente relazione:

$$q_b = 9 \times c_u + \sigma_v \leq 4300 \text{ kPa}$$

5.4.2 Strati sabbioso ghiaiosi

La portanza di base negli strati incoerenti è valutata con la seguente relazione:

$$q_b = N'_q \cdot 4300 \sigma'_v \leq 4300 \text{ kPa}$$

con:

N'_q di Berezantzev (corrispondente ad un cedimento pari $0.06 \div 0.1 \phi$).

Il parametro N'_q sarà determinato in riferimento ad un angolo di resistenza taglio ridotto (ϕ'_{rid}) rispetto a quello prima dell'installazione del palo (Kishida, 1967):

$$\phi'_{rid} = \phi' - 3.$$

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<table border="0" 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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>15 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	15 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	15 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

5.4.3 Formazioni

Per le formazioni di substrato la portanza di base è valutata con la seguente relazione:

$$Q_b = 15 p_{ref} (q_u / p_{ref})^{0.5} \leq 4300 \text{ kPa} \quad (\text{BS 8004:2015, par. 6.4.2.1.2.4}).$$

APPALTATORE: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>16 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	16 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	16 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

6 CAPACITA' PORTANTE LIMITE ORIZZONTALE DEL PALO SINGOLO

Quando un palo è caricato da un'azione orizzontale in testa, sia essa una forza o una coppia, le tensioni normali poste di fronte al palo aumentano ed il terreno tende ad allontanarsi dal palo in direzione radiale. Le tensioni normali poste a tergo del palo diminuiscono, mentre il terreno tende a spostarsi verso il palo, ancora lungo una direzione radiale (Figura 1).

Ad un certo livello di carico, in prossimità del piano campagna, il terreno posto a tergo del palo tende a distaccarsi dallo stesso; il terreno posto di fronte al palo raggiungerà il collasso in seguito alla formazione di un cuneo di rottura (Figura 2). A profondità maggiori, il meccanismo di collasso del terreno prevede che lo stesso scorra defluendo lungo il bordo del palo, senza un distacco relativo terreno – palo a tergo dello stesso.

Questi due differenti meccanismi di rottura condizionano la distribuzione con la profondità delle pressioni limite purchè il terreno esercita sul palo

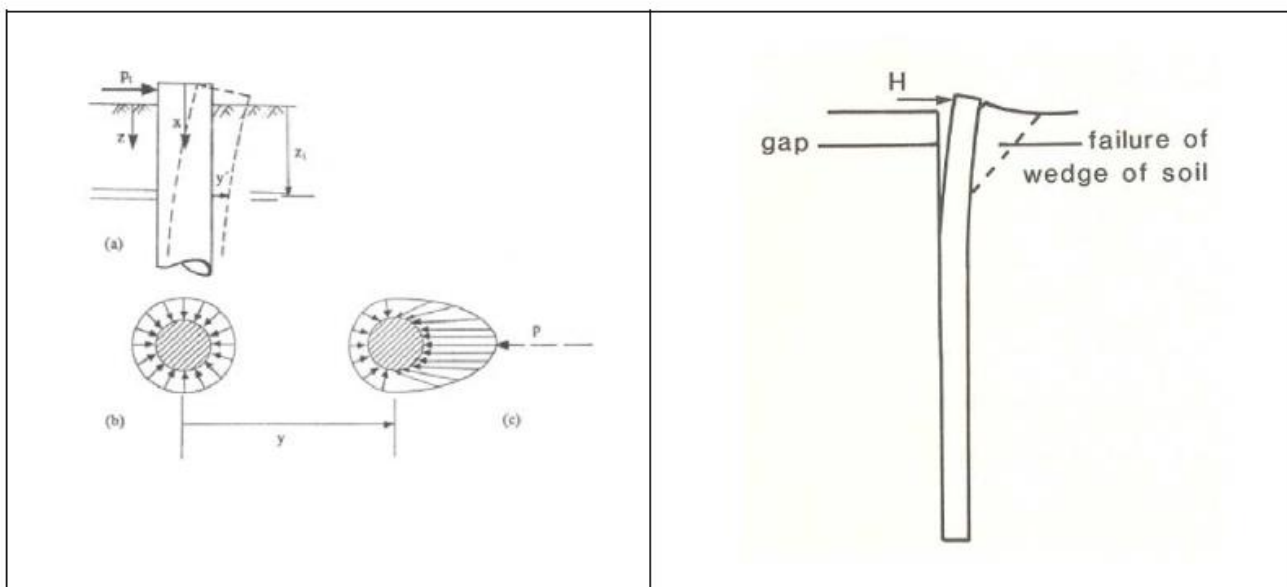


Figura 6.1. Interazione palo -terreno

Figura 6.2.: Cuneo di rottura del terreno soggetto a carichi orizzontali (da Fleming et al. 1985)

6.1 METODI SEMPLIFICATI: BROMS (1964)

Quando il palo è soggetto ad azioni orizzontali, considerate le sollecitazioni di momento e taglio che si generano nelle varie sezioni, la rottura può verificarsi per raggiungimento dello stato limite ultimo sia del terreno che del palo.

I possibili meccanismi di rottura possono essere indicati come rottura a palo "corto", "intermedio" e "lungo", come riportato nella figura seguente.

APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impregilo ASTALDI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA
PROGETTAZIONE: Mandataria ROKSOIL Mandanti NETENGINEERING Alpina	
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N LOTTO 01 E ZZ CODIFICA RG DOCUMENTO MD0000 001 REV. A FOGLIO 17 di 53

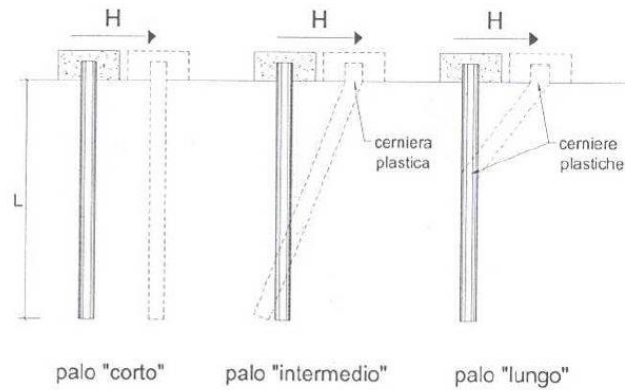


Figura 6.3. Possibili meccanismi di rottura di una pali soggetto a carichi trasversali

Nei casi in cui la capacità portante limite orizzontale viene determinata con il metodo di Broms (1964) nelle seguenti ipotesi:

- palo incastrato in testa;
- comportamento flessionale del palo rigido perfettamente plastico dopo il raggiungimento del valore del momento di plasticizzazione;
- pressione di interazione palo-terreno dipendente solo dal tipo di terreno e dal diametro del palo;
- terreno a comportamento rigido-plastico, con mobilitazione completa della resistenza.

La resistenza trasversale del palo viene calcolata come valore minimo corrispondente ai possibili meccanismi di rottura:

$$R_{tr} = \min \{R_{tr,corto}; R_{tr,lungo}\}.$$

6.2 METODI BASATI SULLE CURVE P-Y

Il metodo di Broms sopra descritto si presta ad essere applicato in presenza di stratigrafie omogenee, in assenza di contrasti di rigidezza, cambiamenti della natura litologica dei terreni o problematiche di liquefazione.

Per il lotto in esame, considerata la presenza di successioni stratigrafiche abbastanza articolate, con contrasti di rigidezza anche marcati e caratteristiche diverse delle varie unità geotecniche, si è fatto uso del programma FEM non lineare L-Pile, considerando negli strati di terreno curve p-y non lineari, definibili lungo il fuso del palo, come descritto nei successivi paragrafi (ref. 8.1.1).

Le curve p-y elaborate dal programma L-Pile sono descritte di seguito.

La procedura applicata è sinteticamente descritta di seguito:

- Approccio adottato: Verifica GEO – Combinazione A1+M1+R3 (vedere § 9.1);
- Determinazione del coefficiente ξ in base al numero di verticali indagate (vedere 9.1.2);
- Riduzione della resistenza "p" del terreno alla data profondità, come richiesto dalla combinazione prescelta, abbattendo le curve p-y secondo il coefficiente parziale $\xi \times \gamma_T$. Il coefficiente γ_T è definito dalla normativa come indicato al § 9.2.2;

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA												
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF1N</td> <td style="text-align: center;">01 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">MD0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">18 di 53</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	18 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	18 di 53								

- Determinazione della curva “pushover” del palo singolo, incrementando progressivamente il carico orizzontale applicato alla testa del palo, fino al raggiungimento del collasso, vale a dire della completa plasticizzazione del terreno. Tale plasticizzazione si rende “visibile” attraverso il cambiamento del comportamento deformativo del palo stesso, al raggiungimento del “plateau” di resistenza.

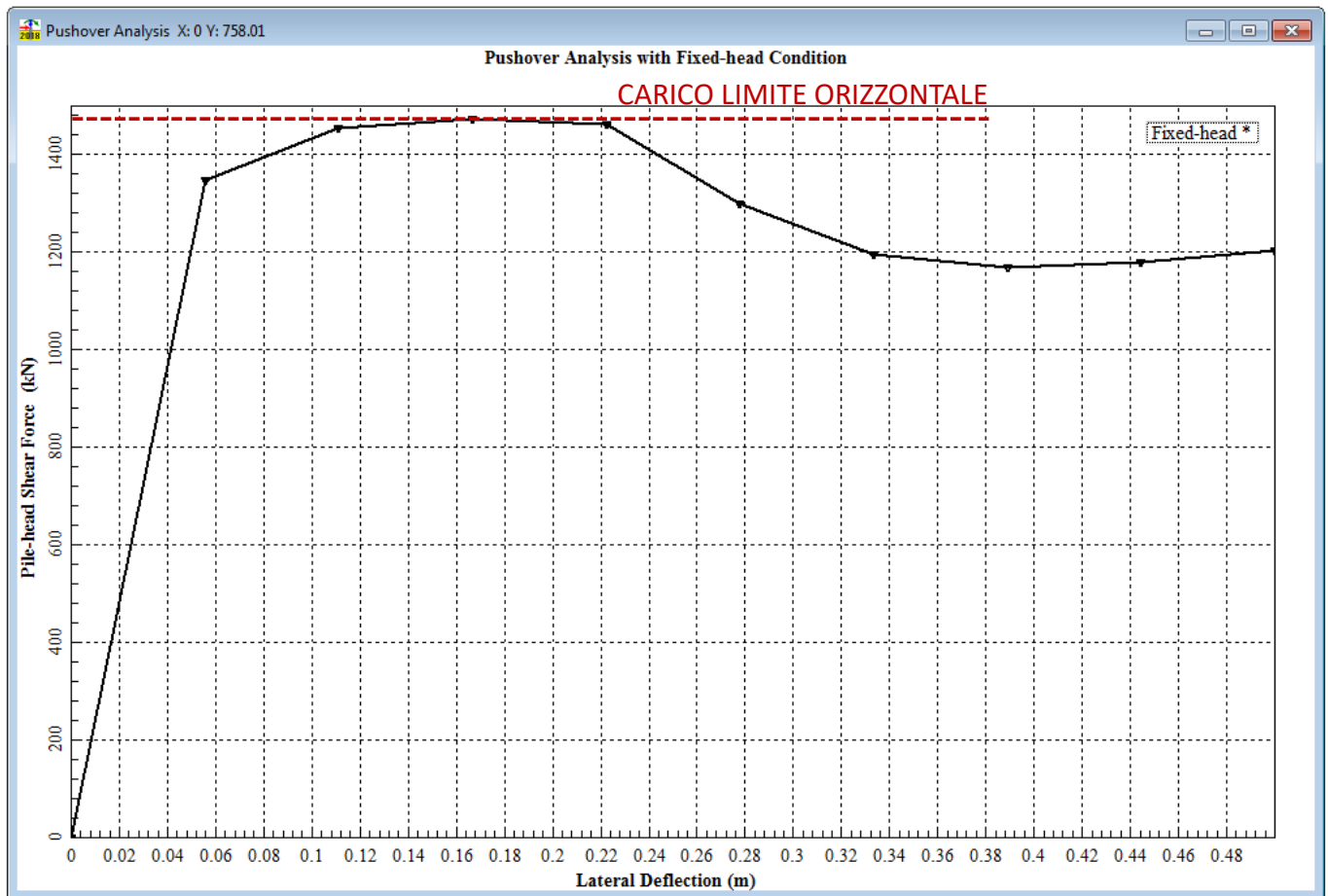


Figura 6.4. Esempio di determinazione del carico limite orizzontale del palo singolo soggetto a carichi orizzontali mediante curva “push-over”

APPALTATORE: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 19 di 53

7 CAPACITA' PORTANTE LIMITE DEL GRUPPO DI PALI

7.1 CAPACITA' PORTANTE VERTICALE DEL GRUPPO DI PALI

I pali sono previsti generalmente ad interasse di 3 volte il diametro, alla portanza del palo singolo non viene applicato nessun coefficiente di riduzione per effetto gruppo e la capacità portante del gruppo viene valutata in riferimento al collasso del blocco come di seguito illustrato.

In accordo con le BS 8004:2015, par. 6.7.2.2.6-7, la resistenza limite del blocco è così calcolata:

- Terreni coesivi

$$R_{\text{block}} = (c_{u,s,\text{calc}} \times A_s \times S_{\text{block}}) + (N_c \times c_{u,b,\text{calc}} \times A_b),$$

- Terreni incoerenti

$$R_{\text{block}} = (k_0 \times \sigma'_v \times \tan \phi_k \times A_s \times S_{\text{block}}) + (N_q \times \sigma'_{v,b} \times A_b),$$

dove:

$c_{u,s,\text{calc}}$ = coesione non drenata di calcolo media sulla superficie laterale del blocco ottenuta partendo dai valori caratteristici dei singoli strati;

$c_{u,b,\text{calc}}$ = coesione non drenata di calcolo alla base del blocco assunta pari al valore caratteristico dell'unità stratigrafica presente alla base del blocco;

k_0 = coefficiente di spinta a riposo = $1 - \sin \phi_k$;

σ'_v = pressione verticale media sulla superficie laterale del blocco;

$\sigma'_{v,b}$ = pressione verticale alla base del blocco;

A_s = superficie laterale del blocco;

A_b = area di base del blocco in accordo alle BS 8004:2015;

S_{block} = fattore di forma del blocco assunto pari a 1.0;

Ed infine valgono le seguenti espressioni:

$$N_c = (\pi + 2) \quad \text{fattore di capacità portante terreni coesivi (BS 8004:2015);}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi, \quad N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi} \cdot \tan^2(45^\circ + \phi/2) \quad \text{fattore di capacità portante terreni incoerenti (BS 8004:2015).}$$

In aggiunta alla determinazione di cui sopra che è in accordo alle BS 8004:2015 si valuta prudenzialmente la capacità portante limite (R_{punz}) anche nell'ipotesi di considerare come area di base non quella del blocco ma la somma delle aree di base dei pali; questa ipotesi equivale ad ipotizzare una sorta di meccanismo di rottura a punzonamento dei pali.

7.2 CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE GRUPPO DI PALI

Se i pali sono parte di un gruppo possono indursi meccanismi di rottura come illustrato nella figura seguente.

APPALTATORE: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 							<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>20 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	20 di 53													

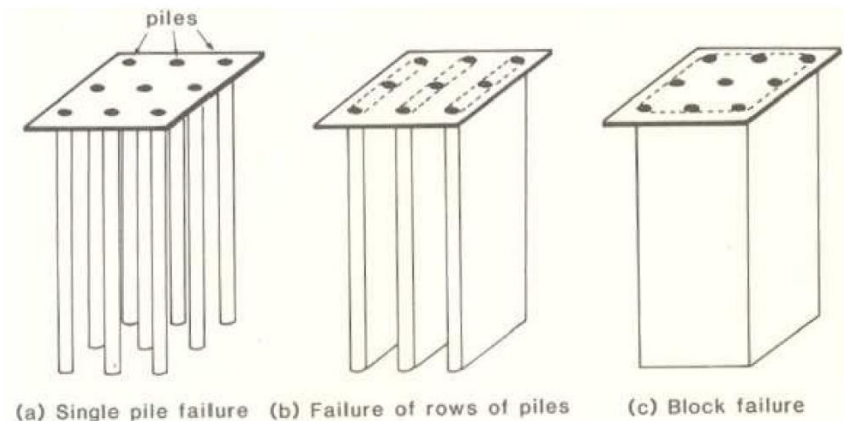


Figura 7.1. Meccanismi di rottura per un gruppo di pali

Il comportamento di un palo soggetto ad azioni orizzontali all'interno di un gruppo differisce da quello di un palo singolo ed isolato.

I principali fattori che influenzano la risposta di un gruppo di pali, e di ciascun singolo palo all'interno del gruppo, sono i seguenti:

- interazione reciproca palo-terreno-palo;
- interazione struttura di collegamento-terreno;
- caratteristiche di rigidità della struttura di collegamento.

Nel caso di un gruppo di pali soggetto a carichi orizzontali la rigidità della struttura di collegamento, caricata nel proprio piano, risulta notevolmente superiore a quella tagliante e flessionale dei pali, che si oppongono a spostamenti aventi direzione ortogonale al proprio asse. Con ottima approssimazione, sotto carichi orizzontali, si può ritenere la struttura di collegamento un elemento infinitamente rigido, e assumere che lo spostamento delle teste dei pali, vincolati nella piastra, siano tutti uguali tra loro. Eterogenea, viceversa, risulta la distribuzione dei carichi sui singoli pali del gruppo. Le prove di carico condotte su gruppi di pali pubblicate in letteratura confermano, senza eccezioni, la validità di tale assunzione.

In un gruppo di pali caricato da azioni orizzontali i fenomeni di interazione reciproca palo – terreno – palo determinano, complessivamente, una diminuzione della rigidità del sistema. In generale, a parità di carico medio per palo, lo spostamento in testa del gruppo di pali è maggiore dello spostamento di un palo isolato; allo stesso modo, a parità di spostamento in testa, il carico sopportato dal palo isolato è superiore al carico medio sopportato dal palo del gruppo.

Quantitativamente, l'intensità dell'interazione viene rappresentata definendo l'efficienza η di un gruppo di n pali; tale parametro indica il rapporto, a parità di spostamento in testa, tra il carico medio H_g/n agente su un palo del gruppo (H_g è il carico totale agente sul gruppo) ed il carico H_s agente su un palo singolo ed isolato, identico per caratteristiche a quelli del gruppo:

$$\eta = \frac{H_g}{n \cdot H_s}$$

I fenomeni di interazione divengono più rilevanti quanto più l'interasse tra i pali del gruppo è ridotto. Viceversa, l'interazione tende ad estinguersi al crescere della distanza tra i pali. Le evidenze sperimentali mostrano come gli effetti di interazione si attenuino notevolmente ad interassi di $5D$ (McVay et Al., 1995) e possano ritenersi nulli per

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>21 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	21 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	21 di 53													

interassi superiori a 6D (COX et Al., 1984) (D = diametro del palo). In tal caso, ciascun palo del gruppo si comporta secondo modalità di palo singolo.

Per effetto delle interazioni reciproche che si verificano in un gruppo, i cui pali sono connessi da una struttura di collegamento infinitamente rigida non a contatto con il terreno, ciascun palo si comporta in maniera differente dagli altri. La diversità di comportamento si manifesta mediante un differente valore dello sforzo di taglio agente in testa a ciascun palo, differenti valori di momento flettente, diversa ubicazione del valore massimo di momento al variare della profondità (nell'ipotesi in cui il vincolo in testa al palo non sia un incastro). La modalità di risposta di ciascun palo è funzione essenzialmente dalla posizione geometrica che questo occupa all'interno del gruppo. Precisamente, la risposta del singolo palo all'interno del gruppo è condizionata:

- dalla fila di appartenenza all'interno del gruppo (effetto ombra o shadowing);
- dalla posizione all'interno della singola fila (effetto di bordo).

Il primo dei due fenomeni assume rilevanza maggiore. Principalmente, si osserva una notevole differenza nelle modalità di risposta della prima fila, che risulta più rigida, rispetto alle successive, che risultano più cedevoli. La prima fila (o fila frontale) è la prima nella direzione di avanzamento del gruppo ed è quella che spinge nel terreno indisturbato.

Il secondo dei due fenomeni induce, all'interno di una stessa fila, una concentrazione dei carichi sui pali di estremità, che risultano più caricati rispetto ai pali posti al centro.

In un gruppo di pali, il contemporaneo verificarsi di fenomeni di interazione sotto forma di effetto ombra (differente risposta dei pali a seconda della fila di appartenenza) e di effetto di bordo (differente risposta dei pali a seconda della posizione nella fila) fa sì che, complessivamente, il gruppo di pali risulti più cedevole del corrispondente palo singolo. Il parametro che quantifica la riduzione della rigidità del sistema è la già definita *efficienza del gruppo* η .

Il valore assunto da tale parametro è, per pali disposti ad interasse ridotto, inferiore ad uno. Al crescere dell'interasse tra i pali l'efficienza tende al valore unitario, fino a divenire esattamente pari ad uno quando le distanze relative tra i pali sono tali da annullare ogni fenomeno di interazione.

Nel caso specifico la portanza laterale del gruppo di pali viene determinata ricorrendo al concetto di efficienza del gruppo η :

$$R_{tr, gruppo} = R_{tr, palo} \cdot n_{pali} \cdot \eta,$$

A differenza di quanto previsto nel Progetto Definitivo, il valore di η viene calcolato per ogni specifico gruppo di pali in base alla procedura interna prevista dal programma Group e illustrata nel successivo § 8.1.3.

La determinazione del carico limite massimo per i pali della palificata viene quindi ottenuto in modo analogo a quanto visto al § 6.2 per il palo singolo, abbattendo però il valore resistente "p" considerando l'effetto "gruppo" quantificato attraverso il parametro di efficienza η ; pertanto la procedura di calcolo seguita è descritta dai seguenti "step":

- Approccio adottato: Verifica GEO – Combinazione A1+M1+R3 (vedere § 9.1);
- Determinazione del coefficiente ξ in base al numero di verticali indagate (vedere § 9.1.2);
- Riduzione della resistenza "p" del terreno alla data profondità come richiesto dalla combinazione prescelta, abbattendo le curve p-y secondo il coefficiente parziale $\xi \times \gamma_T$, tenendo conto della efficienza η per cui il coefficiente di riduzione risulterà pari a $\eta \times \xi \times \gamma_T$.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 22 di 53

8 ANALISI DI INTERAZIONE PALO TERRENO

8.1 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 L-Pile e Group della Ensoft che caratterizzano il terreno con curve $p-y$ (per maggiori dettagli vedasi il § 8.1.1) 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 § 8.1.3), 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 § 8.1.2); in questo tipo di interazione non si tiene conto degli effetti di gruppo.

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

Sia L-pile 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 (in appendice A si riporta uno stralcio dal manuale tecnico del programma che illustra nel dettaglio i criteri di costruzione delle curve $p-y$):

- “static loading” e “stiff clays with free water” (vedasi Figura 8.1);
- “cyclic loading” e “stiff clays with free water” (vedasi Figura 8.2);
- “static loading” e “sand” al di sopra e al di sotto della linea di falda (vedasi Figura 8.3);
- “cyclic loading” e “sand” al di sopra e al di sotto della linea di falda (vedasi Figura 8.3).

Nelle tabelle successive sono riportati i coefficienti k_s , ε_{50} , k che intervengono nella costruzione delle curve $p-y$; per maggiori dettagli si segnala che solo nei modelli Group finalizzati alla stima degli spostamenti (SLE) le curve $p-y$ sono state costruite con l'opzione di carico ciclico (“cyclic loading”).

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 23 di 53

Tabella 2: Coefficiente k_s per terreni argillosi (static e cyclic loading)

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 3: 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 4: Coefficiente k_s per terreni sabbiosi sotto falda (static e cyclic loading)

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

Tabella 5: 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)

APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impregilo ASTALDI		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL Mandanti NETENGINEERING Alpina							
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI		COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 24 di 53

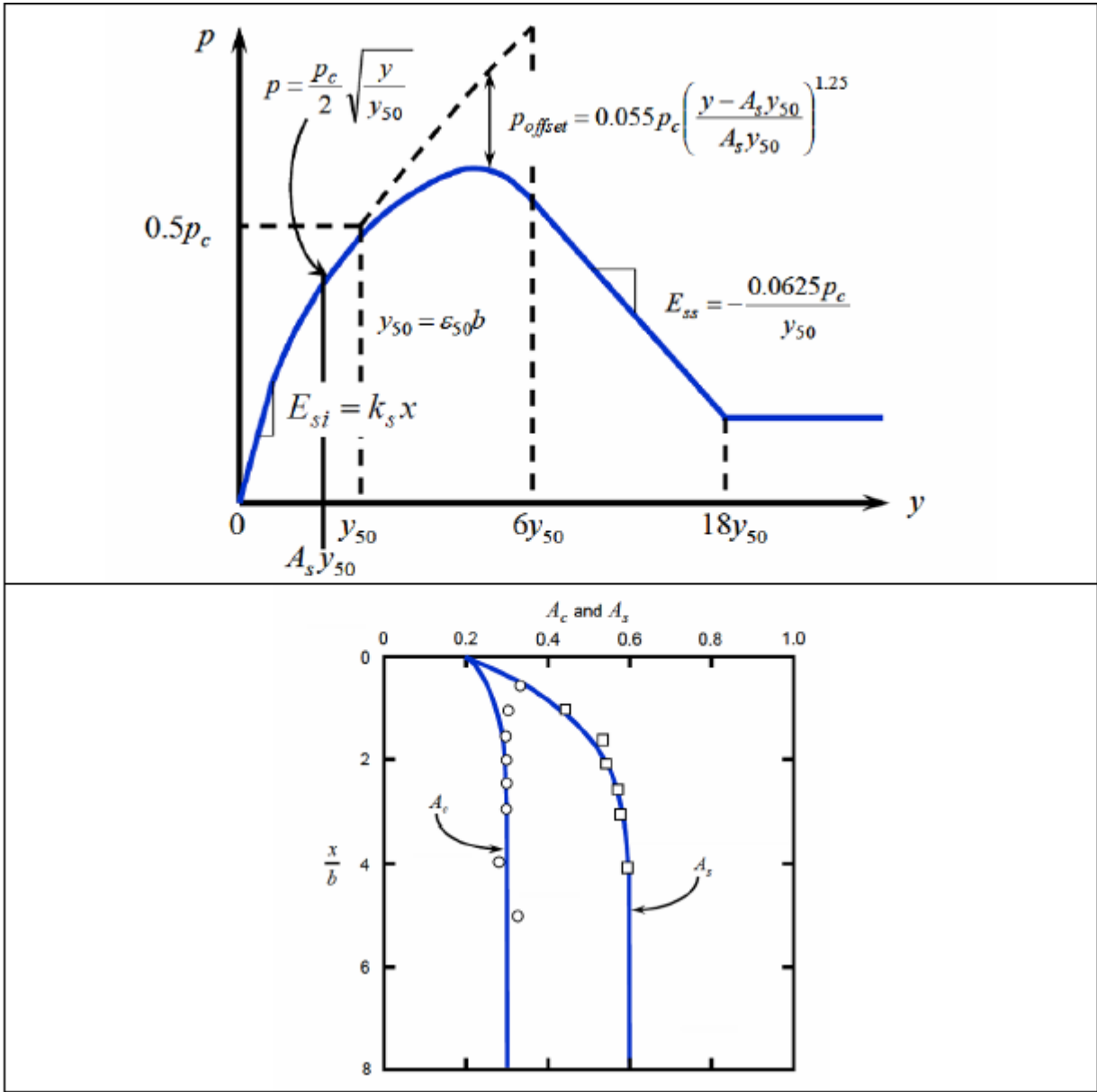


Figura 8.1. Curva p-y per carichi statici in "stiff clay" e "free water" (REESE ET AL. -1975)

APPALTATORE: Consorzio  Soci  		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria  Mandanti  							
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI		COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 25 di 53

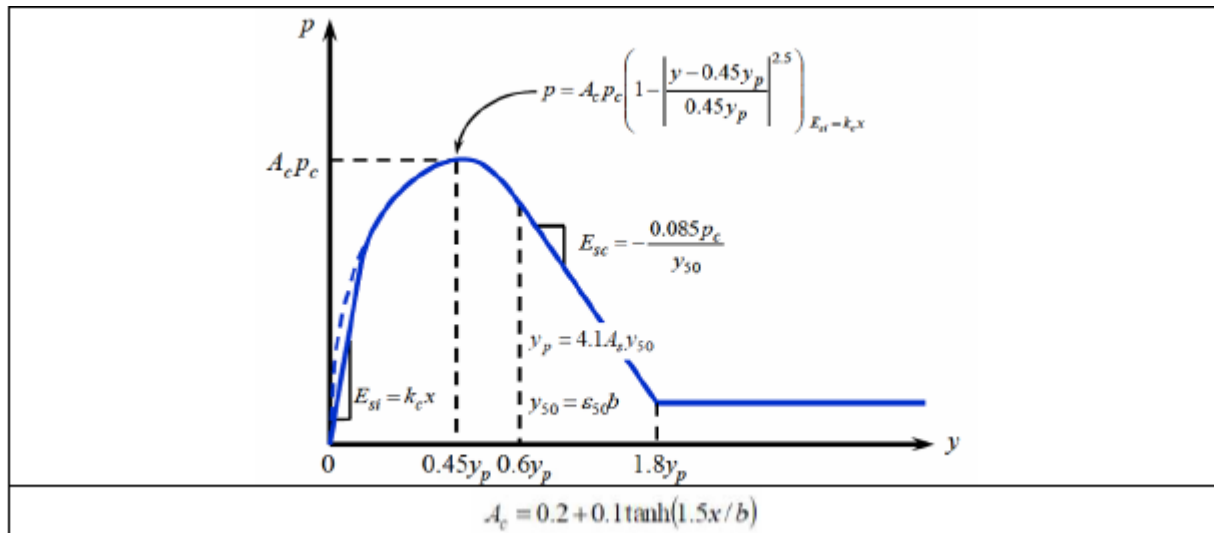
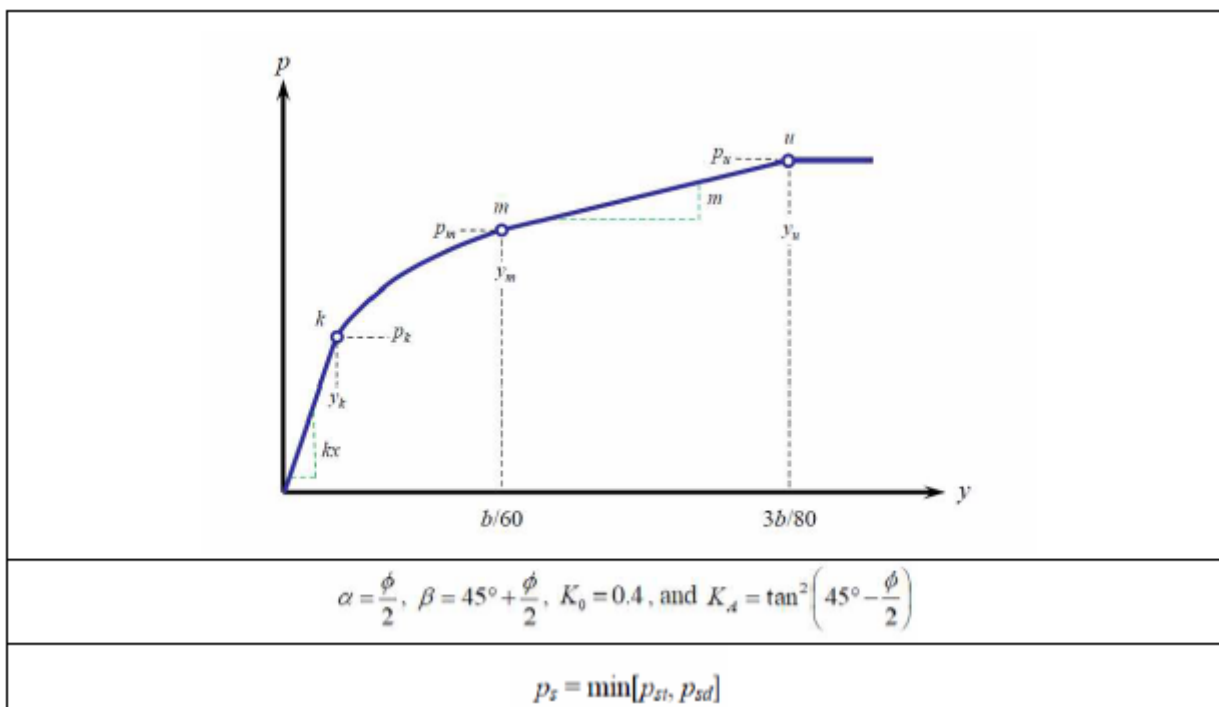


Figura 8.2. Curva p-y per carichi dinamici in “stiff clay” e “free water” (REESE ET AL. -1975).



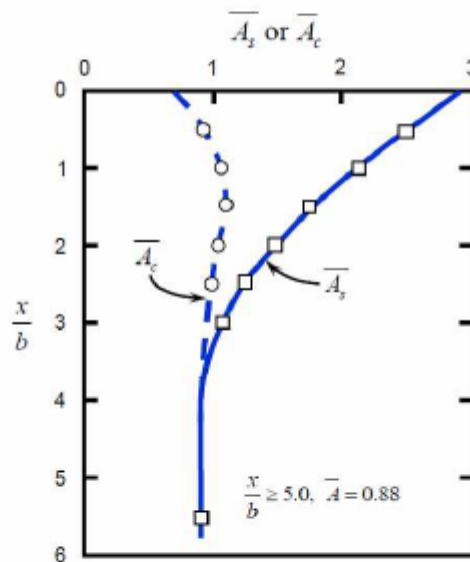
APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF1N 01 E ZZ RG MD0000 001 A 26 di 53					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI						

$$p_{st} = \gamma x \left[\frac{K_0 x \tan \phi \sin \beta}{\tan(\beta - \phi) \cos \alpha} + \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \phi)} (b + x \tan \beta \tan \alpha) + K_0 x \tan \beta (\tan \phi \sin \beta - \tan \alpha) - K_A b \right]$$

$$p_{sd} = K_A b \gamma x (\tan^3 \beta - 1) + K_0 b \gamma x \tan \phi \tan^4 \beta$$

$$y_u = \frac{3b}{80}$$

$$p_n = \bar{A}_s p_s$$



$$y_m = \frac{b}{60}$$

$$p_m = B_s p_s$$

APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impregilo ASTALDI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROKSOIL Mandanti NET ENGINEERING Alpina						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 27 di 53

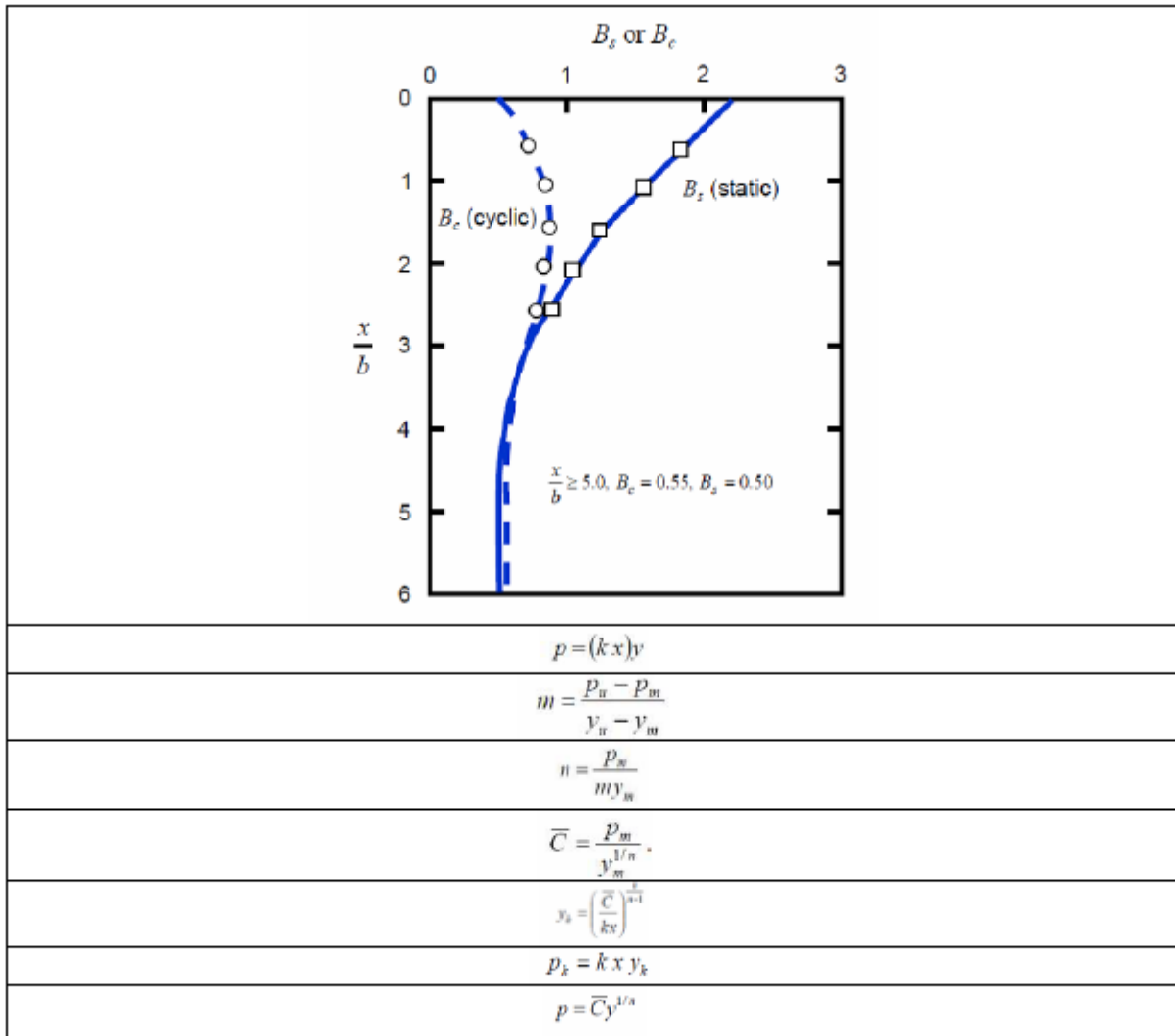


Figura 8.3. Curva p-y per carichi statici e dinamici in sabbia

8.1.2 Curve t-z e Q-w

In Group il meccanismo di trasferimento del carico assiale è rappresentato nella Figura 8.4 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 8.5÷Figura 8.8) in accordo ai criteri di Reese and O'Neill (1987).

<p>APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impregilo ASTALDI</p>	<p style="text-align: center;">ITINERARIO NAPOLI – BARI</p> <p style="text-align: center;">RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA</p>												
<p>PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL Mandanti NET ENGINEERING Alpina</p>													
<p>PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>28 di 53</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	28 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	28 di 53								

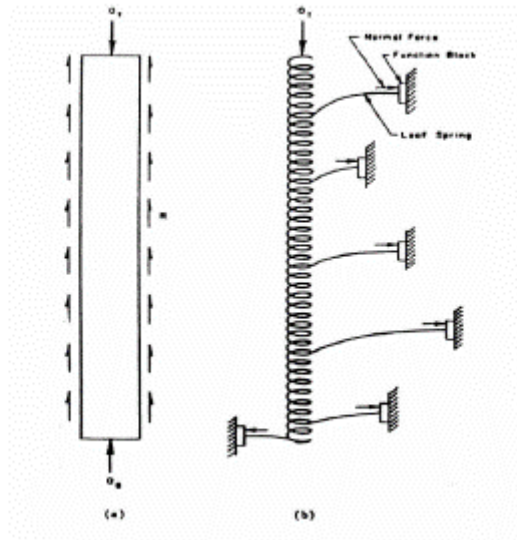


Figura 8.4. Meccanismo di trasferimento del carico assiale

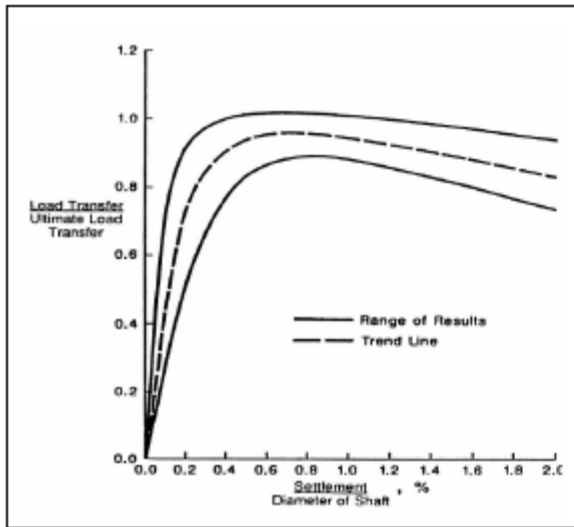


Figura 8.5. Argille. Curva di trasferimento laterale

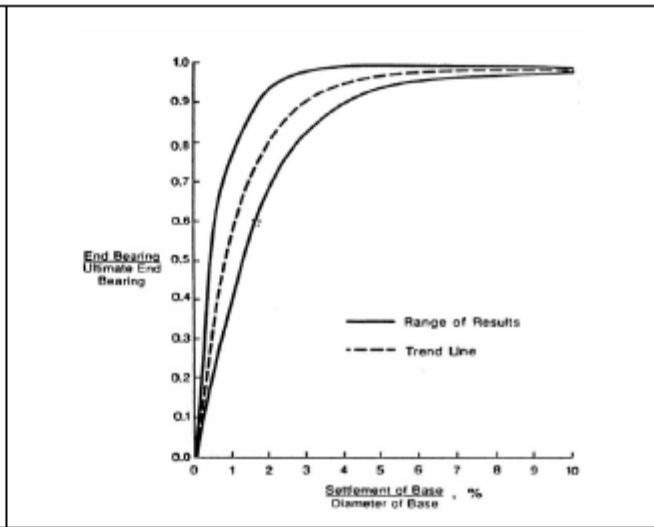


Figura 8.6. Argille. Curva di trasferimento base

APPALTATORE: Consorzio Soci   		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI		IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	29 di 53

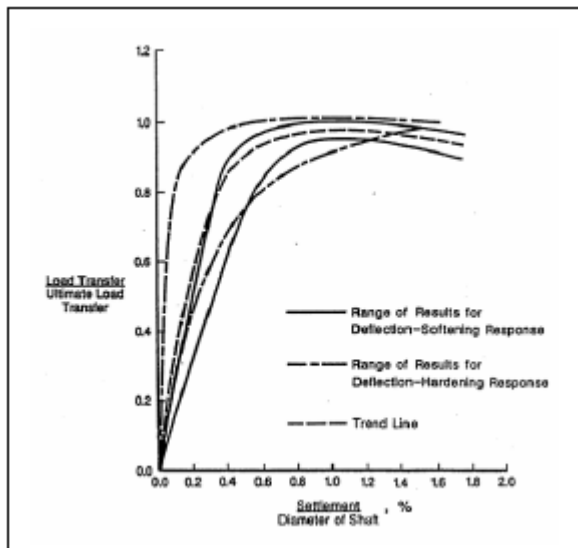


Figura 8.7. Sabbie. Curva di trasferimento laterale

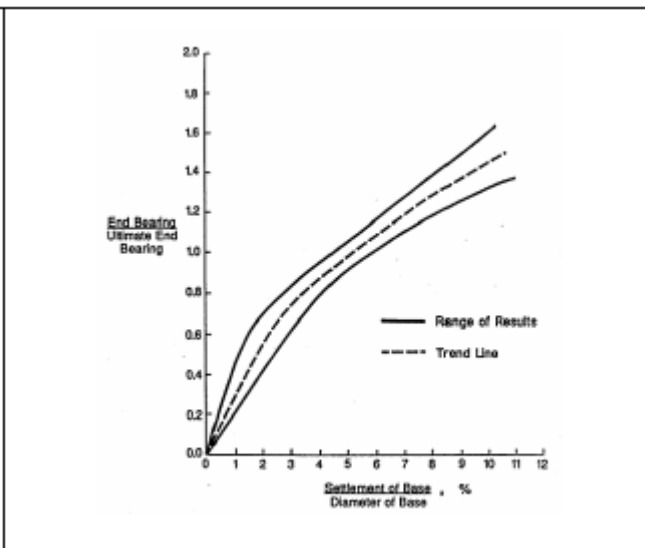


Figura 8.8. Sabbie. Curva di trasferimento base

8.1.3 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 8.9).

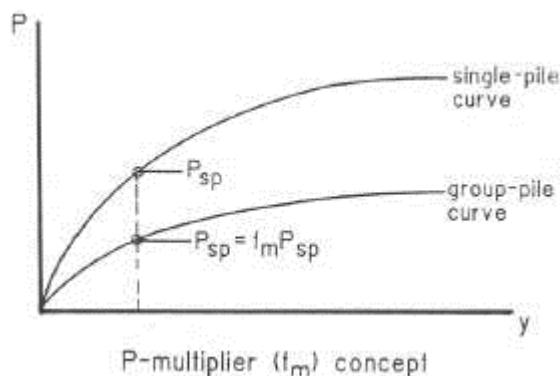


Figura 8.9. Modifica della curva p-y mediante il coefficiente moltiplicativo f_m (da Brown et al., 1988)

APPALTATORE: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 	RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 30 di 53

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 8.10).

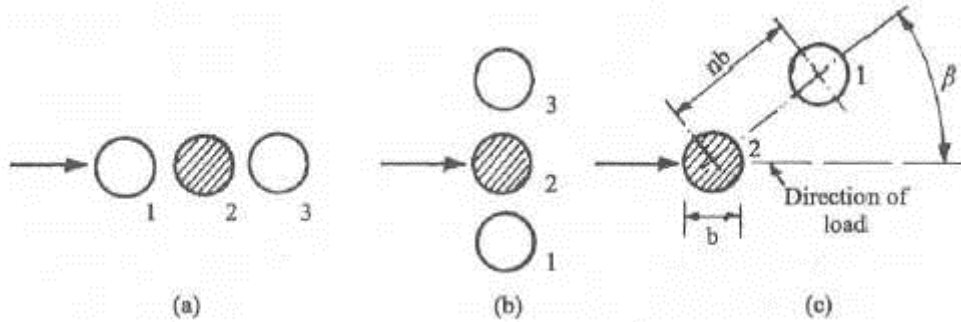


Figura 8.10. Effetti di interazione tra pali in linea (a), affiancati (b) o disposti con un'angolazione β tra loro (da Reese & Van Impe, 2001).

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 8.11);
- leading effect (Figura 8.12);
- trailing effect (Figura 8.13);
- Skewed effect (Figura 8.14).

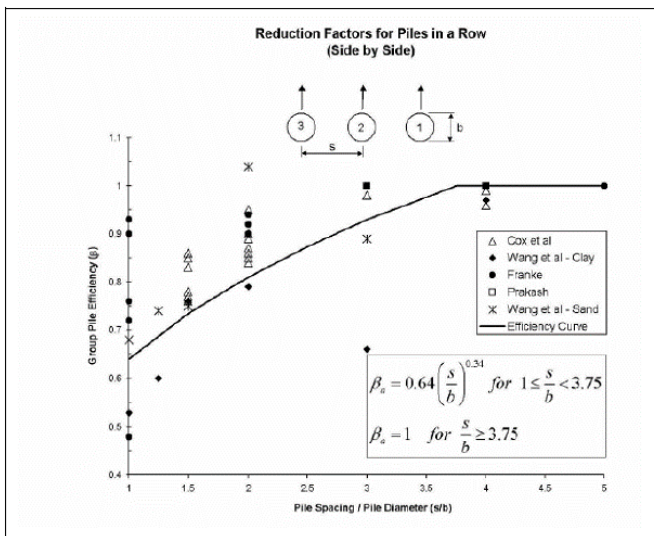


Figura 8.11. Fattori di riduzione per pali in linea “side by side effect”

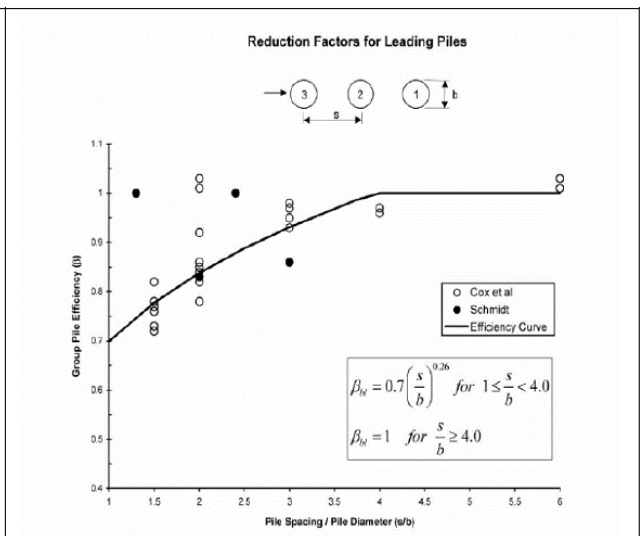


Figura 8.12. Fattori di riduzione per pali in linea “leading effect”

APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impreglio ASTALDI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROKSOIL Mandanti NETENGINEERING Alpina						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 31 di 53

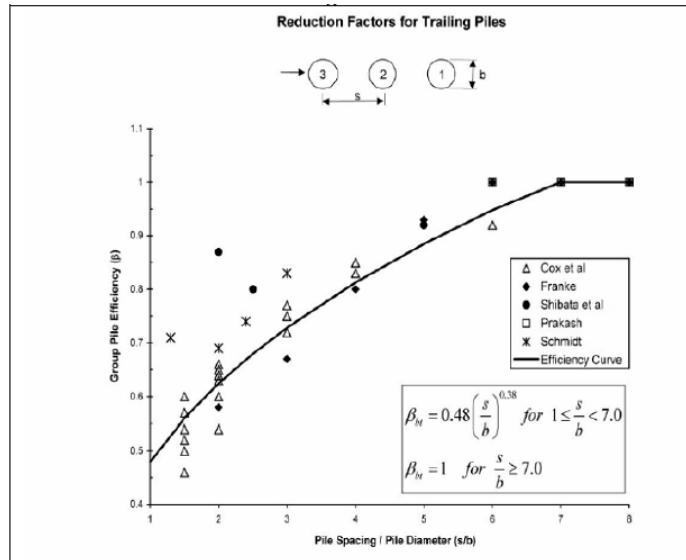


Figura 8.13. Fattori di riduzione per pali in linea “trailing effect”

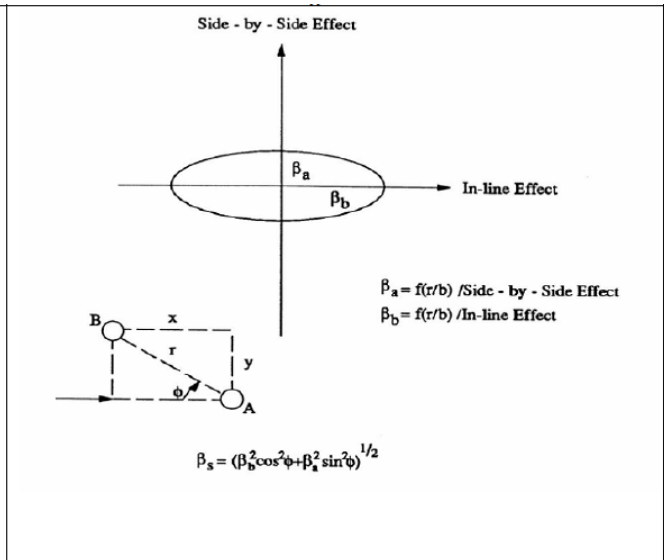


Figura 8.14. Fattori di riduzione per pali in linea “Skewed effect”

8.2 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” (vedasi § 8.1.1) e gli effetti gruppo sono valutati in accordo ai criteri illustrati nel § 8.1.3.

8.3 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:

$$R = \sqrt{\frac{ns}{L}},$$

dove:

- n = numero di pali;
- s = interasse pali;
- L= lunghezza palo.

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

$$E_G = R_G \times n$$

APPALTIATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>32 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	32 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	32 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

9 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.

9.1 VERIFICA NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, ovvero:

$$E_d = E \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

$$E_d = \gamma_E E \left(F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

con $\gamma_E = \gamma_F$, e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right),$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = \gamma_E E_k$. Nella formulazione delle resistenze R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulle resistenze del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito degli approcci previsti dalla normativa.

9.1.1 Approccio progettuale

Le verifiche sono effettuate in accordo all'Approccio 2: A1+M1+R3.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF1N 01 E ZZ RG MD0000 001 A 33 di 53

9.1.2 Resistenza pali soggetti a carichi assiali: aspetti generali

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali riportati in Tabella 5. Nel caso specifico si utilizzano i coefficienti di resistenza relativi ai pali trivellati.

Tabella 6: Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

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

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

Inoltre, se la portanza del palo viene ricavata attraverso correlazioni empiriche che prevedono l'utilizzo di parametri geotecnici o risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ (o $R_{t,k}$) sarà dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ (o $R_{t,cal}$) i fattori di correzione (ξ) riportati nella Tabella 6 in funzione del numero di verticali d'indagine.

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

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

Tabella 7: 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

Nel caso specifico si assume:

$$R_{c,k} = R_{c,cal} / \xi_3,$$

VIADOTTO VI01. $\xi_3 = 1.50$,

VIADOTTO VI02. $\xi_3 = 1.60$,

VIADOTTO VI03. $\xi_3 = 1.60$,

VIADOTTO VI04. $\xi_3 = 1.50$.

9.1.3 Resistenza pali soggetti a carichi assiali di compressione

Nel caso di pali soggetti ad azioni di compressione risulta:

APPALTATORE: Consorzio  Soci  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria  Mandanti  						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 34 di 53

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

Dove:

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

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

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

9.1.4 Resistenza pali 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:

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

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

9.1.5 Resistenza pali soggetti ad azioni trasversali

Per la determinazione del valore di progetto $R_{tr,d}$ della resistenza dei pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni generali per i pali soggetti a carichi assiali applicando i coefficienti parziali γ_T di cui al prospetto seguente.

Tabella 8: Coefficienti parziali γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

in cui $\gamma_{R,pali}$ sono i coefficienti parziali previsti per i pali trivellati di cui alla Tabella 6 e $\gamma_{R,fond.sup}$ è il coefficiente di resistenza per la capacità portante delle fondazioni superficiali pari a 2.3.

Nel caso specifico risulta:

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>35 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	35 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	35 di 53													

$$R_{tr,d} = \frac{R_{tr,k}}{\gamma_T} = \frac{R_{tr,calc}}{\xi_3 \cdot \gamma_T}$$

con:

$$R_{tr,k} = \min\{R_{tr,corto,k}; R_{tr,lungo,k}\}$$

$$R_{tr,k} = \text{fun}(\phi_k, \gamma_k, \Phi, L, e, M_{Rk}) \quad \text{per terreni incoerenti};$$

$$R_{tr,k} = \text{fun}(c_{u,k}, \Phi, L, e, M_{Rk}) \quad \text{per terreni coesivi}.$$

9.2 VERIFICHE PALI IN GRUPPO

9.2.1 Carichi verticali

La resistenza di calcolo del blocco $R_{block,c,d}$ è determinata con i criteri illustrati al § 7.1 applicando i seguenti coefficienti di resistenza:

$$R_{block,c,k} = \frac{R_{block,calc}}{\xi_3}$$

$$R_{block,c,d} = \frac{1}{\gamma_{R,fond,sup}} \cdot \frac{R_{block,k}}{\gamma_{R,pali} \cdot \{\gamma_b \cdot \gamma_s\}}$$

in cui $\gamma_{R,pali}$ sono i coefficienti parziali previsti per i pali trivellati e $\gamma_{R,fond,sup}$ è il coefficiente di resistenza per la capacità portante delle fondazioni superficiali pari a 2.3.

9.2.2 Carichi orizzontali

La resistenza di calcolo orizzontale del gruppo di pali viene determinata sommando le resistenze di calcolo dei singoli pali e applicando l'efficienza del gruppo η , con la procedura al § 7.2:

$$R_{gruppo,tr,d} = n \times R_{tr,d} \times \eta$$

9.3 VERIFICHE AGLI SLE

9.3.1 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;

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 36 di 53

- eccessivi spostamenti trasversali.

In aggiunta alle verifiche previste dalle NTC 2008 verrà controllato (vedasi: Manuale di progettazione delle opere 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

9.3.2 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 9: 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 10: 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:

$w_1 = 0.2 \text{ mm}$;

$w_2 = 0.3 \text{ mm}$;

$w_3 = 0.4 \text{ mm}$.

APPALTATORE: Consorzio <u>HirpiniaAV</u> Soci <u>salini impregilo</u> <u>ASTALDI</u>	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria <u>ROKSOIL</u> Mandanti <u>NETENGINEERING</u> <u>Alpina</u>						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 37 di 53

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   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>38 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	38 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	38 di 53													

10 FONDAZIONI A POZZO

10.1 PREMESSA

In analogia a quanto previsto nel progetto definitivo, per alcune pile sono previste fondazioni su pozzi di sezione rettangolare realizzate mediante pannelli di diaframmi di spessore 1.20 m.

Seguendo le modalità di verifica del progetto esecutivo, i diaframmi costituenti il pozzo sono stati schematizzati utilizzando un duplice approccio:

1. **Verifiche STRU:** i diaframmi sono modellati come pali isolati di sezione rettangolare collegati in testa dal plinto e l'analisi di interazione terreno-fondazione è sviluppata con il software GROUP della Ensoft. Nel modello di GROUP si trascura la collaborazione strutturale fra i vari pannelli di diaframma che si esplica in corrispondenza dei giunti. E' evidente comunque che nella realtà è presente un trasferimento di azioni, tangenziali e normali, in corrispondenza dei giunti ed è pertanto ragionevole compensare la semplificazione del modello adottato, che considera i diaframmi come elementi isolati, trascurando l'effetto gruppo per azioni orizzontali di cui al § 8.1.3. In analogia all'analisi dei gruppi di pali, solo nei modelli Group finalizzati alla determinazione degli spostamenti in condizioni SLE le curve p-y sono costruite per "cyclic loading" (vedasi §8.1.1); per tutti i restanti modelli si considerano "static loading".
2. **Verifiche GEO diaframma singolo:** ogni pannello di diaframma, considerato come singolo all'interno del pozzo, è dimensionato per sopportare il carico verticale determinato dall'analisi mediante il programma "Group" con le accortezze di calcolo precisate nel successivo § 10.2.
3. **Verifiche GEO pozzo strutturale:** per le verifiche geotecniche relative alla capacità portante verticale e orizzontale dell'insieme dei diaframmi, considerati come pozzo monolitico, e per la stima dei cedimenti attesi, si è fatto ricorso a metodi all'equilibrio elasto-plastico, utilizzando i criteri descritti al § 10.3.

10.2 CAPACITA' PORTANTE LIMITE VERTICALE DEL SINGOLO DIAFRAMMA

Per il diaframma considerato come elemento singolo, la capacità portante limite verticale è determinata in accordo con i criteri descritti per i pali (§ 5), con la sola avvertenza di escludere dalla superficie laterale il lato corto (giunto fra i pannelli).

A differenza di quanto previsto nel Progetto Definitivo, la capacità portante verticale e orizzontale del pozzo non viene determinata con riferimento al collasso del blocco (cfr.§ 7.1) e alle analisi push-over su palo equivalente al pozzo mediante Lpile, bensì utilizzando i criteri descritti nei paragrafi successivi.

10.3 CAPACITA' PORTANTE DEL BLOCCO DI DIAFRAMMI

Le verifiche GEO rispetto ai carichi verticali e orizzontali dei diaframmi che costituiscono il pozzo sono condotte mediante un metodo all'equilibrio elasto-plastico dell'intero blocco diaframmi+terreno in essi incluso, che è in grado di tenere in conto:

- il contributo di resistenza offerto lungo il fusto del pozzo dalla resistenza "passiva" del terreno intorno ai diaframmi e delle resistenze attritive dovute agli sforzi tangenziali;
- il contributo di capacità portante alla base del blocco rigido costituito da diaframmi e terreno.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF1N 01 E ZZ RG MD0000 001 A 39 di 53

Esistono diversi programmi di calcolo che svolgono verifiche di pozzi profondi, tra cui p.e. POZZ (G. Guiducci – 1994-2002) e POZZI-J (T. Collotta – 2010).

Nel presente progetto esecutivo si è fatto riferimento al programma Pozzi-J, i cui principi di calcolo sono illustrati di seguito.

10.3.1 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).

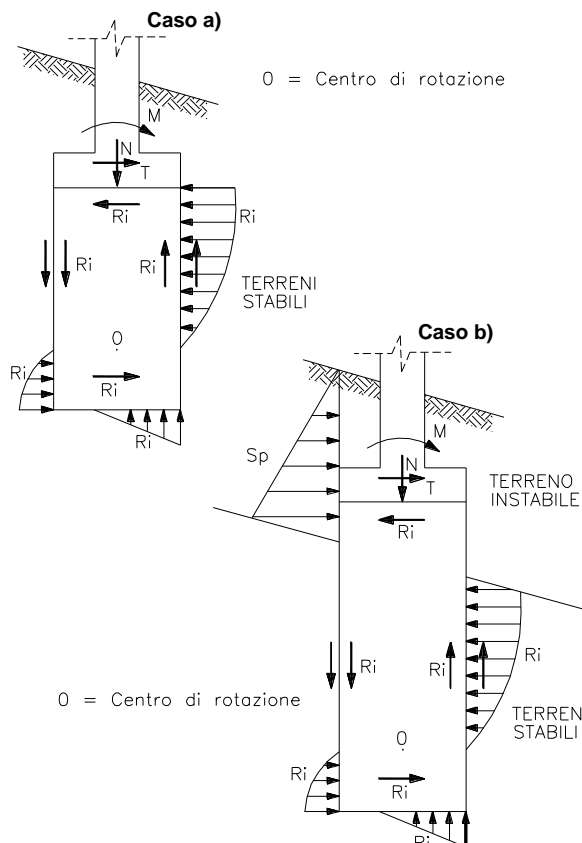
Possono essere considerati due casi (vedi Figura 10.1).

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 10.2.

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.



APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impregilo ASTALDI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA
PROGETTAZIONE: Mandataria ROCKSOIL Mandanti NETENGINEERING Alpina	
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N LOTTO 01 E ZZ CODIFICA RG DOCUMENTO MD0000 001 REV. A FOGLIO 40 di 53

Figura 10.1. Schemi di analisi di pozzi in terreni stabili e instabili

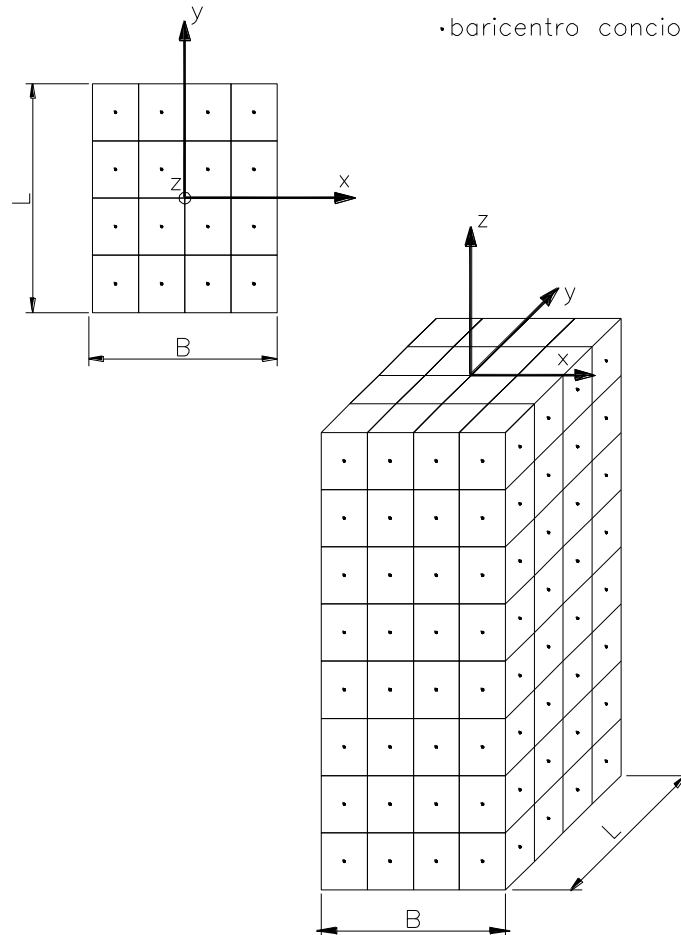


Figura 10.2. Schema di suddivisione in conci del pozzo

10.3.2 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: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 41 di 53

- 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 10.3÷Figura 10.5.

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.

10.3.3 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]):

$$p_U = i_\theta (\sigma'_v \cdot k_{t\phi} + c' \cdot k_{tc}) \quad (2)$$

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

essendo:

$$\sigma'_v = \text{pressione efficace alla generica profondità} \quad (FL^{-2})$$

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>42 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	42 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	42 di 53													

- $k_{t\phi}$ = 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_0 = 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 10.6 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   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA												
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF1N</td> <td style="text-align: center;">01 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RG</td> <td style="text-align: center;">MD0000 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">43 di 53</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	43 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	43 di 53								

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

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

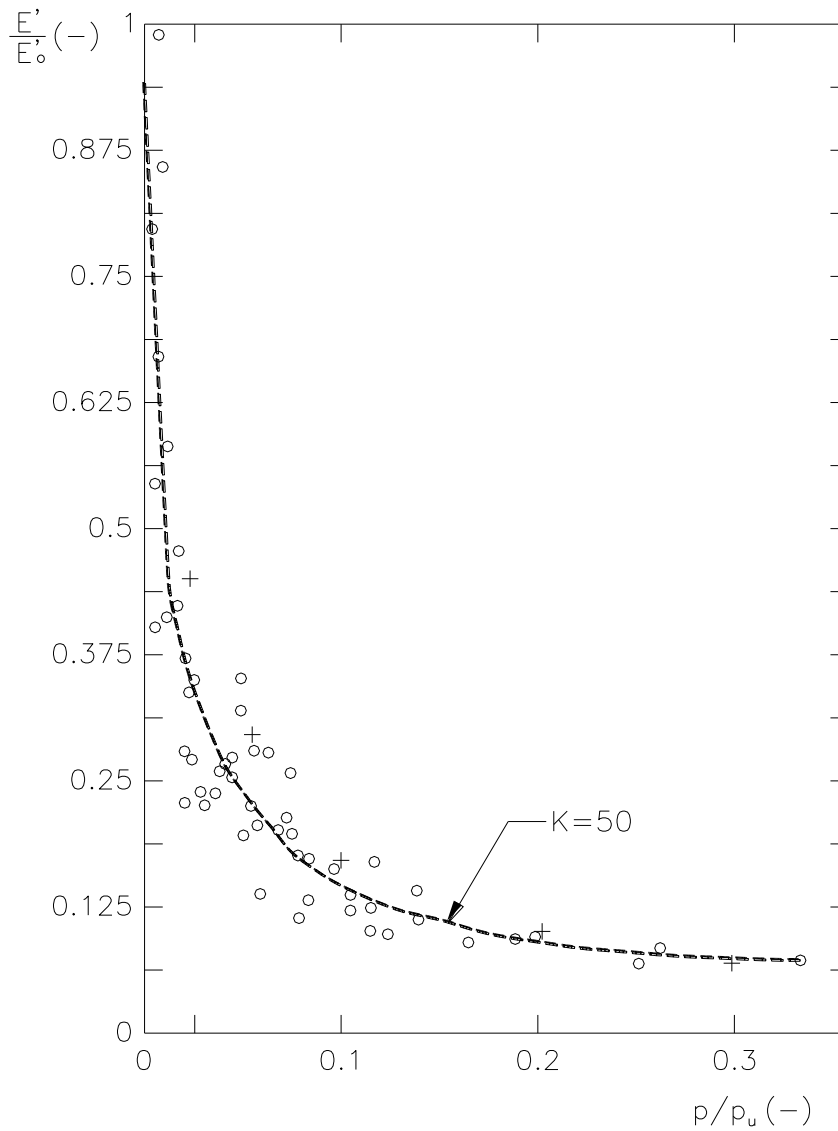


Figura 10.3: Variazione del modulo di elasticità in funzione del grado mobilitazione: sabbie e ghiaie sovraconsolidate

APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impregilo ASTALDI	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROKSOIL Mandanti NETENGINEERING Alpina						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 44 di 53

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

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

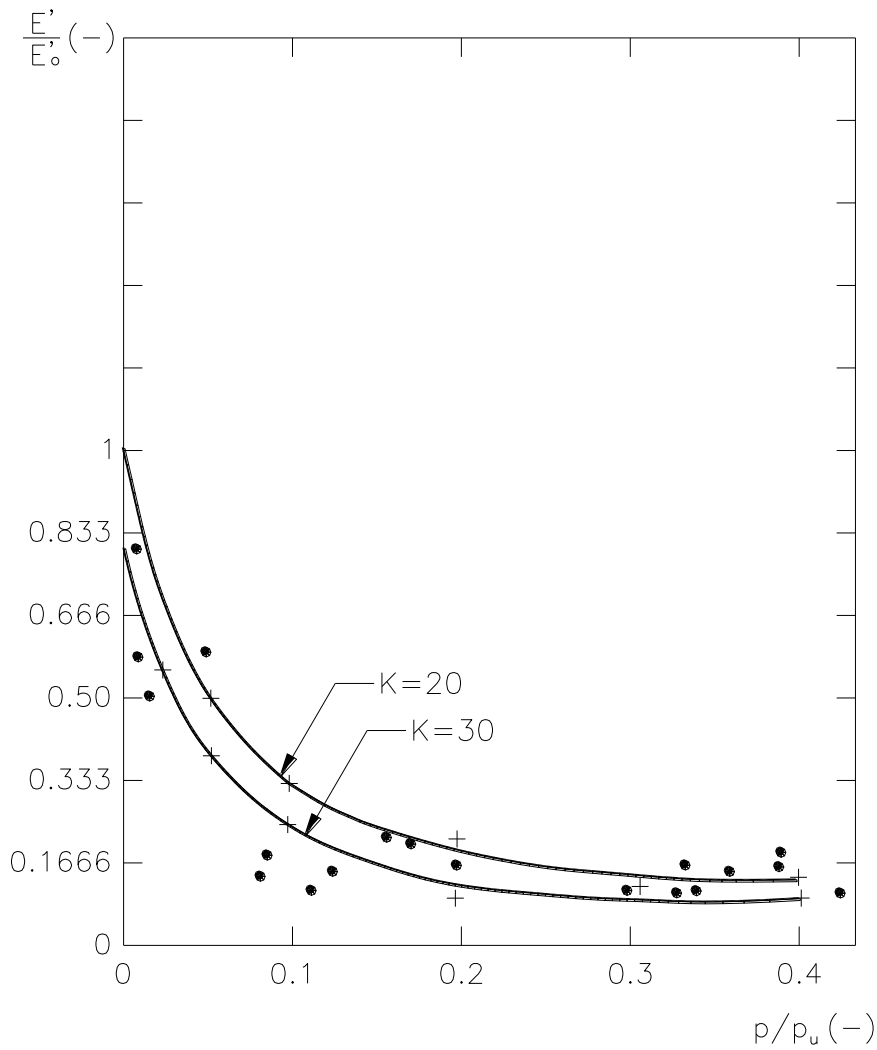


Figura 10.4: Variazione del modulo di elasticità in funzione del grado mobilitazione: argille sovraconsolidate

APPALTATORE: Consorzio Soci 		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI		IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	45 di 53

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

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

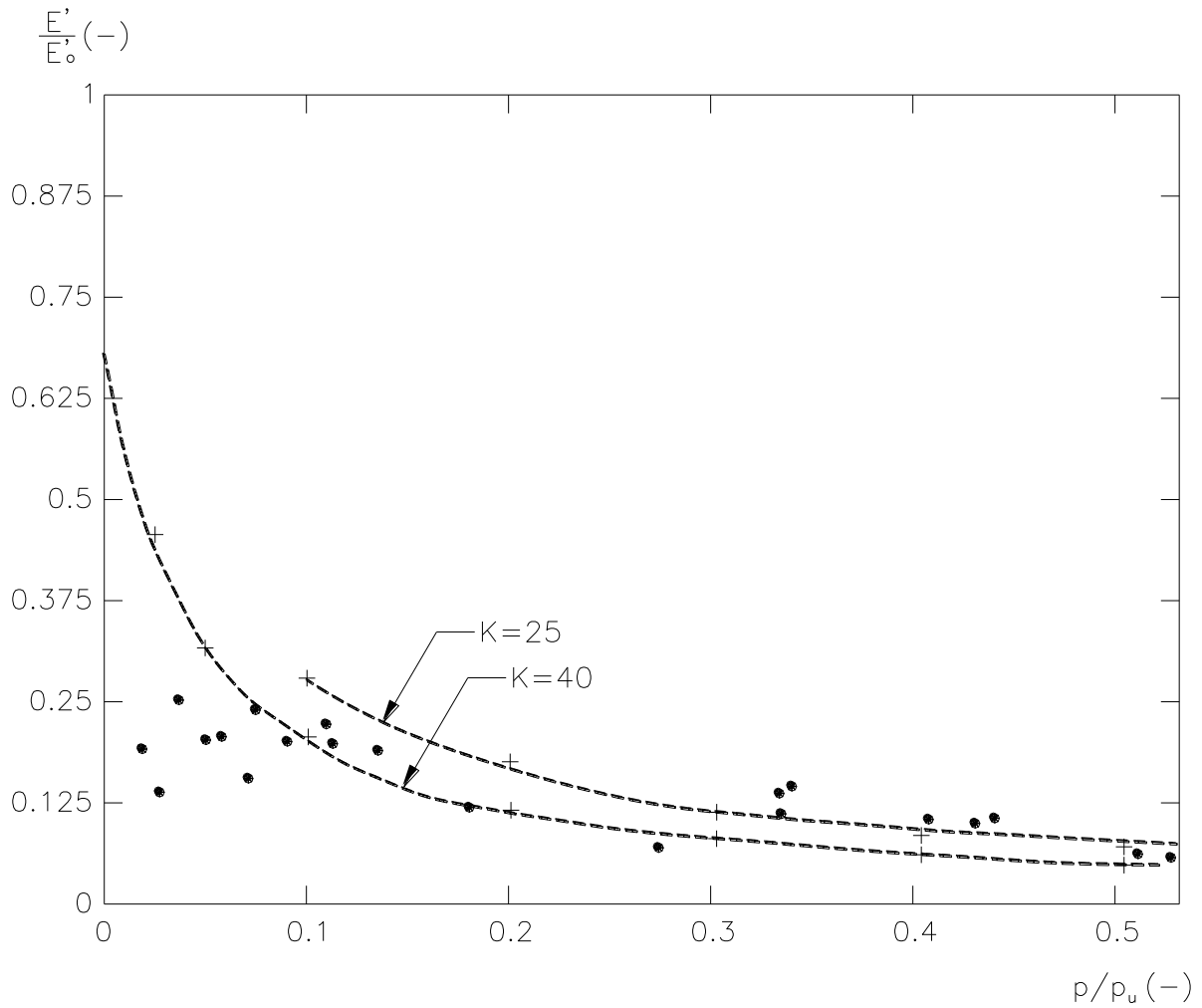


Figura 10.5: Variazione del modulo di elasticità in funzione del grado mobilizzazione: rocce tenere (marne ed arenarie)

APPALTATORE: Consorzio HirpiniaAV Soci salini impreglio ASTALDI		ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria ROKSOIL Mandanti NETENGINEERING Alpina							
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI		COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 46 di 53

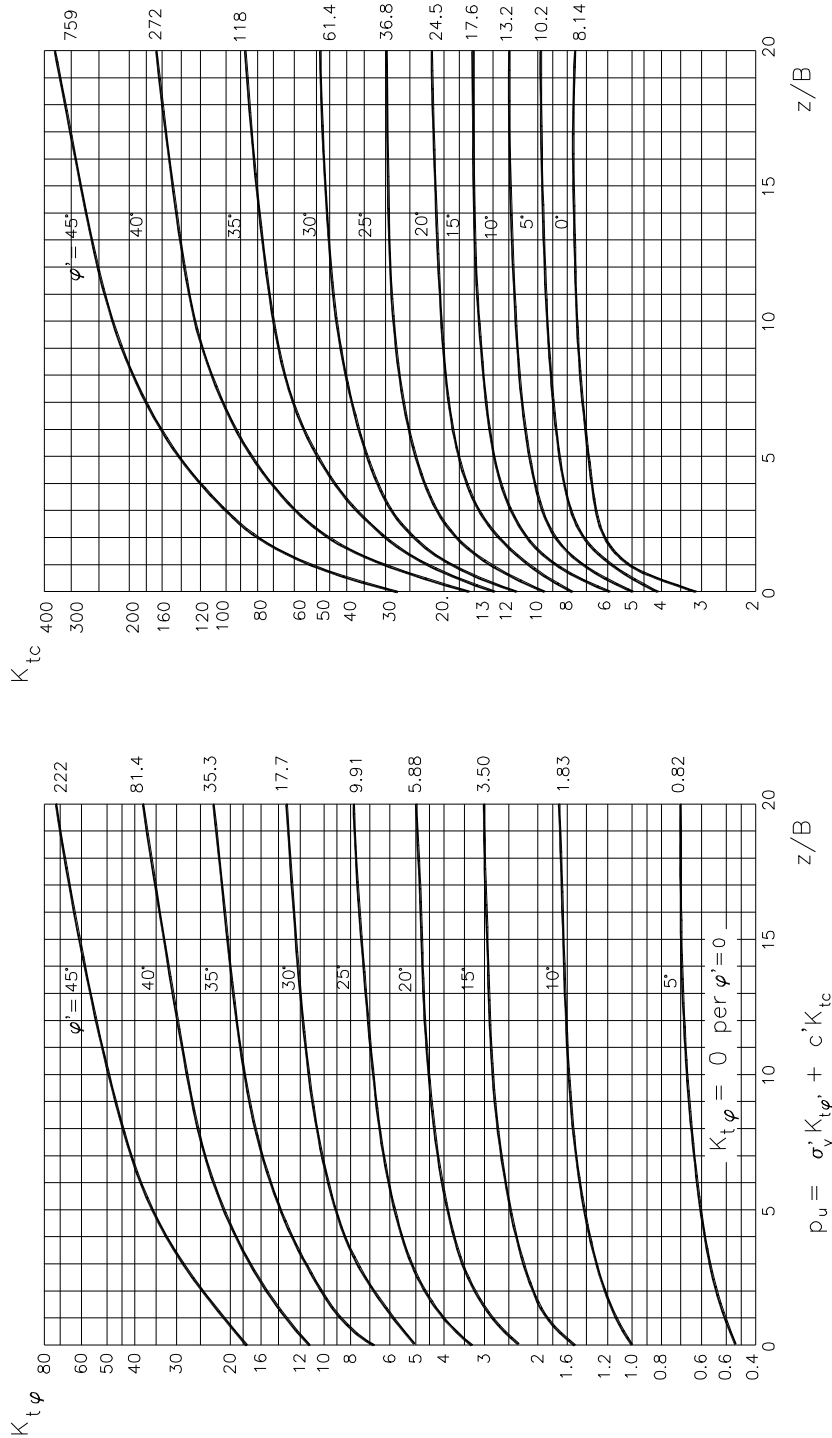


Figura 10.6: Valori dei coefficienti di spinta passiva tridimensionali (Brinch-Hansen 1961)

$$p_u = \sigma'_v K_{t\phi} + c' K_{tc}$$

APPALTATORE: Consorzio  Soci  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA					
PROGETTAZIONE: Mandataria  Mandanti  						
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA IF1N	LOTTO 01 E ZZ	CODIFICA RG	DOCUMENTO MD0000 001	REV. A	FOGLIO 47 di 53

10.3.4 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: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>48 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	48 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	48 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

10.3.5 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.

10.4 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   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>49 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	49 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	49 di 53													

10.4.1 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:

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

10.4.2 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.

E' quindi anche possibile verificare il livello di equiprestazionalità del diaframma rispetto ai valori di sicurezza del progetto definitivo, in modo da garantire che la soluzione adottata non abbassi in modo significativo il livello di sicurezza atteso per la struttura fondazionale, anche per tenere in conto le complessità stratigrafiche/geometriche e strutturali della soluzione proposta.

L'analisi sopra descritta può essere 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 2008 (vedasi Ref. 2) per i pali caricati trasversalmente, il coefficiente di riduzione della resistenza ultima del terreno è sempre assunto pari a:

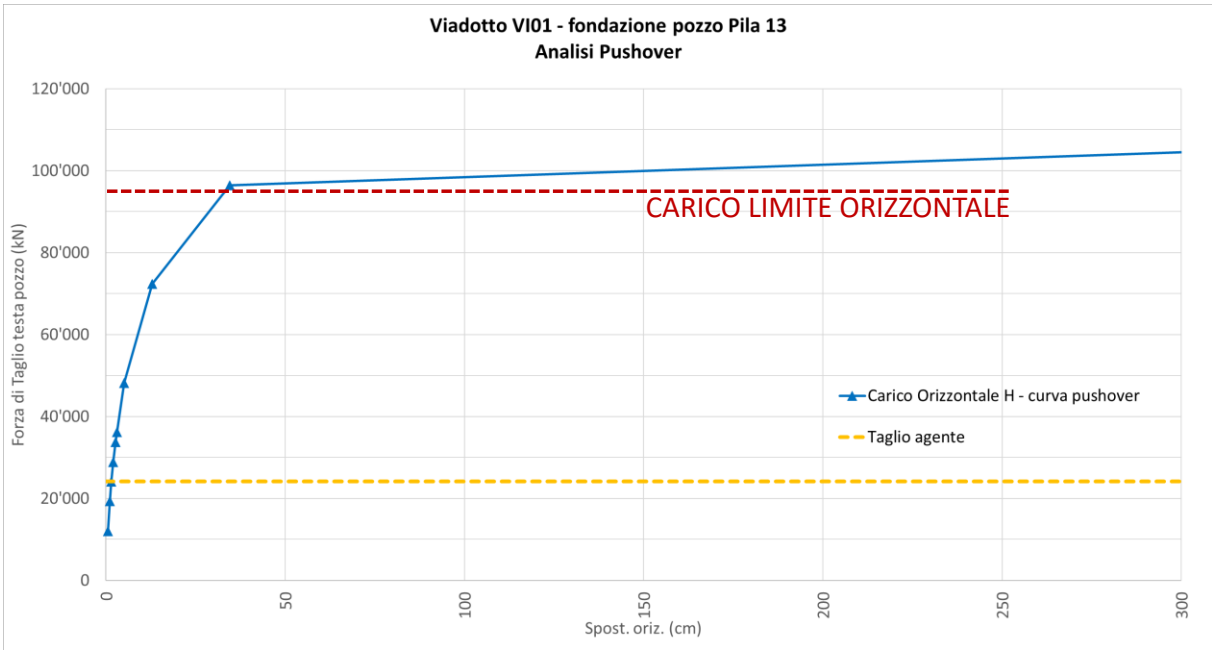
$$\xi_3 \cdot \gamma_T = 1.5 \cdot 1.3 = 1.95,$$

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

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>50 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	50 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	50 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

- $\gamma_{R, \text{fond. sup}} = 2.3$ analogamente a quanto proposto per i pali in gruppo al § 9.2.1.

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. In analogia al caso dei pali (rif. §6.2), 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 10.7: Esempio Analisi pushover pozzo**

APPALTATORE: Consorzio Soci 	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti 	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>51 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	51 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	51 di 53													
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI																		

11 SPINTE DI FRANA SU POZZI

Alcuni pozzi del viadotto VI03 sono all'interno di un pendio instabile per cui sono soggetti nella parte sommitale ad una spinta di frana. Per la determinazione della pressione limite del terreno nel tratto di pozzo in frana si adotta la soluzione proposta da Brinch-Hansen (Vedasi: Geoteknisk Institut, Bulletin n. 12, J. B.Hansen, "The Ultimate resistance of rigid piles against transversal forces", Copenhagen 1961) nella quale il calcolo della spinta viene affrontato tenendo conto delle condizioni di deformazione tridimensionale proprie del problema. La Figura 20 riporta lo schema di riferimento nella teoria di B.H. che rappresenta una fondazione a pozzo di sezione trasversale $B \times L$ e profondità di infissione D_m , soggetta ad una forza orizzontale H agente ad una altezza A dalla superficie del terreno la quale sia caricata con un sovraccarico p . Si assume che il palo ruoti rigidamente attorno al punto posto a profondità D_r .

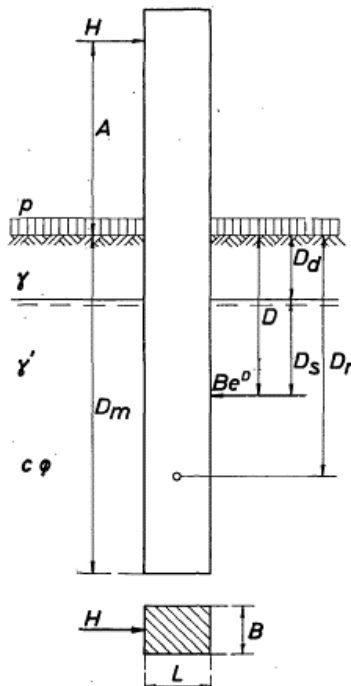


Figura 11.1: Schema di riferimento per il metodo di Brinch-Hansen

Per il caso generale di un terreno coesivo ed attritivo, risulta, alla generica profondità D che la pressione risultante per unità di area frontale del palo e^D può essere espressa con la relazione:

$$e^D = k_q^D \cdot \bar{q} + k_c^D \cdot c, \quad \bar{q} = p + \gamma \cdot D_d + \gamma' \cdot D_s,$$

dove:

q_s = pressione efficace alla profondità D ;

c = coesione del terreno;

k_q^D = coefficiente di spinta corrispondente al contributo dell'angolo di attrito;

k_{qc}^D = coefficiente di spinta corrispondente al contributo della coesione.

L'andamento dei valori di K_q^D (così come quello di K_c^D) è rappresentabile in forma grafica, come riportato nella Figura 11.2.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	
PROGETTO ESECUTIVO RELAZIONE SUI CRITERI DI CALCOLO DELLE FONDAZIONI	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO IF1N 01 E ZZ RG MD0000 001 A 52 di 53

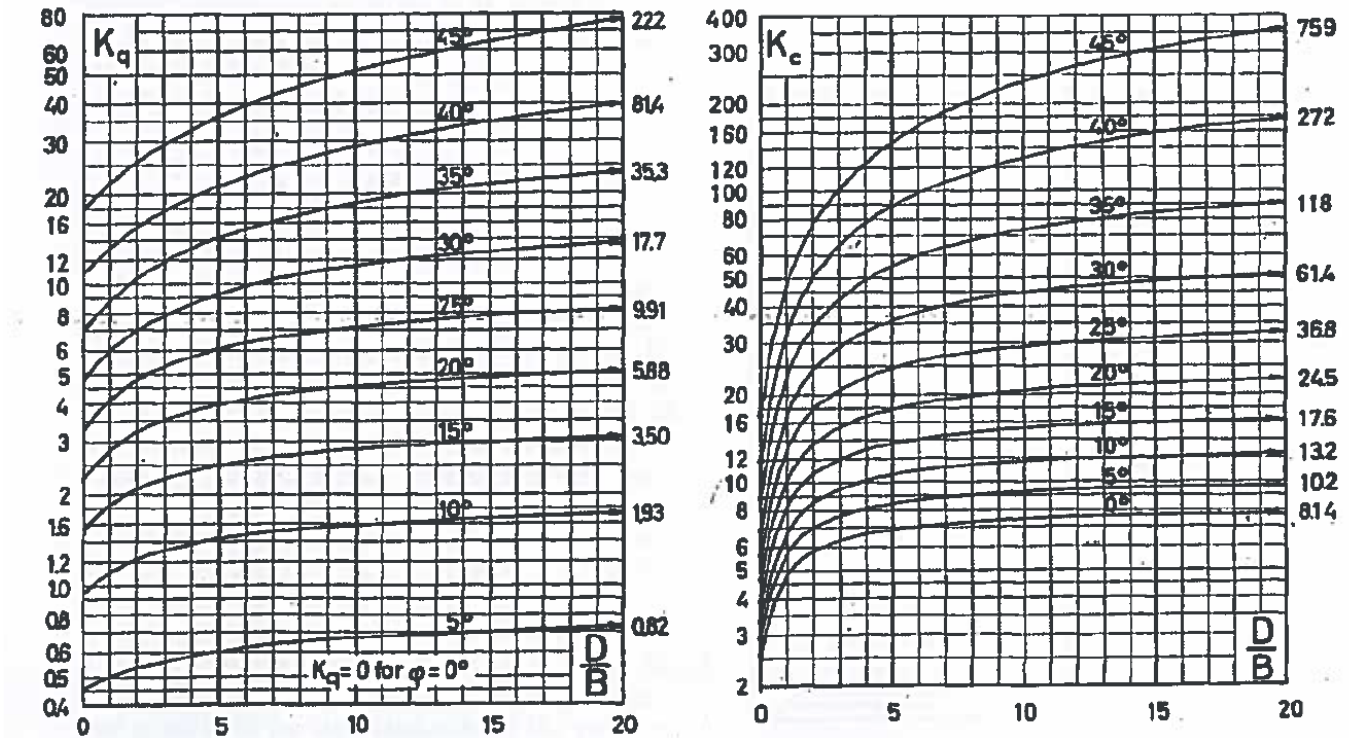


Figura 11.2: Coefficienti K_q^D e K_c^D per il metodo di Brinch-Hansen

11.1 VALUTAZIONE DELLA SPINTA IN CONDIZIONI STATICHE

La teoria di B.H. considera il pendio orizzontale ($\beta=0$) per cui la pressione passiva statica in condizioni tridimensionali è valutata come segue:

$$p_{u(\beta \neq 0), statica} = p_{u(\beta=0)} \cdot \frac{k_{pp(\beta \neq 0)}}{k_{pp(\beta=0)}}, \quad S_p = p_a \cdot B,$$

essendo:

- $p_{u(\beta \neq 0), statica}$ pressione limite con terreno inclinato di un angolo β ;
- $p_{u(\beta=0)}$ pressione limite valutata in accordo a B.H. (e^0);
- $k_{pp(\beta \neq 0)}$ coefficiente di spinta passiva in condizioni piane con terreno inclinato di un angolo β valutato utilizzando gli abachi di Caquot & Kerisel;
- $k_{pp(\beta=0)}$ coefficiente di spinta passiva in condizioni piane con terreno orizzontale valutato utilizzando gli abachi di Caquot & Kerisel;
- S_p spinta a metro lineare di pozzo;
- B dimensione trasversale del pozzo.

APPALTATORE: Consorzio Soci   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA APICE – ORSARA I LOTTO FUNZIONALE APICE – HIRPINIA																	
PROGETTAZIONE: Mandataria Mandanti   	<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>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RG</td> <td>MD0000 001</td> <td>A</td> <td>53 di 53</td> </tr> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	53 di 53
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO													
IF1N	01 E ZZ	RG	MD0000 001	A	53 di 53													

11.2 VALUTAZIONE DELLA SPINTA IN CONDIZIONI SISMICHE

La pressione passiva sismica in condizioni tridimensionali è valutata come segue:

$$P_{u(\beta \neq 0), \text{sisma}} = P_{u(\beta \neq 0), \text{statica}} \cdot \frac{k_{pp, \text{sisma}}}{k_{pp, \text{statico}}}$$

essendo:

$k_{pp, \text{sisma}}$ coefficiente di spinta passiva in condizioni sismiche valutato utilizzando gli abachi di Caquot & Kerisel con $\beta^* = \beta + \Psi$. L'angolo $\Psi = \arctan k_{h^*}$ dipende dal coefficiente sismico k_{h^*} , ma nel caso in esame data l'elevata sismicità risultano elevati valori di Ψ per cui si assume $\beta/\phi = 1$;

$k_{pp, \text{statico}}$ coefficiente di spinta passiva in condizioni statiche valutato utilizzando gli abachi di Caquot & Kerisel.

Le azioni calcolate con il metodo sopra illustrato sia per il caso statico, sia per il caso sismico sono applicate direttamente all'interno del programma di calcolo POZZIJ lungo il fusto del pozzo per l'altezza pari alla profondità del terreno spingente.