

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA:

DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI

Ing. Geol.

Ing. PIETRO MAZZOLI



MASSIMO PIETRANTONI

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO

1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO-FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI

GEOTECNICA

RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA

Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde

APPALTATORE		SCALA:
Consorzio CFT IL DIRETTORE TECNICO Geom. C. Bianchi 11/07/2018		-

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

I	F	1	N	0	1	E	Z	Z	R	O	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	A. Tagliaferri	11/07/2018	M. Pietrantonì	11/07/2018	P. Mazzoli	11/07/2018	M. Pietrantonì
								11/07/2018

File: IF1N.0.1.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001.A.docx

n. Elab.:

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteria di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>2 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	2 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	2 di 26								

Indice

1	PREMESSA.....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	5
3.1	CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI DRENATE.....	5
3.1.1	FORMULA GENERALE DI BRICH-HANSEN	5
3.2	CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI DIRETTE.....	7
3.2.1	METODO DELLA TEORIA DELL'ELASTICITA' (PER DEPOSITI STRATIFICATI)	7
4	CRITERI DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI	8
4.1	VERIFICHE DI SICUREZZA STATICHE PER LE FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	12
4.1.1	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	12
4.1.2	STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	13
4.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER LE FONDAZIONI SUPERFICIALI	13
4.2.1	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	13
5	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI PROFONDE.....	14
5.1	CAPACITÀ PORTANTE LIMITE A CARICO VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE.....	15
5.1.1	RESISTENZA ALLA PUNTA	15
5.1.2	RESISTENZA LATERALE	17
5.1.3	TERRENI STRATIFICATI.....	18
5.2	CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA	18
5.2.1	CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO	18
5.2.2	CEDIMENTO DELLA PALIFICATA.....	18
5.3	PALI SOTTOPOSTI A CARICHI ORIZZONTALI.....	20
5.3.1	SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO.....	20
5.3.2	VERIFICA A FORZE ORIZZONTALE DEI PALI DI FONDAZIONE – TEROIA DI BROMS.....	21
6	CRITERI DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI PROFONDE	23
6.1	VERIFICHE DI SICUREZZA STATICHE PER LE FONDAZIONI SU PALI	24
6.1.1	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	24
6.1.2	STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	25
6.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER LE FONDAZIONI PROFONDE	26
6.2.1	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	26

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>3 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	3 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	3 di 26								

1 PREMESSA

Il presente documento definisce i criteri generali per la progettazione geotecnica delle tipologie di opere ferroviarie presenti nella tratta in oggetto; in particolare di seguito vengono analizzati e descritti, i casi delle fondazioni superficiali e profonde delle opere in progetto in accordo alla normativa vigente (NTC 2008), alle specifiche ferroviarie, ed alle normative di interoperabilità (S.T.I.); per il dettaglio delle norme di riferimento si rimanda al successivo capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Le azioni elementari agenti su ogni opera saranno definite tenendo contemporaneamente presenti le normative di riferimento (norme di legge vigenti, specifiche ferroviarie, norme di interoperabilità) e le condizioni al contorno in cui l'opera è progettata. In base agli input progettuali e nel rispetto di quanto riportato nella Specifica Tecnica di Interoperabilità "Infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea (Regolamento (UE) 1299/2014), alla tratta ferroviaria della linea Napoli-Bari oggetto del raddoppio sono stati attribuiti i seguenti codici di traffico:

- "P2" per il traffico passeggeri (AV e non AV);
- "F1" per il traffico merci.

Per quanto riguarda i lavori sulla tratta in variante Roma-Napoli via Cassino, questi si configurano come ristrutturazione di una linea esistente convenzionale "globale" per la quale sono stati individuati i seguenti codici di traffico (Rif. Reg. (UE) 1299/2014):

- "P4" per il servizio viaggiatori;
- "F1" per il traffico merci.

Nei casi specifici potranno essere adottati eventuali differenti criteri di dimensionamento e verifica che verranno sviluppate nelle singole relazioni di calcolo qualora si riscontrano condizioni non riconducibili alla trattazione generale di seguito esposta.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>4 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	4 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	4 di 26								

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riportano i riferimenti delle normative prese in considerazione per lo sviluppo delle analisi e delle verifiche in oggetto:

- [1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [2] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- [3] DM 06.05.2008 – Integrazione al D.M. 14.01.2008 di approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.
- [4] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011- Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [5] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
- [6] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra;
- [7] 1299/2014/UE Specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea (18/11/2014);
- [8] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [9] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- [10] Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche – Associazione Geotecnica Italiana – Giugno 1977;
- [11] Raccomandazione AGI relative ai pali di fondazione – Associazione Geotecnica Italiana – Dicembre 1984;
- [12] Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio – Associazione Geotecnica Italiana – Giugno 1994;
- [13] Paolucci R., Pecker A. (1997), “Seismic bearing capacity of shallow strip foundation on dry soils”. Soils and Foundation, Vol. 37, N°3, pp.95-105;
- [14] Brinch Hansen J. (1970) "A revised and extended formula for bearing capacity" Bulletin n°28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen.

   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>5 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	5 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	5 di 26								

3 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI

La capacità portante del terreno dovrà essere valutata tenendo conto di eccentricità e delle componenti tangenziali della risultante delle azioni sulla fondazione, della eventuale inclinazione del terreno a valle della fondazione e della eventuale inclinazione rispetto all'orizzontale del piano di appoggio.

3.1 CAPACITA' PORTANTE IN CONDIZIONI DRENATE

3.1.1 FORMULA GENERALE DI BRICH-HANSEN

L'espressione più generale per il calcolo di q_{lim} è:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$$

dove:

- **Fattori di capacità portante N_c , N_q , N_γ :**

$$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan(\varphi')}$$

$$N_q = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan(\varphi')}$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan(\varphi')$$

- **Eccentricità "e" della risultante dei carichi:**

Nel caso di fondazioni quadrate o rettangolari, la larghezza B e la lunghezza L da introdurre nei calcoli è:

$$B^* = B - 2 \cdot e_B$$

$$L^* = L - 2 \cdot e_L$$

- **Fattori di forma s_c , s_q , s_γ :**

per fondazioni rettangolari ($B < L$):

$$s_c = 1 + \frac{(B^* \cdot N_q)}{(L^* \cdot N_c)}$$

$$s_q = 1 + \frac{B^* \cdot \tan(\varphi')}{L^*}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B^*}{L^*}$$

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>6 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	6 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	6 di 26								

- **Fattori di profondità del piano di posa d_c , e d_q :**

per profondità relative $D/B \leq 1$:

$$d_q = 1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \cdot \tan(\varphi') \cdot [1 - \sin(\varphi')]^2$$

per profondità relative $D/B > 1$:

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan(\varphi') \cdot [1 - \sin(\varphi')]^2 \cdot \tan^{-1}\left(\frac{D}{B}\right)$$

per entrambi i casi (De Beer e Ladanyi, 1961):

$$d_c = d_q - \frac{(1 - d_q)}{N_c \cdot \tan(\varphi')}$$

$$d_\gamma = 1$$

- **Fattori correttivi per carichi inclinati i_c , i_q , i_γ :**

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{N + B^* \cdot L^* c' \cdot \cot(\varphi')}\right)^m$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{N + B^* \cdot L^* c' \cdot \cot(\varphi')}\right)^{m+1}$$

con

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$$

$$m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$$

con H e N azioni orizzontale e verticale.

- **Fattori correttivi per l'inclinazione del piano di posa b_c , b_q , b_γ :**

$$b_q = (1 - b_f \cdot \tan(\varphi'))^2$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c \cdot \tan(\varphi')}$$

con b_f angolo di inclinazione del p.p. rispetto all'orizzontale ($b_f < \pi/4$).



	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>7 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	7 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	7 di 26								

- **Fattori correttivi per l'inclinazione del piano campagna g_c , g_q , g_γ :**

$$g_q = (1 - \tan(\beta_p))^2$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \cdot \tan(\varphi')}$$

con β_p angolo di inclinazione del p.c. rispetto all'orizzontale ($\omega < \pi/4$, $\omega < \phi$).



3.2 CEDIMENTI DELLE FONDAZIONI DIRETTE

La valutazione dei cedimenti verrà effettuata in accordo alla seguente metodologia:

- Metodo della teoria dell'elasticità (Poulos & Davis, 1974), valido per depositi stratificati.

3.2.1 METODO DELLA TEORIA DELL'ELASTICITA' (PER DEPOSITI STRATIFICATI)

Il cedimento delle fondazioni dirette poggianti su terreni stratificati verrà determinato ricorrendo alla teoria dell'elasticità e alla seguente espressione:

$$s = \sum_1^n \frac{[\Delta\sigma_z - v' \cdot (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_y)] \cdot h_i}{E'_i}$$

essendo:

s = cedimento;

$\Delta\sigma_z$, $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$ = tensioni indotte sotto il centro di aree di carico flessibili, calcolate con la teoria dell'elasticità (vedi Poulos & Davis, 1974); nel calcolo di s farà riferimento all'incremento di pressione efficace media netta $q'_n = (q' - \sigma'_{v0})$;

$q' = N/A$ = pressione efficace esercitata sul terreno dalla fondazione;

σ'_{v0} = pressione verticale efficace geostatica alla quota di intradosso della fondazione;

h_i = altezza dello strato i -esimo;

n = numero di strati in cui è suddivisa la zona compressibile di spessore H ;

E'_i = modulo di Young "operativo" dello strato i -esimo;

v' = rapporto di Poisson;

Il metodo si ritiene possa essere applicato sia a depositi normalmente consolidati che a depositi sovraconsolidati.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteria di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>8 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	8 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	8 di 26								

4 CRITERI DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI

In accordo con quanto definito al p.to 6.2.3. del Doc. Rif. [1] ed al p.to 2.3. del Doc. Rif. [5], devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- Verifiche agli stati limite ultimi (SLU);
- Verifiche agli stati limite d'esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [1] e del p.to 2.3.3 del Doc. Rif. [5]})$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione ($E_d \leq R_d$) 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 di due approcci progettuali distinti e alternativi e sono definiti specificatamente in funzione della singola verifica.

Per quanto concerne le azioni di progetto E_d , tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche, quest'ultima relativamente a verifiche strutturali.

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [1]})$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito dal progettista strutturale).

La verifica della condizione $E_d \leq C_d$ deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 5.2.3.3.1 del Doc Rif. [4] ed al p.to 2.3.3. del Doc Rif. [5], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 3 (Tab. 5.2.V del Doc Rif. [4]) e i coefficienti di combinazione ψ in Tab. 2 e 3 (Tab. 5.2.VI e 5.2.VII del Doc Rif. [4]).

Per i coefficienti di sicurezza parziali relativi alle fondazioni dirette si fa riferimento Tab. 1 (Tab. 6.2.II Doc. Rif. [1]) e Tab. 2 (Tab. 6.4.I Doc. Rif. [1]).

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<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>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>9 di 26</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	9 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	9 di 26								

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tab. 3 – Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [1])

In Tab. 3 (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [1]) il significato dei simboli è il seguente:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<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;">RO</td> <td style="text-align: center;">GE0005 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">10 di 26</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	10 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	10 di 26								

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0.60 se sono carichi due binari e 0.40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0.0.

Tab. 4 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. Rif. [1])

	Azioni	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	⁽¹⁾	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾	⁽²⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0.60 se sono carichi due binari e 0.40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0.0.

Tab. 5 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VII del Doc. Rif. [1])

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<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>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>11 di 26</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	11 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	11 di 26								

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_{γ}	1,0	1,0

Tab. 6 – Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) (Tab. 6.2.II Doc. Rif. [1])

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Tab. 7 – Coefficienti parziali sulle resistenze (R1, R2 ed R3) (Tab. 6.4.I Doc. Rif. [1])

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>12 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	12 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	12 di 26								

4.1 VERIFICHE DI SICUREZZA STATICHE PER LE FONDAZIONI SUPERFICIALI

4.1.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Come riportato al p.to 6.4.2.1 della Normativa di riferimento (Doc. Rif.[1]), per le fondazioni superficiali, devono essere prese in considerazione almeno le seguenti verifiche agli stati limite ultimi:

- SLU di tipo Geotecnico (GEO), relative a condizioni di:
 - Collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno;
 - Collasso per scorrimento sul piano di posa;
 - Stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR), relative a condizioni di:
 - Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

Combinazione 2: A2+M2+R2

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 1, 4 e assumendo per R2 un valore di $\gamma_R=1.1$.

Tutte le rimanenti verifiche (GEO/STRU), di cui sopra, devono essere svolte considerando almeno uno dei seguenti approcci:

Approccio 1:

Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR)

Combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO)

Approccio 2:

A1+M1+R3 (STR e GEO)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 3, 4 e 5.

Come indicato nel p.to C.6.4.2.1 del Doc. Rif.[2], nelle verifiche agli SLU finalizzate al dimensionamento geotecnico (GEO) condotta con l'Approccio 1 - Combinazione 2, la resistenza globale del sistema deve essere ridotta tramite i coefficienti γ_R del gruppo R2.

Se le verifiche effettuate con l'Approccio 1 sono finalizzate al dimensionamento strutturale (STR), l'analisi può essere svolta utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti parziali γ_R del gruppo R1 sono posti uguali ad 1.

Nell'Approccio 2 i coefficienti del gruppo R3 si applicano solo alla resistenza globale del terreno quindi sono utilizzati solo nell'analisi degli stati limite GEO mentre nelle verifiche STR i valori dei coefficienti γ_R del gruppo R3 sono unitari.

Nella verifica per scorrimento sul piano di posa non si considera il contributo della resistenza passiva del terreno antistante la fondazione.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>13 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	13 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	13 di 26								

4.1.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Lo stato limite in oggetto deve essere verificato mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (p.to 6.2.3.3 del Doc. Rif.[1]), in cui la fondazione superficiale in esame non subisca eccessivi spostamenti e/o eccessive rotazioni, tali da risultare non compatibili con i requisiti prestazionali della stessa, e non induca deformazioni eccessive in opere adiacenti. La fondazione dovrà essere dimensionata nel rispetto dei requisiti prestazionali sopracitati.

Come riportato al p.to 3.1 del Doc. Rif.[5], nell'analisi agli Stati Limite di Esercizio riguardo alla deformabilità delle fondazioni dei viadotti ferroviari, i cedimenti differenziali "δ" fra fondazioni adiacenti, calcolati considerando agenti tutte le azioni permanenti con il loro valore caratteristico, devono rispettare i seguenti limiti:

$$\delta \leq L_{med}/1000 \quad \text{per travi appoggiate;}$$

$$\delta \leq L_{med}/3000 \quad \text{per travi continue;}$$

essendo L_{med} la luce media delle campate poggianti sulla fondazione in esame.

4.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER LE FONDAZIONI SUPERFICIALI

4.2.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Le verifiche di sicurezza in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico, in cui tuttavia i coefficienti sulle azioni sono posti pari ad uno (§7.11.1 del Doc. Rif.[1]).

La sicurezza del complesso fondazione-terreno deve essere verificata nei confronti del collasso per carico limite e per scorrimento, nel rispetto della condizione $E_d \leq R_d$. Per tutte le verifiche, la procedura adottata per il calcolo della resistenza deve essere congruente con quella adottata per il calcolo delle azioni. Più precisamente, la resistenza può essere valutata con approcci di tipo pseudostatico se la determinazione delle azioni discende da un'analisi pseudo-statica o di dinamica modale.

Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori ai 2 anni, come indicato nel p.to 2.4.1 Doc. Rif.[1].

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>14 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	14 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	14 di 26								

5 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI PROFONDE

Nel presente capitolo sono contenuti i criteri di dimensionamento e calcolo delle palificate delle fondazioni delle opere d'arte maggiori realizzate con pali trivellati di grande diametro.

Nelle analisi delle fondazioni profonde verranno considerate le seguenti ipotesi:

- Plinto infinitamente rigido.
- Vincolo di incastro tra pali e plinto;
- Pali costituenti la palificata verticali;
- Interazione tra i pali trascurabile;
- Rotazione del plinto e della testa dei pali impedita.

Per un gruppo di n pali, sottoposto a forze verticali, orizzontali e di momento esterne (agenti alla quota della testa dei pali ed in corrispondenza del baricentro della palificata) i carichi agenti alla testa di ciascun pali sono stimabili con le seguenti espressioni:

$$Q_{ti} = \frac{Q}{n} \pm \left[M_x \cdot \frac{y_i}{\sum_1^n y_i^2} \right] \pm \left[M_y \cdot \frac{x_i}{\sum_1^n x_i^2} \right]$$

essendo:

Q = forza verticale esterna;

M_x = momento esterno attorno all'asse x proveniente dalla sovrastruttura, accoppiato con H_y ;

H_y = forza orizzontale esterna nella direzione y proveniente dalla sovrastruttura, accoppiata con M_x ;

M_y = momento esterno attorno all'asse y proveniente dalla sovrastruttura, accoppiato con H_x ;

H_x = forza orizzontale esterna nella direzione x proveniente dalla sovrastruttura, accoppiata con M_y ;

Q_{ti} = forza verticale agente alla testa del palo i-esimo;

y_i = distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione y;

x_i = distanza del palo i-esimo dall'asse baricentrico della palificata nella direzione x;

Per la ripartizione degli sforzi di taglio agenti nel baricentro della palificata, si rimanda a quanto esposto al paragrafo 5.3.

Per le fondazione di ponti e viadotti ferroviari e dei cavalcaferrovia si utilizzeranno pali trivellati di diametro 1200 mm oppure 1500 mm. L'impiego di pali di diametro differente potrà essere valutato nello specifico dei singoli progetti delle opere.

I pali saranno posti di norma ad interasse pari a 3 volte il diametro del singolo palo; in casi eccezionali si può ammettere un interasse fino a 2.50 volte il diametro.

   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteria di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>15 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	15 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	15 di 26								

5.1 CAPACITÀ PORTANTE LIMITE A CARICO VERTICALE DEI PALI DI FONDAZIONE

La portata totale limite del palo singolo $Q_{lim,tot}$ è data dalla somma dei due contributi di portanza di base Q_B e di attrito laterale lungo il fusto Q_L :

$$Q_R = Q_B + Q_L$$

essendo:

$$Q_L = \pi \cdot D \cdot \sum_1^n \tau_i \cdot h_i$$

$$Q_B = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot q_{lim,b}$$

dove:

D = diametro del palo

h_i = spessore dello strato i -esimo

τ_i = aderenza unitaria nello strato i -esimo

n = numero di strati di terreno a contatto con il palo

$q_{lim,b}$ = portata unitaria di base

I valori di $q_{lim,b}$ e di τ_i dipendono dal tipo di terreno.

5.1.1 RESISTENZA ALLA PUNTA

La resistenza alla punta Q_B è ricavata con l'espressione:

$$Q_B = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot q_{lim,b}$$

In generale per un mezzo dotato di coesione ed attrito si pone:

$$q_{lim,b} = N_q \cdot \sigma_v + N_c \cdot c$$

in cui:

σ_v rappresenta la tensione citostatica verticale alla profondità della base del palo;

c è la coesione;

N_q, N_c sono fattori adimensionali funzione dell'angolo d'attrito e del rapporto L/D .

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cotg \varphi'$$

Nel calcolo delle condizioni drenate la tensione verticale σ' deve essere espressa in termini di tensioni efficaci, per cui si ha:

$$q_{lim,b} = N_q \cdot \sigma'_{vL} + N_c \cdot c'$$

Per la valutazione del coefficiente N_q sono state proposte varie teorie, tutte in ipotesi di mezzo omogeneo ed isotropo. I differenti meccanismi di rottura ipotizzati portano ad ottenere, per un dato valore di φ' , valori di N_q molto diversi. Alcune ricerche hanno mostrato che la resistenza alla punta non cresce linearmente con la profondità, ma che, oltre una certa profondità critica, dipendente da φ' , non presenta più significative variazioni. Fra i modelli

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>16 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	16 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	16 di 26								

teorici presentati, quello proposto da Berezantzev è prevalso ed ipotizza la formazione di una sorta di effetto silo che determina la diminuzione della pressione litostatica al crescere della profondità.

Per i pali trivellati il valore di N_q è dunque ricavato dalla teoria di Berezantzev in funzione di φ' e del rapporto L/D secondo l'andamento riportato nella figura successiva.

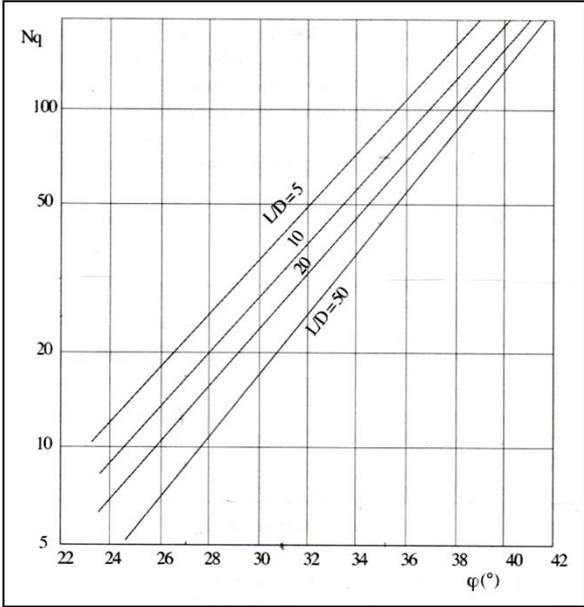


Fig. 1 – Andamento di N_q in funzione di φ' e L/D

Nel caso di pali trivellati di grande diametro, la massima resistenza alla base si raggiunge per spostamenti molto elevati (non minori di 20 cm), tali da mobilitare completamente la resistenza laterale. La valutazione della resistenza alla punta deve essere pertanto basata essenzialmente su considerazioni relative alla limitazione dei cedimenti e, quindi, con riferimento a stati limite di servizio. Si può fare in questi casi riferimento al valore ridotto N_q^* proposto da Berezantzev (formulazione del 1965, così come da abaco riportato da Viggiani).

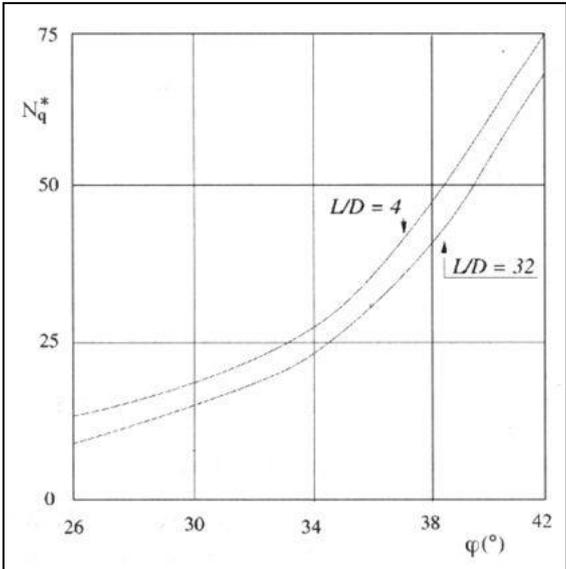


Fig. 2 – Abaco che restituisce N_q^* in funzione di φ'

   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteria di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>17 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	17 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	17 di 26								

Cautelativamente, si pone, come limite superiore per la resistenza alla punta del palo, il massimo valore ottenibile dalle correlazioni di Wright & Reese, ossia $q_{lim,max} = 4.00$ MPa.

In condizioni non drenate la tensione verticale σ_{vL} deve essere espressa in termini di tensione totali. Per i parametri di resistenza del terreno si assume:

$$c = c_u$$

$$\varphi_u = 0$$

Mentre i fattori adimensionali funzioni dell'angolo di attrito sono:

$$N_q = 1$$

$$N_c = 9$$

Per cui la resistenza unitaria alla punta diventa:

$$q_{lim,B} = \sigma_{vL} + 9 \cdot c_u$$

5.1.2 RESISTENZA LATERALE

La resistenza limite laterale Q_L è ricavata attraverso l'espressione:

$$Q_L = \pi \cdot D \cdot \sum_1^n \tau_i \cdot h_i$$

in cui:

L è la lunghezza del palo;

τ_i è la resistenza tangenziale all'interfaccia palo terreno.

Nel calcolo in condizioni drenate la tensione limite tangenziale si assume composta da un termine legato all'adesione ed uno legato all'attrito fra palo e terreno:

$$\tau = a \cdot c' + k \cdot \mu \cdot \sigma'_{vz}$$

in cui:

σ'_{vz} è la tensione effettiva litostatica alla profondità z ;

a è un termine di tipo coesivo e si assume in genere pari a 0;

k è un coefficiente empirico che esprime il rapporto tra la tensione verticale litostatica e la tensione orizzontale al contatto palo terreno ed è essenzialmente legato alle modalità esecutive e alle proprietà del terreno. Per i pali trivellati si assume $k = 1 - \sin \varphi'$;

μ dipende dalla scabrezza all'interfaccia palo-terreno; per i pali trivellati si assume $\mu = \tan \varphi'$.

Nel calcolo in condizioni non drenate si assume l'adesione come un'aliquota della resistenza al taglio non drenata:

$$\tau = \alpha \cdot c_u$$

Per la determinazione del valore di α in funzione di c_u si fa riferimento ai valori suggeriti dall'AGI (Associazione Geotecnica Italiana):

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<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>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>18 di 26</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	18 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	18 di 26								

pali trivellati	c_u	α	$q_{a \max}$
	(kPa)	(-)	(kPa)
<25		0.9	10
25 ÷ 50		0.8	
50 ÷ 75		0.6	
≥ 75		0.4	

Fig. 3 – Valori del coefficiente α suggeriti da AGI

5.1.3 TERRENI STRATIFICATI

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite rimangono analoghi a quelli descritti nei paragrafi precedenti.

Per considerare presente l'intera portata alla base occorrerà verificare che il palo sia entrato per almeno 2 diametri nello strato di base. Inoltre qualora fosse presente uno strato di terreno più scadente al di sotto della punta dei pali occorrerà intestare la punta a 3 diametri dalla superficie dello strato sottostante.

5.2 CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO E DELLA PALIFICATA

5.2.1 CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO

La valutazione del cedimento del palo singolo viene condotta attraverso lo schema di suolo elastico indefinito (Poulos & Davis, 1968) che porta alla soluzione in forma chiusa derivata dalla teoria dell'elasticità e mette in relazione il cedimento del palo singolo (δ) con la lunghezza del palo (L), il carico verticale agente alla testa del palo (N) ed con il modulo di deformazione medio (E) del semispazio indefinito:

$$\delta = \frac{\beta \cdot N}{E \cdot L}$$

Il coefficiente di influenza adimensionale β risulta funzione del rapporto L/D e può essere valutato come segue:

$$\beta = 0.5 + \log\left(\frac{L}{D}\right) \quad [\text{Poulos \& Davis, 1981}]$$

Il modulo elastico E è quello dello strato di terreno in cui è immerso il palo, o nel caso in cui siano presenti più strati, quello di un unico strato omogeneizzato (tale valore sarà stimato in base alla media pesata dei moduli elastici dei vari strati di terreno che interessano lo sviluppo del palo). Dunque, ove il modulo del terreno subisca variazione con la lunghezza del palo, il modulo medio del terreno può essere valutato come segue:

$$E_m = \left(\frac{1}{L}\right) \sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i$$

in cui E_i e h_i sono rispettivamente il modulo e lo spessore dello strato i -esimo.

5.2.2 CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

Il cedimento medio della palificata può essere espresso come il prodotto del cedimento δ del palo isolato, a parità di carico medio, per un coefficiente di amplificazione R_s legato alla geometria della fondazione. In modo equivalente si può fare riferimento al parametro $R_g = R_s/n$ (coefficiente di riduzione del gruppo) in cui n è il numero di elementi della palificata:

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>19 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	19 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	19 di 26								

$$\delta_p = R_s \cdot \delta = n \cdot R_g \cdot \delta$$

Facendo riferimento a Randolph & Clancy (1993) e Mandolini (1994), si può individuare una correlazione tra R_g ed il parametro:

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot i}{L}}$$

In cui con i è l'interasse dei pali.

L'evidenza sperimentale del comportamento di gruppi di pali in vera grandezza permette di stimare il parametro R_g attraverso la relazione seguente (Mandolini et al., 1997):

$$R_g = \frac{0.5}{R} + \frac{0.13}{R^2}$$

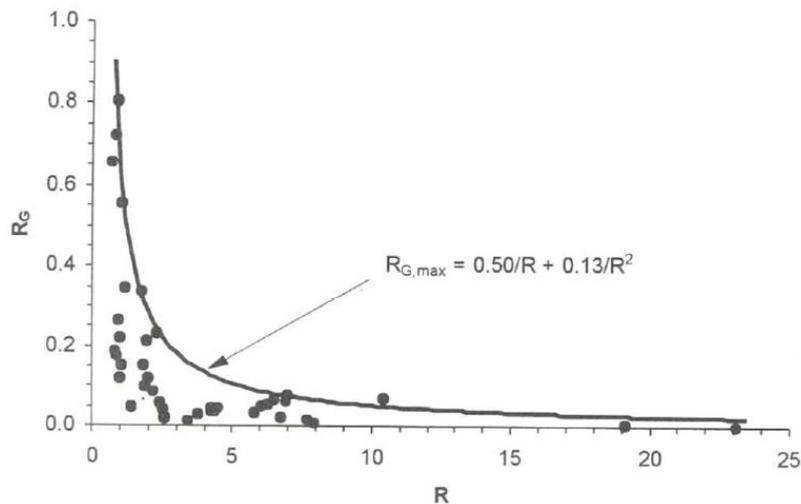


Fig. 4 – Dati empirici per il cedimento di fondazioni su pali

   	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>20 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	20 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	20 di 26								

5.3 PALI SOTTOPOSTI A CARICHI ORIZZONTALI

I valori del taglio agente in testa al singolo sono determinati con una ripartizione rigida delle sollecitazioni provenienti dalla sovrastruttura, attraverso la relazione:

$$H_{palo} = \sqrt{(H_x/n_{pali})^2 + (H_y/n_{pali})^2}$$

essendo:

H_{palo} = forza di taglio agente sul singolo palo;

H_x = forza orizzontale esterna nella direzione x proveniente dalla sovrastruttura;

H_y = forza orizzontale esterna nella direzione y proveniente dalla sovrastruttura;

n_{pali} = numero complessivo dei pali della palificata.

Inoltre, il valore così ottenuto sarà incrementato di un fattore pari a **1.1** per tenere conto del cosiddetto “effetto gruppo”.

5.3.1 SOLLECITAZIONI AGENTI LUNGO IL FUSTO DEL PALO

Le sollecitazioni agenti lungo il fusto del palo saranno determinate nell'ipotesi di comportamento elastico lineare del palo e del terreno di fondazione.

Il momento massimo sarà valutato con la formula classica del palo con testa impedita di ruotare immerso in un terreno alla Winkler:

$$M = H_{palo} \cdot (\lambda + H) / 2$$

dove:

$$\lambda = [4 \cdot E_p \cdot J_p / (k_s \cdot D)]^{1/4} \quad \text{lunghezza elastica del palo} \quad (k \text{ costante con la profondità})$$

E_p = modulo di elasticità del palo;

J_p = momento d'inerzia del palo;

k_s = costante di reazione orizzontale del terreno;

D = diametro del palo;

H = eventuale altezza non collaborante dal palo di fondazione.

Per la costante di reazione orizzontale del terreno si fa riferimento alla seguente relazione proposta da Vesic:

$$k_s = E_s / D$$

con E_s = modulo elastico del terreno di fondazione.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>21 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	21 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	21 di 26								

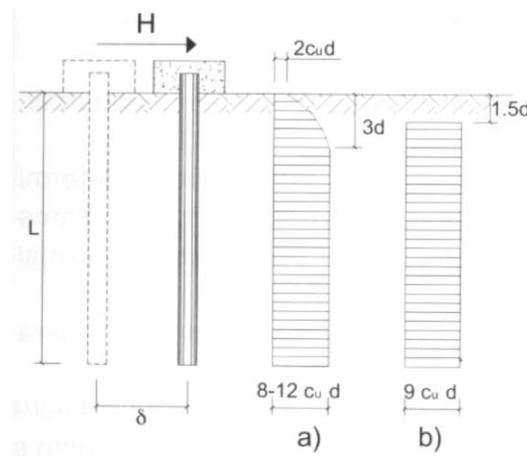
5.3.2 VERIFICA A FORZE ORIZZONTALE DEI PALI DI FONDAZIONE – TEROIA DI BROMS

In presenza di forze orizzontali agenti su un palo è necessario che esso venga dimensionato a carico limite sotto queste azioni. A tale scopo sarà utilizzata la teoria proposta da Broms (1964).

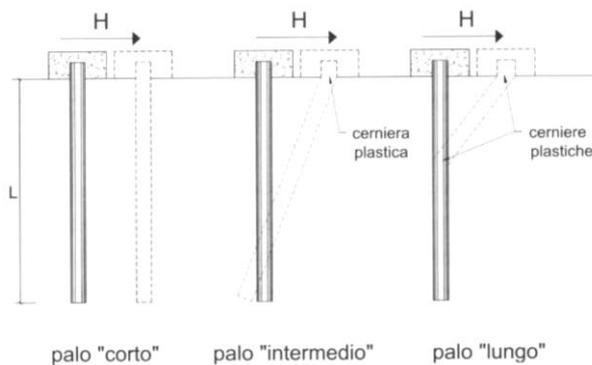
In relazione alla tipologia di fondazioni presenti, si farà riferimento alla condizione di pali con testa impedita di ruotare con il vincolo posto a piano campagna.

5.3.2.1 CONDIZIONI NON DRENATE

Il diagramma di distribuzione della resistenza p offerta dal terreno lungo il fusto del palo, ottenuto su basi teoriche e sperimentali, è quella riportata nella figura seguente. Nella teoria di Broms si adotta al fine della analisi, un diagramma semplificato con reazione nulla fino a $(1.5 \cdot d)$ e quindi costante con valore $(9 \cdot c_u \cdot d)$.



I possibili meccanismi di rottura sono riportati di seguito. Il carico limite orizzontale corrispondente ai tre meccanismi di rottura risulta:



$$\text{palo corto} \quad H = 9 c_u d^2 \left(\frac{L}{d} - 1,5 \right)$$

$$\text{palo intermedio} \quad H = -9 c_u d^2 \left(\frac{L}{d} + 1,5 \right) + 9 c_u d^2 \sqrt{2 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3} + 4,5}$$

$$\text{palo lungo} \quad H = -13,5 c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182,25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>22 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	22 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	22 di 26								

5.3.2.2 CONDIZIONI DRENATE

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

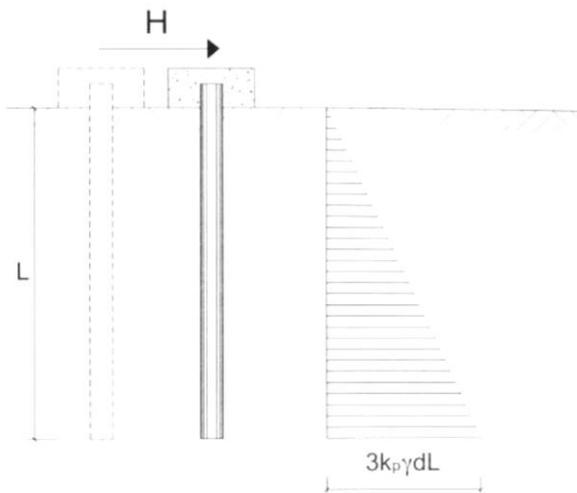
$$p = 3 \cdot k_p \cdot \gamma \cdot z \cdot d$$

in cui

k_p è il coefficiente di spinta passiva;

z è la profondità dal piano campagna;

γ è il peso di volume del terreno, in caso di terreno in falda si assume γ' .



I meccanismi di rottura possibili sono gli stessi precedentemente illustrati, a cui corrispondono i seguenti valori del carico limite:

palo corto $H = 1,5 k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$

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

palo lungo $H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3,676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>23 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	23 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	23 di 26								

6 CRITERI DI VERIFICA DELLE FONDAZIONI PROFONDE

In accordo con quanto definito al p.to 6.2.3. del Doc. Rif. [1] ed al p.to 2.3. del Doc. Rif. [5], devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- Verifiche agli stati limite ultimi (SLU);
- Verifiche agli stati limite d'esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [1] e del p.to 2.3.3 del Doc. Rif. [5]})$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione ($E_d \leq R_d$) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A_1 e A_2), per i parametri geotecnici (M_1 e M_2) e per le resistenze (R_1 , R_2 e R_3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi e sono definiti specificatamente in funzione della singola verifica.

Per quanto concerne le azioni di progetto E_d , tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche, quest'ultima relativamente a verifiche strutturali.

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [1]})$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito dal progettista strutturale).

La verifica della condizione $E_d \leq C_d$ deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 5.2.3.3.1 del Doc Rif. [4] ed al p.to 2.3.3. del Doc Rif. [5], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 3 (Tab. 5.2.V del Doc Rif. [4]) e i coefficienti di combinazione ψ in Tab. 2 e 3 (Tab. 5.2.VI e 5.2.VII del Doc Rif. [4]).

Per i coefficienti di sicurezza parziali relativi alle fondazioni profonde si fa riferimento Tab. 8 (Tab. 6.2.II Doc. Rif. [1]), Tab. 9 (Tab. 6.4.II Doc. Rif. [1]), Tab. 10 (Tab. 6.4.VI Doc. Rif. [1]).

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<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;">RO</td> <td style="text-align: center;">GE0005 001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">24 di 26</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	24 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	24 di 26								

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.

Tab. 9 – Coefficienti parziali sulle resistenze (Tab. 6.4.II Doc. Rif. [1])

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_t = 1,0$	$\gamma_t = 1,6$	$\gamma_t = 1,3$

Tab. 10 – Coefficienti parziali per le verifiche agli SLU di pali soggetti a carichi trasversali (Tab. 6.4.VI Doc. Rif. [1])

6.1 VERIFICHE DI SICUREZZA STATICHE PER LE FONDAZIONI SU PALI

6.1.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Come riportato al § 6.4.3.1 della normativa di riferimento (Doc. Rif.[1]), per le fondazioni su pali, devono essere prese in considerazione almeno le seguenti verifiche agli stati limite ultimi, quando pertinenti:

- SLU di tipo Geotecnico (GEO), relative a condizioni di:
 - Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
 - Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
 - Stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR), relative a condizioni di:
 - Raggiungimento della resistenza dei pali;
 - Raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali;
 - Spostamenti o rotazioni eccessive che possano indurre il raggiungimento di uno stato limite ultimo nella struttura in elevazione.

Tutte le verifiche (GEO/STRU) di cui sopra, ad eccezione della verifica di stabilità globale dell'insieme opera-terreno, devono essere svolte considerando almeno uno dei seguenti approcci:

Approccio 1:

Combinazione 1: $A1+M1+R1$ (STR)

Combinazione 2: $A2+M1+R2$ (GEO)

Approccio 2:

$A1+M1+R3$ (STR e GEO)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 3, 4 e 9.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteri di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>25 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	25 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	25 di 26								

In accordo a quanto riportato nel Doc. Rif.[1], nelle verifiche strutturali condotte con l'Approccio 2, il coefficiente γ_R non deve essere tenuto in conto ($R3 = 1$); pertanto la verifica in questo caso diventa analoga a quella condotta con l'Approccio 1 – Combinazione 1.

Come definito nel P.to C6.4.3.1 del Doc. Rif. [2], l'Approccio 1 - Combinazione 2 risulta generalmente più cautelativo le verifiche di tipo GEO, mentre per le verifiche di tipo STR risulta generalmente più cautelativo l'Approccio 1 - Combinazione 1.

La verifica di stabilità globale dell'insieme opera-terreno (p.to 6.4.3.1 del Doc. Rif.[1]) deve essere svolta secondo l'Approccio 1:

Combinazione 2: A2+M2+R2

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 3, Tab. 6, e assumendo per R2 un valore di $\gamma_R=1.1$.

Per le resistenze di pali soggetti a carichi assiali, la resistenza caratteristica R_k del palo singolo può essere dedotta secondo quanto riportato al p.to 6.4.3.1.1 del Doc. Rif.[1]. Inoltre, facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.3 del Doc. Rif.[5], per la determinazione dei valori della resistenza caratteristica R_k del palo singolo non può essere utilizzato il metodo c) di cui al p.to 6.4.3.1.1 del Doc. Rif.[1], basato sui risultati di prove dinamiche di progetto, ad alto livello di deformazione, eseguite su pali pilota. Nell'applicazione del metodo b) al caso di paratie aventi anche funzione di fondazione i coefficienti ξ_3, ξ_4 (tab. 6.4.IV del Doc. Rif.[1]) dovranno essere assunti pari a 1.70.

Nel caso in cui le fondazioni profonde vengano eseguite con diaframmi in luogo di pali, si assumeranno gli stessi coefficienti γ_R prescritti per i pali trivellati.

In aggiunta alle verifiche sulla portanza dei pali richieste dal Doc. Rif.[1] dovrà essere verificata la seguente relazione nel rispetto di quanto previsto al p.to 3.3 del Doc. Rif.[5]:

$$R_{c,cal,lat} / 1,25 > N_{ag}$$

dove

$R_{c,cal,lat}$ è la resistenza laterale di calcolo;

N_{ag} è il carico agente sul palo determinato per la combinazione caratteristica (rara) impiegata per le verifiche agli stati limiti di esercizio (SLE).

In situazioni nelle quali sono possibili fenomeni di erosione o di scalzamento da parte di acque di scorrimento superficiale, le fondazioni devono essere poste a profondità tale che i pali non risentano di questi fenomeni o devono essere adeguatamente difese. In quest'ultimo caso, i pali devono essere comunque progettati considerando non presente il terreno circostante per tutta l'altezza di scalzamento, la quale dovrà essere determinata con apposito calcolo idraulico.

6.1.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Come riportato al P.to 6.4.3.2 del Doc. Rif.[1], deve essere verificato che la palificata, soggetta alle azioni caratteristiche, non subisca eccessivi cedimenti (o sollevamenti) ed eccessivi spostamenti trasversali, tali da risultare non compatibili con i requisiti prestazionali della stessa e della struttura in elevazione. La geometria della fondazione (numero, lunghezza, diametro e interasse dei pali) deve essere stabilita nel rispetto dei requisiti prestazionali sopracitati, tenendo opportunamente conto degli effetti di interazione tra i pali e considerando i diversi meccanismi di mobilitazione della resistenza laterale rispetto alla resistenza alla base, soprattutto in presenza di pali di grande diametro.

Inoltre, come prescritto al §1.8.3.2.3 del Doc. Rif. [4], nell'analisi di deformabilità verticale delle fondazioni, i cedimenti differenziali "δ" fra fondazioni adiacenti, calcolati considerando agenti tutte le azioni permanenti con il loro valore caratteristico, dovranno rispettare i seguenti limite:

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO												
Criteria di dimensionamento e verifica delle fondazioni superficiali e profonde	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>RO</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>26 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	26 di 26
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	RO	GE0005 001	A	26 di 26								

$\delta \leq \frac{L_{med}}{1000}$ per travi appoggiate;

$\delta \leq \frac{L_{med}}{3000}$ per travi continue;

dove L_{med} = luce media delle campate afferenti sulla fondazione in esame.

6.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER LE FONDAZIONI PROFONDE

6.2.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Le fondazioni su pali devono essere verificate agli stati limite ultimi sotto l'azione del moto sismico di riferimento.

Le verifiche nei confronti del collasso per carico limite (verticale e orizzontale) consistono nel raffronto tra le azioni (forza assiale e forza trasversale sul palo) e le corrispondenti resistenze, nel rispetto della condizione (6.2.1) del Doc. Rif.[1] e con le prescrizioni di cui al p.to 7.11.1 del Doc. Rif.[1].

Le azioni trasmesse in fondazione sono determinate, in accordo con quanto riportato al p.to 7.2.5 del Doc. Rif.[1], dalla corrispondente analisi della struttura in elevazione sotto la combinazione di carico sismico per stato limite ultimo.

Nelle verifiche di fondazioni su pali, effettuate con l'Approccio 1 Combinazione 2, si deve fare riferimento ai coefficienti R3 di cui alle Tab. 9 e 10.