



AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

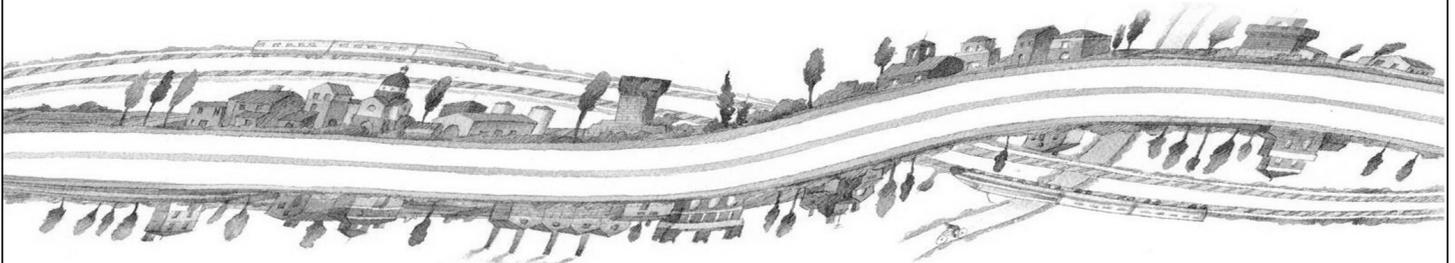
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

VIABILITA' DI COLLEGAMENTO

RELAZIONE GEOTECNICA C08 (EX MO07) VIABILITA' DI COLLEGAMENTO TRA LA SC SALDE ENTRA' ED IL POLO INDUSTRIALE DI FINALE EMILIA



IL PROGETTISTA

Ing. Gianfranco Marchi
Albo Ing. Ravenna n°342

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi
Albo Ing. Reggio Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale
Cispadana S.p.A.
IL PRESIDENTE
Graziano Pattuzzi

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				A. Boschi	G. Marchi	E. Salsi		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: MAGGIO 2012
NUM. Progr.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
0618	PD	0	C08	C0000	0	GT	RB	01	A	

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1. NORMATIVE	4
2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	4
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO	5
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO	7
4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	8
5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI.....	10
6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	11
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	12
8. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI.....	15
9. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI TRASVERSALI.....	22
10. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ORIZZONTALI.....	25
11. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	32
11.1. TERRENI COESIVI	32
11.1.1. Pali con interasse superiore a 3 diametri.....	32
11.1.2. Pali con interasse inferiore a 3 diametri.....	33
11.2. TERRENI INCOERENTI.....	35
11.2.1. Sabbia sciolta	35
11.2.2. Sabbia densa	35
12. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI.....	36
13. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI.....	37
14. COMPORTAMENTO DEI PALI IN ESERCIZIO.....	38
14.1. CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI	38
14.2. CEDIMENTO DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICO ASSIALE.....	38
14.3. RIGIDENZE ASSIALI E TRASVERSALI.....	39
15. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.....	43



16.	STIMA DEI CEDIMENTI E LORO EVOLUZIONE NEL TEMPO	44
17.	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE	45
18.	VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	46
19.	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI POST-SISMICI IN TERRENI COESIVI.....	47
20.	INTERFERENZA VIABILITÀ CON EDIFICI ESISTENTI.....	48
21.	TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI	50
21.1.	CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	50
21.2.	SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE	50
21.3.	LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI	51
21.4.	CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI	51
21.5.	EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO	52
21.6.	STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE	55

1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo dell'Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra le analisi geotecniche con riferimento alla viabilità denominata "C08 (EX MO07) Viabilità di collegamento tra la S.C. Salde Entrà ed il Polo Industriale di Finale Emilia".

In particolare, nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- normativa e documentazione di riferimento per la caratterizzazione geotecnica;
- descrizione dei dati geognostici disponibili;
- caratterizzazione stratigrafica dei terreni lungo il tracciato;
- definizione dei livelli piezometrici ai fini delle analisi geotecniche;
- descrizione dei criteri utilizzati per la caratterizzazione geotecnica;
- definizione dei parametri geotecnici per le unità geotecniche individuate;
- calcolo della capacità portante per le fondazioni profonde delle opere in oggetto;
- verifiche di stabilità dei rilevati;
- valutazione dei cedimenti dei rilevati;
- interventi di consolidamento per i rilevati in corrispondenza delle spalle delle opere d'arte;
- verifiche di stabilità nei confronti dei fenomeni di liquefazione;
- valutazione dei cedimenti post-sismici in terreni coesivi;
- interferenza viabilità con edifici esistenti;
- determinazione del trattamento del piano di posa dei rilevati.

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1. NORMATIVE

Le normative di riferimento sono riportate nell'elaborato:

- PD_0_000_00000_0_GE_KT_01, "Elenco delle Normative di riferimento".

2.2. BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna.
- LANCELLOTTA R. (1993) – "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna.
- LUNNE T., CHRISTOFFERSEN H.P. (1985) – "Interpretation of Cone Penetrometer Data for Offshore Sands" – Norwegian Geotechnical Institute, 1985, Publication n. 156.
- LUNNE T., ROBERTSON P.K., POWELL J.J.M. (1997) – "Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice" – Blackie Academic & Profesional.
- P.K. ROBERTSON (2009) – "Interpretation of cone penetration tests - a unified approach" – Canadian Geotechnical Journal, Vol. 46, 1337-1355.
- "Soil behaviour in earthquake geotechnics"; Ishihara K.; 1996 Oxford science publications.
- "Dinamica dei terreni per le applicazioni sismiche"; Crespellani T., Facciorusso J.; 2010, Dario Flaccovio Editore.
- "Dynamic deformation characteristics of soils determined by laboratory tests", Yokota K., Imai T., Konno M., 1981; OYO Technical report.
- "The behaviour of Drammen clay under cyclic loading", Eekelen H.A.M. Van, Potts D.M., 1978
- "Post-cyclic degradation of strength and stiffness for low plasticity silt", Yasuhara K., Murakami S.M., Song B., Yokokawa S., Hyde A.F.L., 2003.

2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

Nell'ambito delle attività di progettazione, a corredo della presente relazione sono state elaborate le cartografie tematiche di seguito elencate:

- Relazione geotecnica generale - Cod. PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01
- Criteri generali per le verifiche geotecniche - PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02.
- Asse autostradale - Planimetria ubicazione indagini geognostiche in sito - Tav. 7/14 - scala 1:5.000
Cod. PD_0_A00_A0000_0_GT_PG_07;
- Planimetria con classificazione sismica del territorio - Tav. 4/7 - scala 1:10.000
Cod. PD_0_A00_A0000_0_GT_CT_04;
- Profilo geotecnico C08 - scala 1:5000
Cod. PD_0_C08_C0000_0_GT_FT_01.

Ai fini del presente studio, si è fatto inoltre riferimento ai seguenti documenti, inerenti le indagini in sito ed in laboratorio di progetto definitivo:

- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Relazione illustrativa
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IS_RG_00;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Sondaggi geognostici
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IS_CF_01;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Prove penetrometriche statiche CPTU
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IS_CF_02;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Pozzetti esplorativi e prove di Carico su piastra
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IS_CF_03;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Prove con cono sismico SCPT
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IS_CF_04;
- INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO - LOTTO 2 - Prove sismiche Cross-Hole
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IS_IG_00;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 2 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da sondaggi geognostici
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IL_CF_01;

- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 2 - Prove di laboratorio su campioni prelevati da pozzetti esplorativi
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IL_CF_02;
- PROVE DI LABORATORIO LOTTO 2 – Analisi chimiche su campioni idrici
Cod. PD_0_X02_X0000_0_IL_CF_03.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO E DI LABORATORIO

Per la indagini geognostiche di riferimento si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01 ed al capitolo 7.

4. CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

Il profilo geologico-geotecnico, ottenuto dall'interpretazione delle indagini geognostiche, è riportato nell'elaborato Profilo geotecnico C08 (Cod. PD_0_C08_BC0000_0_GT_FT_01).

L'intera profondità indagata lungo tutta la tratta autostradale è caratterizzata dalla presenza di depositi di piana alluvionale che sono stati suddivisi nelle 6 unità stratigrafiche descritte in seguito:

- **Rilevati antropici**
- **Unità R**

Terreno vegetale e/o suoli agrari, sovraconsolidati per essiccamento. Localmente terreni di riporto.

- **Unità 1**

Argille, argille limose e debolmente limose o sabbiose, limi, limi argillosi e debolmente argillosi o sabbiosi, di colore nocciola, marrone, grigio e nerastro. Localmente sono presenti striature rossastre e ocre, venature nerastre per presenza di frustoli carboniosi e resti torbosi, e concrezioni calcaree millimetriche (calcinelli). L'unità si presenta da moderatamente consistente a consistente. I primi metri dal piano campagna appaiono talvolta sovraconsolidati per essiccamento. Resistenza alla punta media 1÷3 MPa.

- **Unità 2**

Limi sabbiosi e sabbie limose, talora debolmente argillose di colore nocciola, marrone e grigio. Resistenza alla punta media 3÷8 MPa.

- **Unità 3**

Sabbie fini, talora debolmente limose di colore nocciola, marrone e grigio, da poco a mediamente addensate. Intercalate all'unità 3 si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 8÷10 MPa, $Dr \leq 50\%$.

- **Unità 4**

Sabbie medie, talora debolmente limose di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane. Si presentano da mediamente addensate ad addensate. Intercalate all'unità 4 si rinvengono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media 10÷15 MPa, $Dr = 50\% \div 70\%$.

- **Unità 5**

Sabbie medie, talora debolmente limose, di colore nocciola, marrone e grigio. Localmente sono presenti livelli di sabbie più grossolane talora ghiaiose. Le sabbie presentano generalmente un buon grado di

addensamento. Intercalate all'unità 5 si rinvencono talora livelli di spessore centimetrico e decimetrico ascrivibili ad altre unità geotecniche. Resistenza alla punta media >15 MPa, $D_r \geq 70\%$.

- **Unità 6**

Argille poco consistenti, di colore grigio scuro e nero con abbondante presenza di frustoli carboniosi e livelli organici indecomposti. Localmente si rinvencono livelli di torba di spessore decimetrico.

5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI PIEZOMETRICI

Per la definizione dei livelli piezometrici si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01 ed al capitolo 7.

6. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per quanto concerne i criteri utilizzati nella caratterizzazione geotecnica si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si riporta la scheda di caratterizzazione geotecnica per l'opera in oggetto.

OPERA:	C08
---------------	------------

Per quanto concerne la caratterizzazione dettagliata della viabilità di collegamento oggetto del presente documento si rimanda alla zona omogenea 14 nel documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01.

Le tematiche riguardanti i cedimenti e la stabilità dei rilevati sono assimilabili a quanto già riportato per l'asse autostradale in adiacenza; per le verifiche e le stratigrafie utilizzate si rimanda quindi al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03.

Nel seguito riporta invece quanto sviluppato in maniera più dettagliata per le opere comprese nel presente intervento.

OPERA:	PONTE SUL "CAVO VALLICELLA"
---------------	------------------------------------

Q_{rif} = 13.00 m s.l.m.

TABELLA 7-1: INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO PER STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE

sigla indagine	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
BH222	Imprefond - 2011	13.217	50.0	TA(2-4)
BH223	Imprefond - 2011	13.703	50.0	-
SCPT236	Imprefond - 2011	13.203	30.0	-
CPTU237	Imprefond - 2011	14.149	40.0	-

C (...) = cella piezometrica Casagrande (quota cella);
TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto filtrante).

TABELLA 7-2: UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE INDIVIDUATE LUNGO IL TRACCIATO

Unità	Descrizione
R/V	Terreno di riporto e terreno vegetale
1	Argilla limosa/Limo argilloso
2	Sabbia limosa/Limo sabbioso
3	Sabbia con D _r <50%
4	Sabbia con 50%<D _r <70%
5	Sabbia con D _r >70%
6	Torba/Argilla organica

TABELLA 7-3: CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICO – GEOTECNICA

Profondità (m da p.c.) (Q_{ref} 13.00 m s.l.m.)	Unità -	z_w (m)	γ_n (kN/m ³)	φ' (*) (°)	c' (*) (kPa)	c_u (*) (kPa)	E' (kPa)	M (kPa)
0.0÷0.5	R/V	2.5	-	-	-	-	-	-
0.5÷4.0	1	2.5	19.5	21-23	3-6	5.8z+20	495z+2230	667z+3000
4.0÷5.0	2	2.5	19.3	29-31	0	-	1088z+2389	-
5.0÷11.0	1	2.5	19.5	21-23	3-6	5.8z+20	495z+2230	667z+3000
11.0÷13.0	3	2.5	18.8	31-33	0	-	1000z+8000	-
13.0÷19.0	1	2.5	19.5	21-23	3-6	2.3z+22	342z+1085	461z+1461
19.0÷23.0	2	2.5	19.3	29-31	0	-	1088z+2389	-
23.0÷25.0	3	2.5	18.8	31-33	0	-	1000z+8000	-
25.0÷28.0	1	2.5	19.5	21-23	3-6	70	8173	11000
28.0÷30.0	2	2.5	19.3	29-31	0	-	1088z+2389	-
30.0÷31.0	4	2.5	19.8	32-34	0	-	40000	-
31.0÷40.0	1	2.5	19.5	21-23	3-6	70	8173	11000
40.0÷41.0	4	2.5	19.8	32-34	0	-	40000	-
Da 41.0	1	2.5	19.5	21-23	3-6	70	8173	11000

Q_{ref} = quota assoluta inizio caratterizzazione (m s.l.m.);

z_w = profondità media di falda da p.c. da rilievo piezometrico (m). Il valore di progetto relativo alla profondità di falda è da assumersi pari a ($z_w = 1.0$ m). Tale valore potrà subire variazione a seguito di ulteriori letture del livello piezometrico;

γ_n = peso di volume naturale (kN/m³);

(*) = Il valore caratteristico di tale parametro viene determinato come segue:

- valori prossimi al valore medio dovranno essere assunti per verifiche che coinvolgono un volume di terreno tale da compensare eventuali eterogeneità e/o quando la struttura a contatto con il terreno presenta una rigidità tale da consentire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti;
- valori prossimi al valore minimo di tale parametro dovranno essere adottati per verifiche che coinvolgono modesti volumi di terreno e/o quando la struttura a contatto con il terreno non è in grado di garantire il trasferimento delle azioni dalle zone più resistenti a quelle meno resistenti a causa della sua scarsa rigidità.

φ' = valore dell'angolo di resistenza al taglio (°);

c' = valore della coesione efficace (kPa);

c_u = valore della coesione non drenata (kPa);

E' = modulo di Young (kPa);

M = valore del modulo edometrico.

Con riferimento ai primi 30.0 m da piano campagna, la prova SCPT 236 indica $V_{s,30} = 234$ m/s; di conseguenza, la categoria di sottosuolo che è possibile assumere per le elaborazioni è **C**.

Al fine di valutare i fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica si considerano, quali verticali indagate, le prove indicate in Tabella 7-1.

8. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI

Nel seguito si riportano i calcoli di capacità portante del singolo palo di fondazione soggetto a carichi assiali di compressione e di trazione, con riferimento a pali trivellati ϕ 1000 e ϕ 1200.

Il calcolo viene condotto secondo i seguenti approcci con riferimento al DM 14/01/2008 Par.6.4.3:

- Approccio 1: combinazioni A1+M1+R1 e A2+M1+R2;
- Approccio 2: combinazione A1+M1+R3;

e con riferimento alla seguente bibliografia:

- AGI – Raccomandazioni sui pali di fondazione (1984);
- Poulos, Davis – Analisi e progettazione di fondazioni su pali.

I grafici sottostanti riportano le resistenze di progetto dei pali in compressione ed in trazione in funzione della lunghezza degli stessi, i calcoli sono stati svolti considerando la testa del palo alla quota di riferimento.

A seguire si riportano i tabulati di derivazione dei grafici stessi.

CPO03 - Ponte sul Cavo Vallicella - Z014

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1000mm

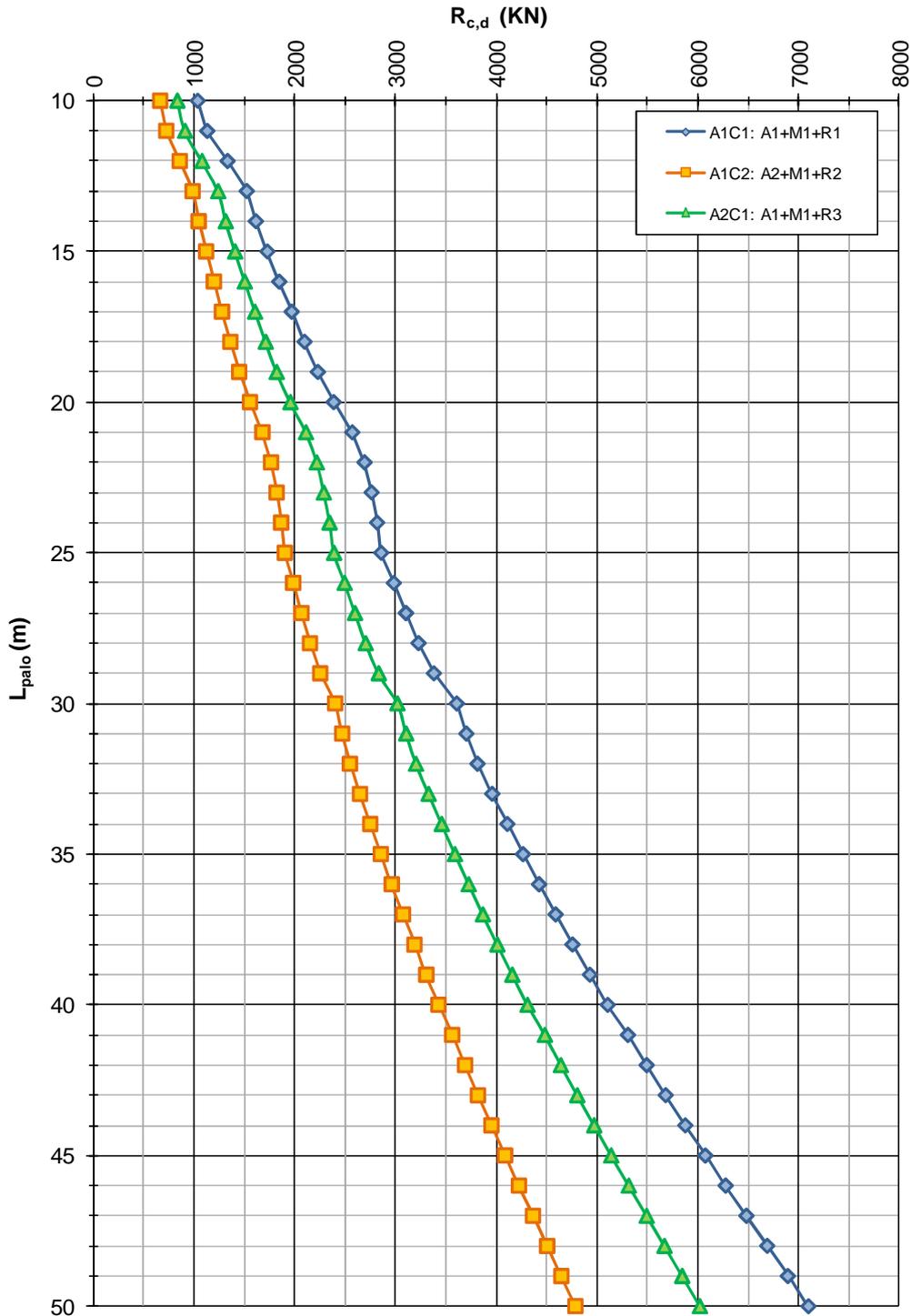


FIGURA 8-1: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

CPO03 - Ponte sul Cavo Vallicella - ZO14
NTC del 14/01/2008
Capacità portante a trazione - Pali trivellati ϕ 1000mm

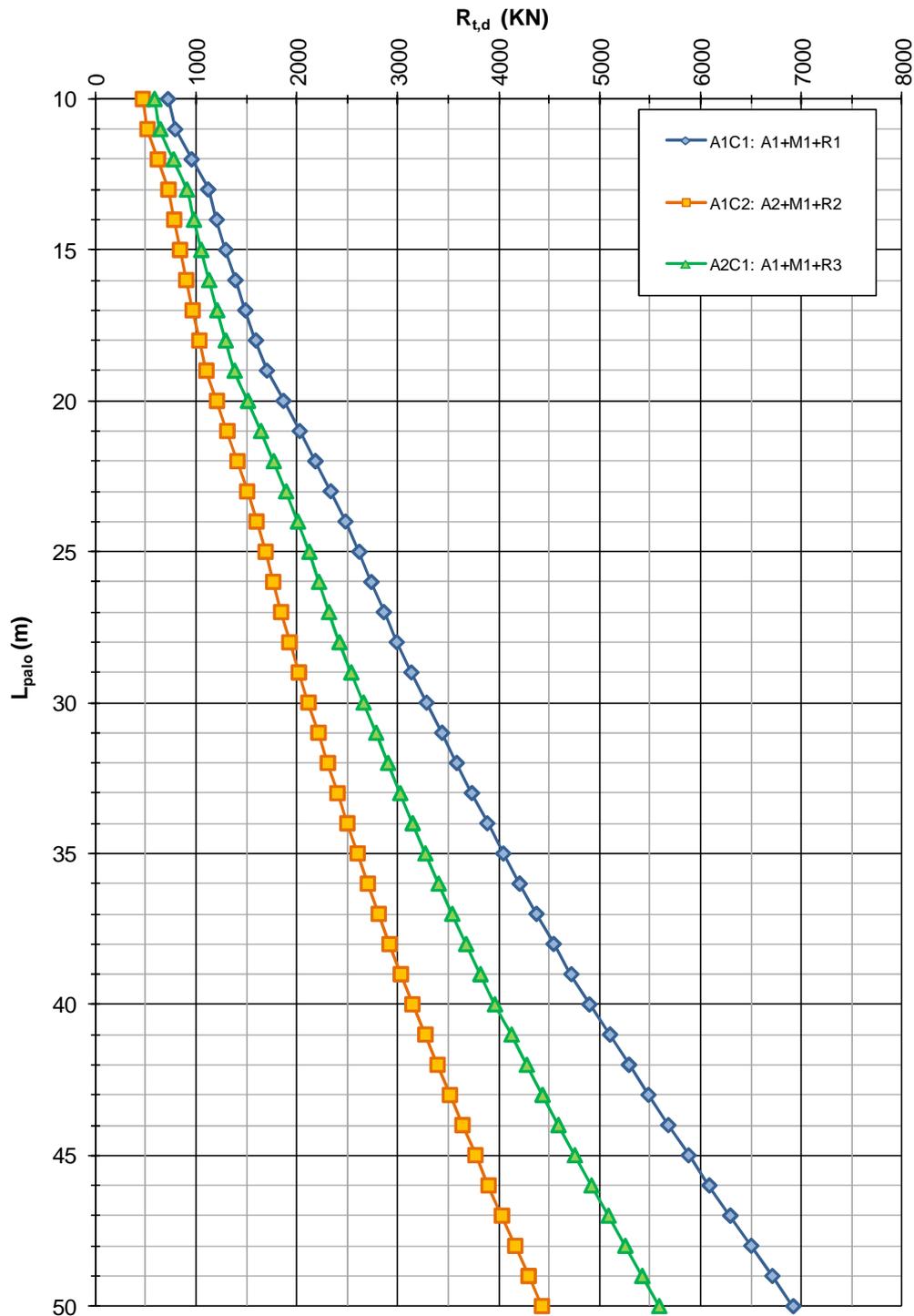


FIGURA 8-2: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

CPO03 - Ponte sul Cavo Vallicella - Z014
 NTC del 14/01/2008
 Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1200mm
 $R_{c,d}$ (KN)

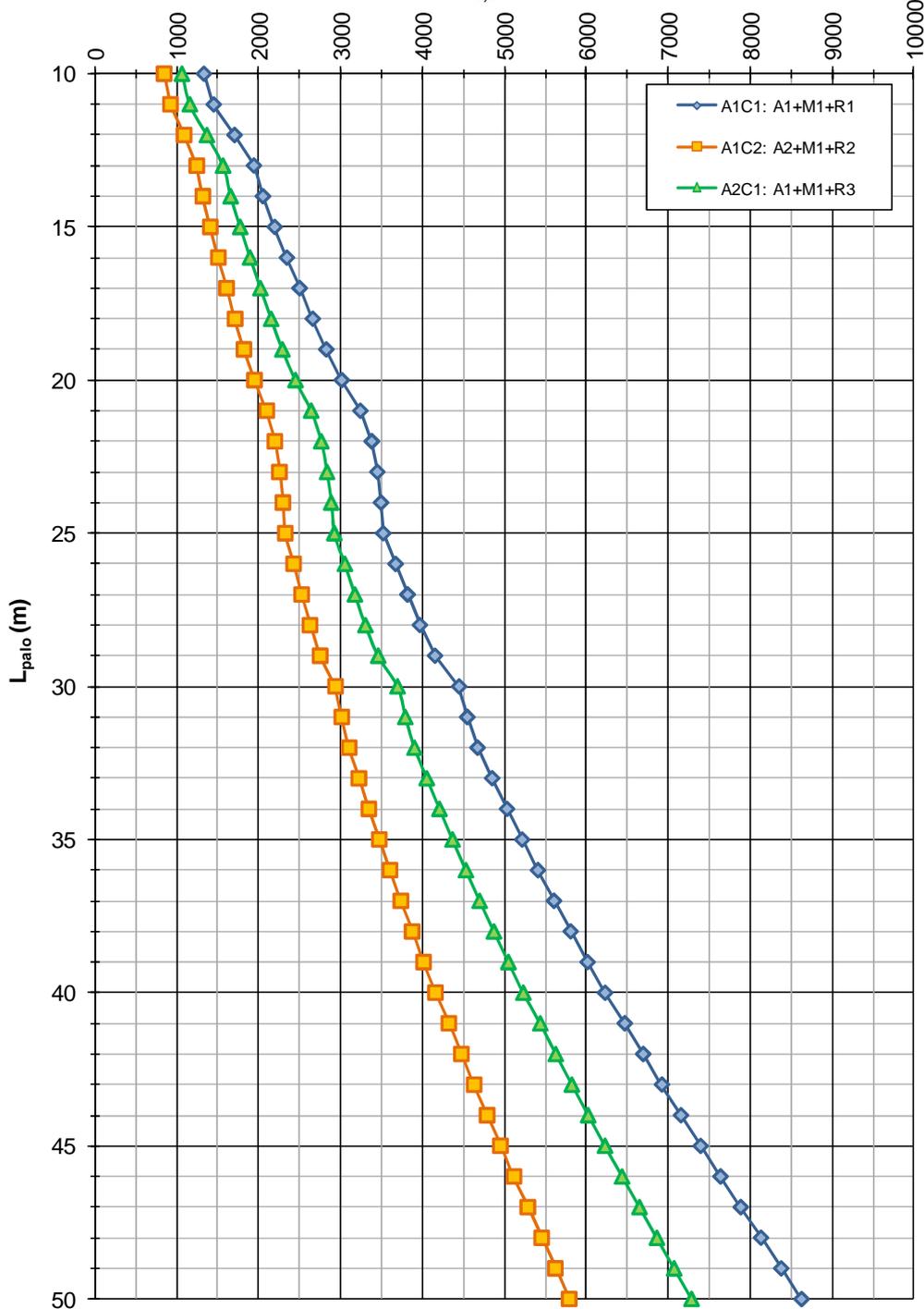


FIGURA 8-3: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

CPO03 - Ponte sul Cavo Vallicella - ZO14
NTC del 14/01/2008
Capacità portante a trazione - Pali trivellati ϕ 1200mm

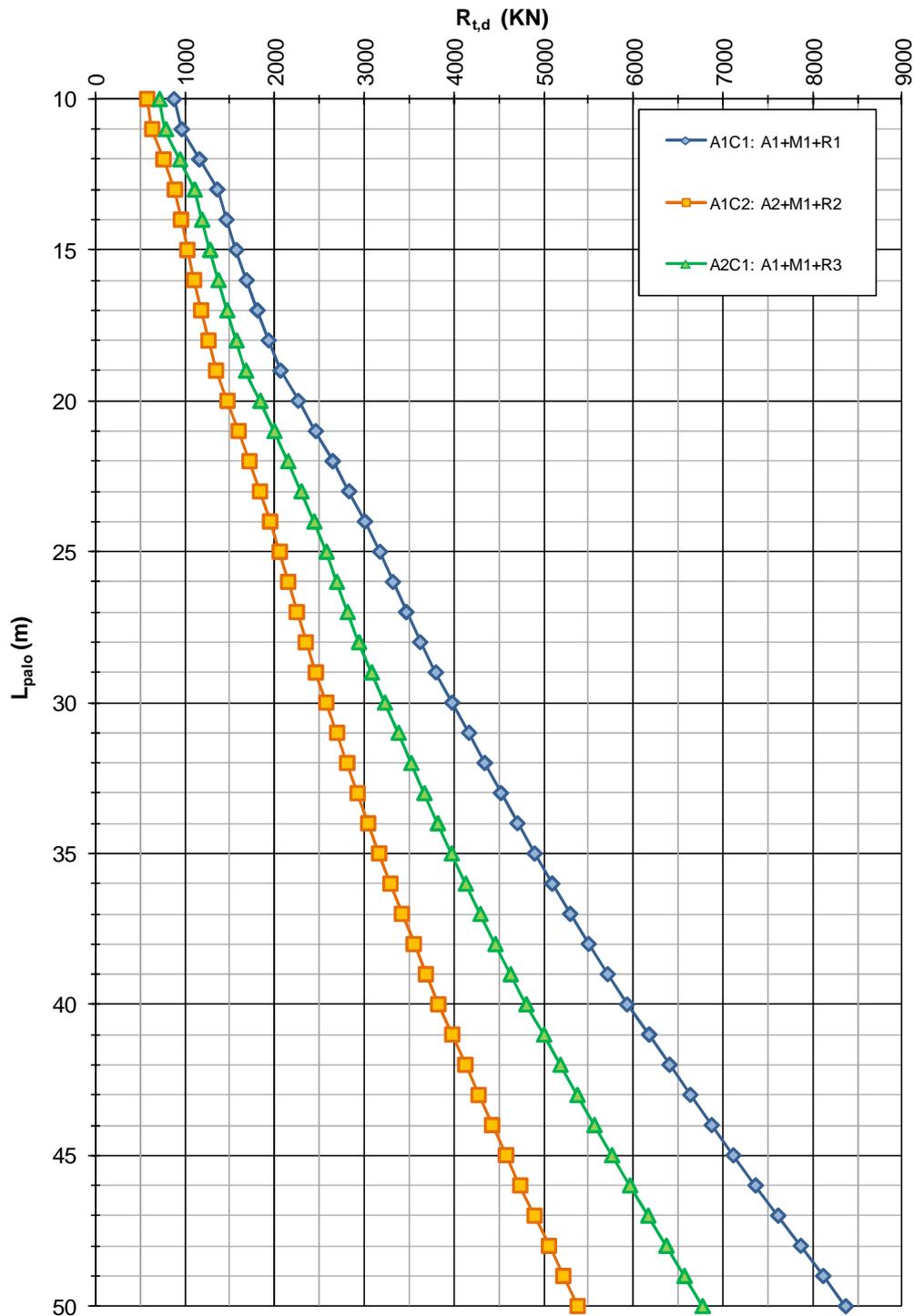


FIGURA 8-4: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Pali trivellati ϕ 1000

Profondità [m]	Capacità Portante di Progetto a Compressione $R_{c,d}$ [kN]			Capacità Portante di Progetto a Trazione $R_{t,d}$ [kN]			Rigidezza assiale K_w [kN/m]
	A1C1: A1+M1+R1	A1C2: A2+M1+R2	A2C1: A1+M1+R3	A1C1: A1+M1+R1	A1C2: A2+M1+R2	A2C1: A1+M1+R3	
1.00	148.94	90.55	113.85	47.27	31.61	38.92	6474.82
2.00	224.66	138.52	174.08	99.30	66.19	81.64	13687.92
3.00	309.78	192.97	242.49	160.74	106.65	131.89	22358.71
4.00	404.31	253.91	319.08	231.59	152.99	189.67	32487.21
5.00	499.03	318.64	400.48	338.69	221.99	276.45	48236.45
6.00	627.30	399.20	501.77	407.31	266.94	332.44	58019.37
7.00	726.66	463.47	582.55	482.97	316.29	394.07	68895.57
8.00	833.06	532.60	669.47	565.69	370.05	461.35	80865.03
9.00	946.52	606.59	762.52	655.47	428.22	534.27	93927.78
10.00	1036.59	664.46	835.23	721.85	471.77	588.48	103365.12
11.00	1131.36	725.56	912.02	792.94	518.26	646.44	113531.32
12.00	1333.58	859.11	1080.15	955.13	621.69	777.30	137818.57
13.00	1523.69	985.81	1239.64	1119.98	726.79	910.28	162518.27
14.00	1613.95	1045.69	1314.91	1205.17	782.09	979.53	174871.01
15.00	1727.53	1119.77	1408.07	1295.06	840.34	1052.54	187952.60
16.00	1845.81	1197.09	1505.31	1389.66	901.53	1129.32	201763.05
17.00	1968.80	1277.66	1606.64	1488.96	965.65	1209.86	216302.34
18.00	2096.48	1361.46	1712.06	1592.96	1032.71	1294.16	231570.48
19.00	2228.87	1448.51	1821.57	1701.67	1102.71	1382.23	247567.47
20.00	2386.19	1555.84	1956.68	1865.78	1207.35	1514.62	272152.76
21.00	2570.44	1678.66	2111.29	2026.39	1309.79	1644.20	296195.06
22.00	2691.85	1764.09	2218.81	2182.75	1409.58	1770.39	319578.70
23.00	2762.52	1819.16	2288.10	2334.13	1506.25	1892.59	342190.61
24.00	2817.61	1864.47	2345.09	2479.67	1599.27	2010.12	363896.63
25.00	2858.10	1900.53	2390.42	2618.55	1688.13	2122.33	384570.66
26.00	2982.78	1984.07	2495.51	2737.35	1764.44	2218.47	402132.56
27.00	3103.15	2065.51	2597.98	2860.48	1843.46	2318.07	420365.97
28.00	3227.85	2149.94	2704.21	2987.94	1925.19	2421.14	439270.89
29.00	3380.37	2252.59	2833.40	3133.72	2018.37	2538.87	461014.64
30.00	3608.06	2399.94	3018.89	3284.22	2114.49	2660.36	483488.81
31.00	3702.52	2469.40	3106.31	3439.55	2213.63	2785.72	506713.03
32.00	3813.10	2547.28	3204.30	3584.30	2306.16	2902.62	528296.95
33.00	3959.41	2646.62	3329.33	3733.38	2401.40	3022.99	550552.39
34.00	4110.06	2748.94	3458.12	3886.79	2499.34	3146.82	573479.34
35.00	4265.04	2854.25	3590.69	4044.54	2599.99	3274.11	597077.81
36.00	4424.36	2962.56	3727.01	4206.62	2703.35	3404.88	621347.79
37.00	4588.01	3073.84	3867.11	4373.03	2809.42	3539.10	646289.28
38.00	4755.98	3188.12	4010.97	4543.77	2918.20	3676.80	671902.30
39.00	4928.30	3305.39	4158.60	4718.84	3029.68	3817.96	698186.82
40.00	5104.94	3425.64	4310.00	4898.25	3143.87	3962.58	725142.87
41.00	5305.61	3562.48	4482.32	5101.87	3273.20	4126.58	755851.94
42.00	5491.39	3689.00	4641.62	5290.08	3392.89	4278.25	784172.21
43.00	5681.17	3818.31	4804.44	5482.62	3515.29	4433.38	813164.01
44.00	5875.28	3950.61	4971.02	5679.50	3640.40	4591.98	842827.32
45.00	6073.72	4085.90	5141.38	5880.70	3768.22	4754.04	873162.15
46.00	6276.50	4224.17	5315.50	6086.24	3898.74	4919.57	904168.49
47.00	6481.91	4364.26	5491.92	6294.42	4030.91	5087.22	935584.41
48.00	6687.33	4504.36	5668.34	6502.61	4163.09	5254.86	967000.34
49.00	6892.75	4644.46	5844.75	6710.79	4295.26	5422.51	998416.27
50.00	7098.17	4784.55	6021.17	6918.97	4427.44	5590.15	1029832.19

Pali trivellati ϕ 1200

Profondità [m]	Capacità Portante di Progetto a Compressione $R_{c,d}$ [kN]			Capacità Portante di Progetto a Trazione $R_{t,d}$ [kN]			Rigidezza assiale K_w [kN/m]
	A1C1: A1+M1+R1	A1C2: A2+M1+R2	A2C1: A1+M1+R3	A1C1: A1+M1+R1	A1C2: A2+M1+R2	A2C1: A1+M1+R3	
1.00	204.45	123.48	155.23	58.04	39.25	48.02	7769.79
2.00	302.32	184.85	232.25	121.80	82.07	100.61	16425.50
3.00	411.47	254.01	319.09	196.85	131.94	162.23	26830.46
4.00	531.91	330.94	415.73	283.18	188.86	232.88	38984.65
5.00	643.92	407.34	511.74	413.03	272.99	338.34	57883.74
6.00	813.48	512.90	644.43	496.68	328.24	406.85	69623.25
7.00	939.71	593.83	746.11	588.80	388.78	482.13	82674.68
8.00	1074.40	680.59	855.16	689.39	454.62	564.18	97038.04
9.00	1217.55	773.19	971.56	798.43	525.74	653.00	112713.33
10.00	1332.64	846.44	1063.55	879.41	579.32	719.37	124038.15
11.00	1453.37	923.58	1160.45	966.04	636.43	790.25	136237.58
12.00	1706.96	1089.95	1369.85	1161.98	761.87	948.59	165382.28
13.00	1942.47	1246.02	1566.27	1361.12	889.30	1109.48	195021.92
14.00	2053.31	1319.06	1658.03	1464.68	956.99	1193.91	209845.22
15.00	2196.62	1411.76	1774.55	1573.87	1028.20	1282.85	225543.13
16.00	2345.56	1508.36	1895.99	1688.71	1102.94	1376.30	242115.65
17.00	2500.15	1608.85	2022.33	1809.18	1181.21	1474.26	259562.80
18.00	2660.38	1713.22	2153.58	1935.31	1263.00	1576.75	277884.57
19.00	2826.25	1821.49	2289.73	2067.07	1348.33	1683.74	297080.96
20.00	3014.72	1949.80	2451.19	2265.33	1475.20	1843.93	326583.32
21.00	3242.81	2100.98	2641.46	2459.38	1599.45	2000.75	355434.07
22.00	3381.43	2199.03	2764.80	2648.33	1720.52	2153.50	383494.44
23.00	3448.19	2254.19	2834.13	2831.30	1837.85	2301.46	410628.74
24.00	3493.90	2296.26	2886.97	3007.27	1950.79	2443.81	436675.95
25.00	3520.21	2326.10	2924.41	3175.24	2058.75	2579.78	461484.79
26.00	3672.55	2427.64	3052.10	3319.12	2151.64	2696.46	482559.07
27.00	3817.65	2525.44	3175.09	3468.20	2247.78	2817.31	504439.16
28.00	3967.94	2626.84	3302.61	3622.48	2347.18	2942.32	527125.07
29.00	4153.90	2751.43	3459.38	3798.73	2460.30	3084.90	553217.57
30.00	4446.98	2939.61	3696.22	3980.64	2576.97	3232.02	580186.57
31.00	4547.04	3014.85	3790.83	4168.36	2697.26	3383.77	608055.64
32.00	4672.85	3103.94	3902.88	4343.38	2809.61	3525.37	633956.35
33.00	4849.09	3223.22	4052.96	4523.60	2925.22	3671.13	660662.87
34.00	5030.52	3346.08	4207.55	4709.01	3044.07	3821.04	688175.21
35.00	5217.16	3472.54	4366.67	4899.63	3166.17	3975.12	716493.37
36.00	5408.99	3602.57	4530.30	5095.44	3291.53	4133.35	745617.34
37.00	5606.02	3736.19	4698.46	5296.45	3420.13	4295.75	775547.14
38.00	5808.25	3873.40	4871.14	5502.66	3551.98	4462.30	806282.76
39.00	6015.68	4014.19	5048.34	5714.07	3687.08	4633.01	837824.19
40.00	6228.31	4158.57	5230.05	5930.68	3825.43	4807.88	870171.44
41.00	6469.73	4322.84	5436.84	6176.35	3981.94	5005.99	907022.32
42.00	6693.40	4474.78	5628.10	6403.52	4126.89	5189.31	941006.66
43.00	6921.79	4630.03	5823.53	6635.89	4275.09	5376.79	975796.81
44.00	7155.38	4788.86	6023.47	6873.45	4426.54	5568.43	1011392.78
45.00	7394.17	4951.28	6227.94	7116.22	4581.23	5764.23	1047794.58
46.00	7638.15	5117.28	6436.92	7364.19	4739.18	5964.18	1085002.19
47.00	7885.31	5285.47	6648.67	7615.32	4899.11	6166.68	1122701.30
48.00	8132.47	5453.67	6860.41	7866.46	5059.04	6369.17	1160400.41
49.00	8379.62	5621.86	7072.15	8117.60	5218.97	6571.66	1198099.52
50.00	8626.78	5790.05	7283.90	8368.74	5378.90	6774.16	1235798.63

9. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI TRASVERSALI

Nel seguito si riportano i calcoli di capacità portante del singolo palo di fondazione soggetto a carichi trasversali, con riferimento a pali trivellati ϕ 1000 e ϕ 1200.

Il calcolo viene condotto secondo i seguenti approcci con riferimento al DM 14/01/2008 Par.6.4.3:

- Approccio 1: combinazioni A1+M1+R1 e A2+M1+R2;
- Approccio 2: combinazione A1+M1+R3;

e con riferimento alla seguente bibliografia:

- AGI – Raccomandazioni sui pali di fondazione (1984);
- Viggiani C. – Fondazioni – Hevelius Edizioni
- Frank R. - Calcul des fondations superficielles et profondes – Techniques de l'ingénieur (IT) – Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées
- Poulus H.G., Davis E.H. – Analisi e progettazione di fondazioni su pali – Libreria Dario Flaccovio Editrice.

I grafici sottostanti riportano le resistenze di progetto dei pali in funzione del momento resistente della sezione, i calcoli sono stati svolti considerando la testa del palo incastrata alla quota di riferimento.

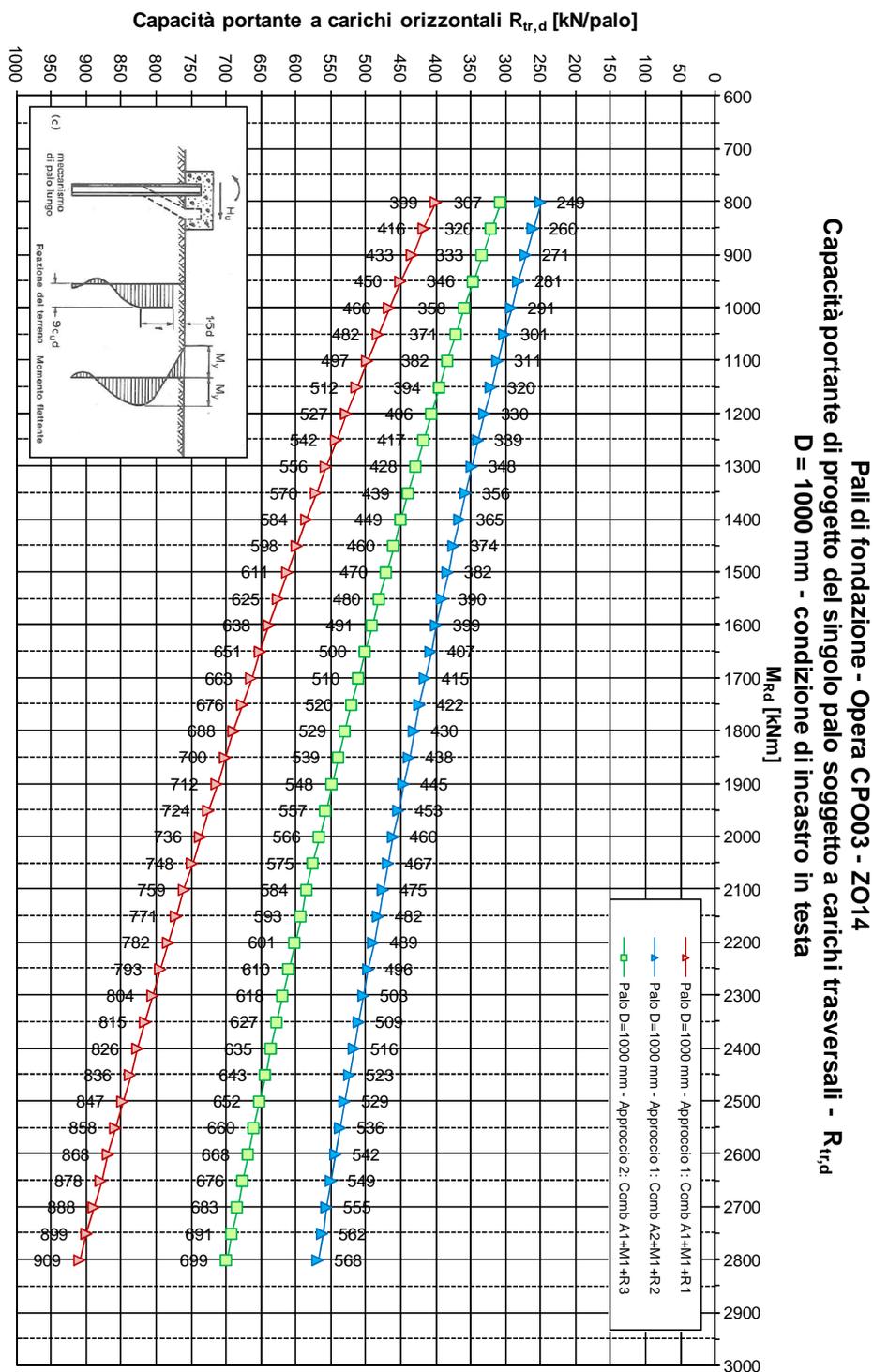


FIGURA 9-1: CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

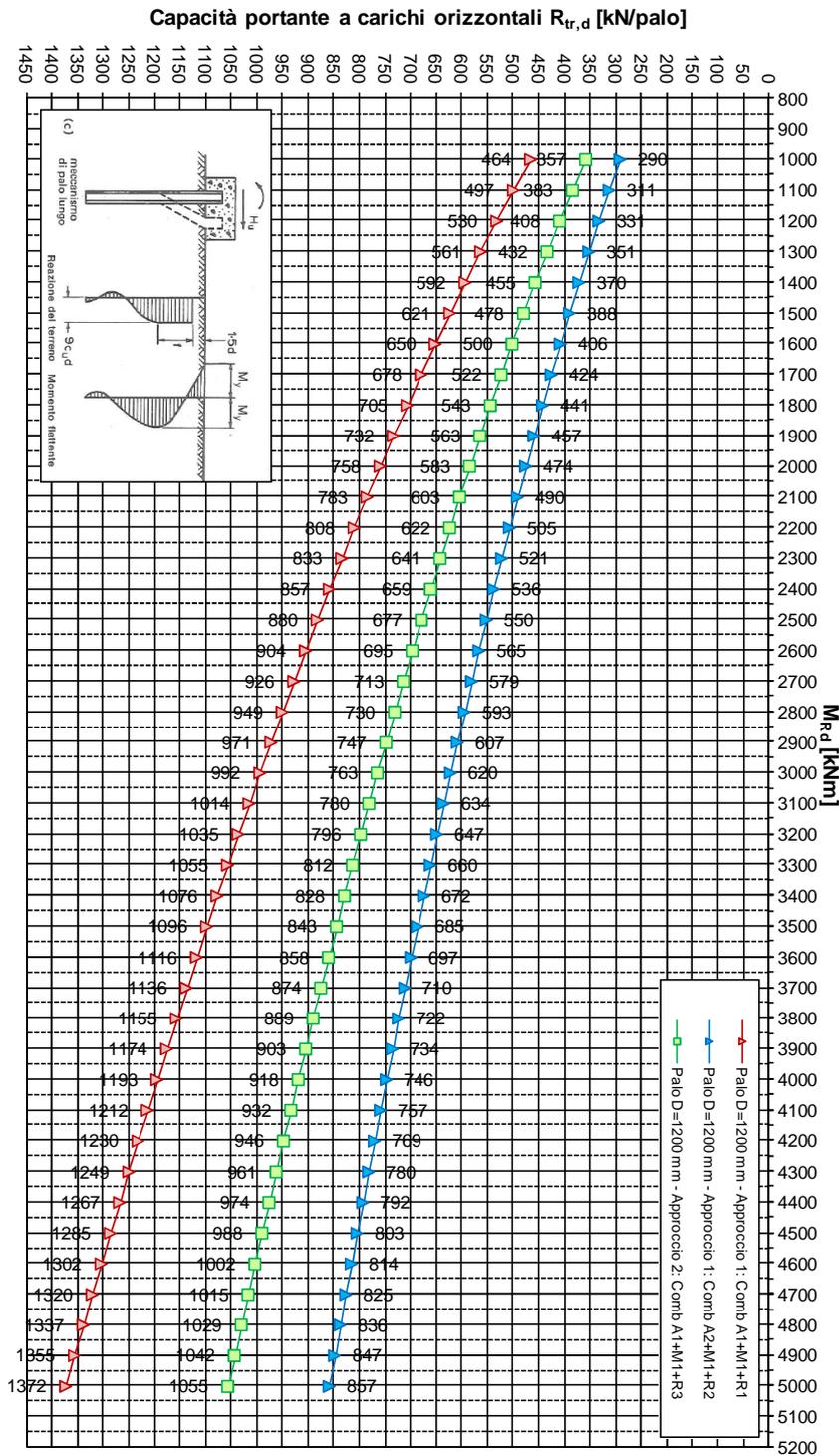


FIGURA 9-2: CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

10. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ORIZZONTALI

Il comportamento del palo soggetto ai carichi trasversali al proprio asse (forze orizzontali e momenti flettenti) può essere rappresentato dalla teoria elastica di Matlock e Reese (1960).

Il calcolo viene condotto con riferimento alla seguente bibliografia:

- Viggiani C. – Fondazioni – Hevelius Edizioni
- Poulos H.G., Davis E.H. – Analisi e progettazione di fondazioni su pali – Libreria Dario Flaccovio Editrice.

La valutazione delle sollecitazioni lungo il palo singolo caricato da una forza orizzontale (H) viene effettuata secondo la teoria sopracitata per un modulo unitario (1000 kN).

Le grandezze così calcolate, in ragione della linearità del metodo, potranno essere combinate linearmente a seconda delle azioni di progetto.

Di seguito si riportano i grafici di momento flettente, taglio, spostamento e rotazione per i pali trivellati ϕ 1000 e ϕ 1200. A seguire si riportano i tabulati di derivazione dei grafici stessi.

Pali di fondazione da p.c. - Opera CPO03 - Z014
 Diagrammi di sollecitazione flettente e tagliante per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

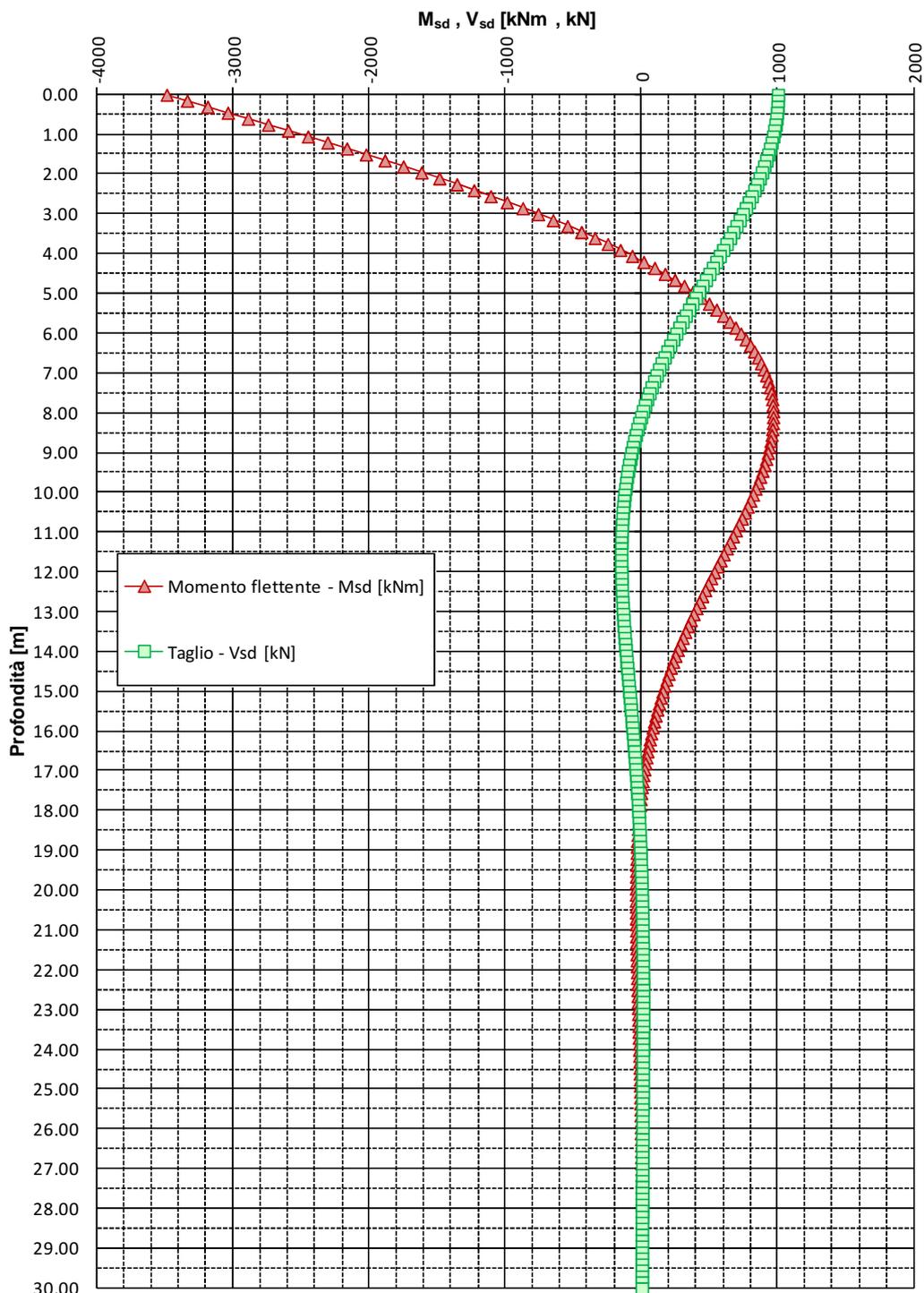


FIGURA 10-1: ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTE E TAGLIANTE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

Pali di fondazione da p.c. - Opera CPO03 - ZO14
Diagrammi di spostamento e rotazione per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

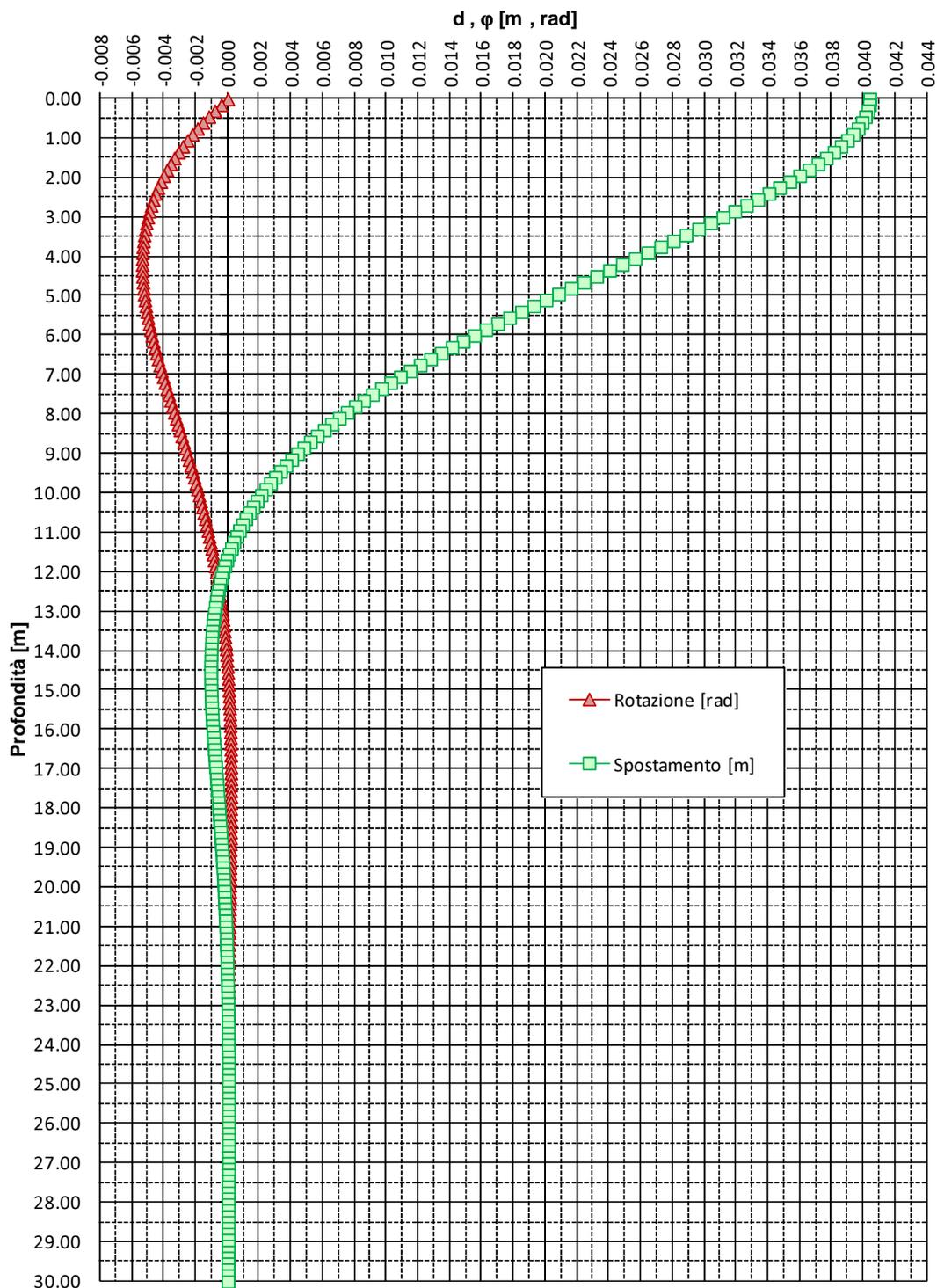


FIGURA 10-2: SPOSTAMENTI E ROTAZIONI – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

Pali di fondazione da p.c. - Opera CPO03 - Z014
Diagrammi di sollecitazione flettente e tagliante per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1200 mm - condizione di incastro in testa

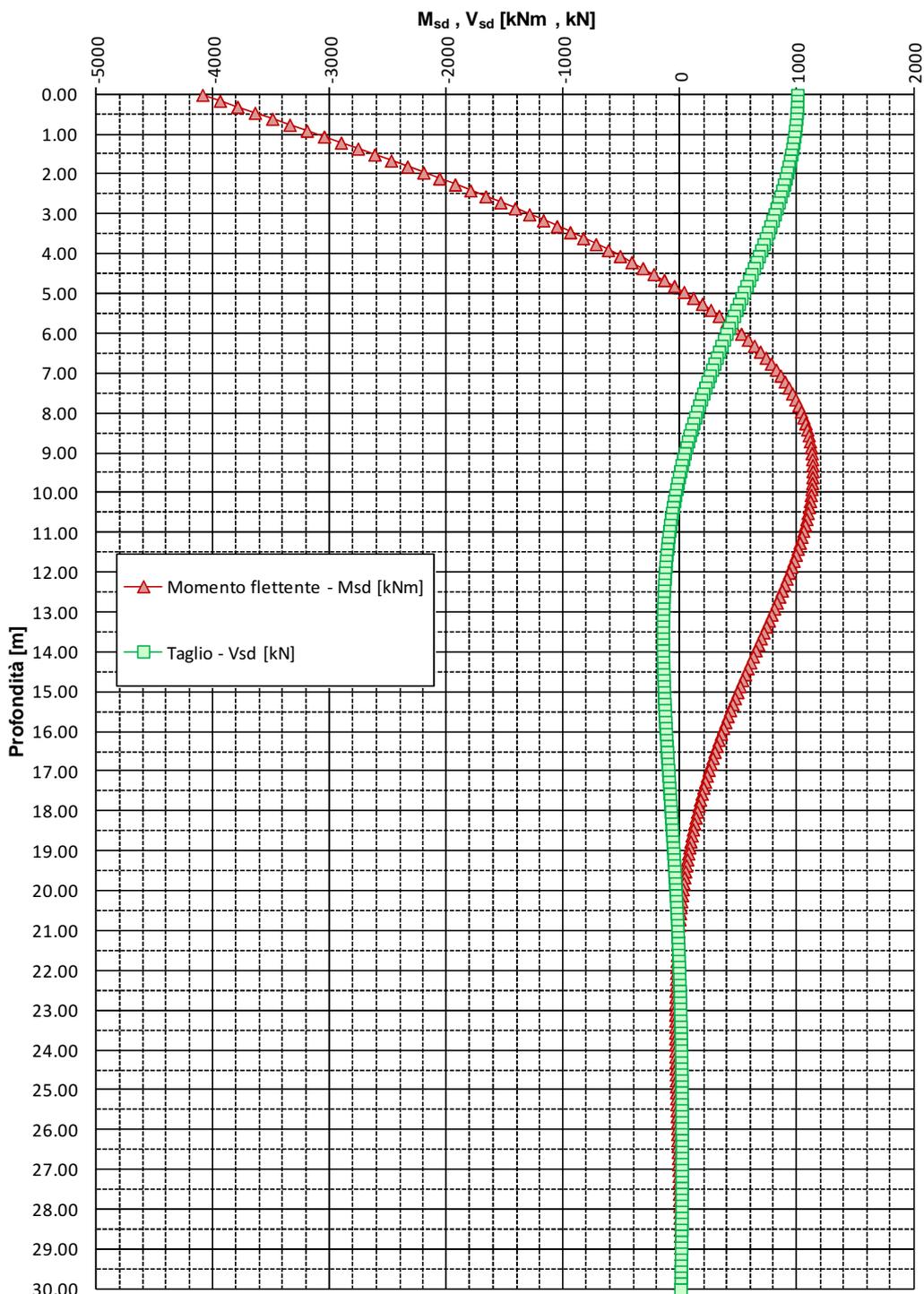


FIGURA 10-3: ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTE E TAGLIANTE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Pali di fondazione da p.c. - Opera CPO03 - ZO14

Diagrammi di spostamento e rotazione per un'azione orizzontale di 1000kN

D = 1200 mm - condizione di incastro in testa

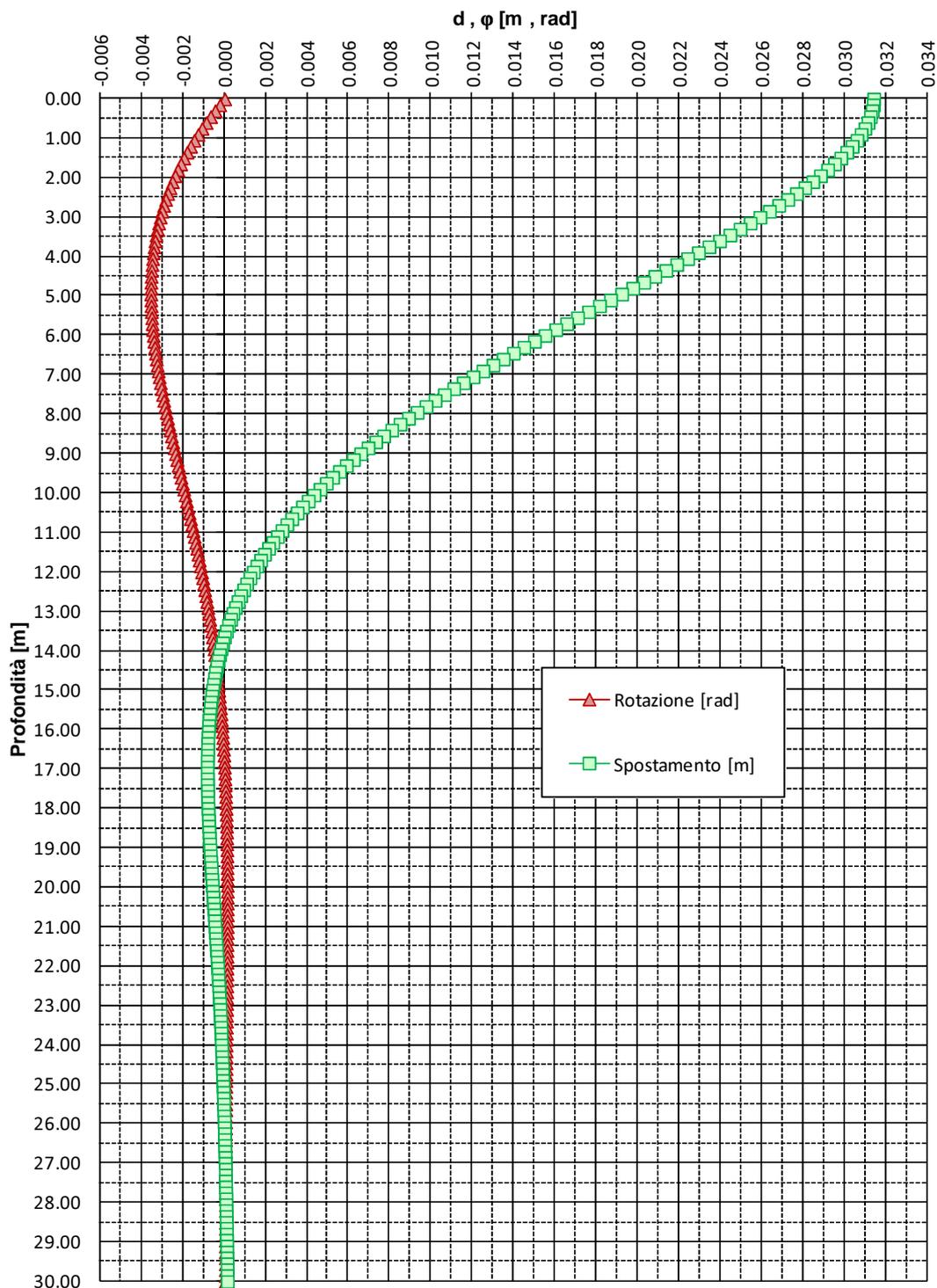


FIGURA 10-4: SPOSTAMENTI E ROTAZIONI – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Pali trivellati ϕ 1000

Profondità	Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio	Profondità	Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio	Profondità	Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio
[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]
0.00	0.04	0.00	-3491.34	1000.00	10.05	0.00	0.00	816.35	-127.05	20.10	0.00	0.00	-43.81	-0.89
0.15	0.04	0.00	-3341.38	999.26	10.20	0.00	0.00	796.92	-131.90	20.25	0.00	0.00	-43.86	0.19
0.30	0.04	0.00	-3191.66	997.06	10.35	0.00	0.00	776.81	-136.18	20.40	0.00	0.00	-43.76	1.19
0.45	0.04	0.00	-3042.31	993.39	10.50	0.00	0.00	756.09	-139.90	20.55	0.00	0.00	-43.51	2.11
0.60	0.04	0.00	-2893.70	988.30	10.65	0.00	0.00	734.86	-143.10	20.70	0.00	0.00	-43.13	2.95
0.75	0.04	0.00	-2745.95	981.77	10.80	0.00	0.00	713.19	-145.79	20.85	0.00	0.00	-42.63	3.72
0.90	0.04	0.00	-2599.30	973.86	10.95	0.00	0.00	691.15	-147.97	21.00	0.00	0.00	-42.02	4.42
1.05	0.04	0.00	-2453.88	964.58	11.10	0.00	0.00	668.82	-149.69	21.15	0.00	0.00	-41.31	5.04
1.20	0.04	0.00	-2309.93	953.98	11.25	0.00	0.00	646.26	-150.96	21.30	0.00	0.00	-40.51	5.60
1.35	0.04	0.00	-2167.70	942.10	11.40	0.00	0.00	623.56	-151.78	21.45	0.00	0.00	-39.63	6.10
1.50	0.04	0.00	-2027.43	928.98	11.55	0.00	0.00	600.76	-152.20	21.60	0.00	0.00	-38.68	6.54
1.65	0.04	0.00	-1889.13	914.68	11.70	0.00	0.00	577.92	-152.22	21.75	0.00	0.00	-37.67	6.92
1.80	0.04	0.00	-1753.03	899.24	11.85	0.00	0.00	555.10	-151.88	21.90	0.00	0.00	-36.61	7.25
1.95	0.04	0.00	-1619.39	882.71	12.00	0.00	0.00	532.36	-151.16	22.05	0.00	0.00	-35.50	7.53
2.10	0.04	0.00	-1488.33	865.17	12.15	0.00	0.00	509.77	-150.13	22.20	0.00	0.00	-34.35	7.75
2.25	0.03	0.00	-1359.84	846.66	12.30	0.00	0.00	487.34	-148.80	22.35	0.00	0.00	-33.17	7.94
2.40	0.03	0.00	-1234.30	827.25	12.45	0.00	0.00	465.14	-147.16	22.50	0.00	0.00	-31.97	8.07
2.55	0.03	0.00	-1111.76	806.98	12.60	0.00	0.00	443.21	-145.26	22.65	0.00	0.00	-30.75	8.17
2.70	0.03	0.00	-992.28	785.94	12.75	0.00	0.00	421.57	-143.11	22.80	0.00	0.00	-29.52	8.23
2.85	0.03	0.00	-876.00	764.19	12.90	0.00	0.00	400.28	-140.72	22.95	0.00	0.00	-28.28	8.26
3.00	0.03	-0.01	-763.05	741.78	13.05	0.00	0.00	379.37	-138.13	23.10	0.00	0.00	-27.05	8.25
3.15	0.03	-0.01	-653.50	718.80	13.20	0.00	0.00	358.85	-135.35	23.25	0.00	0.00	-25.81	8.22
3.30	0.03	-0.01	-547.43	695.30	13.35	0.00	0.00	338.78	-132.38	23.40	0.00	0.00	-24.58	8.15
3.45	0.03	-0.01	-444.93	671.34	13.50	0.00	0.00	319.15	-129.25	23.55	0.00	0.00	-23.37	8.06
3.60	0.03	-0.01	-346.05	647.00	13.65	0.00	0.00	300.01	-125.98	23.70	0.00	0.00	-22.17	7.95
3.75	0.03	-0.01	-250.85	622.32	13.80	0.00	0.00	281.36	-122.60	23.85	0.00	0.00	-20.98	7.81
3.90	0.03	-0.01	-159.36	597.38	13.95	0.00	0.00	263.23	-119.10	24.00	0.00	0.00	-19.82	7.66
4.05	0.03	-0.01	-71.64	572.25	14.10	0.00	0.00	245.63	-115.51	24.15	0.00	0.00	-18.69	7.49
4.20	0.02	-0.01	12.30	546.97	14.25	0.00	0.00	228.59	-111.84	24.30	0.00	0.00	-17.58	7.30
4.35	0.02	-0.01	92.45	521.61	14.40	0.00	0.00	212.08	-108.11	24.45	0.00	0.00	-16.50	7.10
4.50	0.02	-0.01	168.79	496.24	14.55	0.00	0.00	196.15	-104.33	24.60	0.00	0.00	-15.45	6.89
4.65	0.02	-0.01	241.33	470.90	14.70	0.00	0.00	180.79	-100.51	24.75	0.00	0.00	-14.43	6.66
4.80	0.02	-0.01	310.06	445.64	14.85	0.00	0.00	166.00	-96.67	24.90	0.00	0.00	-13.45	6.43
4.95	0.02	-0.01	375.02	420.53	15.00	0.00	0.00	151.79	-92.81	25.05	0.00	0.00	-12.50	6.19
5.10	0.02	-0.01	436.23	395.61	15.15	0.00	0.00	138.16	-88.95	25.20	0.00	0.00	-11.59	5.95
5.25	0.02	-0.01	493.71	370.92	15.30	0.00	0.00	125.10	-85.11	25.35	0.00	0.00	-10.72	5.70
5.40	0.02	-0.01	547.52	346.52	15.45	0.00	0.00	112.63	-81.28	25.50	0.00	0.00	-9.88	5.45
5.55	0.02	-0.01	597.69	322.46	15.60	0.00	0.00	100.72	-77.47	25.65	0.00	0.00	-9.08	5.19
5.70	0.02	0.00	644.27	298.76	15.75	0.00	0.00	89.38	-73.71	25.80	0.00	0.00	-8.32	4.94
5.85	0.02	0.00	687.33	275.47	15.90	0.00	0.00	78.60	-69.99	25.95	0.00	0.00	-7.60	4.68
6.00	0.02	0.00	726.94	252.62	16.05	0.00	0.00	68.38	-66.33	26.10	0.00	0.00	-6.92	4.43
6.15	0.01	0.00	763.14	230.26	16.20	0.00	0.00	58.70	-62.72	26.25	0.00	0.00	-6.27	4.18
6.30	0.01	0.00	796.04	208.40	16.35	0.00	0.00	49.56	-59.18	26.40	0.00	0.00	-5.67	3.93
6.45	0.01	0.00	825.69	187.08	16.50	0.00	0.00	40.95	-55.71	26.55	0.00	0.00	-5.10	3.68
6.60	0.01	0.00	852.19	166.34	16.65	0.00	0.00	32.84	-52.32	26.70	0.00	0.00	-4.56	3.44
6.75	0.01	0.00	875.62	146.18	16.80	0.00	0.00	25.25	-49.01	26.85	0.00	0.00	-4.07	3.20
6.90	0.01	0.00	896.08	126.65	16.95	0.00	0.00	18.14	-45.79	27.00	0.00	0.00	-3.60	2.96
7.05	0.01	0.00	913.65	107.74	17.10	0.00	0.00	11.50	-42.66	27.15	0.00	0.00	-3.18	2.74
7.20	0.01	0.00	928.43	89.48	17.25	0.00	0.00	5.34	-39.62	27.30	0.00	0.00	-2.78	2.52
7.35	0.01	0.00	940.53	71.88	17.40	0.00	0.00	-0.39	-36.67	27.45	0.00	0.00	-2.42	2.30
7.50	0.01	0.00	950.02	54.96	17.55	0.00	0.00	-5.67	-33.82	27.60	0.00	0.00	-2.09	2.09
7.65	0.01	0.00	957.04	38.73	17.70	0.00	0.00	-10.54	-31.08	27.75	0.00	0.00	-1.79	1.89
7.80	0.01	0.00	961.68	23.19	17.85	0.00	0.00	-15.00	-28.43	27.90	0.00	0.00	-1.52	1.70
7.95	0.01	0.00	964.04	8.35	18.00	0.00	0.00	-19.07	-25.89	28.05	0.00	0.00	-1.28	1.52
8.10	0.01	0.00	964.22	-5.79	18.15	0.00	0.00	-22.77	-23.45	28.20	0.00	0.00	-1.07	1.34
8.25	0.01	0.00	962.33	-19.22	18.30	0.00	0.00	-26.11	-21.11	28.35	0.00	0.00	-0.88	1.18
8.40	0.01	0.00	958.49	-31.94	18.45	0.00	0.00	-29.11	-18.88	28.50	0.00	0.00	-0.71	1.02
8.55	0.01	0.00	952.79	-43.96	18.60	0.00	0.00	-31.78	-16.75	28.65	0.00	0.00	-0.57	0.87
8.70	0.01	0.00	945.34	-55.28	18.75	0.00	0.00	-34.14	-14.72	28.80	0.00	0.00	-0.45	0.73
8.85	0.00	0.00	936.24	-65.91	18.90	0.00	0.00	-36.20	-12.80	28.95	0.00	0.00	-0.35	0.60
9.00	0.00	0.00	925.60	-75.85	19.05	0.00	0.00	-37.98	-10.97	29.10	0.00	0.00	-0.27	0.48
9.15	0.00	0.00	913.52	-85.11	19.20	0.00	0.00	-39.50	-9.25	29.25	0.00	0.00	-0.21	0.37
9.30	0.00	0.00	900.10	-93.70	19.35	0.00	0.00	-40.76	-7.62	29.40	0.00	0.00	-0.16	0.26
9.45	0.00	0.00	885.44	-101.63	19.50	0.00	0.00	-41.79	-6.09	29.55	0.00	0.00	-0.13	0.17
9.60	0.00	0.00	869.64	-108.92	19.65	0.00	0.00	-42.60	-4.65	29.70	0.00	0.00	-0.11	0.09
9.75	0.00	0.00	852.80	-115.57	19.80	0.00	0.00	-43.19	-3.31	29.85	0.00	0.00	-0.10	0.02
9.90	0.00	0.00	835.00	-121.61	19.95	0.00	0.00	-43.59	-2.06	30.00	0.00	0.00	-0.10	-0.04

Pali trivellati ϕ 1200

Profondità	Spostamento				Profondità	Spostamento				Profondità	Spostamento			
	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]		[m]	[cm]	[rad]	[kNm]		[m]	[cm]	[rad]	[kNm]
0.00	0.03	0.00	-4094.15	1000.01	10.05	0.00	0.00	1115.95	-45.61	20.10	0.00	0.00	12.48	-40.98
0.15	0.03	0.00	-3944.27	999.45	10.20	0.00	0.00	1108.39	-55.23	20.25	0.00	0.00	6.53	-38.36
0.30	0.03	0.00	-3794.39	997.85	10.35	0.00	0.00	1099.41	-64.34	20.40	0.00	0.00	0.97	-35.80
0.45	0.03	0.00	-3644.76	995.20	10.50	0.00	0.00	1089.10	-72.95	20.55	0.00	0.00	-4.21	-33.32
0.60	0.03	0.00	-3495.90	991.46	10.65	0.00	0.00	1077.55	-81.07	20.70	0.00	0.00	-9.03	-30.91
0.75	0.03	0.00	-3347.54	986.70	10.80	0.00	0.00	1064.80	-88.70	20.85	0.00	0.00	-13.48	-28.56
0.90	0.03	0.00	-3199.95	980.93	10.95	0.00	0.00	1050.96	-95.84	21.00	0.00	0.00	-17.60	-26.30
1.05	0.03	0.00	-3053.12	974.11	11.10	0.00	0.00	1036.07	-102.51	21.15	0.00	0.00	-21.38	-24.10
1.20	0.03	0.00	-2907.82	966.32	11.25	0.00	0.00	1020.24	-108.70	21.30	0.00	0.00	-24.83	-21.98
1.35	0.03	0.00	-2763.28	957.57	11.40	0.00	0.00	1003.50	-114.44	21.45	0.00	0.00	-27.98	-19.94
1.50	0.03	0.00	-2620.52	947.87	11.55	0.00	0.00	985.91	-119.73	21.60	0.00	0.00	-30.82	-17.97
1.65	0.03	0.00	-2479.09	937.26	11.70	0.00	0.00	967.59	-124.57	21.75	0.00	0.00	-33.37	-16.07
1.80	0.03	0.00	-2339.33	925.76	11.85	0.00	0.00	948.58	-128.98	21.90	0.00	0.00	-35.64	-14.25
1.95	0.03	0.00	-2201.39	913.39	12.00	0.00	0.00	928.91	-132.97	22.05	0.00	0.00	-37.65	-12.50
2.10	0.03	0.00	-2065.37	900.21	12.15	0.00	0.00	908.71	-136.55	22.20	0.00	0.00	-39.39	-10.83
2.25	0.03	0.00	-1931.37	886.24	12.30	0.00	0.00	887.97	-139.73	22.35	0.00	0.00	-40.90	-9.23
2.40	0.03	0.00	-1799.53	871.51	12.45	0.00	0.00	866.80	-142.52	22.50	0.00	0.00	-42.17	-7.70
2.55	0.03	0.00	-1669.95	856.08	12.60	0.00	0.00	845.24	-144.94	22.65	0.00	0.00	-43.21	-6.24
2.70	0.03	0.00	-1542.74	839.95	12.75	0.00	0.00	823.33	-146.98	22.80	0.00	0.00	-44.04	-4.85
2.85	0.03	0.00	-1418.00	823.18	12.90	0.00	0.00	801.17	-148.68	22.95	0.00	0.00	-44.67	-3.54
3.00	0.03	0.00	-1295.81	805.83	13.05	0.00	0.00	778.75	-150.04	23.10	0.00	0.00	-45.10	-2.29
3.15	0.03	0.00	-1176.28	787.89	13.20	0.00	0.00	756.18	-151.07	23.25	0.00	0.00	-45.36	-1.11
3.30	0.02	0.00	-1059.48	769.44	13.35	0.00	0.00	733.46	-151.78	23.40	0.00	0.00	-45.44	0.01
3.45	0.02	0.00	-945.48	750.51	13.50	0.00	0.00	710.66	-152.19	23.55	0.00	0.00	-45.36	1.05
3.60	0.02	0.00	-834.35	731.11	13.65	0.00	0.00	687.80	-152.31	23.70	0.00	0.00	-45.13	2.04
3.75	0.02	0.00	-726.15	711.34	13.80	0.00	0.00	664.98	-152.16	23.85	0.00	0.00	-44.75	2.96
3.90	0.02	0.00	-620.96	691.19	13.95	0.00	0.00	642.18	-151.74	24.00	0.00	0.00	-44.24	3.82
4.05	0.02	0.00	-518.81	670.73	14.10	0.00	0.00	619.45	-151.07	24.15	0.00	0.00	-43.61	4.62
4.20	0.02	0.00	-419.75	649.96	14.25	0.00	0.00	596.86	-150.16	24.30	0.00	0.00	-42.86	5.36
4.35	0.02	0.00	-323.84	628.97	14.40	0.00	0.00	574.41	-149.03	24.45	0.00	0.00	-42.01	6.04
4.50	0.02	0.00	-231.07	607.80	14.55	0.00	0.00	552.17	-147.68	24.60	0.00	0.00	-41.05	6.67
4.65	0.02	0.00	-141.51	586.42	14.70	0.00	0.00	530.14	-146.13	24.75	0.00	0.00	-40.01	7.24
4.80	0.02	0.00	-55.15	564.95	14.85	0.00	0.00	508.33	-144.39	24.90	0.00	0.00	-38.88	7.76
4.95	0.02	0.00	27.97	543.37	15.00	0.00	0.00	486.82	-142.48	25.05	0.00	0.00	-37.68	8.22
5.10	0.02	0.00	107.86	521.74	15.15	0.00	0.00	465.60	-140.40	25.20	0.00	0.00	-36.42	8.64
5.25	0.02	0.00	184.50	500.11	15.30	0.00	0.00	444.71	-138.16	25.35	0.00	0.00	-35.10	9.00
5.40	0.02	0.00	257.88	478.48	15.45	0.00	0.00	424.15	-135.79	25.50	0.00	0.00	-33.72	9.32
5.55	0.02	0.00	328.04	456.90	15.60	0.00	0.00	403.97	-133.28	25.65	0.00	0.00	-32.30	9.58
5.70	0.02	0.00	394.96	435.42	15.75	0.00	0.00	384.17	-130.66	25.80	0.00	0.00	-30.85	9.81
5.85	0.02	0.00	458.68	414.05	15.90	0.00	0.00	364.78	-127.92	25.95	0.00	0.00	-29.36	9.98
6.00	0.02	0.00	519.19	392.82	16.05	0.00	0.00	345.80	-125.09	26.10	0.00	0.00	-27.85	10.12
6.15	0.01	0.00	576.52	371.78	16.20	0.00	0.00	327.27	-122.17	26.25	0.00	0.00	-26.33	10.20
6.30	0.01	0.00	630.73	350.94	16.35	0.00	0.00	309.15	-119.17	26.40	0.00	0.00	-24.80	10.25
6.45	0.01	0.00	681.82	330.35	16.50	0.00	0.00	291.52	-116.10	26.55	0.00	0.00	-23.26	10.26
6.60	0.01	0.00	729.84	309.99	16.65	0.00	0.00	274.34	-112.97	26.70	0.00	0.00	-21.72	10.22
6.75	0.01	0.00	774.83	289.94	16.80	0.00	0.00	257.62	-109.79	26.85	0.00	0.00	-20.19	10.14
6.90	0.01	0.00	816.85	270.20	16.95	0.00	0.00	241.40	-106.57	27.00	0.00	0.00	-18.68	10.03
7.05	0.01	0.00	855.91	250.76	17.10	0.00	0.00	225.66	-103.31	27.15	0.00	0.00	-17.19	9.88
7.20	0.01	0.00	892.09	231.69	17.25	0.00	0.00	210.41	-100.03	27.30	0.00	0.00	-15.72	9.68
7.35	0.01	0.00	925.43	212.99	17.40	0.00	0.00	195.65	-96.73	27.45	0.00	0.00	-14.28	9.46
7.50	0.01	0.00	955.99	194.68	17.55	0.00	0.00	181.39	-93.42	27.60	0.00	0.00	-12.88	9.19
7.65	0.01	0.00	983.85	176.77	17.70	0.00	0.00	167.62	-90.11	27.75	0.00	0.00	-11.53	8.89
7.80	0.01	0.00	1009.05	159.29	17.85	0.00	0.00	154.35	-86.80	27.90	0.00	0.00	-10.22	8.55
7.95	0.01	0.00	1031.67	142.24	18.00	0.00	0.00	141.58	-83.49	28.05	0.00	0.00	-8.97	8.17
8.10	0.01	0.00	1051.75	125.64	18.15	0.00	0.00	129.31	-80.21	28.20	0.00	0.00	-7.77	7.76
8.25	0.01	0.00	1069.38	109.50	18.30	0.00	0.00	117.52	-76.94	28.35	0.00	0.00	-6.64	7.31
8.40	0.01	0.00	1084.62	93.83	18.45	0.00	0.00	106.22	-73.70	28.50	0.00	0.00	-5.58	6.83
8.55	0.01	0.00	1097.55	78.64	18.60	0.00	0.00	95.41	-70.49	28.65	0.00	0.00	-4.59	6.31
8.70	0.01	0.00	1108.24	63.94	18.75	0.00	0.00	85.07	-67.31	28.80	0.00	0.00	-3.69	5.75
8.85	0.01	0.00	1116.76	49.74	18.90	0.00	0.00	75.21	-64.18	28.95	0.00	0.00	-2.87	5.16
9.00	0.01	0.00	1123.18	36.03	19.05	0.00	0.00	65.82	-61.09	29.10	0.00	0.00	-2.14	4.54
9.15	0.01	0.00	1127.58	22.83	19.20	0.00	0.00	56.88	-58.05	29.25	0.00	0.00	-1.51	3.87
9.30	0.01	0.00	1130.05	10.15	19.35	0.00	0.00	48.40	-55.06	29.40	0.00	0.00	-0.98	3.17
9.45	0.01	0.00	1130.66	-2.03	19.50	0.00	0.00	40.36	-52.12	29.55	0.00	0.00	-0.56	2.43
9.60	0.01	0.00	1129.46	-13.70	19.65	0.00	0.00	32.76	-49.24	29.70	0.00	0.00	-0.25	1.66
9.75	0.00	0.00	1126.59	-24.85	19.80	0.00	0.00	25.59	-46.43	29.85	0.00	0.00	-0.06	0.85
9.90	0.00	0.00	1122.06	-35.48	19.95	0.00	0.00	18.83	-43.67	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00

11. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI ASSIALI

Il carico limite $Q_{lim,N}$ di un gruppo di N pali differisce, in generale, dal prodotto del carico limite Q_{lim} del singolo palo per il numero N dei pali del gruppo.

Si pone:

$$Q_{lim,N} = N \cdot E_v \cdot Q_{lim}$$

dove il fattore E è detto efficienza della palificata.

Tale carico limite viene confrontato in fase progettuale con l'azione verticale P totale agente sulla palificata (ipotesi di palificata soggetta a solo carico verticale e quindi distribuzione uniforme del carico P sui pali).

In realtà, l'eventuale presenza di azioni flessionali in testa palificata determina una non omogeneità degli sforzi assiali agenti sul singolo palo; di conseguenza, il soddisfacimento della verifica di capacità portante del gruppo di pali NON implica il soddisfacimento della verifica di capacità portante del singolo palo.

11.1. TERRENI COESIVI

11.1.1. Pali con interasse superiore a 3 diametri

L'efficienza per terreni coesivi è pari a:

- $E_v=1$ per interasse dei pali di 8 diametri;
- $E_v=0.7$ per interasse dei pali di 3 diametri;
- $0.7 < E_v < 1$ per interasse dei pali compreso fra 3 e 8 diametri.

Per un gruppo costituito da " m " file di pali con " n " pali per ciascuna fila, si potrà adottare la formula empirica di Converse-Labarre:

$$E_v = 1 - \frac{2 \cdot \arctg(d/i)}{\pi} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

in cui:

- d = diametro del palo;
- i = minimo interasse dei pali;
- m = numero di file di pali;
- n = numero di pali per singola fila.

11.1.2. Pali con interasse inferiore a 3 diametri

La portanza del gruppo viene calcolata in accordo al criterio proposto da Terzaghi & Peck (1967):

$$Q_B = 2 \cdot (B + h) \cdot \sum_1^n \tau_i \cdot L_i + B \cdot h \cdot N_c \cdot C_u$$

dove:

B, h = dimensioni in pianta della fondazione equivalente (Figura 11-1);

τ_i = tensione tangenziale dello strato i-esimo, in prima approssimazione è possibile assumere tale parametro costante e pari a $R_{t,d}/A_{lat}$ con $R_{t,d}$ è la resistenza a trazione (ovvero la laterale) del palo all'approccio considerato e A_{lat} è l'area laterale del palo;

L_i = altezza dello strato i-esimo (Figura 11-1);

C_u = coesione alla base del blocco;

N_c = fattore di capacità portante adimensionale desunto dalla Tabella 11-1 sulla base dei rapporti h/B e L/B

Nel caso di gruppo di pali soggetto a sforzi di trazione, la portanza di base non dovrà essere considerata.

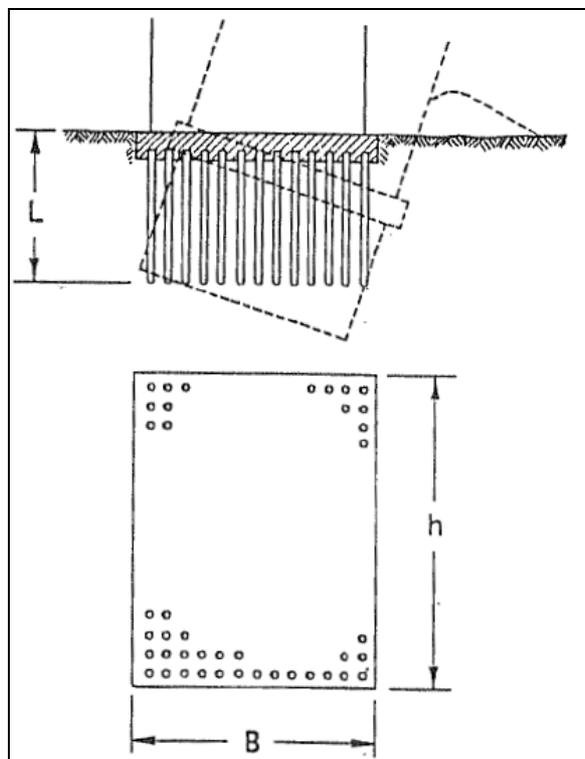


FIGURA 11-1: SCHEMA DI ROTTURA DEL TERRENO PER EFFETTO DELLA PALIFICATA QUALE BLOCCO IN TERRENI COESIVI (TERZAGHI & PECK, 1967)

TABELLA 11-1: COEFFICIENTE N_c PER DETERMINAZIONE PORTANZA DEL GRUPPO (AGI, 1984)

L/B	N_c	
	h/B=1	h/B≥10
0.25	6.7	5.6
0.50	7.1	5.9
0.75	7.4	6.2
1.00	7.7	6.4
1.50	8.1	6.8
2.00	8.4	7.0
2.50	8.6	7.2
3.00	8.8	7.4
≥4	9.0	7.5

11.2. TERRENI INCOERENTI

Per i terreni a comportamento prevalentemente incoerente, l'efficienza del gruppo di pali dipende, oltre che dall'interasse dei pali, anche dallo stato di addensamento del materiale.

11.2.1. Sabbia sciolta

In genere l'efficienza di un gruppo di pali in sabbie sciolte è superiore all'unità; in sede di progettazione verrà assunta efficienza $E_v = 1$.

11.2.2. Sabbia densa

Il coefficiente di efficienza varia fra $E_v = 0.7$ per interasse dei pali da 3 a 6 diametri a $E_v = 1.0$ per interasse pari a 8.

12. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI

Per quanto riguarda il comportamento dei pali in gruppo, il carico limite orizzontale di un gruppo può essere notevolmente inferiore alla somma dei valori relativi ai singoli pali; l'efficienza di un gruppo di pali rispetto ai carichi orizzontali è sempre inferiore all'unità.

Dalle "raccomandazioni sui pali di fondazione" AGI, 1984, si riporta quanto segue:

"Sulla base dei risultati sperimentali disponibili sembra che l'efficienza tenda all'unità per un interasse fra i pali del gruppo pari a cinque volte il diametro dei pali; per interasse minore, l'efficienza diminuisce fino a 0.5.

È possibile anche affermare che risulta più vantaggioso disporre il gruppo di pali normalmente alla direzione della forza orizzontale ovvero, a parità di numero di pali di un gruppo rettangolare resiste meglio se la forza orizzontale agisce parallelamente al lato corto.

Per pali ad interasse 3 diametri si ritiene possibile considerare $E_H = 0.8$; per pali ad interasse 2.5 diametri si ritiene possibile considerare $E_H = 0.7$. Nel caso particolare invece di pali disposti in singola fila soggetti ad un'azione ortogonale all'allineamento è possibile considerare $E_H = 1.0$.

13. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI

Nel caso di gruppo di pali soggetti ad azioni orizzontali possono manifestarsi le due seguenti tipologie di interazione:

- interazione tra pali in linea, caricati in direzione parallela alla fila (Figura 13-1 - Schema A);
- interazione tra pali affiancati, caricati in direzione perpendicolare alla fila (Figura 13-2 - Schema B).

L'interazione del primo tipo si esplica in una diminuzione delle caratteristiche meccaniche del terreno retrostante il palo di testa della fila, con conseguente incremento degli spostamenti dei pali retrostanti.

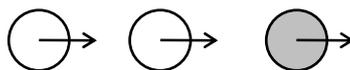


FIGURA 13-1: SCHEMA A – PALI IN LINEA

L'interazione del secondo tipo si esplica invece con un incremento degli spostamenti del palo centrale per effetto della presenza dei pali laterali.

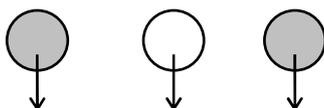


FIGURA 13-2: SCHEMA B – PALI AFFIANCATI

Con riferimento alle geometrie in genere adottate per i sistemi di fondazione profondi, gli incrementi medi delle sollecitazioni lungo i pali a causa degli effetti gruppo possono essere considerati dell'ordine del 10-20%.

Per ulteriori dettagli sulle metodologie di analisi si rimanda al documento PD_0_A00_00000_0_GT_RB_02 "Criteri generali per le verifiche geotecniche".

14. COMPORTAMENTO DEI PALI IN ESERCIZIO

14.1. CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI

Per quanto riguarda i presumibili cedimenti dei pali per i carichi di esercizio si osserva quanto segue:

- i carichi di esercizio sono in genere inferiori alla capacità portante limite laterale;
- la mobilitazione dell'adesione laterale limite avviene per spostamenti relativi dell'ordine di 5÷10 mm (vedi Raccomandazioni AGI);

pertanto è lecito attendersi cedimenti dei pali singoli sotto il massimo carico di esercizio dell'ordine di $\delta = 5\div 6$ mm.

14.2. CEDIMENTO DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICO ASSIALE

L'amplificazione del cedimento per effetto gruppo è funzione:

- del numero di pali della palificata (n);
- della configurazione geometrica del gruppo (s = interasse pali; L = lunghezza pali).

Per la determinazione del coefficiente amplificativo dei cedimenti per effetto gruppo (E_G) si fa riferimento alla correlazione suggerita da Mandolini, Russo, Viggiani, basata sul confronto parametrico di evidenze sperimentali (Figura 14-1) che definisce il parametro:

$$R_G = 0.39 R^{-1.25}$$

essendo:

$$R = \sqrt{\frac{ns}{L}} \text{ con:}$$

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

$$E_G = R_G n$$

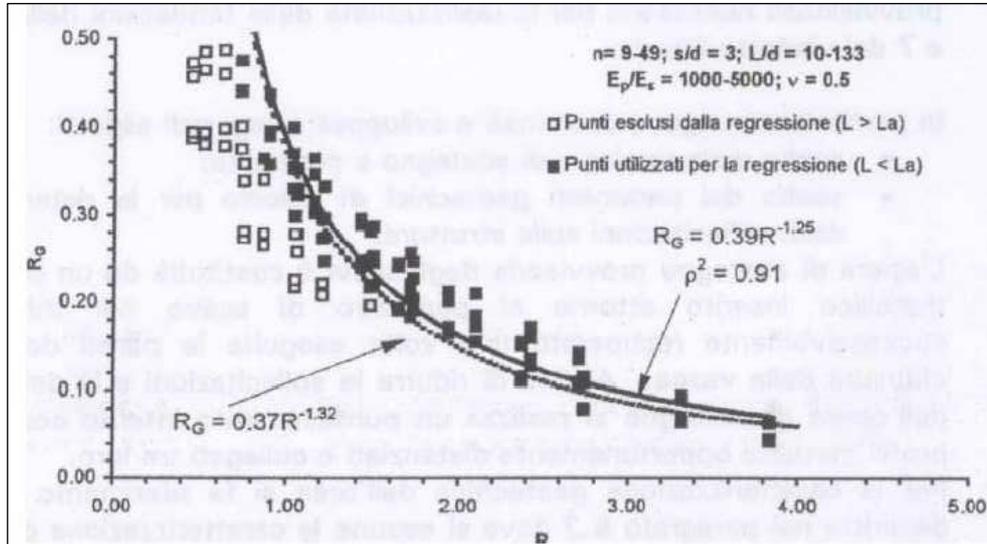


FIGURA 14-1: AMPLIFICAZIONE DEL CEDIMENTO PER EFFETTO GRUPPO

Ad esempio:

- $n = 9, s = 3.6 \text{ m}, L = 30.0 \text{ m} \Rightarrow R_G = 0.37 \Rightarrow E_G = 3.35 \Rightarrow \delta_G \cong 18.4 \text{ mm};$
- $n = 8, s = 3.6 \text{ m}, L = 30.0 \text{ m} \Rightarrow R_G = 0.40 \Rightarrow E_G = 3.20 \Rightarrow \delta_G \cong 17.6 \text{ mm}.$

14.3. RIGIDENZE ASSIALI E TRASVERSALI

Alla luce delle considerazioni esposte al § 14.1, la rigidezza del palo in direzione verticale viene stimata ipotizzando che la portata limite laterale venga mobilitata per uno spostamento di 10 mm.

I grafici a seguire riportano i valori di rigidezza verticale dei pali al variare della lunghezza degli stessi. I tabulati di derivazione dei grafici sono stati riportati precedentemente al § 9 congiuntamente ai tabulati di capacità portante verticale.

CPO03 - Ponte sul Cavo Vallicella - ZO14
NTC del 14/01/2008
Rigidezza assiale - Pali trivellati ϕ 1000mm

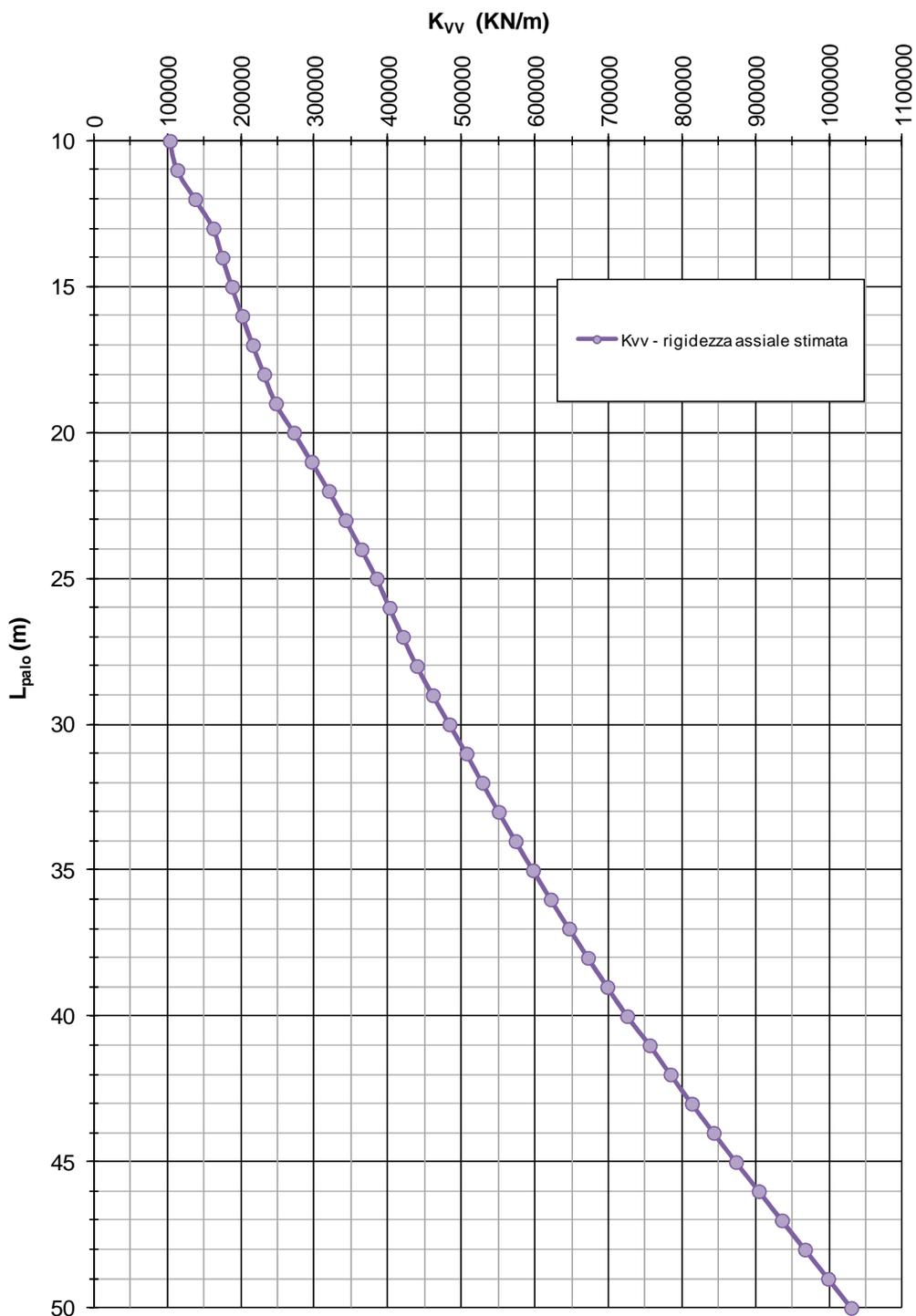


FIGURA 14-2: RIGIDEZZA VERTICALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

CPO03 - Ponte sul Cavo Vallicella - ZO14
NTC del 14/01/2008
Rigidezza assiale - Pali trivellati ϕ 1200mm

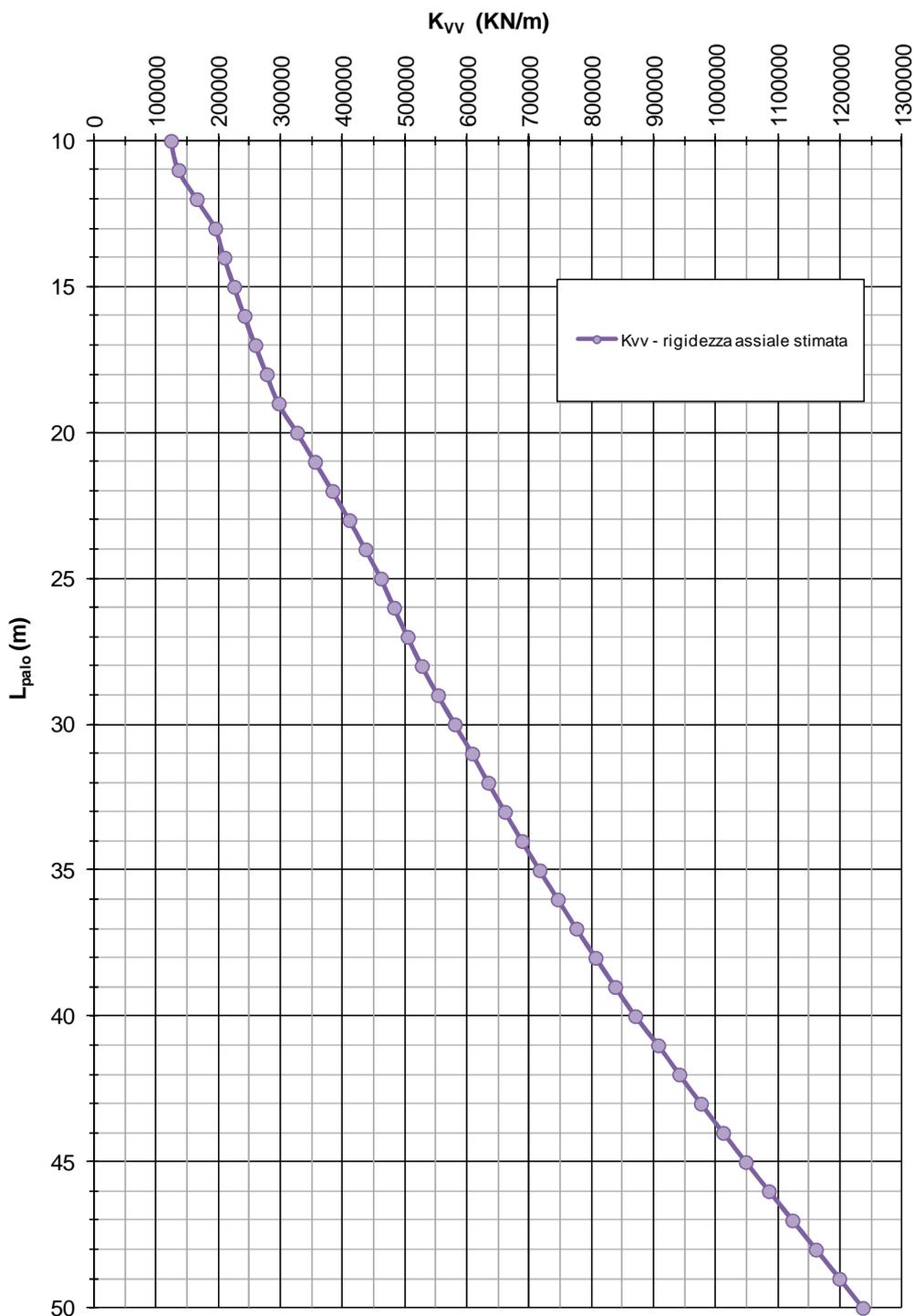


FIGURA 14-3: RIGIDEZZA VERTICALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Di seguito inoltre si riportano i valori della costante di Matlock e Reese utilizzata per il calcolo della sollecitazione e gli elementi della matrice di rigidezza di testa-palo calcolati secondo la formulazione fornita nell'Appendice C dell'Eurocodice 8 – Parte 5 per terreni con $E=E_s \cdot z/d$.

Pali ϕ 1000

<i>Costante di Matlock e Reese</i>		
$K_{MR} =$	1 620	kN/m^3
<i>Rigidezze statiche alla testa dei pali</i>		
$K_{HH} =$	28 419	kN/m
$K_{MM} =$	508 604	kNm
$K_{HM} =$	-89 746	kN
Calcolo svolto secondo le indicazioni riportate in Appendice C dell'Eurocodice 8 - Parte 5		

Pali ϕ 1200

<i>Costante di Matlock e Reese</i>		
$K_{MR} =$	1 515	kN/m^3
<i>Rigidezze statiche alla testa dei pali</i>		
$K_{HH} =$	36 751	kN/m
$K_{MM} =$	899 332	kNm
$K_{HM} =$	-135 322	kN
Calcolo svolto secondo le indicazioni riportate in Appendice C dell'Eurocodice 8 - Parte 5		

15. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI

Il tratto di viabilità che presenta rilevati di altezza superiore è posto in affiancamento al rilevato autostradale.

Per le verifiche di stabilità si rimanda all'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03 "Relazione di verifiche geotecniche" - Zona Omogenea 14.

16. STIMA DEI CEDIMENTI E LORO EVOLUZIONE NEL TEMPO

Il tratto di viabilità che presenta rilevati di altezza superiore è posto in affiancamento al rilevato autostradale.

Di conseguenza, per gli interventi previsti al fine di accelerare l'evoluzione dei cedimenti nel tempo e per la valutazione dei cedimenti si rimanda all'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03 "Relazione di verifiche geotecniche" - Zona Omogenea 14.

17. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO PER I RILEVATI IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE

Per la valutazione dei cedimenti si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03.

In particolare gli interventi previsti sono riassunti nella seguente tabella.

TABELLA 17-1: INTERVENTI SPALLE OPERE D'ARTE.

Opera d'arte		$H_{RIL,ma}$ x [m]	Tipologi a dreni	L_d (valutata da piano campagna) [m]	i_d [m]	$H_{precarico}$ [m]	Tc (Tempo di costruzione)	T_a (Tempo di attesa: fine esecuzione rilevato - esecuzione della spalla)	Rilevato di approccio in LECA?
CPO03	Interventi locali di collegamento viario al sistema autostradale C08a	10.0	dreni a nastro	30.0	2.0	rilevato in terra	10 gg/metro	12 mesi	si

18. VERIFICHE DI STABILITÀ NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Per tali verifiche si rimanda al doc. PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03 – Asse autostradale, Relazione di verifiche geotecniche.

19. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI POST-SISMICI IN TERRENI COESIVI

Per quanto concerne la valutazione dei cedimenti post-sismici in terreni coesivi si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_03.

20. INTERFERENZA VIABILITÀ CON EDIFICI ESISTENTI

Da una prima analisi del tracciato è stato possibile riscontrare che alcuni edifici esistenti sono situati a distanza estremamente ridotta da rilevati di altezza considerevole. Al fine di valutare i cedimenti indotti dalla costruzione del corpo stradale sugli edifici esistenti è stato realizzato un modello bidimensionale agli elementi finiti con il software Plaxis.

Nell'analisi di tali interferenze le maggiori criticità sono state riscontrate alla pk 1+875 della viabilità di collegamento C08. In prossimità di tale sezione sono infatti presenti un edificio residenziale con fienile annesso.

Come si può notare dalle immagini riportate in Figura 20-1 ed in dettaglio in Figura 20-2 i cedimenti indotti su tali fabbricati non si ritengono tollerabili, né come entità totale né in termini differenziali sull'impronta dei fabbricati.

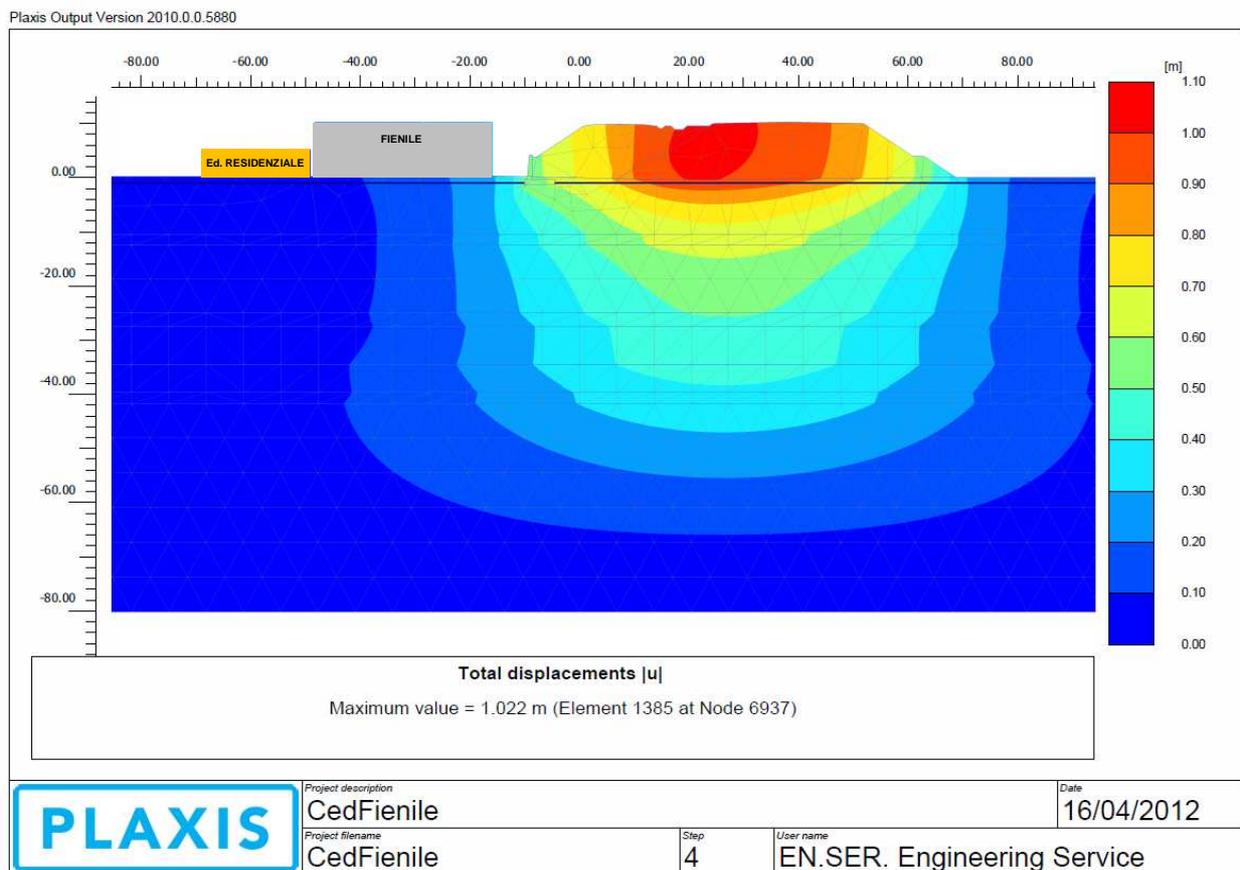


FIGURA 20-1: VISTA GENERALE DEL MODELLO

Plaxis Output Version 2010.0.0.5880

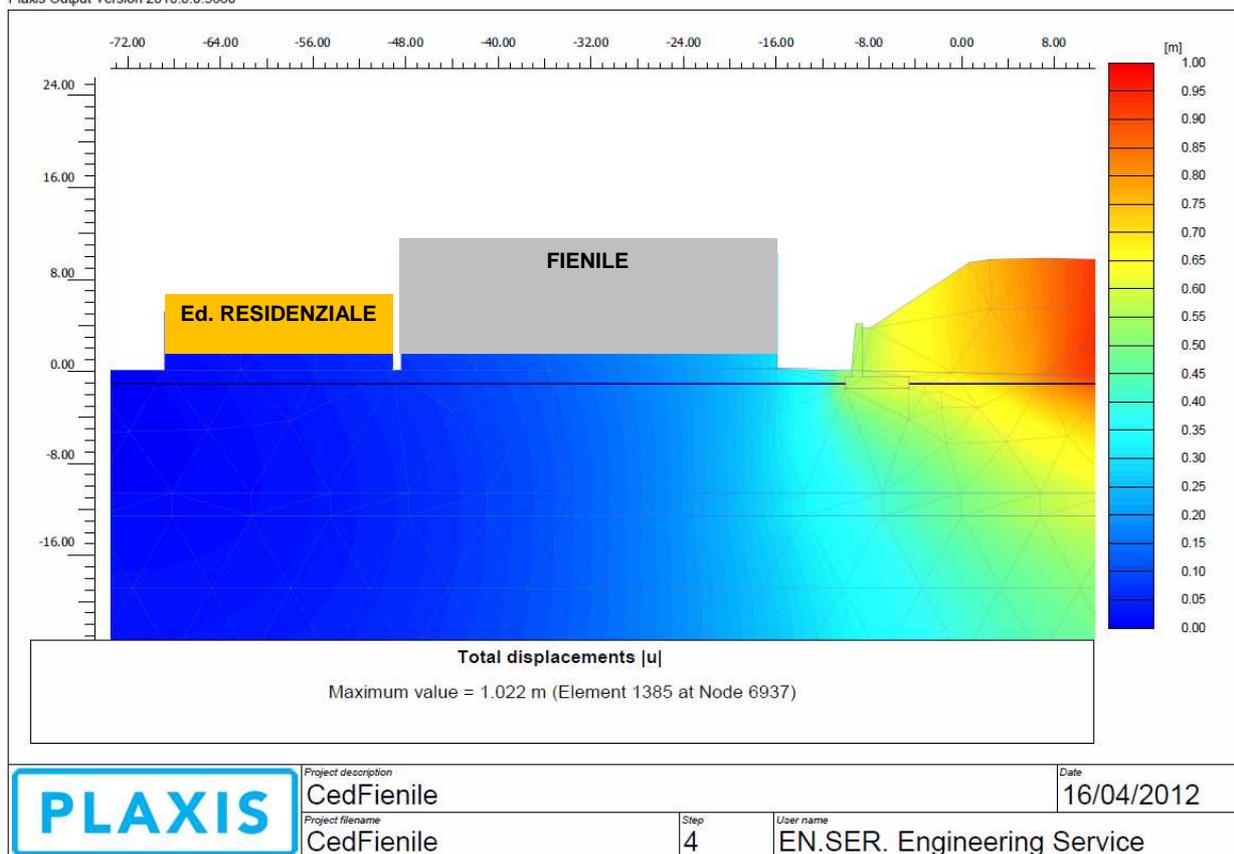


FIGURA 20-2: INQUADRATURA DETTAGLIO DEI FABBRICATI

21. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI

21.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI

Per quanto concerne i criteri per la definizione del piano di posa dei rilevati/trincee si rimanda all'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

21.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

Lo schema generale delle bonifiche effettuate al piano di posa dei rilevati è riportato nella figura seguente.

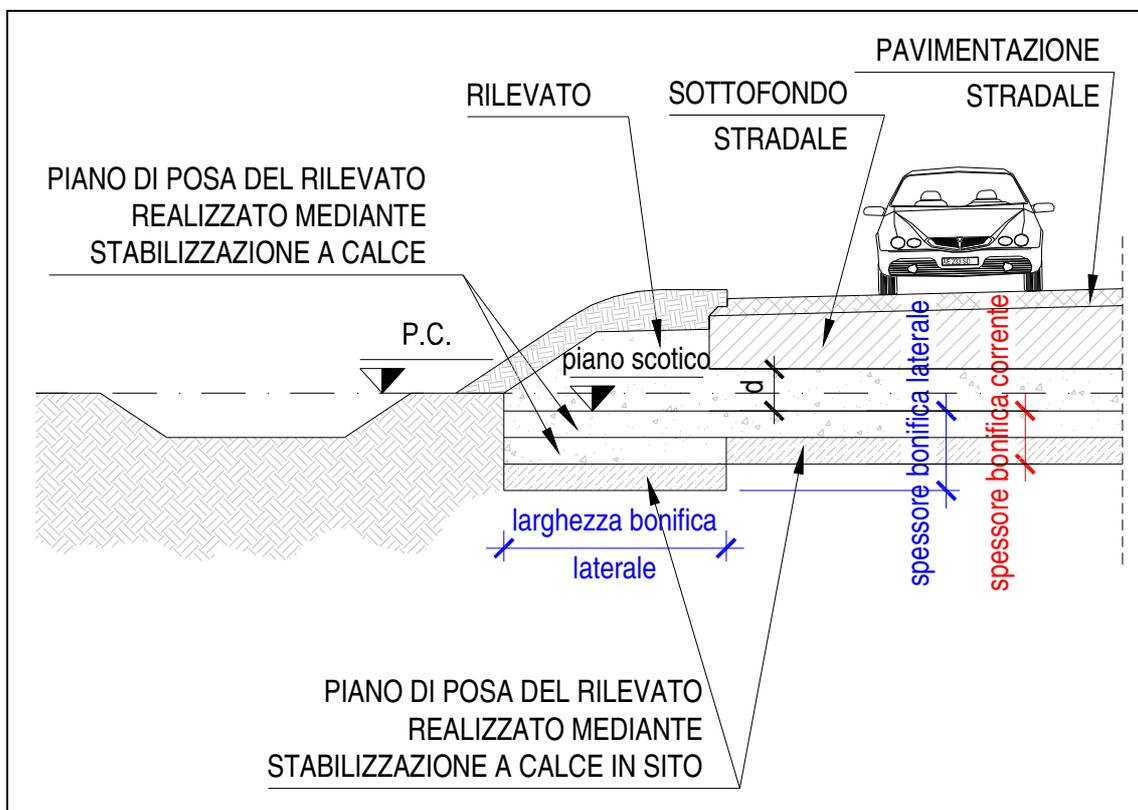


FIGURA 21-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

21.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI

Nella tabella seguente sono riportati, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato:

- le pk di inizio e fine;
- il livello prestazionale in termini di valore del modulo di deformazione su piastra M_d richiesto in funzione della distanza "d" considerata.

TABELLA 21-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Asse	Tratto	pk inizio [km]	pk fine [km]	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
C08-02	1	0+000	fine asse	0.2	44
C08-01	1	0+000	0+275	0.2	44
	2	0+275	1+250	1.0	20
	3	1+250	2+150	1.0	20
	4	2+150	2+300	1.0	20
	5	2+300	2+800	0.0	50
	6	2+800	fine asse	0.0	50

21.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

Per quanto riguarda le caratteristiche del materiale utilizzato per lo strato di bonifica vengono ipotizzati valori del modulo elastico variabili nell'intervallo $E_1 = 30.0 \div 75.0$ MPa.

Pozzetti esplorativi di riferimento: PZ 222 ÷ 228 (vedi elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01 "Relazione geotecnica generale").

Per la determinazione del modulo elastico E_0 attribuito al terreno di sottofondo nelle elaborazioni numeriche atte a simulare la prova di carico su piastra all'estradosso dello strato di bonifica con il criterio di Burmister, si è fatto principalmente riferimento ai risultati delle prove di carico su piastra in termini di modulo di deformazione M_d condotte nella campagna di indagine di progetto definitivo in corrispondenza della viabilità oggetto del presente documento.

Tale modulo $E_0 = E_{PLT}$ è ricavato sulla base del modulo di deformazione su piastra dei pozzetti di riferimento secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

Nella tabella seguente è riportato, per il singolo tratto individuato sulla base della distanza prevalente intradosso fondazione/sottofondo stradale – piano di posa rilevato (vedi Tabella 21-1):

- il modulo elastico $E_0 = E_{PLT}$ assunto nelle elaborazioni.

TABELLA 21-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.

Asse	Tratto	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
C08-02	1	4.6
C08-01	1	4.6
	2	3.3
	3	3.3
	4	3.3
	5	4.7
	6	4.7

21.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO

Al variare dello spessore di bonifica "s" e del relativo modulo elastico (da 30.0 MPa a 75 MPa) sono state ricavate le curve corrispondenti al valore del modulo su piastra equivalente M_d misurato all'estradosso della bonifica, ovvero al piano di posa del rilevato, definite secondo il criterio di Burmister.

Tale range di modulo elastico della bonifica si ritiene compatibile con terreno stabilizzato a calce.

I risultati delle analisi vengono riassunti nella tabella seguente in termini di:

- spessore corrente dello strato di bonifica;

da assumere al fine di raggiungere il livello prestazionale richiesto per il piano di posa del rilevato; per ogni tratto è inoltre indicato il riferimento alla figura che mostra l'analisi condotta con il criterio di Burmister.

Viene inoltre indicato:

- lo spessore di bonifica ai lati del piano di posa del rilevato che risulta, in genere, approfondito rispetto alla bonifica corrente e la relativa larghezza (vedi schema riportato in Figura 21-1).

Il modulo elastico della bonifica indicato nelle analisi è quello necessario a garantire il livello prestazionale richiesto; i valori indicati si ritengono compatibili con terreno stabilizzato a calce.

TABELLA 21-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.

Asse	Tratto	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
C08-02	1	0.6	0.9	2.5	Figura 21-2
C08-01	1	0.6	0.9	2.5	Figura 21-2
	2	0.3	0.9	2.5	Figura 21-3
	3	0.3	1.2	2.5	Figura 21-3
	4	0.3	0.9	2.5	Figura 21-3
	5	0.6	0.9	2.5	Figura 21-4
	6	0.6	0.6	0.0	Figura 21-4

Nei tratti in cui il piano di posa del rilevato della viabilità in oggetto è in continuità con quello del rilevato dell'asse autostradale, l'approfondimento laterale della bonifica viene effettuato solo alle estremità del piano di posa.

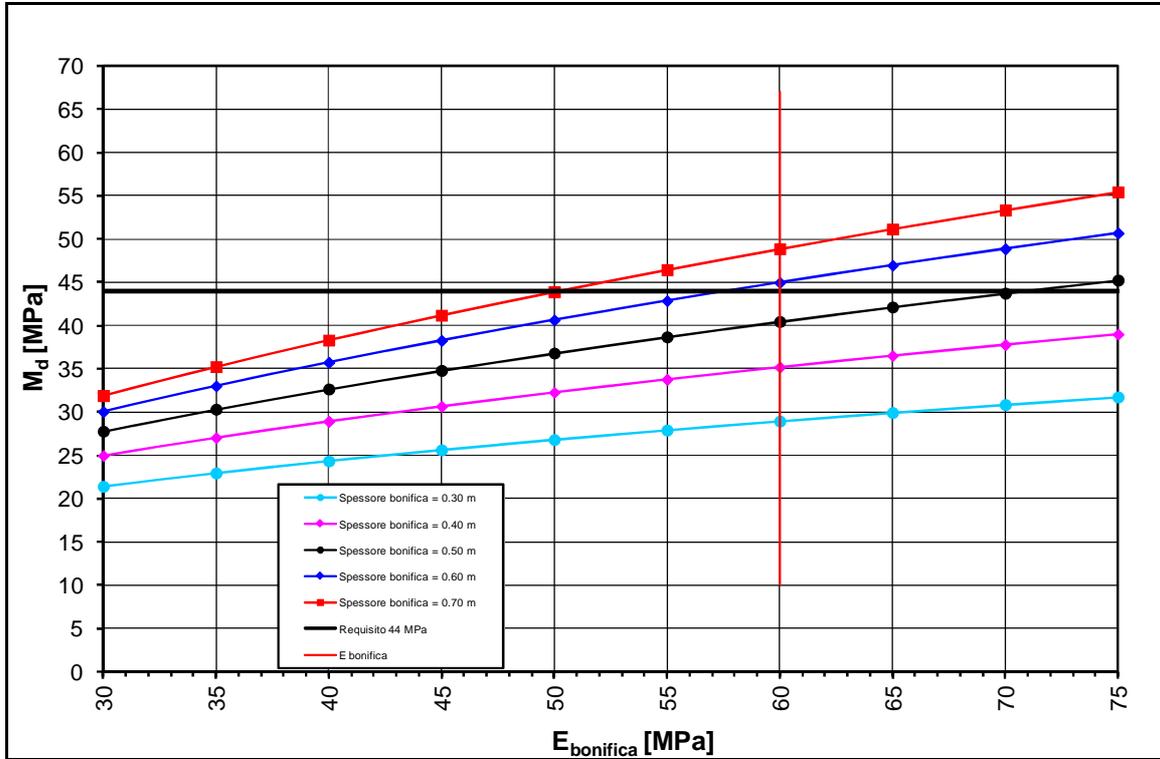


FIGURA 21-2: ASSE C08-02 E C08-01 TRATTO 1 – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

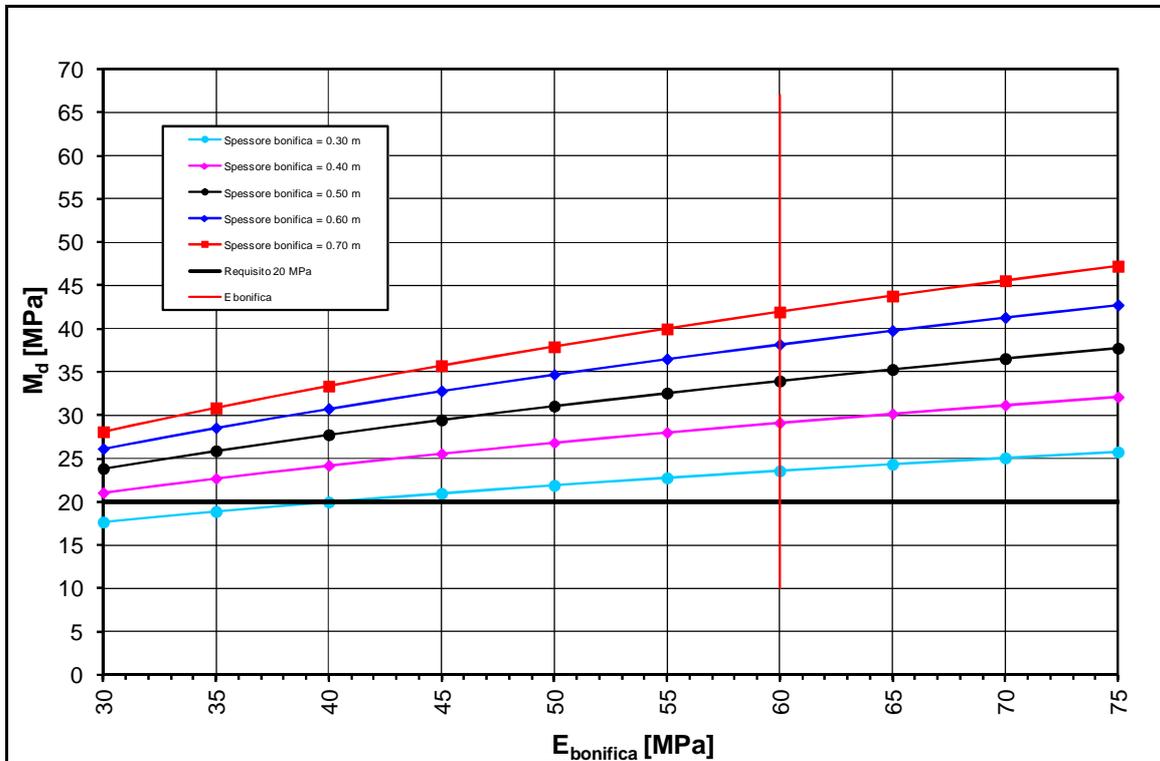


FIGURA 21-3: ASSE C08-01, TRATTO 2, 3 E 4 – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

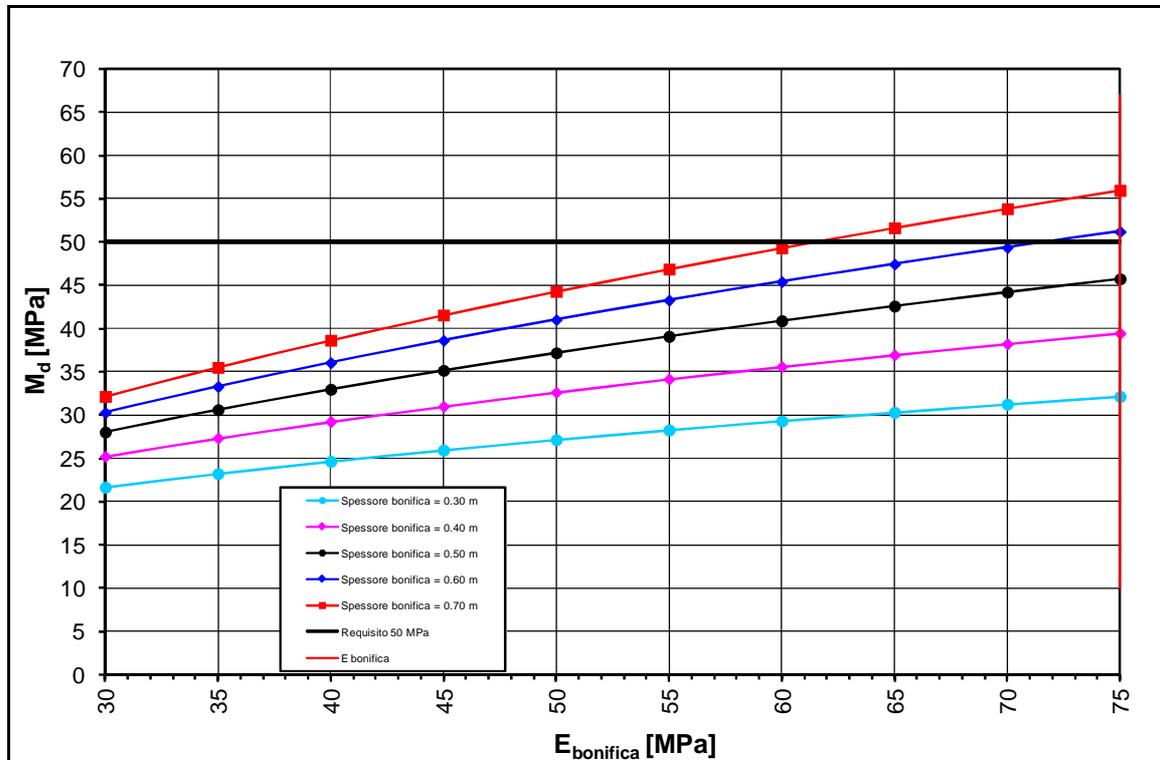


FIGURA 21-4: ASSE C08-01, TRATTO 5 E 6 – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

21.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE

A seguito dell'analisi dei certificati di laboratorio inerenti lo studio delle miscele terreno naturale + calce (CaO) (vedi elaborati inerenti le indagini di laboratorio riportati nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01 "Relazione geotecnica generale"), è stata verificata la sostanziale idoneità dei terreni presenti al piano di posa dei rilevati ad essere stabilizzati a calce.

Nella tabella seguente sono riportati:

- la percentuale di calce da adottare nelle miscele terreno naturale + calce (CaO) per la formazione del piano di posa dei rilevati/trincee (bonifiche);
- le pk di inizio e fine di riferimento per la singola percentuale di calce.

TABELLA 21-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.

Asse	pk inizio [km]	pk fine [km]	% calce viva (CaO) per stabilizzazione
C08-02	0+000	fine	5.5
C08-01	0+000	1+800	5.5
	1+800	fine	3.5