



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

CODICE C.U.P. E81B08000060009

PROGETTO DEFINITIVO

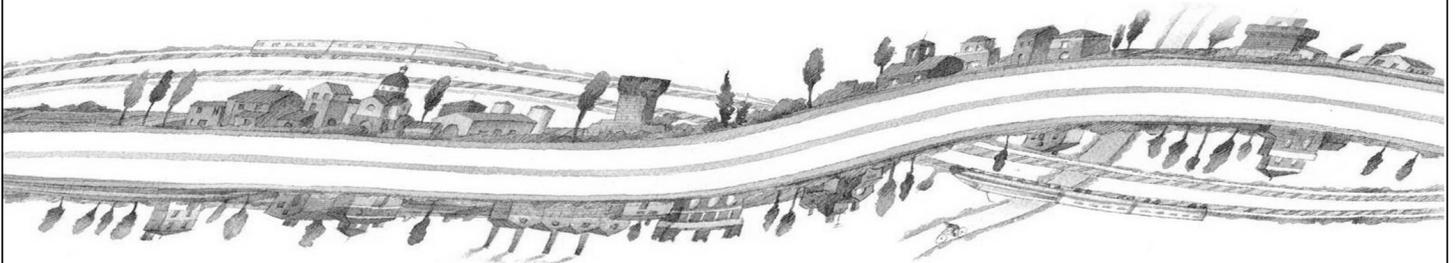
ASSE AUTOSTRADALE (COMPRESIVO DEGLI INTERVENTI LOCALI DI COLLEGAMENTO VIARIO AL SISTEMA AUTOSTRADALE)

GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA, SISMICA E GEOTECNICA

GEOTECNICA

VIABILITA' INTERFERITE

RELAZIONE GEOTECNICA CAVALCAVIA SP 8 DIR. S. FELICE E PONTE SU CANALE DIVERSIVO DI BURANA



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: _
0569	PD	0	V24	V0000	0	GT	RB	01	A	

INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1. NORMATIVE	4
2.2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO	5
3. VCV08 – CAVALCAVIA S.P.8 DIR. S. FELICE	6
3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	6
3.2. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI	8
3.3. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI TRASVERSALI	15
3.4. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ORIZZONTALI	18
3.5. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	25
3.5.1. Terreni coesivi	25
3.5.1.1 <i>Pali con interasse superiore a 3 diametri</i>	25
3.5.1.2 <i>Pali con interasse inferiore a 3 diametri</i>	26
3.5.2. Terreni incoerenti	28
3.5.2.1 <i>Sabbia sciolta</i>	28
3.5.2.2 <i>Sabbia densa</i>	28
3.6. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI.....	28
3.7. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI	29
3.8. COMPORTAMENTO DEI PALI IN ESERCIZIO	30
3.8.1. Cedimento del palo singolo soggetto a carichi assiali	30
3.8.2. Cedimento dei pali in gruppo soggetti a carico assiale.....	30
3.8.3. Rigidezze assiali e trasversali	31
4. VPO02 – PONTE SUL CANALE DIVERSIVO DI BURANA	35
4.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	35
4.2. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ASSIALI	37
4.3. CAPACITÀ PORTANTE DEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI TRASVERSALI	44
4.4. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEL PALO SINGOLO SOGGETTO A CARICHI ORIZZONTALI	47
4.5. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	54
4.6. CAPACITÀ PORTANTE DEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI.....	54

4.7. ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI NEI PALI IN GRUPPO SOGGETTI A CARICHI TRASVERSALI	54
4.8. COMPORTAMENTO DEI PALI IN ESERCIZIO	54
4.8.1. Cedimento del palo singolo soggetto a carichi assiali	54
4.8.2. Cedimento dei pali in gruppo soggetti a carico assiale.....	54
4.8.3. Rigidezze assiali e trasversali	54
5. STRATIGRAFIE E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO AI FINI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE DEI RILEVATI	59
6. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.....	60
6.1. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO.....	61
6.2. VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI.....	62
6.2.1. Hril = 6.00 m	62
6.2.2. Hril = 11.00 m.....	64
7. STIMA DEI CEDIMENTI E LORO EVOLUZIONE NEL TEMPO	66
7.1. LIVELLI PRESTAZIONALI RILEVATI	66
7.2. HRIL=11.00 M	67
7.3. HRIL=8.00 M.....	71
7.4. HRIL=6.00 M.....	74
7.5. HRIL=4.00 M.....	78
8. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE.....	82
9. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.....	85
9.1. CRITERI PER LA DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA AL DI SOTTO DEI RILEVATI.....	85
9.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE	85
9.3. LIVELLO PRESTAZIONALE PIANO DI POSA DEI RILEVATI	86
9.4. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI	86
9.5. EFFETTI DELLA VARIAZIONE DELLO SPESSORE DI BONIFICA E DEL RELATIVO MODULO ELASTICO	87
9.6. STUDIO DELLA STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE	90

1. PREMESSA

Nell'ambito delle attività di progettazione previste per la redazione del Progetto Definitivo di Autostrada Regionale Cispadana dal casello di Reggiolo-Rolo su A22 al casello di Ferrara Sud su A13, il presente documento illustra gli aspetti geotecnici inerenti la viabilità interferita V24. Lungo tale viabilità si sviluppano le opere VCV08 – Cavalcavia S.P.8 dir. S. Felice e VPO02 – Ponte sul canale diversivo di Burana.

Per ulteriori chiarimenti in merito ai criteri generali adottati per l'esecuzione delle verifiche geotecniche si rimanda al documento PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali per le verifiche geotecniche".

Nel presente elaborato, a seguito di un riepilogo della normativa e dei documenti di riferimento adottati per le verifiche geotecniche, verranno descritte ed approfondite singolarmente per due opere presenti lungo l'asse della viabilità i seguenti aspetti:

- caratterizzazione geotecnica;
- capacità portante del palo singolo soggetto a carichi assiali;
- capacità portante del palo singolo soggetto a carichi trasversali;
- andamento delle sollecitazioni lungo il palo singolo soggetto a carichi trasversali;
- capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali;
- capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi trasversali;
- andamento delle sollecitazioni nei pali in gruppo soggetto a carichi trasversali;
- comportamento dei pali in esercizio.

Con riferimento ai rilevati della viabilità interferita oggetto del presente studio saranno riportati:

- stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo ai fini delle verifiche geotecniche dei rilevati.
- verifiche di stabilità dei rilevati;
- valutazione dei cedimenti dei rilevati ed interventi in corrispondenza delle spalle delle opere d'arte;
- 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. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- AGI, "Raccomandazioni sui pali di fondazione", dicembre 1984;
- Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron Editore, Bologna;
- FRANK R., "Calcul des fondations superficielles et profondes", Techniques de l'Ingénieur (TI), Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées ;
- JOSEPH E. BOWLES (1992) – "Fondazioni – Progetto e analisi", McGraw-Hill, Giugno 1992;
- LANCELLOTTA R. (1993) – "Geotecnica", Seconda edizione, ed. Zanichelli, Bologna;
- VIGGIANI C. – Fondazioni – Hevelius Edizioni;
- POULOS H.G., DAVIS E.H. – Analisi e progettazione di fondazioni su pali – Libreria Dario Flaccovio Editrice;
- POULOS H.G., DAVIS E.H. (1974) – "Elastic solutions for soil and rock mechanics", ed. John Wiley & Sons, Inc. ;
- U.S. Departement of Trasportation, Federal Highway Administration – "Drilled shafts: Construction procedures and design methods" – Publication No. FHWA-IF-99-025.

2.3. ELABORATI DI PROGETTO DEFINITIVO

I principali elaborati di progetto definitivo di riferimento per il presente elaborato sono i seguenti:

- PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_01 "Relazione geotecnica generale"
- PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali per le verifiche geotecniche".

3. VCV08 – CAVALCAVIA S.P.8 DIR. S. FELICE

3.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

OPERA: CAVALCAVIA S.P.8 DIR. S.FELICE

Q_{rif} = 16.00 m s.l.m.

TABELLA 3-1: INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO PER STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE

sigla indagine	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
BH 203	Imprefond - 2011	15.896	40.0	TA (8+4)
BH 204	Imprefond - 2011	16.207	40.0	C (6)
CPTU 205	Imprefond - 2011	15.928	34.7	-
CPTU 206	Imprefond - 2011	16.018	40.2	-

C (...) = cella piezometrica Casagrande (quota cella);
 TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto cieco + filtrante).
 CH (...) = cross-hole (profondità)

TABELLA 3-2: 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 3-3: CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICO – GEOTECNICA

Profondità (m da p.c.) (Q_{ref} 16.00 m s.l.m.)	Unità -	z_w (m)	γ_n (kN/m ³)	φ' (*) (°)	c' (*) (kPa)	c_u (*) (kPa)	E' (MPa)	M (MPa)	E_u (MPa)	c_v (cmq/s)	c_{ae} (-)
0.0÷1.5	2	0.00	18.5	28-30	0	-	7.0	-	-	-	-
1.5÷5.0	1		19.0	20-22	4-6	40-80	4.5	6.0	60.0	1.5E-3	0.0023
5.0÷9.5	1		19.0	20-22	4-6	40-80	3.7	5.0	36.0	1.5E-3	0.0023
9.5÷12.5	2		18.5	28-30	0	-	15.0	-	-	-	-
12.5÷15.5	4		19.0	31-33	0	-	30.0	-	-	-	-
15.5÷25.0	5		19.5	31-34	0	-	60.0	-	-	-	-
25.0÷33.0	1		19.0	20-22	4-6	80-100	8.2	11.0	60.8- 66.8	1.5E-3	0.0023
33.0÷44.0	5		20.	31-34	0	-	60.0	-	-	-	-
44.0÷50.0	1		19.0	20-22	4-6	112-125	9.8-10.7	13.2- 14.3	75.0- 79.5	1.5E-3	0.0023
50.0÷60.0	5		20.0	31-34	0	-	60.0	-	-	-	-

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

z_w = profondità falda di progetto;

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 (MPa);

M = valore del modulo edometrico.

E_u = modulo elastico operativo in condizioni non drenate (MPa);

c_v = coefficiente di consolidazione verticale (cmq/s);

c_{ae} = coefficiente di consolidazione secondaria.

Con riferimento ai primi 30.0 m da piano campagna, 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 3-1.

3.2. 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.

VCV08 - Cavalcavia S.P.8 dir. S.Felice - ZO12

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1000mm

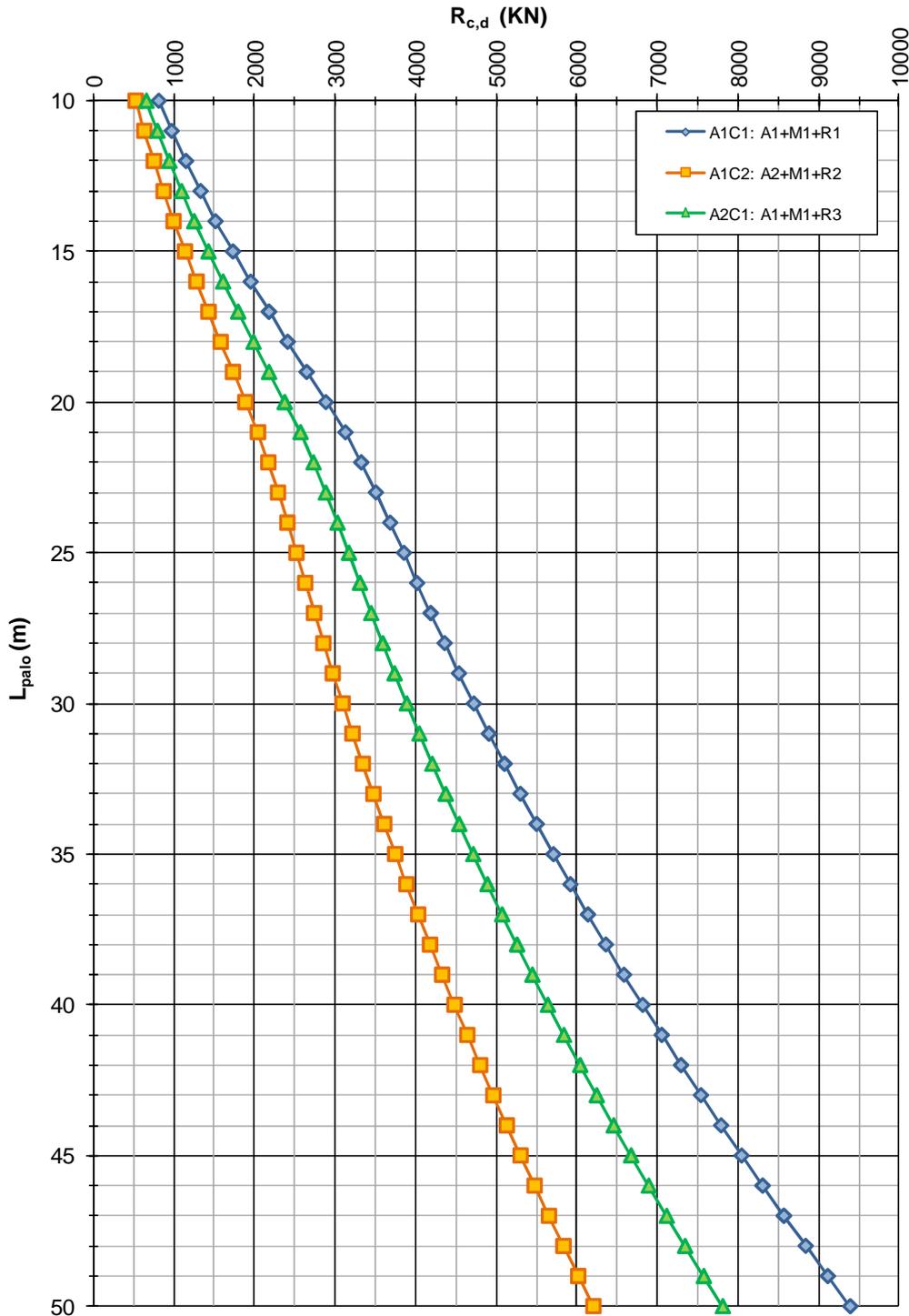


FIGURA 3-1: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

VCV08 - Cavalcavia S.P.8 dir. S.Felice - ZO12

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a trazione - Pali trivellati ϕ 1000mm

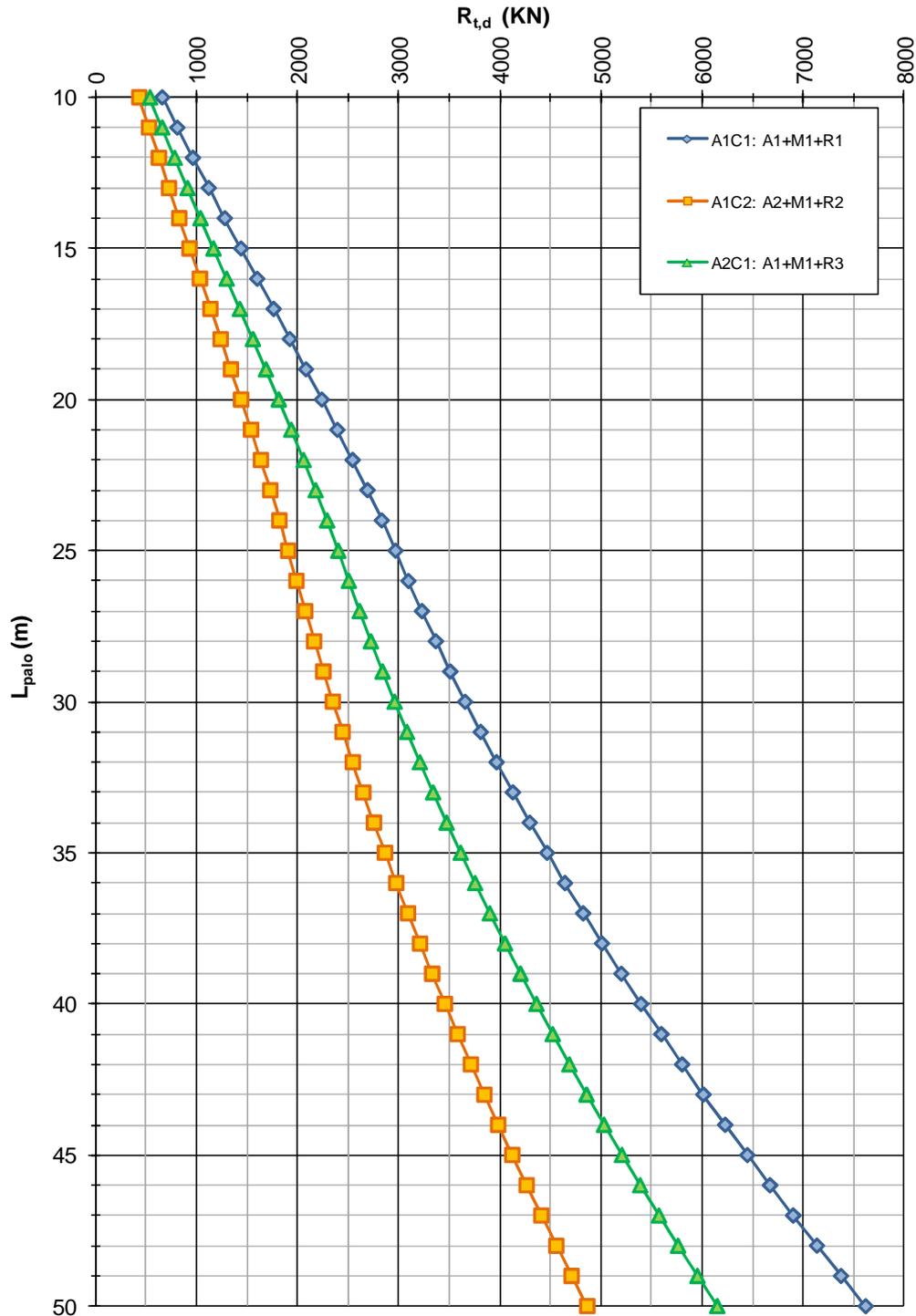


FIGURA 3-2: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

VCV08 - Cavalcavia S.P.8 dir. S.Felice - ZO12
NTC del 14/01/2008

Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1200mm

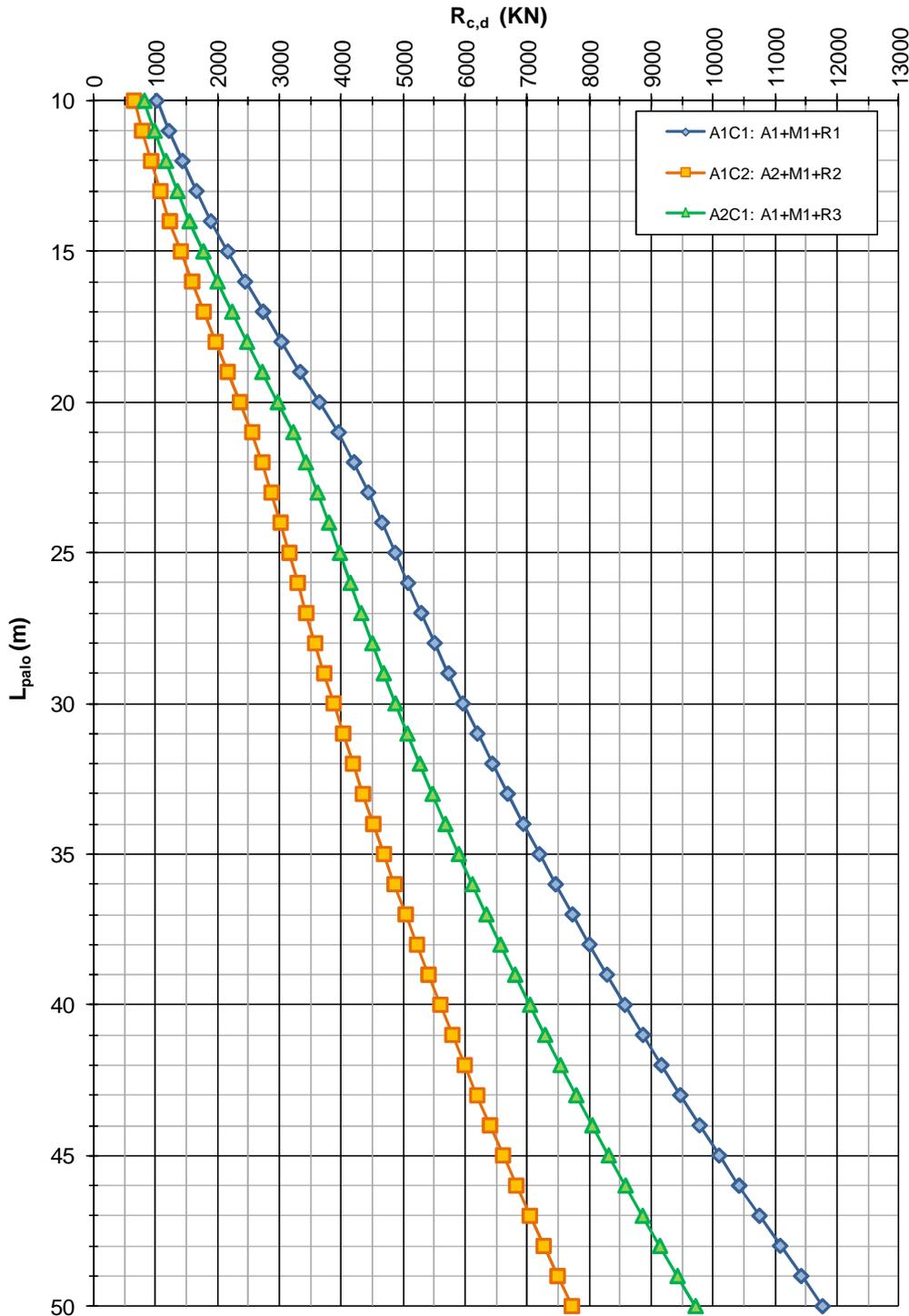


FIGURA 3-3: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

VCV08 - Cavalcavia S.P.8 dir. S.Felice - ZO12

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a trazione - Pali trivellati ϕ 1200mm

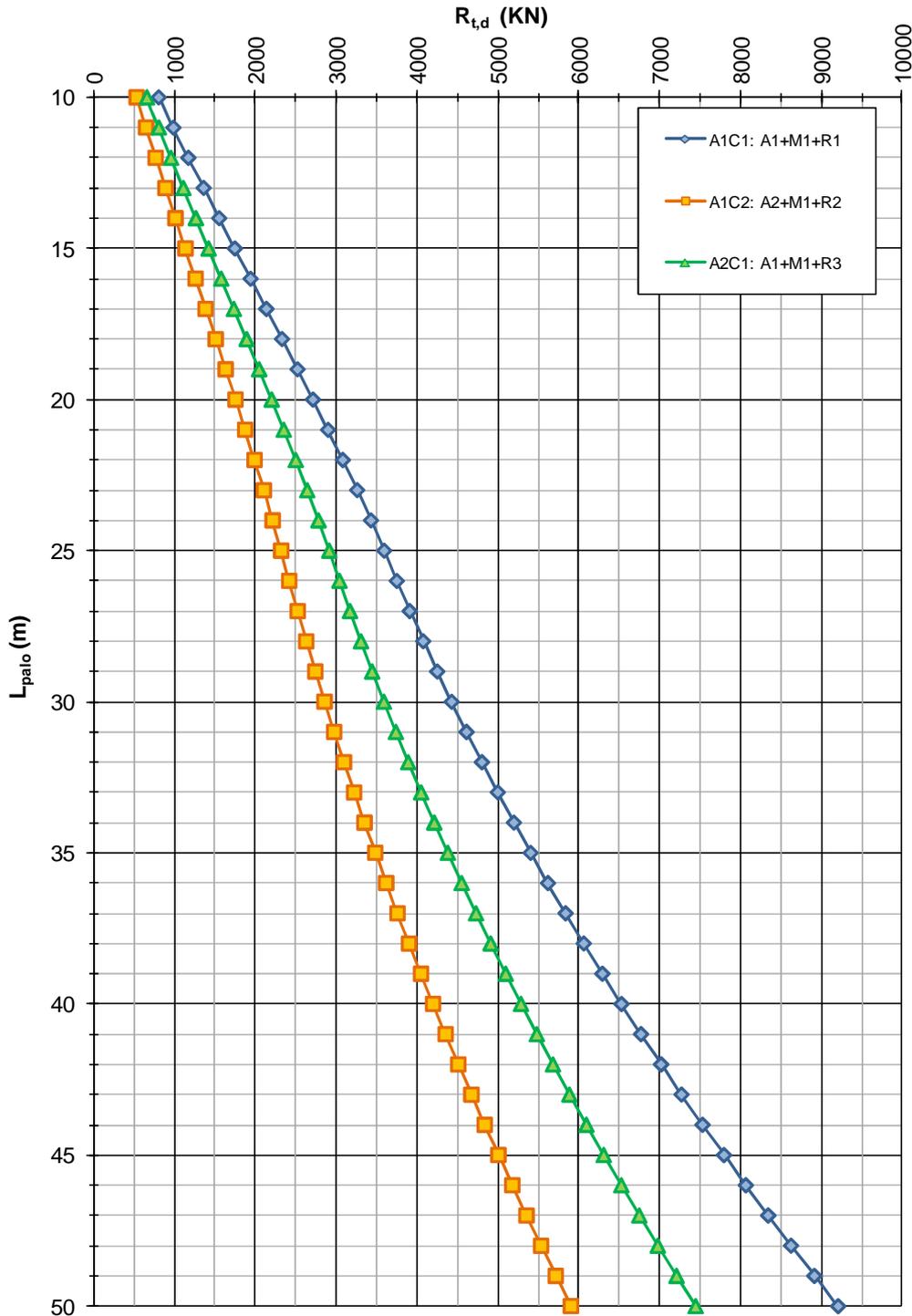


FIGURA 3-4: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

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	80.97	48.62	61.02	28.00	19.56	23.50	3487.17
2.00	274.48	167.73	210.87	98.35	65.59	80.88	13540.26
3.00	341.82	212.63	267.25	168.71	111.63	138.27	23593.36
4.00	409.16	257.52	323.63	239.07	157.66	195.65	33646.46
5.00	476.50	302.42	380.02	309.42	203.70	253.04	43699.55
6.00	543.84	347.31	436.40	379.78	249.73	310.42	53752.65
7.00	611.17	392.21	492.78	450.13	295.77	367.80	63805.75
8.00	678.51	437.10	549.16	520.49	341.80	425.19	73858.84
9.00	745.85	482.00	605.55	590.85	387.83	482.57	83911.94
10.00	813.19	526.90	661.93	661.20	433.87	539.96	93965.04
11.00	973.15	634.35	797.19	811.26	529.71	661.10	116371.05
12.00	1150.16	752.22	945.55	964.93	627.82	785.14	139338.56
13.00	1331.72	873.02	1097.62	1121.35	727.64	911.37	162730.63
14.00	1518.80	997.30	1254.07	1279.94	828.83	1039.35	186461.14
15.00	1733.29	1137.87	1431.02	1440.15	931.02	1168.61	210440.92
16.00	1953.44	1281.85	1612.27	1601.11	1033.68	1298.48	234536.93
17.00	2180.62	1429.97	1798.75	1762.23	1136.44	1428.48	258658.80
18.00	2412.55	1580.85	1988.69	1922.92	1238.93	1558.12	282713.01
19.00	2648.39	1733.89	2181.36	2082.32	1340.62	1686.75	306569.09
20.00	2887.30	1888.53	2376.04	2239.63	1441.00	1813.70	330100.10
21.00	3128.51	2044.23	2572.04	2394.05	1539.58	1938.33	353182.36
22.00	3325.62	2173.62	2734.91	2544.79	1635.85	2060.02	375695.25
23.00	3507.43	2293.55	2885.86	2691.10	1729.36	2178.17	397520.93
24.00	3684.05	2409.90	3032.32	2832.23	1819.63	2292.18	418544.21
25.00	3854.77	2522.19	3173.64	2967.46	1906.20	2401.46	438652.37
26.00	4018.87	2629.92	3309.20	3096.07	1988.65	2505.45	457734.97
27.00	4187.43	2740.71	3448.64	3229.13	2073.87	2612.99	477507.37
28.00	4360.80	2854.82	3592.26	3367.01	2162.11	2724.39	498025.90
29.00	4538.98	2972.26	3740.07	3509.70	2253.35	2839.65	519290.55
30.00	4721.97	3093.01	3892.06	3657.20	2347.60	2958.75	541301.34
31.00	4909.78	3217.08	4048.24	3809.52	2444.86	3081.70	564058.25
32.00	5102.40	3344.47	4208.60	3966.65	2545.13	3208.50	587561.29
33.00	5299.84	3475.19	4373.15	4128.59	2648.40	3339.16	611810.46
34.00	5502.09	3609.22	4541.89	4295.35	2754.69	3473.66	636805.75
35.00	5709.15	3746.57	4714.81	4466.92	2863.98	3612.02	662547.18
36.00	5921.03	3887.24	4891.92	4643.31	2976.29	3754.23	689034.73
37.00	6137.72	4031.23	5073.21	4824.50	3091.60	3900.29	716268.41
38.00	6359.23	4178.54	5258.69	5010.52	3209.92	4050.20	744248.22
39.00	6585.55	4329.17	5448.36	5201.34	3331.24	4203.96	772974.16
40.00	6816.68	4483.13	5642.21	5396.98	3455.58	4361.57	802446.23
41.00	7052.63	4640.40	5840.24	5597.44	3582.93	4523.03	832664.42
42.00	7293.39	4800.99	6042.47	5802.71	3713.28	4688.35	863628.74
43.00	7538.96	4964.90	6248.88	6012.79	3846.64	4857.51	895339.20
44.00	7789.35	5132.13	6459.47	6227.68	3983.01	5030.53	927795.77
45.00	8044.55	5302.68	6674.25	6447.39	4122.39	5207.39	960998.48
46.00	8304.56	5476.55	6893.22	6671.91	4264.78	5388.11	994947.32
47.00	8569.39	5653.74	7116.37	6901.25	4410.18	5572.68	1029642.28
48.00	8839.03	5834.25	7343.71	7135.40	4558.58	5761.10	1065083.37
49.00	9113.49	6018.08	7575.23	7374.36	4710.00	5953.37	1101270.59
50.00	9392.76	6205.22	7810.94	7618.14	4864.42	6149.49	1138203.94

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	111.20	66.29	83.18	34.91	24.79	29.51	4184.60
2.00	374.28	227.07	285.42	120.66	81.35	99.70	16248.32
3.00	455.69	280.99	353.07	206.41	137.91	169.88	28312.03
4.00	537.09	334.90	420.73	292.16	194.47	240.06	40375.75
5.00	618.49	388.82	488.38	377.90	251.03	310.24	52439.46
6.00	699.89	442.73	556.04	463.65	307.59	380.42	64503.18
7.00	781.29	496.65	623.70	549.40	364.16	450.60	76566.90
8.00	862.70	550.56	691.35	635.14	420.72	520.78	88630.61
9.00	944.10	604.47	759.01	720.89	477.28	590.96	100694.33
10.00	1025.50	658.39	826.66	806.64	533.84	661.15	112758.04
11.00	1221.14	789.20	991.26	988.02	650.17	807.83	139645.26
12.00	1440.49	934.40	1173.98	1173.75	769.22	958.00	167206.27
13.00	1665.70	1083.38	1361.46	1362.77	890.32	1110.80	195276.76
14.00	1898.35	1237.01	1554.80	1554.41	1013.07	1265.69	223753.37
15.00	2170.09	1413.82	1777.33	1747.97	1137.01	1422.13	252529.10
16.00	2449.79	1595.41	2005.89	1942.44	1261.53	1579.28	281444.32
17.00	2739.59	1782.95	2241.94	2137.11	1386.16	1736.60	310390.56
18.00	3036.33	1974.53	2483.07	2331.25	1510.47	1893.50	339255.62
19.00	3338.99	2169.43	2728.39	2523.86	1633.82	2049.17	367882.91
20.00	3646.60	2366.99	2977.04	2713.95	1755.59	2202.83	396120.12
21.00	3958.19	2566.54	3228.21	2900.57	1875.20	2353.71	423818.84
22.00	4207.18	2728.82	3432.43	3082.78	1992.05	2501.06	450834.30
23.00	4435.18	2878.21	3620.41	3259.67	2105.58	2644.15	477025.11
24.00	4656.96	3023.32	3803.00	3430.35	2215.22	2782.28	502253.05
25.00	4871.66	3163.54	3979.42	3593.94	2320.43	2914.74	526382.84
26.00	5078.43	3298.28	4148.95	3749.59	2420.68	3040.84	549281.97
27.00	5290.53	3436.71	4323.11	3910.59	2524.27	3171.22	573008.85
28.00	5508.41	3579.13	4502.30	4077.36	2631.47	3306.22	597631.08
29.00	5732.06	3725.52	4686.51	4249.90	2742.28	3445.84	623148.67
30.00	5961.50	3875.90	4875.74	4428.22	2856.70	3590.08	649561.61
31.00	6196.70	4030.26	5070.00	4612.32	2974.74	3738.94	676869.90
32.00	6437.69	4188.61	5269.28	4802.20	3096.38	3892.43	705073.55
33.00	6684.45	4350.94	5473.58	4997.85	3221.63	4050.53	734172.55
34.00	6936.99	4517.26	5682.91	5199.28	3350.49	4213.26	764166.91
35.00	7195.30	4687.56	5897.26	5406.49	3482.96	4380.61	795056.62
36.00	7459.39	4861.84	6116.63	5619.47	3619.04	4552.58	826841.68
37.00	7729.26	5040.11	6341.02	5838.23	3758.74	4729.17	859522.10
38.00	8004.90	5222.36	6570.44	6062.76	3902.04	4910.38	893097.87
39.00	8286.32	5408.59	6804.88	6293.07	4048.95	5096.21	927568.99
40.00	8573.52	5598.81	7044.35	6529.16	4199.48	5286.66	962935.47
41.00	8866.49	5793.01	7288.83	6771.02	4353.61	5481.74	999197.31
42.00	9165.24	5991.19	7538.34	7018.66	4511.35	5681.43	1036354.49
43.00	9469.77	6193.36	7792.88	7272.08	4672.71	5885.75	1074407.03
44.00	9780.07	6399.51	8052.43	7531.27	4837.67	6094.69	1113354.93
45.00	10096.15	6609.65	8317.01	7796.24	5006.25	6308.25	1153198.18
46.00	10418.01	6823.77	8586.61	8066.99	5178.43	6526.43	1193936.78
47.00	10745.64	7041.87	8861.24	8343.51	5354.23	6749.23	1235570.74
48.00	11079.05	7263.96	9140.89	8625.81	5533.64	6976.65	1278100.05
49.00	11418.23	7490.03	9425.56	8913.89	5716.65	7208.70	1321524.71
50.00	11763.19	7720.09	9715.25	9207.74	5903.28	7445.36	1365844.73

3.3. 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.

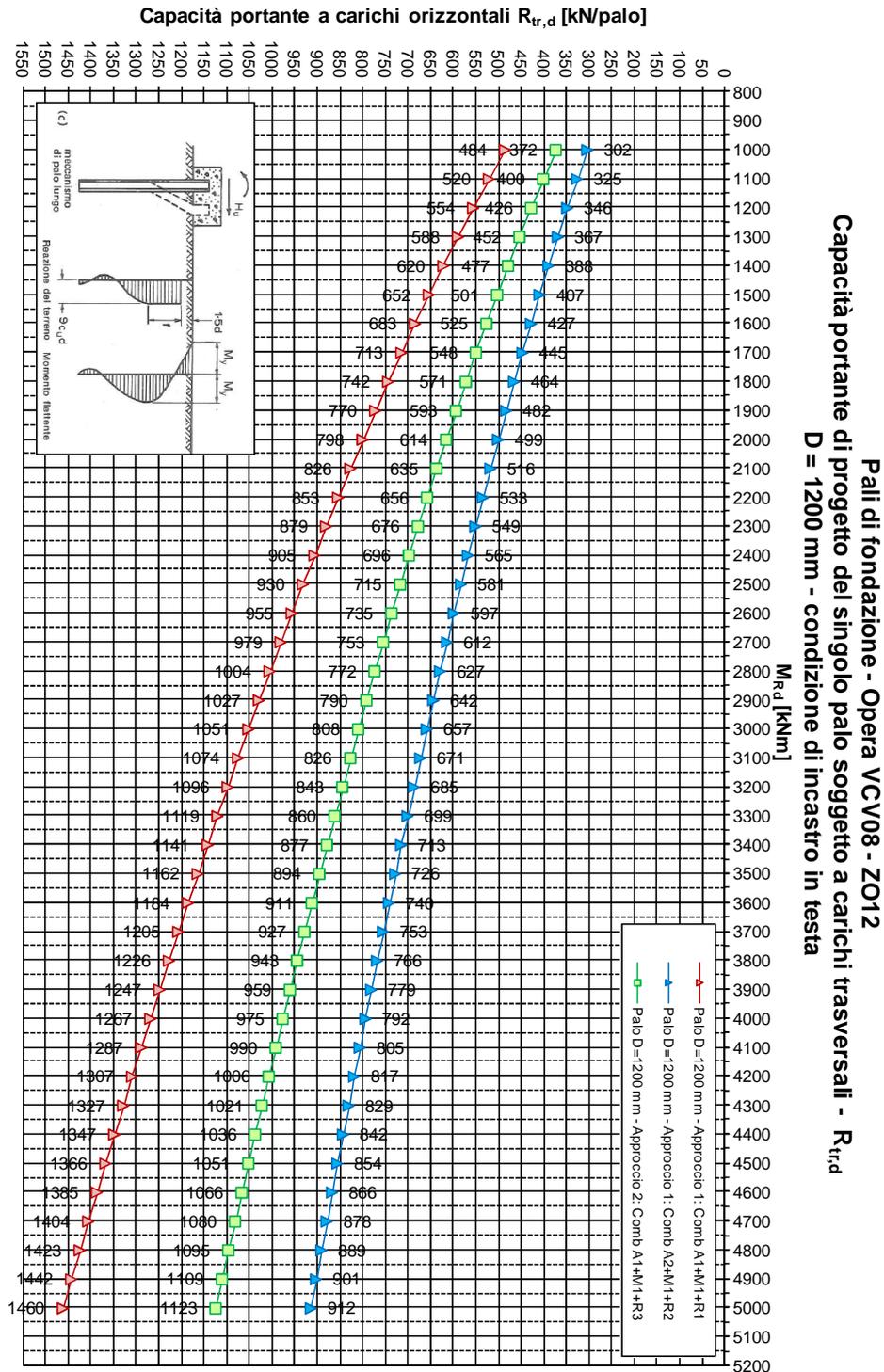


FIGURA 3-6: CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

3.4. 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 VCV08 - Z012
 Diagrammi di sollecitazione flettente e tagliante per un'azione orizzontale di 1000kN
 D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

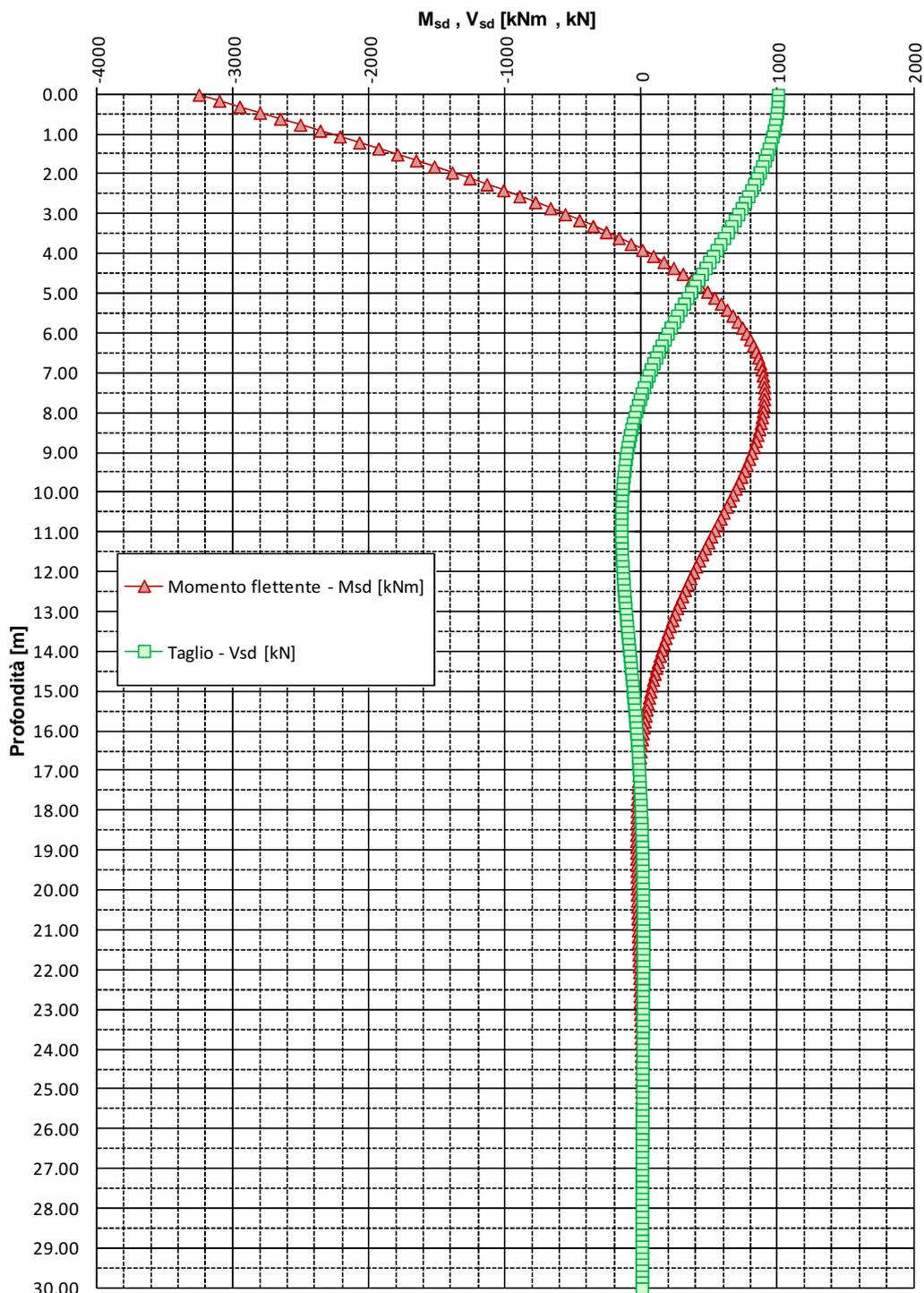


FIGURA 3-7: ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTE E TAGLIANTE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

Pali di fondazione da p.c. - Opera VCV08 - ZO12
Diagrammi di spostamento e rotazione per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

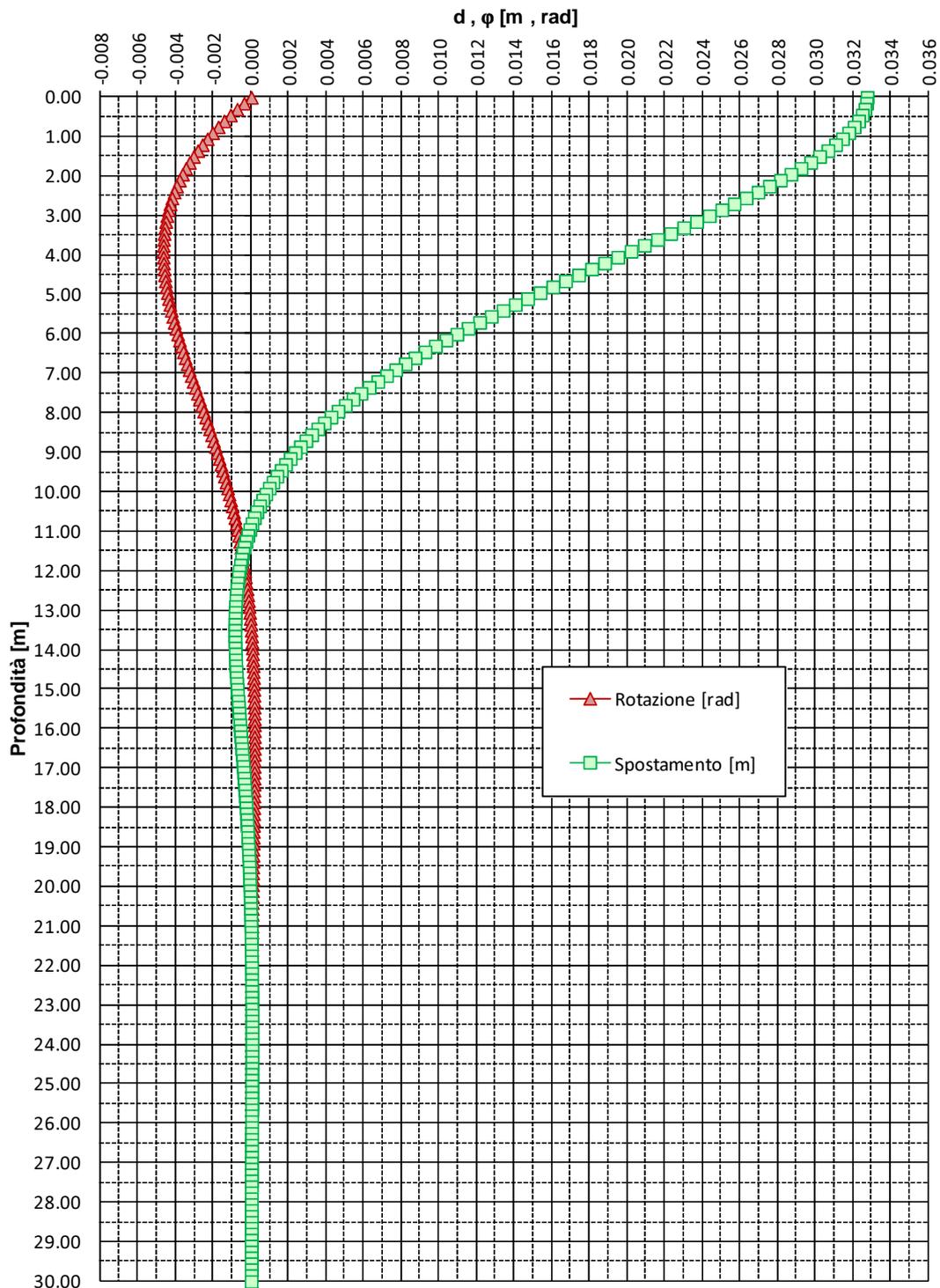


FIGURA 3-8: SPOSTAMENTI E ROTAZIONI – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

Pali di fondazione da p.c. - Opera VCV08 - Z012
Diagrammi di sollecitazione flettente e tagliante per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1200 mm - condizione di incastro in testa

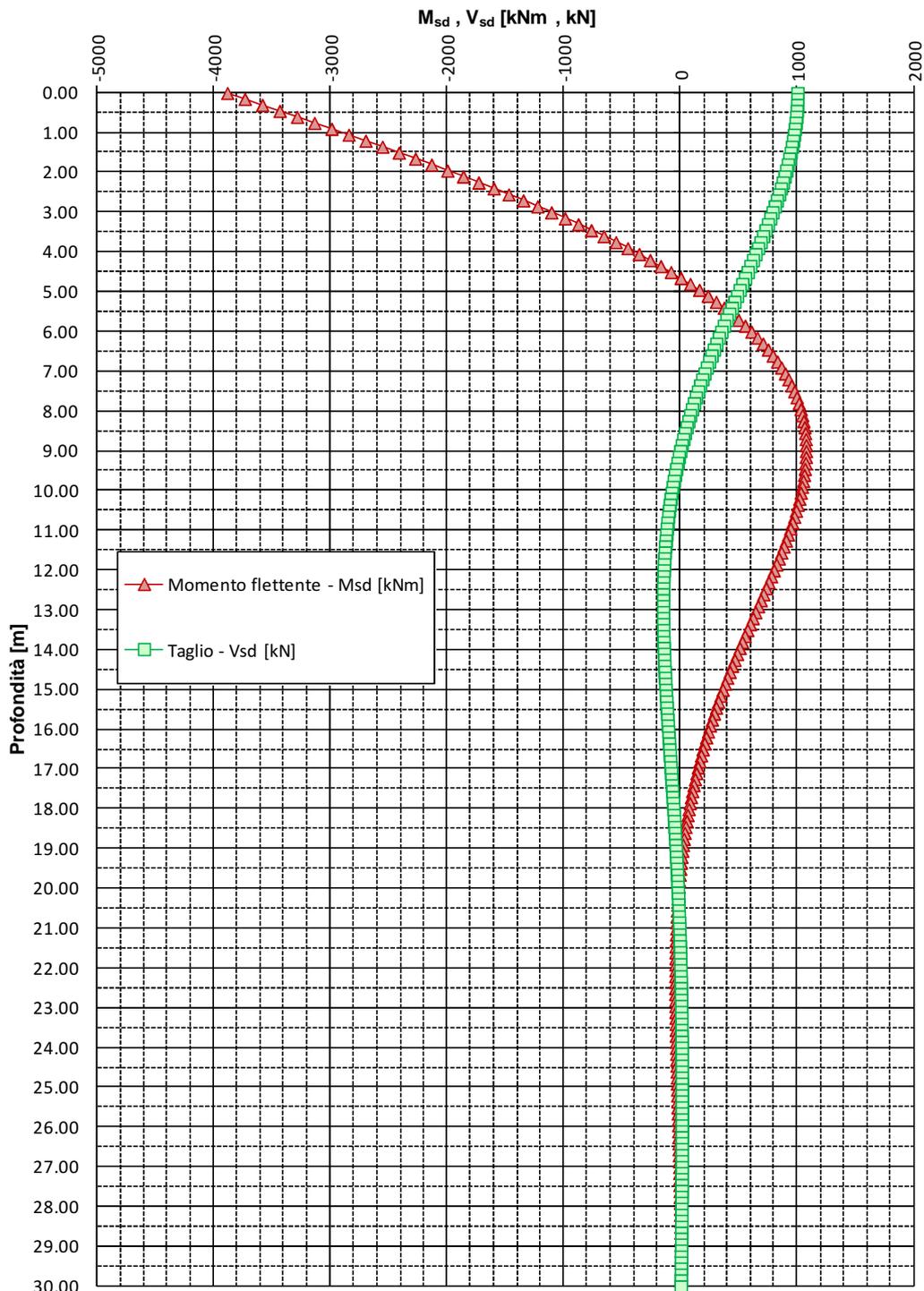


FIGURA 3-9: ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTE E TAGLIANTE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Pali di fondazione da p.c. - Opera VCV08 - ZO12
Diagrammi di spostamento e rotazione per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1200 mm - condizione di incastro in testa

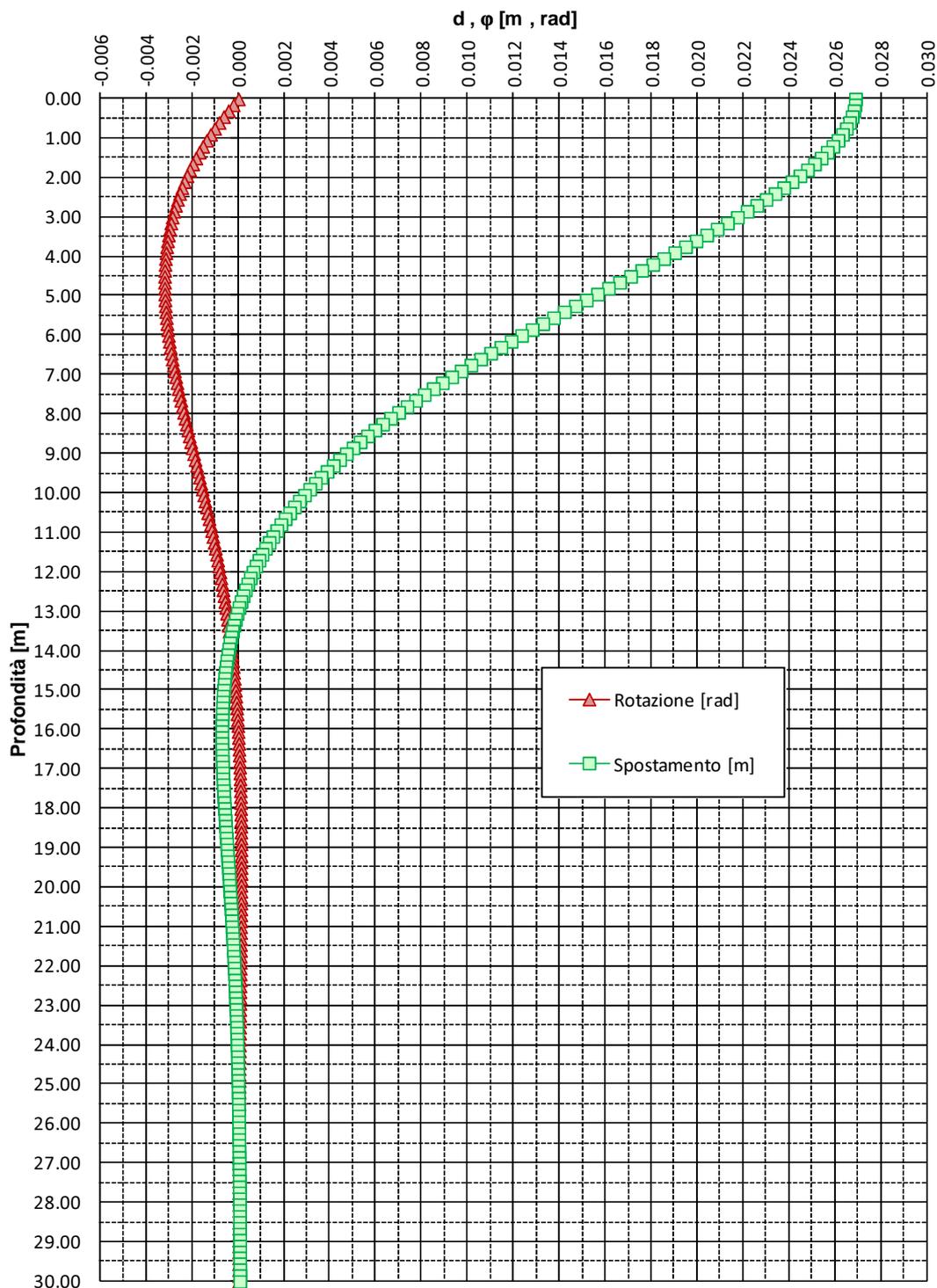


FIGURA 3-10: SPOSTAMENTI E ROTAZIONI – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Pali trivellati ϕ 1000

Profondità					Profondità					Profondità				
	Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio		Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio		Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio
[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]
0.00	0.03	0.00	-3255.35	1000.00	10.05	0.00	0.00	667.85	-145.43	20.10	0.00	0.00	-36.32	6.43
0.15	0.03	0.00	-3105.39	999.15	10.20	0.00	0.00	645.84	-147.84	20.25	0.00	0.00	-35.33	6.86
0.30	0.03	0.00	-2955.67	996.62	10.35	0.00	0.00	623.52	-149.70	20.40	0.00	0.00	-34.27	7.22
0.45	0.03	0.00	-2806.45	992.41	10.50	0.00	0.00	600.95	-151.03	20.55	0.00	0.00	-33.16	7.52
0.60	0.03	0.00	-2657.96	986.55	10.65	0.00	0.00	578.24	-151.86	20.70	0.00	0.00	-32.02	7.77
0.75	0.03	0.00	-2510.57	979.06	10.80	0.00	0.00	555.41	-152.23	20.85	0.00	0.00	-30.83	7.97
0.90	0.03	0.00	-2364.42	969.98	10.95	0.00	0.00	532.59	-152.16	21.00	0.00	0.00	-29.63	8.11
1.05	0.03	0.00	-2219.61	959.36	11.10	0.00	0.00	509.80	-151.66	21.15	0.00	0.00	-28.40	8.21
1.20	0.03	0.00	-2076.64	947.24	11.25	0.00	0.00	487.11	-150.76	21.30	0.00	0.00	-27.17	8.27
1.35	0.03	0.00	-1935.52	933.68	11.40	0.00	0.00	464.59	-149.50	21.45	0.00	0.00	-25.93	8.28
1.50	0.03	0.00	-1796.60	918.73	11.55	0.00	0.00	442.28	-147.88	21.60	0.00	0.00	-24.68	8.27
1.65	0.03	0.00	-1660.01	902.45	11.70	0.00	0.00	420.24	-145.95	21.75	0.00	0.00	-23.45	8.21
1.80	0.03	0.00	-1525.88	884.92	11.85	0.00	0.00	398.50	-143.72	21.90	0.00	0.00	-22.22	8.13
1.95	0.03	0.00	-1394.57	866.20	12.00	0.00	0.00	377.14	-141.22	22.05	0.00	0.00	-21.01	8.02
2.10	0.03	0.00	-1266.09	846.36	12.15	0.00	0.00	356.15	-138.48	22.20	0.00	0.00	-19.82	7.88
2.25	0.03	0.00	-1140.72	825.49	12.30	0.00	0.00	335.60	-135.49	22.35	0.00	0.00	-18.65	7.72
2.40	0.03	0.00	-1018.53	803.66	12.45	0.00	0.00	315.51	-132.32	22.50	0.00	0.00	-17.50	7.54
2.55	0.03	0.00	-899.67	780.94	12.60	0.00	0.00	295.91	-128.96	22.65	0.00	0.00	-16.38	7.35
2.70	0.03	0.00	-784.28	757.42	12.75	0.00	0.00	276.84	-125.44	22.80	0.00	0.00	-15.30	7.13
2.85	0.03	0.00	-672.48	733.17	12.90	0.00	0.00	258.30	-121.78	22.95	0.00	0.00	-14.24	6.91
3.00	0.02	0.00	-564.36	708.28	13.05	0.00	0.00	240.31	-118.00	23.10	0.00	0.00	-13.23	6.67
3.15	0.02	0.00	-460.02	682.83	13.20	0.00	0.00	222.89	-114.12	23.25	0.00	0.00	-12.24	6.42
3.30	0.02	0.00	-359.54	656.89	13.35	0.00	0.00	206.07	-110.16	23.40	0.00	0.00	-11.30	6.17
3.45	0.02	0.00	-262.97	630.54	13.50	0.00	0.00	189.86	-106.13	23.55	0.00	0.00	-10.39	5.91
3.60	0.02	0.00	-170.39	603.87	13.65	0.00	0.00	174.24	-102.05	23.70	0.00	0.00	-9.53	5.64
3.75	0.02	0.00	-81.83	576.96	13.80	0.00	0.00	159.24	-97.93	23.85	0.00	0.00	-8.70	5.37
3.90	0.02	0.00	2.69	549.88	13.95	0.00	0.00	144.86	-93.80	24.00	0.00	0.00	-7.92	5.10
4.05	0.02	0.00	83.13	522.68	14.10	0.00	0.00	131.10	-89.66	24.15	0.00	0.00	-7.17	4.83
4.20	0.02	0.00	159.48	495.46	14.25	0.00	0.00	117.96	-85.53	24.30	0.00	0.00	-6.47	4.55
4.35	0.02	0.00	231.77	468.29	14.40	0.00	0.00	105.44	-81.42	24.45	0.00	0.00	-5.81	4.28
4.50	0.02	0.00	299.99	441.22	14.55	0.00	0.00	93.53	-77.35	24.60	0.00	0.00	-5.18	4.02
4.65	0.02	0.00	364.14	414.32	14.70	0.00	0.00	82.23	-73.31	24.75	0.00	0.00	-4.60	3.75
4.80	0.02	0.00	424.29	387.67	14.85	0.00	0.00	71.54	-69.33	24.90	0.00	0.00	-4.06	3.49
4.95	0.02	0.00	480.46	361.30	15.00	0.00	0.00	61.43	-65.42	25.05	0.00	0.00	-3.55	3.24
5.10	0.01	0.00	532.70	335.27	15.15	0.00	0.00	51.91	-61.57	25.20	0.00	0.00	-3.08	2.99
5.25	0.01	0.00	581.06	309.66	15.30	0.00	0.00	42.96	-57.80	25.35	0.00	0.00	-2.65	2.75
5.40	0.01	0.00	625.62	284.47	15.45	0.00	0.00	34.56	-54.11	25.50	0.00	0.00	-2.26	2.51
5.55	0.01	0.00	666.43	259.81	15.60	0.00	0.00	26.72	-50.52	25.65	0.00	0.00	-1.90	2.29
5.70	0.01	0.00	703.58	235.67	15.75	0.00	0.00	19.40	-47.02	25.80	0.00	0.00	-1.57	2.07
5.85	0.01	0.00	737.16	212.12	15.90	0.00	0.00	12.61	-43.63	25.95	0.00	0.00	-1.28	1.85
6.00	0.01	0.00	767.25	189.18	16.05	0.00	0.00	6.31	-40.34	26.10	0.00	0.00	-1.02	1.65
6.15	0.01	0.00	793.94	166.88	16.20	0.00	0.00	0.50	-37.16	26.25	0.00	0.00	-0.78	1.46
6.30	0.01	0.00	817.35	145.27	16.35	0.00	0.00	-4.85	-34.09	26.40	0.00	0.00	-0.58	1.27
6.45	0.01	0.00	837.57	124.38	16.50	0.00	0.00	-9.74	-31.14	26.55	0.00	0.00	-0.40	1.10
6.60	0.01	0.00	854.70	104.20	16.65	0.00	0.00	-14.19	-28.31	26.70	0.00	0.00	-0.25	0.93
6.75	0.01	0.00	868.86	84.78	16.80	0.00	0.00	-18.23	-25.59	26.85	0.00	0.00	-0.12	0.78
6.90	0.01	0.00	880.17	66.12	16.95	0.00	0.00	-21.88	-22.99	27.00	0.00	0.00	-0.02	0.63
7.05	0.01	0.00	888.74	48.25	17.10	0.00	0.00	-25.14	-20.51	27.15	0.00	0.00	0.07	0.49
7.20	0.01	0.00	894.68	31.17	17.25	0.00	0.00	-28.03	-18.15	27.30	0.00	0.00	0.13	0.37
7.35	0.01	0.00	898.13	14.89	17.40	0.00	0.00	-30.59	-15.90	27.45	0.00	0.00	0.18	0.25
7.50	0.01	0.00	899.19	-0.58	17.55	0.00	0.00	-32.81	-13.78	27.60	0.00	0.00	0.21	0.15
7.65	0.01	0.00	897.99	-15.24	17.70	0.00	0.00	-34.72	-11.77	27.75	0.00	0.00	0.23	0.05
7.80	0.00	0.00	894.65	-29.09	17.85	0.00	0.00	-36.35	-9.88	27.90	0.00	0.00	0.23	-0.03
7.95	0.00	0.00	889.30	-42.13	18.00	0.00	0.00	-37.69	-8.10	28.05	0.00	0.00	0.22	-0.10
8.10	0.00	0.00	882.06	-54.36	18.15	0.00	0.00	-38.78	-6.43	28.20	0.00	0.00	0.20	-0.16
8.25	0.00	0.00	873.04	-65.79	18.30	0.00	0.00	-39.63	-4.87	28.35	0.00	0.00	0.17	-0.22
8.40	0.00	0.00	862.37	-76.43	18.45	0.00	0.00	-40.25	-3.41	28.50	0.00	0.00	0.13	-0.26
8.55	0.00	0.00	850.14	-86.29	18.60	0.00	0.00	-40.66	-2.06	28.65	0.00	0.00	0.09	-0.29
8.70	0.00	0.00	836.51	-95.39	18.75	0.00	0.00	-40.87	-0.81	28.80	0.00	0.00	0.05	-0.30
8.85	0.00	0.00	821.58	-103.73	18.90	0.00	0.00	-40.90	0.34	28.95	0.00	0.00	0.00	-0.31
9.00	0.00	0.00	805.44	-111.33	19.05	0.00	0.00	-40.77	1.39	29.10	0.00	0.00	-0.05	-0.31
9.15	0.00	0.00	788.21	-118.21	19.20	0.00	0.00	-40.49	2.36	29.25	0.00	0.00	-0.09	-0.29
9.30	0.00	0.00	770.01	-124.39	19.35	0.00	0.00	-40.07	3.24	29.40	0.00	0.00	-0.13	-0.27
9.45	0.00	0.00	750.93	-129.87	19.50	0.00	0.00	-39.52	4.03	29.55	0.00	0.00	-0.17	-0.23
9.60	0.00	0.00	731.08	-134.71	19.65	0.00	0.00	-38.86	4.74	29.70	0.00	0.00	-0.20	-0.18
9.75	0.00	0.00	710.55	-138.89	19.80	0.00	0.00	-38.10	5.38	29.85	0.00	0.00	-0.22	-0.11
9.90	0.00	0.00	689.44	-142.46	19.95	0.00	0.00	-37.25	5.94	30.00	0.00	0.00	-0.23	-0.04

Pali trivellati ϕ 1200

Profondità					Profondità					Profondità				
	Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio		Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio		Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio
[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]
0.00	0.03	0.00	-3887.01	1000.01	10.05	0.00	0.00	1028.08	-77.60	20.10	0.00	0.00	-22.46	-24.65
0.15	0.03	0.00	-3737.13	999.40	10.20	0.00	0.00	1015.84	-85.84	20.25	0.00	0.00	-25.99	-22.47
0.30	0.03	0.00	-3587.25	997.62	10.35	0.00	0.00	1002.38	-93.54	20.40	0.00	0.00	-29.21	-20.37
0.45	0.03	0.00	-3437.88	994.67	10.50	0.00	0.00	987.80	-100.71	20.55	0.00	0.00	-32.11	-18.35
0.60	0.03	0.00	-3289.01	990.55	10.65	0.00	0.00	972.17	-107.35	20.70	0.00	0.00	-34.71	-16.41
0.75	0.03	0.00	-3140.66	985.28	10.80	0.00	0.00	955.61	-113.49	20.85	0.00	0.00	-37.04	-14.56
0.90	0.03	0.00	-2993.32	978.87	10.95	0.00	0.00	938.15	-119.12	21.00	0.00	0.00	-39.09	-12.79
1.05	0.03	0.00	-2847.00	971.33	11.10	0.00	0.00	919.91	-124.26	21.15	0.00	0.00	-40.88	-11.10
1.20	0.03	0.00	-2701.95	962.71	11.25	0.00	0.00	900.90	-128.92	21.30	0.00	0.00	-42.42	-9.48
1.35	0.03	0.00	-2558.43	953.04	11.40	0.00	0.00	881.25	-133.12	21.45	0.00	0.00	-43.73	-7.95
1.50	0.03	0.00	-2416.18	942.32	11.55	0.00	0.00	861.00	-136.85	21.60	0.00	0.00	-44.81	-6.50
1.65	0.03	0.00	-2275.69	930.62	11.70	0.00	0.00	840.21	-140.15	21.75	0.00	0.00	-45.68	-5.12
1.80	0.02	0.00	-2137.06	917.95	11.85	0.00	0.00	818.98	-143.02	21.90	0.00	0.00	-46.35	-3.82
1.95	0.02	0.00	-2000.36	904.36	12.00	0.00	0.00	797.33	-145.47	22.05	0.00	0.00	-46.83	-2.59
2.10	0.02	0.00	-1865.79	889.85	12.15	0.00	0.00	775.34	-147.52	22.20	0.00	0.00	-47.13	-1.44
2.25	0.02	0.00	-1733.44	874.53	12.30	0.00	0.00	753.10	-149.19	22.35	0.00	0.00	-47.26	-0.35
2.40	0.02	0.00	-1603.46	858.40	12.45	0.00	0.00	730.61	-150.48	22.50	0.00	0.00	-47.24	0.67
2.55	0.02	0.00	-1475.97	841.50	12.60	0.00	0.00	707.96	-151.42	22.65	0.00	0.00	-47.07	1.62
2.70	0.02	0.00	-1351.05	823.89	12.75	0.00	0.00	685.21	-152.01	22.80	0.00	0.00	-46.76	2.50
2.85	0.02	0.00	-1228.83	805.62	12.90	0.00	0.00	662.38	-152.28	22.95	0.00	0.00	-46.32	3.32
3.00	0.02	0.00	-1109.38	786.72	13.05	0.00	0.00	639.53	-152.23	23.10	0.00	0.00	-45.76	4.08
3.15	0.02	0.00	-992.84	767.22	13.20	0.00	0.00	616.73	-151.88	23.25	0.00	0.00	-45.10	4.78
3.30	0.02	0.00	-879.27	747.20	13.35	0.00	0.00	593.98	-151.26	23.40	0.00	0.00	-44.33	5.42
3.45	0.02	0.00	-768.70	726.71	13.50	0.00	0.00	571.36	-150.36	23.55	0.00	0.00	-43.48	6.00
3.60	0.02	0.00	-661.26	705.77	13.65	0.00	0.00	548.89	-149.21	23.70	0.00	0.00	-42.53	6.54
3.75	0.02	0.00	-557.01	684.45	13.80	0.00	0.00	526.60	-147.83	23.85	0.00	0.00	-41.52	7.02
3.90	0.02	0.00	-455.96	662.76	13.95	0.00	0.00	504.56	-146.22	24.00	0.00	0.00	-40.43	7.44
4.05	0.02	0.00	-358.19	640.80	14.10	0.00	0.00	482.75	-144.39	24.15	0.00	0.00	-39.29	7.83
4.20	0.02	0.00	-263.73	618.59	14.25	0.00	0.00	461.25	-142.38	24.30	0.00	0.00	-38.09	8.16
4.35	0.02	0.00	-172.61	596.17	14.40	0.00	0.00	440.05	-140.18	24.45	0.00	0.00	-36.84	8.45
4.50	0.02	0.00	-84.88	573.60	14.55	0.00	0.00	419.21	-137.81	24.60	0.00	0.00	-35.55	8.70
4.65	0.02	0.00	-5.54	550.90	14.70	0.00	0.00	398.73	-135.29	24.75	0.00	0.00	-34.23	8.90
4.80	0.02	0.00	80.39	528.12	14.85	0.00	0.00	378.62	-132.63	24.90	0.00	0.00	-32.89	9.07
4.95	0.02	0.00	157.90	505.35	15.00	0.00	0.00	358.93	-129.84	25.05	0.00	0.00	-31.51	9.20
5.10	0.02	0.00	231.99	482.55	15.15	0.00	0.00	339.67	-126.93	25.20	0.00	0.00	-30.13	9.30
5.25	0.01	0.00	302.67	459.83	15.30	0.00	0.00	320.86	-123.92	25.35	0.00	0.00	-28.73	9.36
5.40	0.01	0.00	369.95	437.18	15.45	0.00	0.00	302.51	-120.81	25.50	0.00	0.00	-27.32	9.39
5.55	0.01	0.00	433.82	414.66	15.60	0.00	0.00	284.62	-117.63	25.65	0.00	0.00	-25.91	9.38
5.70	0.01	0.00	494.36	392.31	15.75	0.00	0.00	267.22	-114.37	25.80	0.00	0.00	-24.51	9.35
5.85	0.01	0.00	551.54	370.18	15.90	0.00	0.00	250.31	-111.06	25.95	0.00	0.00	-23.11	9.29
6.00	0.01	0.00	605.41	348.24	16.05	0.00	0.00	233.90	-107.69	26.10	0.00	0.00	-21.72	9.20
6.15	0.01	0.00	656.02	326.59	16.20	0.00	0.00	218.00	-104.29	26.25	0.00	0.00	-20.35	9.08
6.30	0.01	0.00	703.40	305.21	16.35	0.00	0.00	202.62	-100.85	26.40	0.00	0.00	-19.00	8.94
6.45	0.01	0.00	747.60	284.17	16.50	0.00	0.00	187.75	-97.40	26.55	0.00	0.00	-17.67	8.78
6.60	0.01	0.00	788.68	263.48	16.65	0.00	0.00	173.40	-93.93	26.70	0.00	0.00	-16.36	8.60
6.75	0.01	0.00	826.67	243.16	16.80	0.00	0.00	159.57	-90.46	26.85	0.00	0.00	-15.09	8.39
6.90	0.01	0.00	861.63	223.24	16.95	0.00	0.00	146.26	-86.99	27.00	0.00	0.00	-13.85	8.16
7.05	0.01	0.00	893.67	203.73	17.10	0.00	0.00	133.47	-83.53	27.15	0.00	0.00	-12.64	7.91
7.20	0.01	0.00	922.78	184.67	17.25	0.00	0.00	121.20	-80.09	27.30	0.00	0.00	-11.48	7.65
7.35	0.01	0.00	949.09	166.07	17.40	0.00	0.00	109.44	-76.67	27.45	0.00	0.00	-10.35	7.36
7.50	0.01	0.00	972.63	147.95	17.55	0.00	0.00	98.20	-73.29	27.60	0.00	0.00	-9.27	7.06
7.65	0.01	0.00	993.50	130.31	17.70	0.00	0.00	87.46	-69.94	27.75	0.00	0.00	-8.24	6.73
7.80	0.01	0.00	1011.74	113.19	17.85	0.00	0.00	77.21	-66.63	27.90	0.00	0.00	-7.25	6.39
7.95	0.01	0.00	1027.47	96.58	18.00	0.00	0.00	67.46	-63.37	28.05	0.00	0.00	-6.32	6.04
8.10	0.01	0.00	1040.75	80.51	18.15	0.00	0.00	58.20	-60.17	28.20	0.00	0.00	-5.44	5.67
8.25	0.01	0.00	1051.64	64.98	18.30	0.00	0.00	49.41	-57.01	28.35	0.00	0.00	-4.62	5.28
8.40	0.01	0.00	1060.27	50.00	18.45	0.00	0.00	41.09	-53.82	28.50	0.00	0.00	-3.86	4.88
8.55	0.01	0.00	1066.68	35.57	18.60	0.00	0.00	33.23	-50.89	28.65	0.00	0.00	-3.16	4.46
8.70	0.01	0.00	1070.96	21.70	18.75	0.00	0.00	25.82	-47.93	28.80	0.00	0.00	-2.52	4.02
8.85	0.00	0.00	1073.22	8.40	18.90	0.00	0.00	18.85	-45.04	28.95	0.00	0.00	-1.95	3.57
9.00	0.00	0.00	1073.53	-4.33	19.05	0.00	0.00	12.30	-42.22	29.10	0.00	0.00	-1.45	3.11
9.15	0.00	0.00	1071.95	-18.49	19.20	0.00	0.00	6.18	-39.47	29.25	0.00	0.00	-1.02	2.63
9.30	0.00	0.00	1068.59	-28.09	19.35	0.00	0.00	0.46	-36.80	29.40	0.00	0.00	-0.66	2.13
9.45	0.00	0.00	1063.55	-39.11	19.50	0.00	0.00	-4.87	-34.21	29.55	0.00	0.00	-0.38	1.62
9.60	0.00	0.00	1056.89	-49.57	19.65	0.00	0.00	-9.81	-31.70	29.70	0.00	0.00	-0.18	1.09
9.75	0.00	0.00	1048.72	-59.47	19.80	0.00	0.00	-14.38	-29.27	29.85	0.00	0.00	-0.05	0.55
9.90	0.00	0.00	1039.07	-68.81	19.95	0.00	0.00	-18.59	-26.92	30.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01

3.5. 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.

3.5.1. Terreni coesivi

3.5.1.1 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.

3.5.1.2 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 3-11);

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 3-11);

C_u = coesione alla base del blocco;

N_c = fattore di capacità portante adimensionale desunto dalla Tabella 3-4 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.

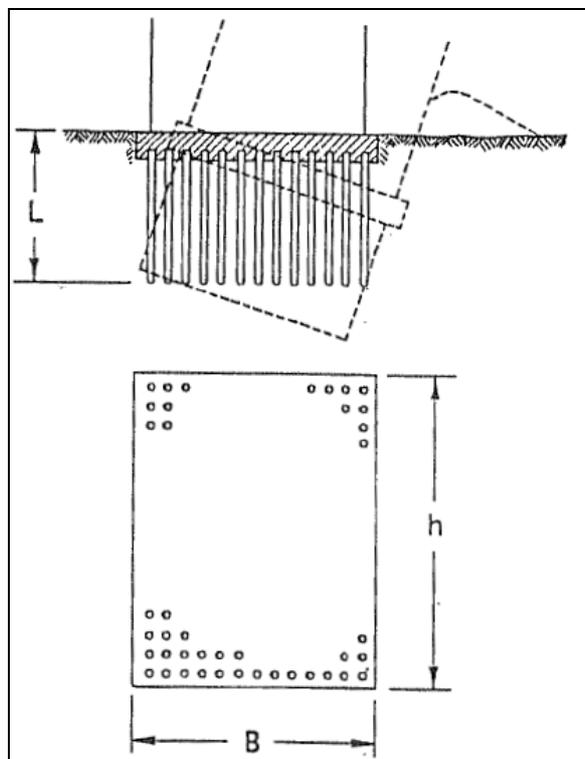


FIGURA 3-11: SCHEMA DI ROTTURA DEL TERRENO PER EFFETTO DELLA PALIFICATA QUALE BLOCCO IN TERRENI COESIVI (TERZAGHI & PECK, 1967)

TABELLA 3-4: 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

3.5.2. 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.

3.5.2.1 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 $E_v = 1$.

3.5.2.2 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.

3.6. 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 $E_H = 1.0$.

3.7. 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 3-12 - Schema A);
- interazione tra pali affiancati, caricati in direzione perpendicolare alla fila (Figura 3-13 - 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 3-12: 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.

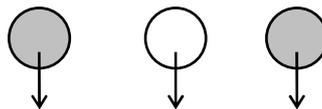


FIGURA 3-13: SCHEMA B – PALI AFFIANCATI

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%.

3.8. COMPORTAMENTO DEI PALI IN ESERCIZIO

3.8.1. 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.

3.8.2. 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 3-14) 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:

$$E_G = R_G n$$

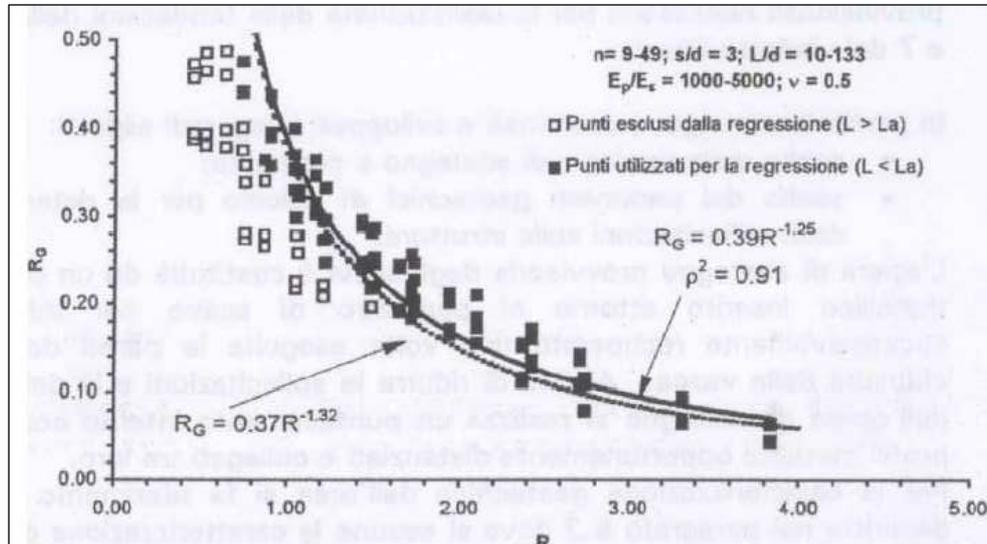


FIGURA 3-14: AMPLIFICAZIONE DEL CEDIMENTO PER EFFETTO GRUPPO

Ad esempio:

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

3.8.3. Rigidezze assiali e trasversali

Alla luce delle considerazioni esposte al § 3.8.1, 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 § 3.2 congiuntamente ai tabulati di capacità portante verticale.

VCV08 - Cavalcavia S.P.8 dir. S.Felice - ZO12

NTC del 14/01/2008

Rigidezza assiale - Pali trivellati ϕ 1000mm

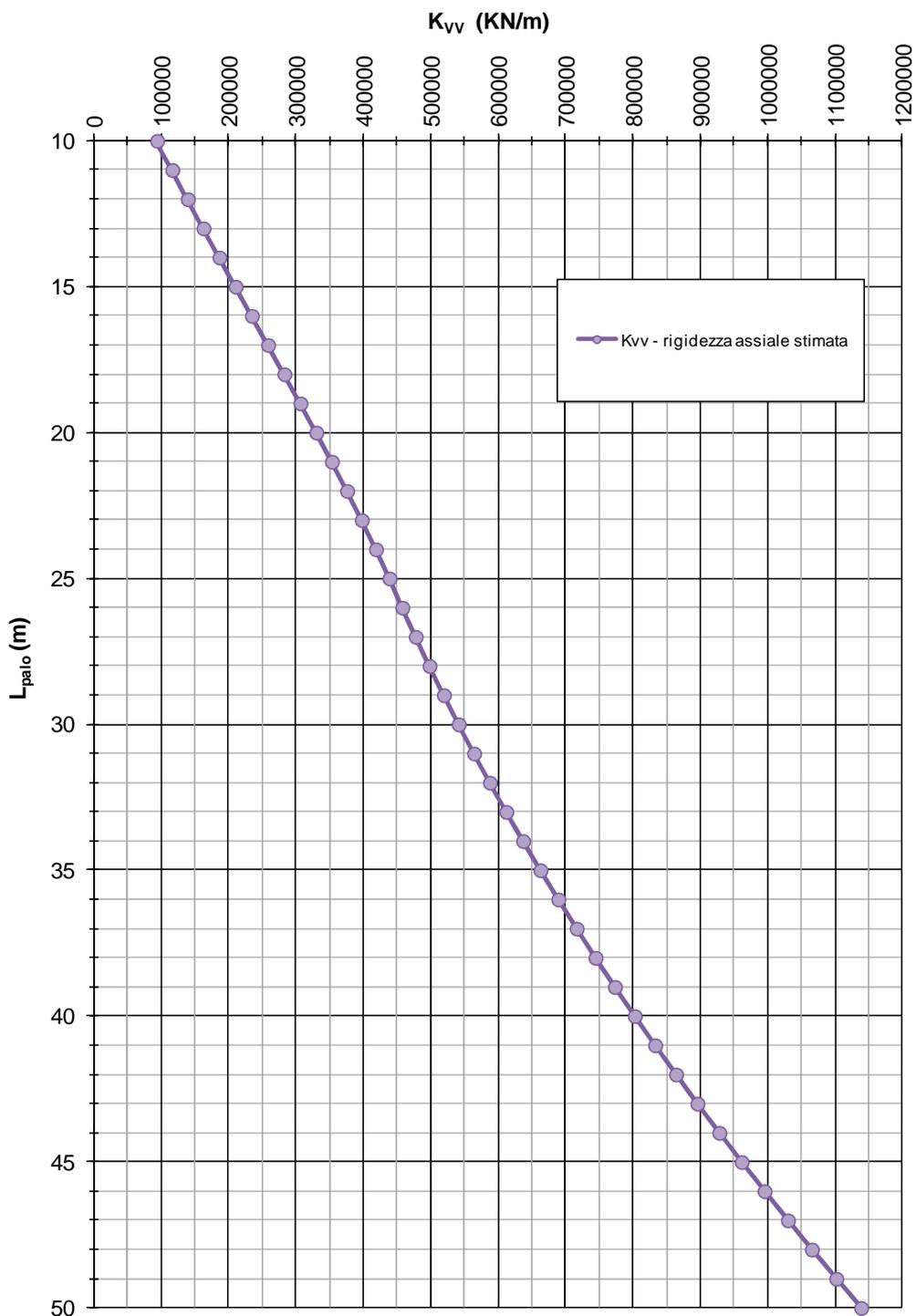


FIGURA 3-15: RIGIDEZZA VERTICALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

VCV08 - Cavalcavia S.P.8 dir. S.Felice - ZO12
NTC del 14/01/2008
Rigidezza assiale - Pali trivellati ϕ 1200mm

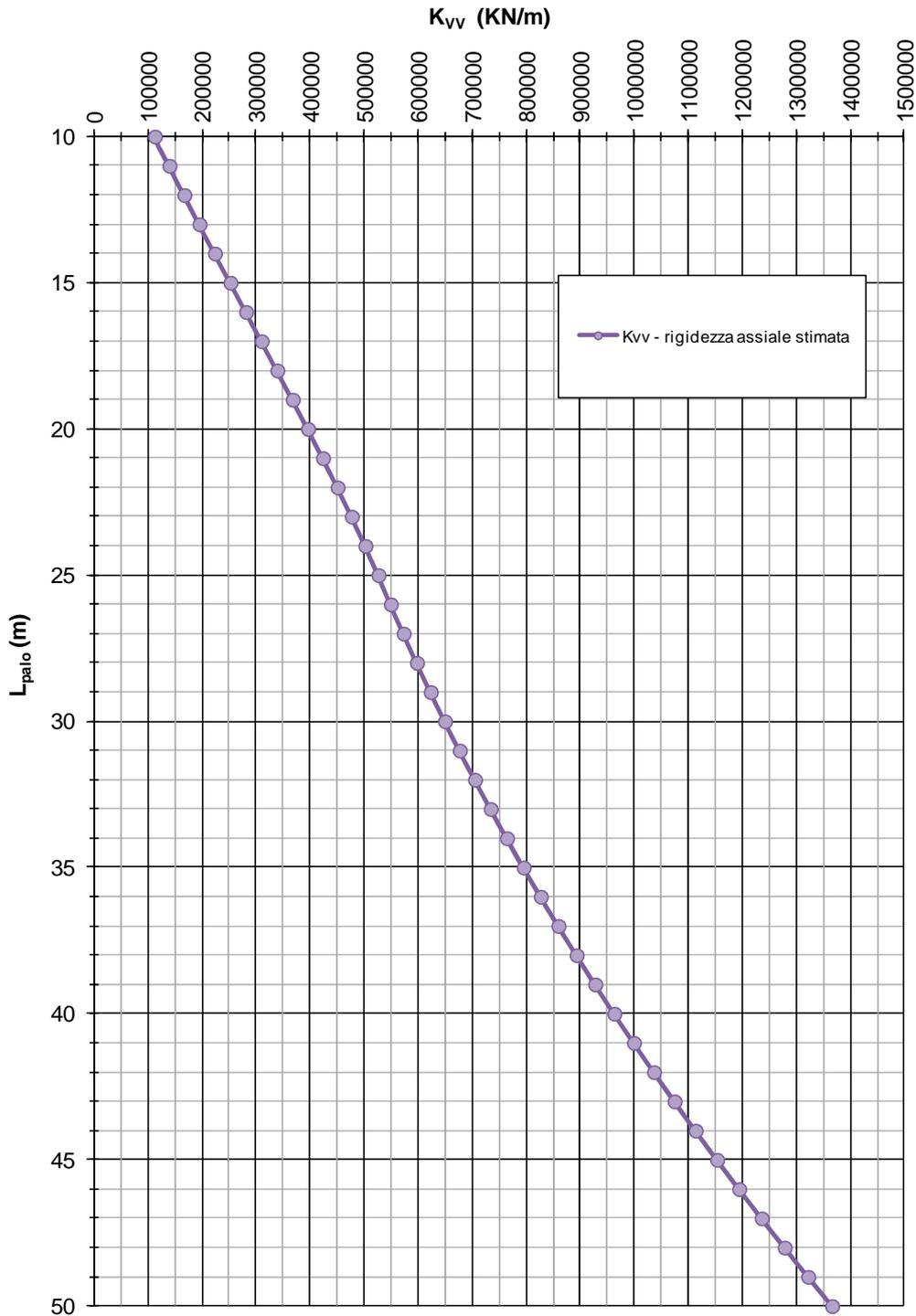


FIGURA 3-16: RIGIDEZZA VERTICALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

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>		
$K_{MR} =$	2 299	kN/m^3
<i>Rigidezze statiche alla testa dei pali</i>		
$K_{HH} =$	35 677	kN/m
$K_{MM} =$	545 474	kNm
$K_{HM} =$	-103 229	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>		
$K_{MR} =$	1 964	kN/m^3
<i>Rigidezze statiche alla testa dei pali</i>		
$K_{HH} =$	43 518	kN/m
$K_{MM} =$	947 336	kNm
$K_{HM} =$	-150 154	kN
Calcolo svolto secondo le indicazioni riportate in Appendice C dell'Eurocodice 8 - Parte 5		

4. VPO02 – PONTE SUL CANALE DIVERSIVO DI BURANA

4.1. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

OPERA: Ponte sul Canale diversivo di Burana

Q_{rif} = 16.00 m s.l.m.

TABELLA 4-1: INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO PER STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE

sigla indagine	campagna di indagine	quota p.c. (m s.l.m.)	lunghezza (m)	strumentazione installata
BH 205	Imprefond - 2011	15.232	50.0	C (15)
CPTU 207	Imprefond - 2011	15.753	35.5	-
CPTU 208	Imprefond - 2011	15.095	36.0	-

C (...) = cella piezometrica Casagrande (quota cella);
TA (...) = piezometro a tubo aperto (tratto cieco + filtrante).
CH (...) = cross-hole (profondità)

TABELLA 4-2: 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 4-3: CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICO – GEOTECNICA

Profondità (m da p.c.) (Q_{ref} 16.00 m s.l.m.)	Unità -	z_w (m)	γ_n (kN/m ³)	φ^* (*) (°)	c^* (*) (kPa)	c_u (*) (kPa)	E' (MPa)	M (MPa)
0.0÷1.0	2	0.0	18.5	28-30	0	-	7.0	-
1.0÷10.0	1		19.0	20-22	4-6	40-80	3.7	5.0
10.0÷13.0	4		19.0	31-33	0	-	30.0	-
13.0÷17.0	5		19.5	31-34	0	-	60.0	-
17.0÷20.0	4		19.0	31-33	0	-	30.0	-
Da 20.0	5		19.5	31-34	0	-	60.0	-

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

z_w = profondità falda di progetto;

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 rigidezza 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 rigidezza.

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 (MPa);

M = valore del modulo edometrico.

Con riferimento ai primi 30.0 m da piano campagna, 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 4.1.

4.2. 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.

VPO02 - Ponte sul canale Diversivo di Burana - ZO12

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1000mm

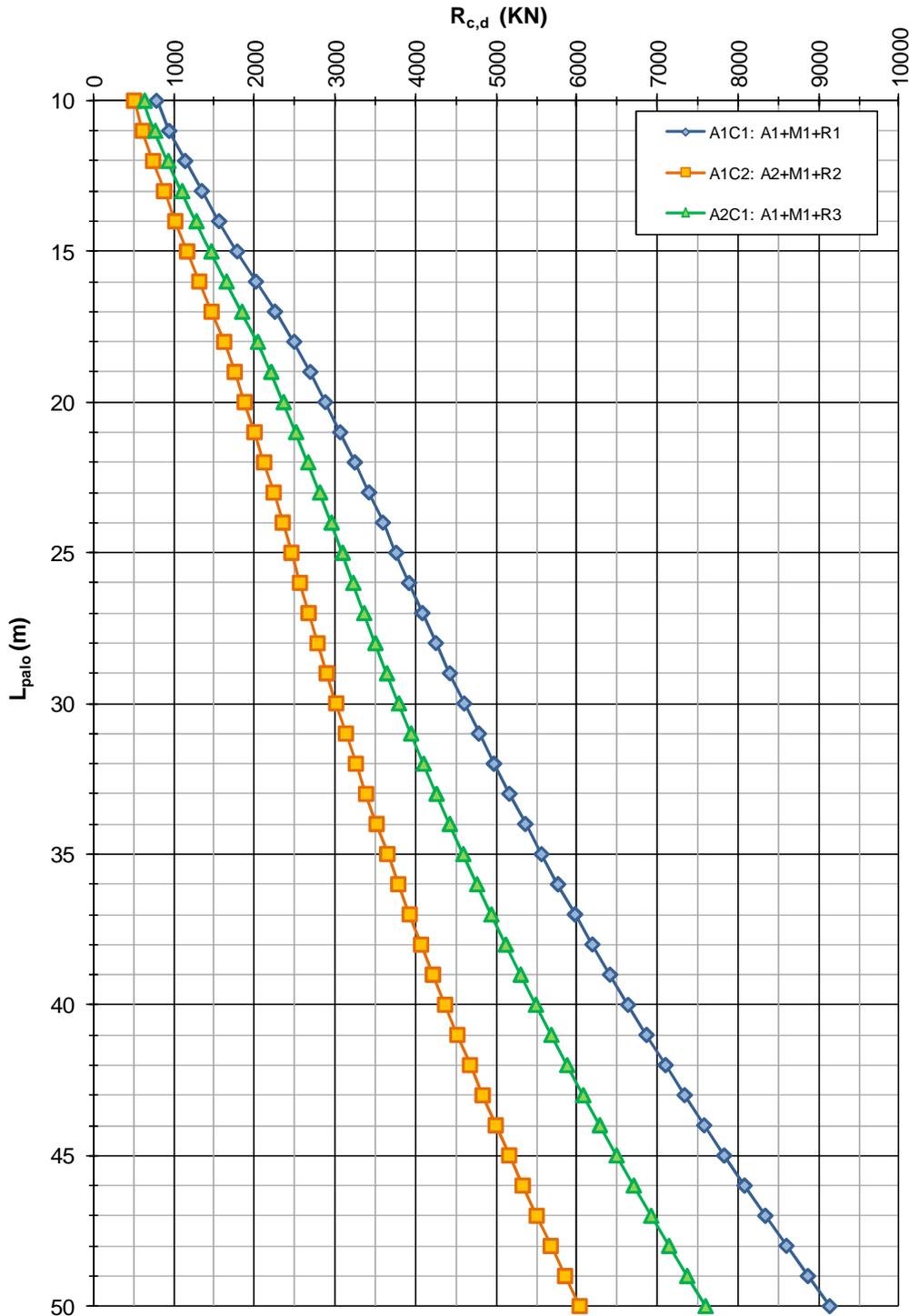


FIGURA 4-1: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

VPO02 - Ponte sul canale Diversivo di Burana - ZO12
NTC del 14/01/2008
Capacità portante a trazione - Pali trivellati ϕ 1000mm

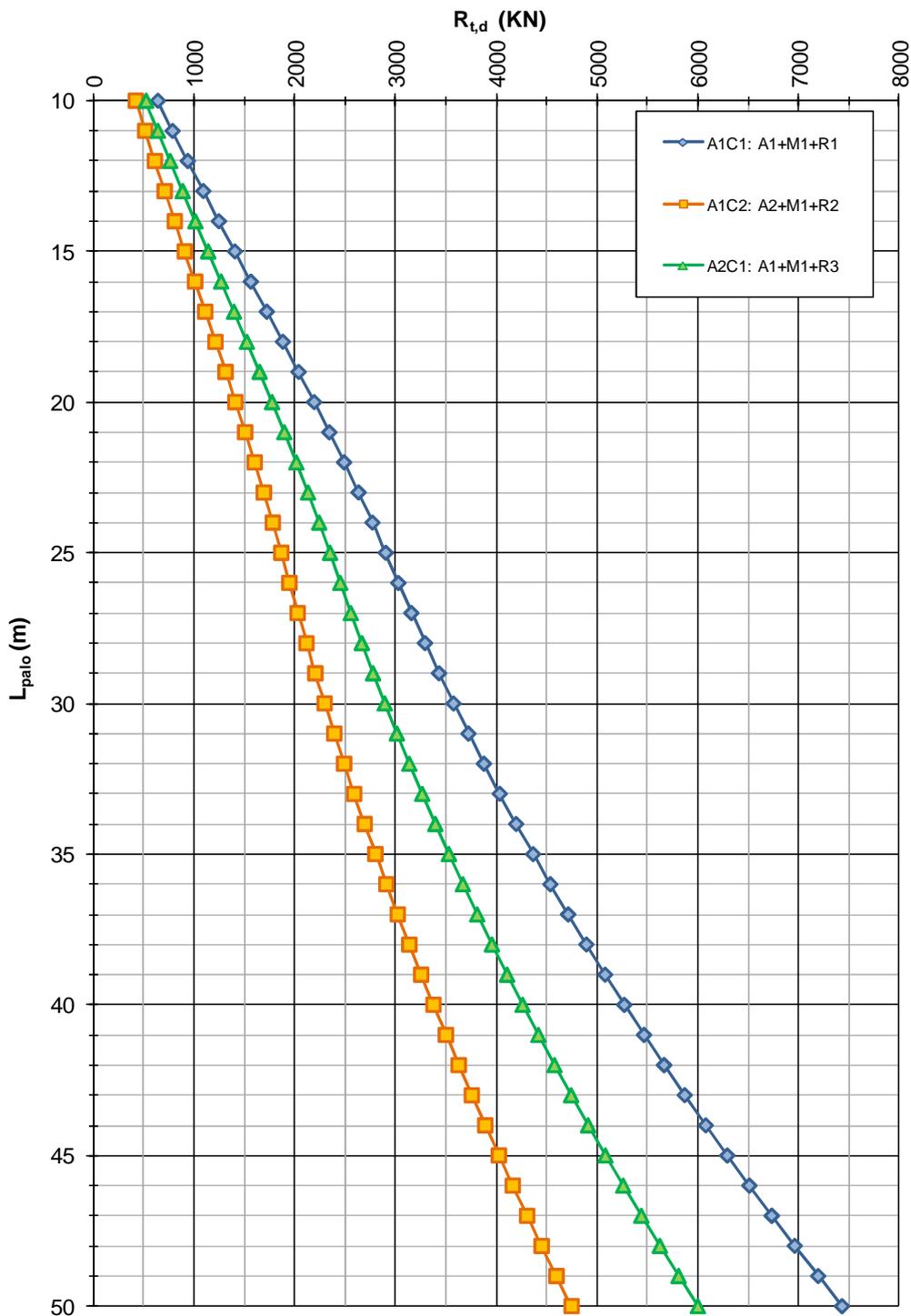


FIGURA 4-2: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

VPO02 - Ponte sul canale Diversivo di Burana - ZO12

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a compressione - Pali trivellati ϕ 1200mm

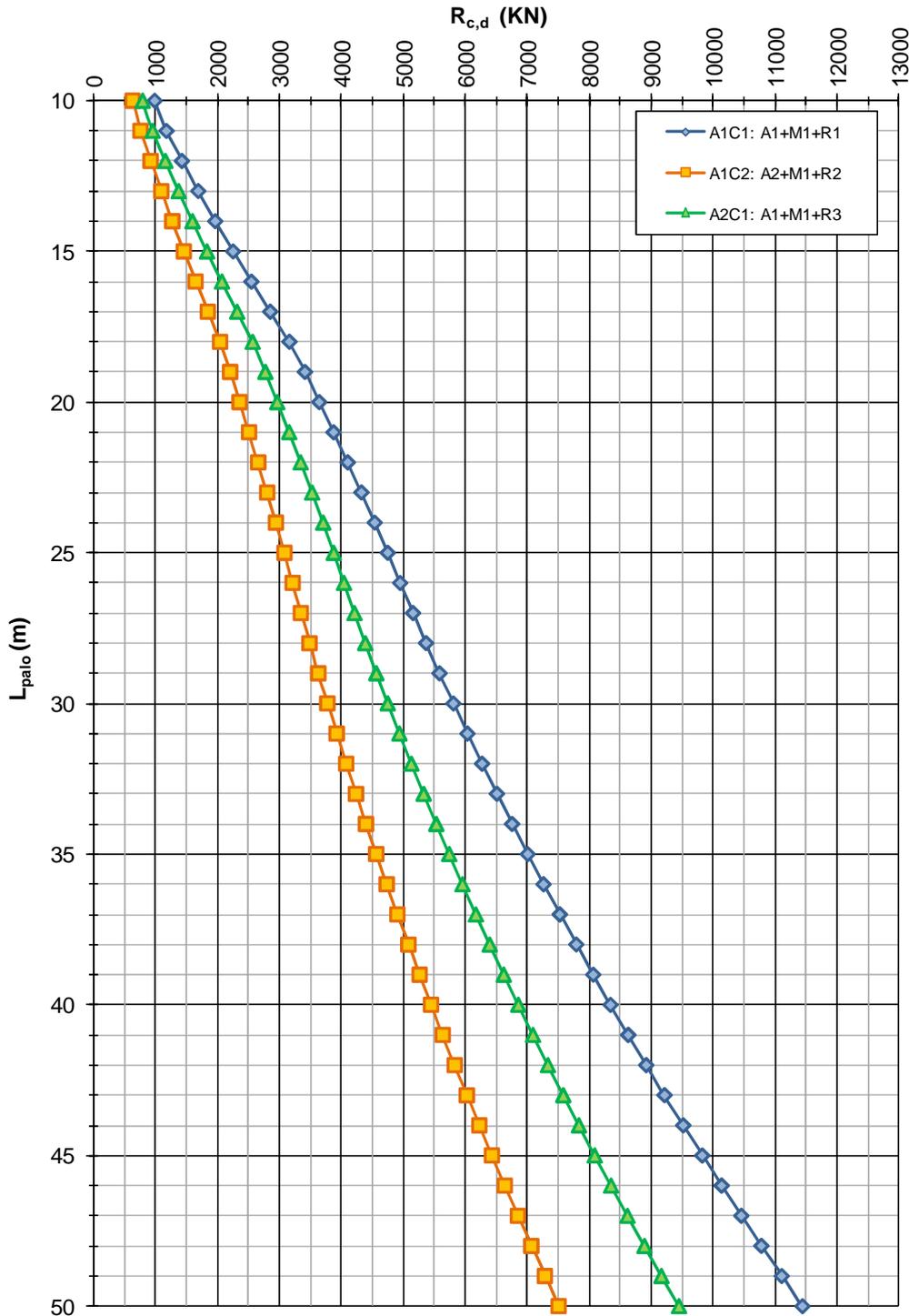


FIGURA 4-3: CAPACITÀ PORTANTE A COMPRESSIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

VPO02 - Ponte sul canale Diversivo di Burana - ZO12

NTC del 14/01/2008

Capacità portante a trazione - Pali trivellati ϕ 1200mm

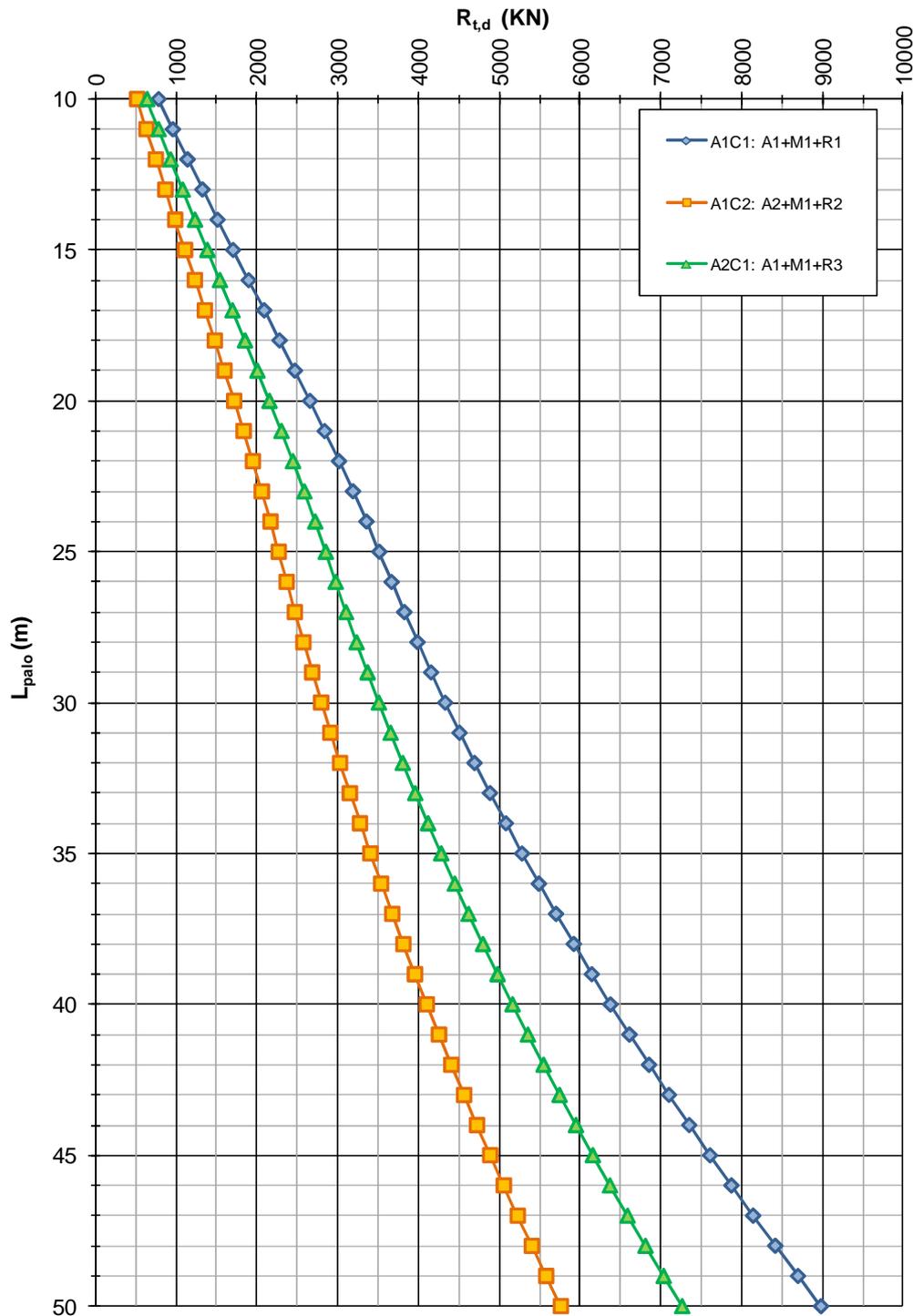


FIGURA 4-4: CAPACITÀ PORTANTE A TRAZIONE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

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	78.22	46.93	58.89	27.29	19.12	22.93	3487.17
2.00	265.45	162.15	203.83	95.62	63.89	78.70	13540.26
3.00	330.47	205.47	258.23	163.95	108.65	134.46	23593.36
4.00	395.48	248.79	312.62	232.28	153.42	190.22	33646.46
5.00	460.49	292.11	367.02	300.61	198.19	245.99	43699.55
6.00	525.50	335.43	421.42	368.94	242.96	301.75	53752.65
7.00	590.51	378.75	475.82	437.27	287.73	357.51	63805.75
8.00	655.52	422.07	530.22	505.60	332.49	413.28	73858.84
9.00	720.53	465.39	584.61	573.93	377.26	469.04	83911.94
10.00	785.55	508.71	639.01	642.26	422.03	524.80	93965.04
11.00	849.97	549.67	690.11	709.13	462.26	575.26	104018.04
12.00	913.67	589.33	737.32	771.14	501.26	622.60	114170.04
13.00	976.67	628.69	781.63	831.14	539.26	669.04	123922.04
14.00	1038.97	666.75	824.14	888.14	575.26	713.28	133274.04
15.00	1099.67	703.51	863.85	941.14	609.26	754.04	142226.04
16.00	1158.97	738.97	900.16	990.14	641.26	791.28	150778.04
17.00	1216.97	773.13	935.17	1035.14	671.26	825.04	158930.04
18.00	1273.67	805.99	967.18	1076.14	700.26	856.28	166682.04
19.00	1329.17	837.55	996.19	1113.14	727.26	884.04	174034.04
20.00	1383.47	867.81	1023.20	1146.14	752.26	908.28	180986.04
21.00	1436.57	896.77	1048.21	1175.14	775.26	929.04	187538.04
22.00	1488.47	924.43	1071.22	1200.14	796.26	946.28	193690.04
23.00	1539.17	950.79	1092.23	1221.14	814.26	960.04	199442.04
24.00	1588.67	975.85	1111.24	1238.14	829.26	971.28	204794.04
25.00	1636.97	1000.61	1128.25	1251.14	841.26	980.04	209746.04
26.00	1684.07	1025.07	1143.26	1260.14	850.26	987.28	214298.04
27.00	1729.97	1049.23	1156.27	1265.14	856.26	993.04	218450.04
28.00	1774.67	1073.09	1168.28	1267.14	860.26	997.28	222202.04
29.00	1818.17	1096.65	1179.29	1267.14	863.26	1000.04	225654.04
30.00	1860.47	1119.91	1189.30	1264.14	864.26	1001.28	228806.04
31.00	1901.57	1142.87	1198.31	1258.14	863.26	1001.04	231658.04
32.00	1941.47	1165.53	1206.32	1249.14	860.26	1000.28	234210.04
33.00	1980.17	1187.89	1213.33	1237.14	855.26	998.04	236462.04
34.00	2017.67	1209.95	1219.34	1222.14	848.26	994.28	238414.04
35.00	2053.97	1231.71	1224.35	1204.14	839.26	989.04	240066.04
36.00	2089.07	1253.17	1228.36	1183.14	828.26	982.28	241418.04
37.00	2122.97	1274.33	1231.37	1159.14	815.26	974.04	242470.04
38.00	2155.67	1295.19	1233.38	1132.14	800.26	964.28	243222.04
39.00	2187.17	1315.75	1234.39	1102.14	783.26	953.04	243674.04
40.00	2217.47	1336.01	1234.40	1069.14	764.26	940.28	243826.04
41.00	2246.57	1355.97	1233.41	1033.14	743.26	926.04	243678.04
42.00	2274.47	1375.63	1231.42	994.14	720.26	910.28	243230.04
43.00	2301.17	1395.09	1228.43	952.14	695.26	893.04	242482.04
44.00	2326.67	1414.35	1224.44	907.14	668.26	874.28	241334.04
45.00	2350.97	1433.41	1219.45	860.14	639.26	854.04	240086.04
46.00	2374.07	1452.27	1213.46	811.14	608.26	832.28	238738.04
47.00	2395.97	1470.93	1206.47	760.14	575.26	809.04	237290.04
48.00	2416.67	1489.39	1198.48	707.14	540.26	783.28	235742.04
49.00	2436.17	1507.65	1189.49	652.14	503.26	755.04	234094.04
50.00	2454.47	1525.71	1179.50	595.14	464.26	725.28	232346.04

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]			Rigidità 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	107.40	63.97	80.26	34.07	24.26	28.84	4184.60
2.00	361.94	219.48	275.85	117.39	79.30	97.08	16248.32
3.00	440.48	271.46	341.07	200.70	134.34	165.31	28312.03
4.00	519.02	323.45	406.29	284.02	189.39	233.55	40375.75
5.00	597.55	375.43	471.51	367.33	244.43	301.78	52439.46
6.00	676.09	427.41	536.73	450.65	299.47	370.02	64503.18
7.00	754.63	479.39	601.95	533.96	354.51	438.25	76566.90
8.00	833.16	531.38	667.17	617.28	409.55	506.49	88630.61
9.00	911.70	583.36	732.39	700.59	464.59	574.72	100694.33
10.00	990.24	635.34	797.61	783.91	519.63	642.96	112758.04
11.00	1181.80	763.24	958.54	960.27	632.83	785.64	139710.04
12.00	1431.81	926.03	1163.41	1141.60	749.12	932.28	167455.21
13.00	1693.63	1096.16	1377.51	1326.77	867.83	1082.00	195816.28
14.00	1969.13	1274.65	1602.16	1515.07	988.48	1234.22	224677.72
15.00	2255.41	1459.72	1835.10	1705.76	1110.63	1388.36	253920.92
16.00	2551.41	1650.65	2075.40	1897.76	1233.60	1543.55	283375.24
17.00	2856.08	1846.71	2322.17	2090.06	1356.76	1698.96	312875.47
18.00	3164.68	2044.97	2571.72	2281.37	1479.29	1853.59	342217.99
19.00	3414.54	2208.46	2777.48	2470.49	1600.47	2006.48	371211.78
20.00	3646.02	2360.83	2969.22	2656.56	1719.73	2156.91	399715.74
21.00	3877.33	2512.73	3160.37	2838.93	1836.67	2304.39	427627.80
22.00	4104.28	2661.61	3347.72	3016.93	1950.90	2448.38	454841.66
23.00	4325.98	2806.88	3530.51	3189.69	2061.84	2588.17	481216.27
24.00	4541.57	2947.94	3707.99	3356.34	2168.96	2723.07	506613.71
25.00	4750.21	3084.20	3879.43	3516.04	2271.74	2852.42	530899.01
26.00	4951.08	3215.10	4044.10	3667.96	2369.66	2975.54	553939.93
27.00	5157.12	3349.56	4213.27	3825.06	2470.82	3102.79	577808.18
28.00	5368.75	3487.88	4387.30	3987.74	2575.47	3234.53	602571.78
29.00	5585.98	3630.07	4566.20	4156.03	2683.61	3370.74	628230.74
30.00	5808.80	3776.11	4749.97	4329.91	2795.26	3511.43	654785.05
31.00	6037.22	3926.01	4938.60	4509.39	2910.40	3656.59	682234.72
32.00	6271.24	4079.77	5132.10	4694.46	3029.04	3806.24	710579.74
33.00	6510.85	4237.39	5330.47	4885.13	3151.18	3960.36	739820.11
34.00	6756.06	4398.87	5533.70	5081.40	3276.81	4118.95	769955.84
35.00	7006.86	4564.21	5741.79	5283.26	3405.94	4282.02	800986.92
36.00	7263.26	4733.41	5954.76	5490.71	3538.57	4449.57	832913.35
37.00	7525.26	4906.47	6172.59	5703.77	3674.70	4621.60	865735.14
38.00	7792.85	5083.38	6395.28	5922.42	3814.32	4798.10	899452.29
39.00	8066.04	5264.16	6622.84	6146.66	3957.45	4979.08	934064.78
40.00	8344.82	5448.79	6855.27	6376.50	4104.07	5164.54	969572.64
41.00	8629.20	5637.29	7092.57	6611.94	4254.18	5354.47	1005975.84
42.00	8919.17	5829.64	7334.72	6852.97	4407.80	5548.88	1043274.40
43.00	9214.75	6025.85	7581.75	7099.60	4564.91	5747.76	1081468.31
44.00	9515.91	6225.93	7833.64	7351.82	4725.52	5951.13	1120557.58
45.00	9822.68	6429.86	8090.40	7609.65	4889.62	6158.97	1160542.20
46.00	10135.04	6637.65	8352.02	7873.06	5057.23	6371.28	1201422.17
47.00	10452.99	6849.30	8618.51	8142.07	5228.33	6588.08	1243197.50
48.00	10776.54	7064.81	8889.87	8416.68	5402.93	6809.35	1285868.18
49.00	11105.69	7284.18	9166.09	8696.89	5581.03	7035.09	1329434.22
50.00	11440.43	7507.41	9447.18	8982.69	5762.62	7265.32	1373895.61

4.3. 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.

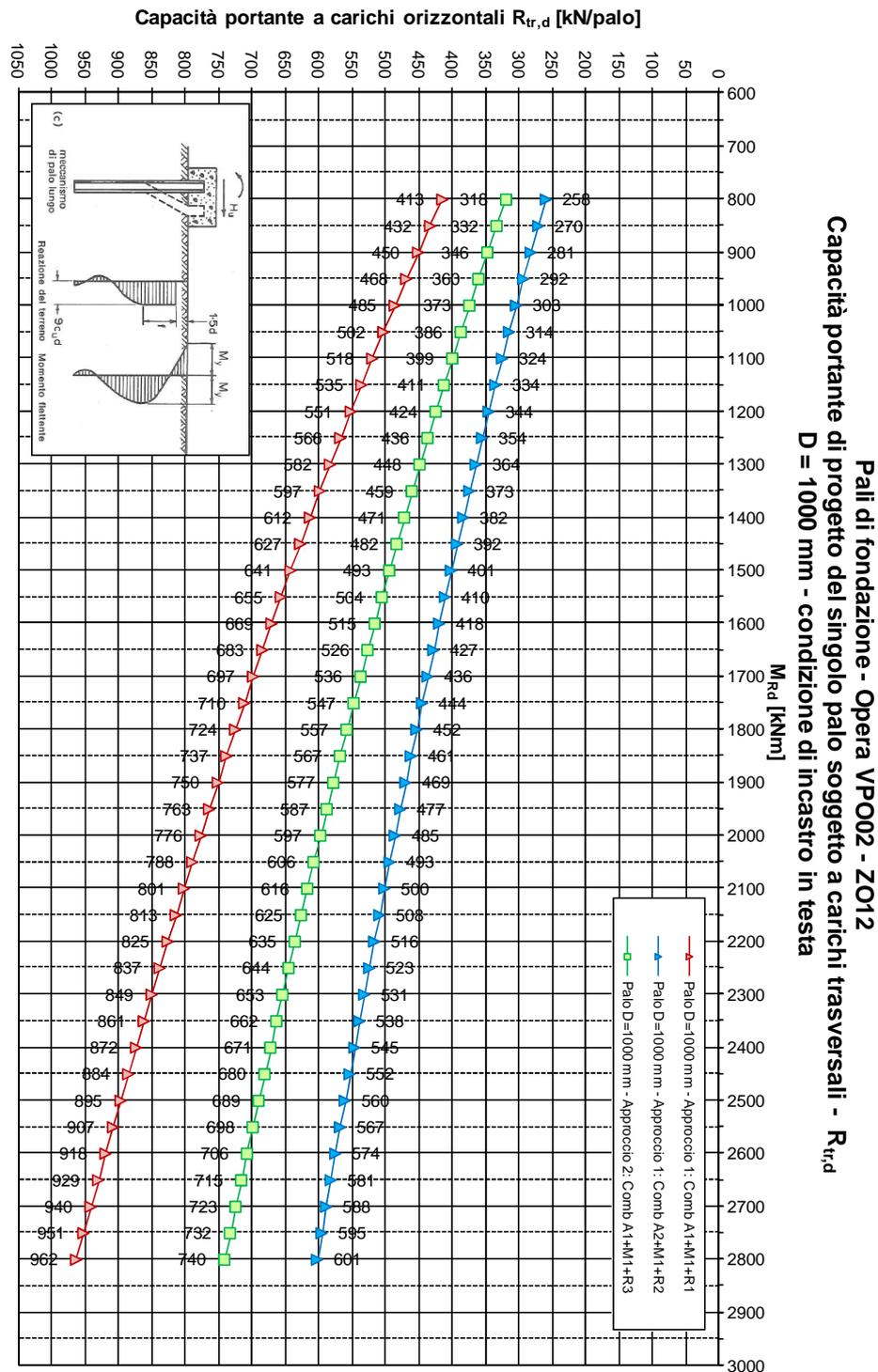
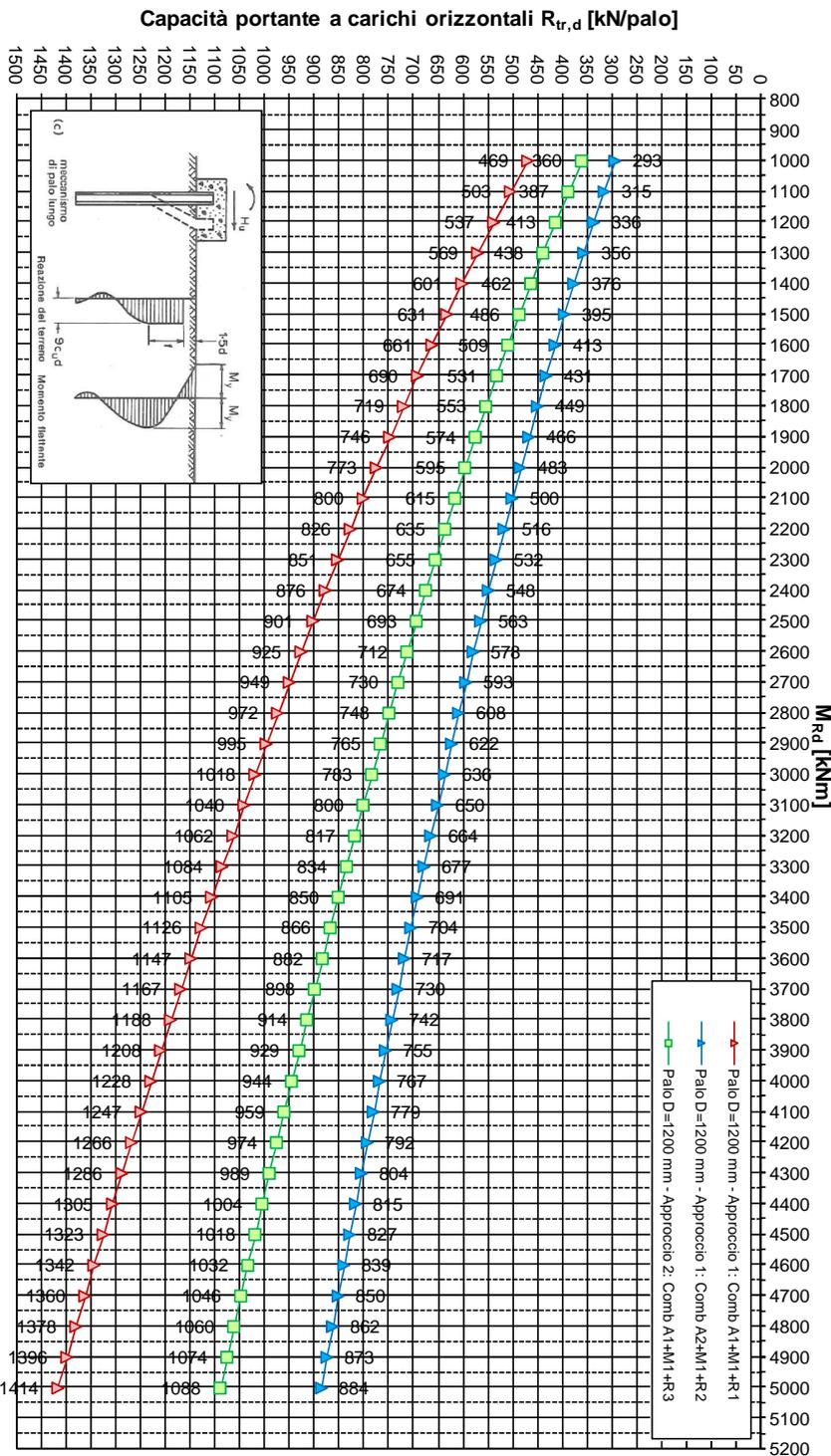


FIGURA 4-5: CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000



Capacità portante di progetto del singolo palo soggetto a carichi trasversali - $R_{tr,d}$
D = 1200 mm - condizione di incastro in testa
Pali di fondazione - Opera VPO02 - Z012

FIGURA 4-6: CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

4.4. 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 VPO02 - Z012
Diagrammi di sollecitazione flettente e tagliante per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

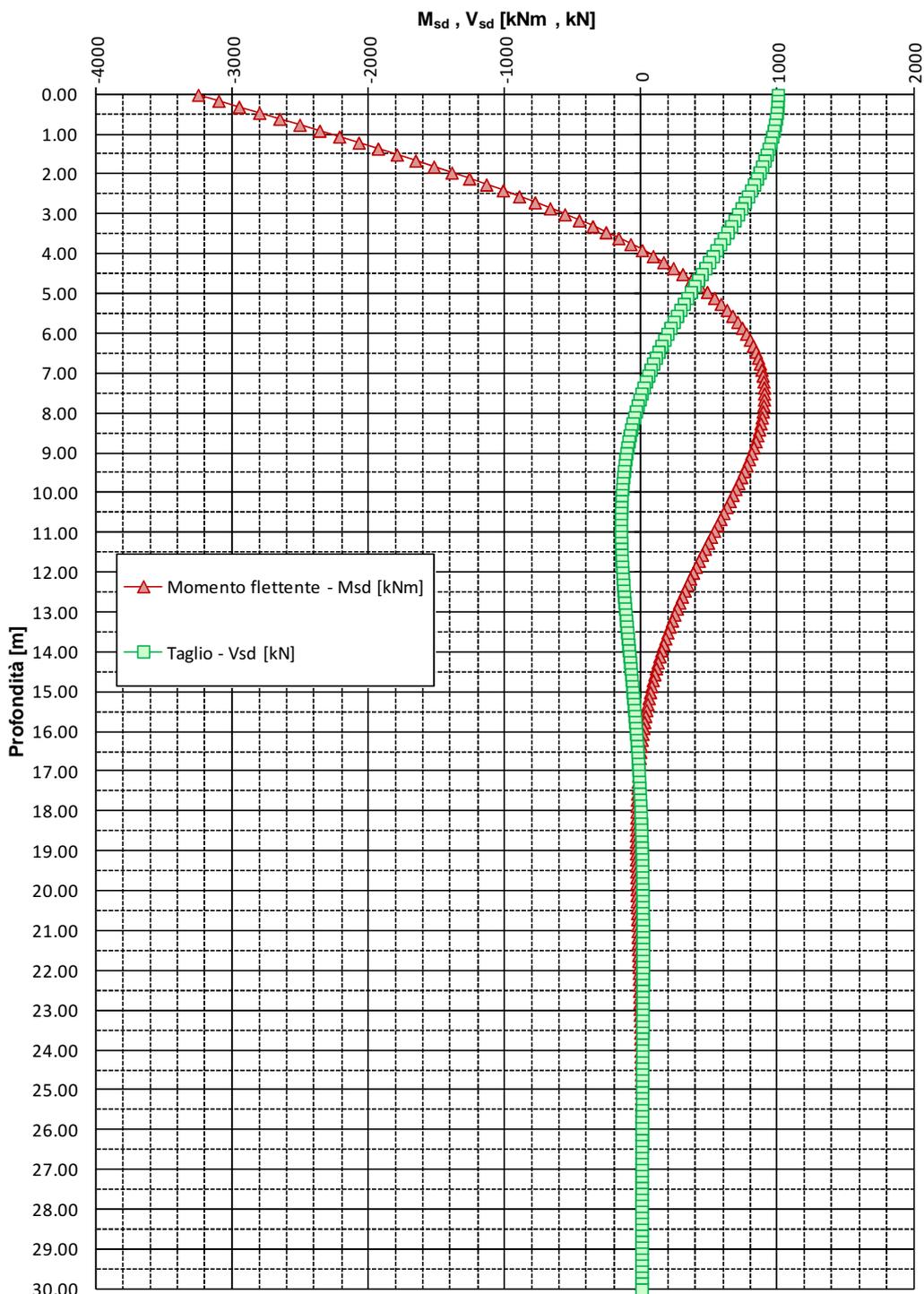


FIGURA 4-7: ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTE E TAGLIANTE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

Pali di fondazione da p.c. - Opera VPO02 - ZO12

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

D = 1000 mm - condizione di incastro in testa

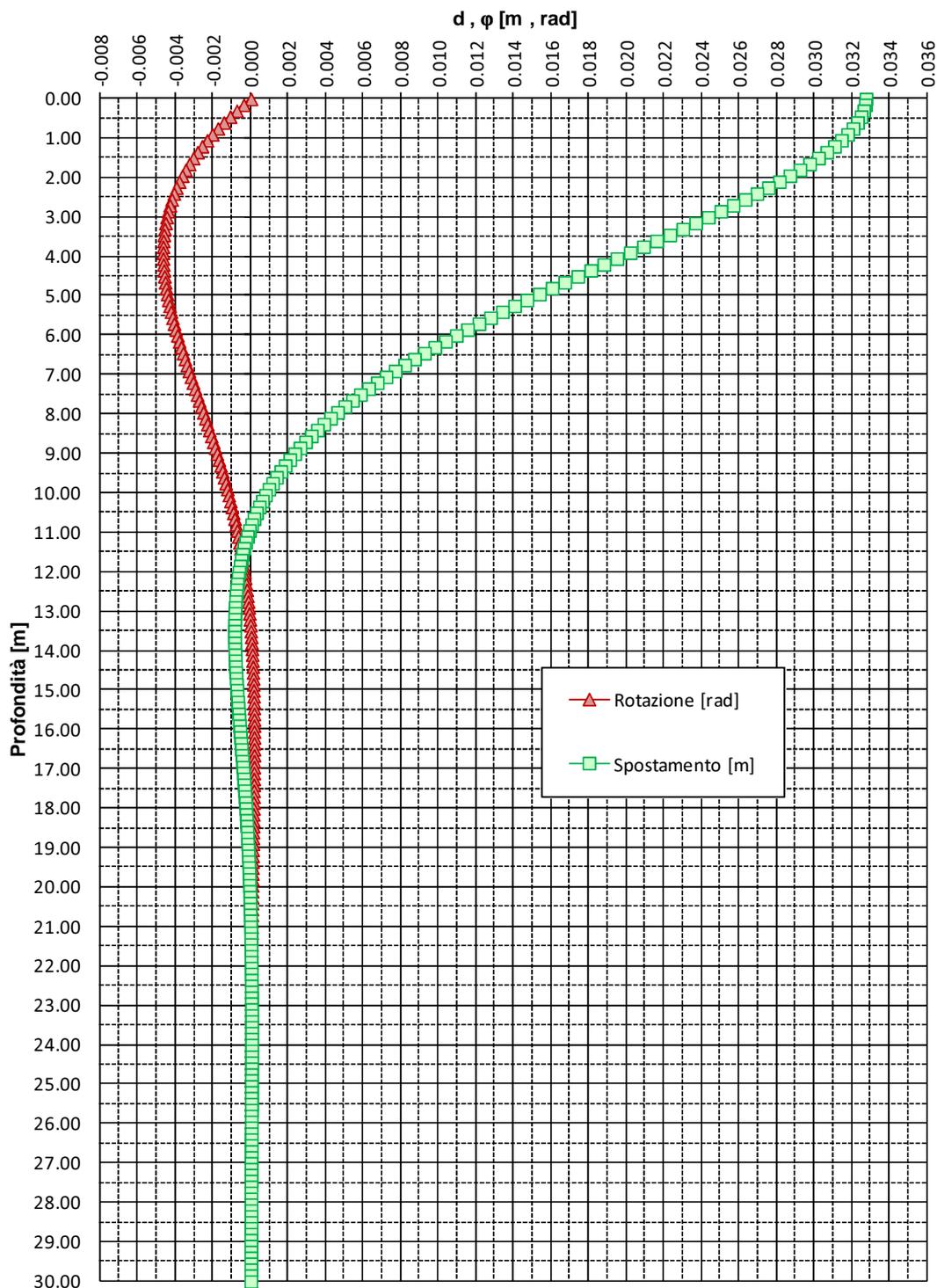


FIGURA 4-8: SPOSTAMENTI E ROTAZIONI – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

Pali di fondazione da p.c. - Opera VPO02 - Z012
Diagrammi di sollecitazione flettente e tagliante per un'azione orizzontale di 1000kN
D = 1200 mm - condizione di incastro in testa

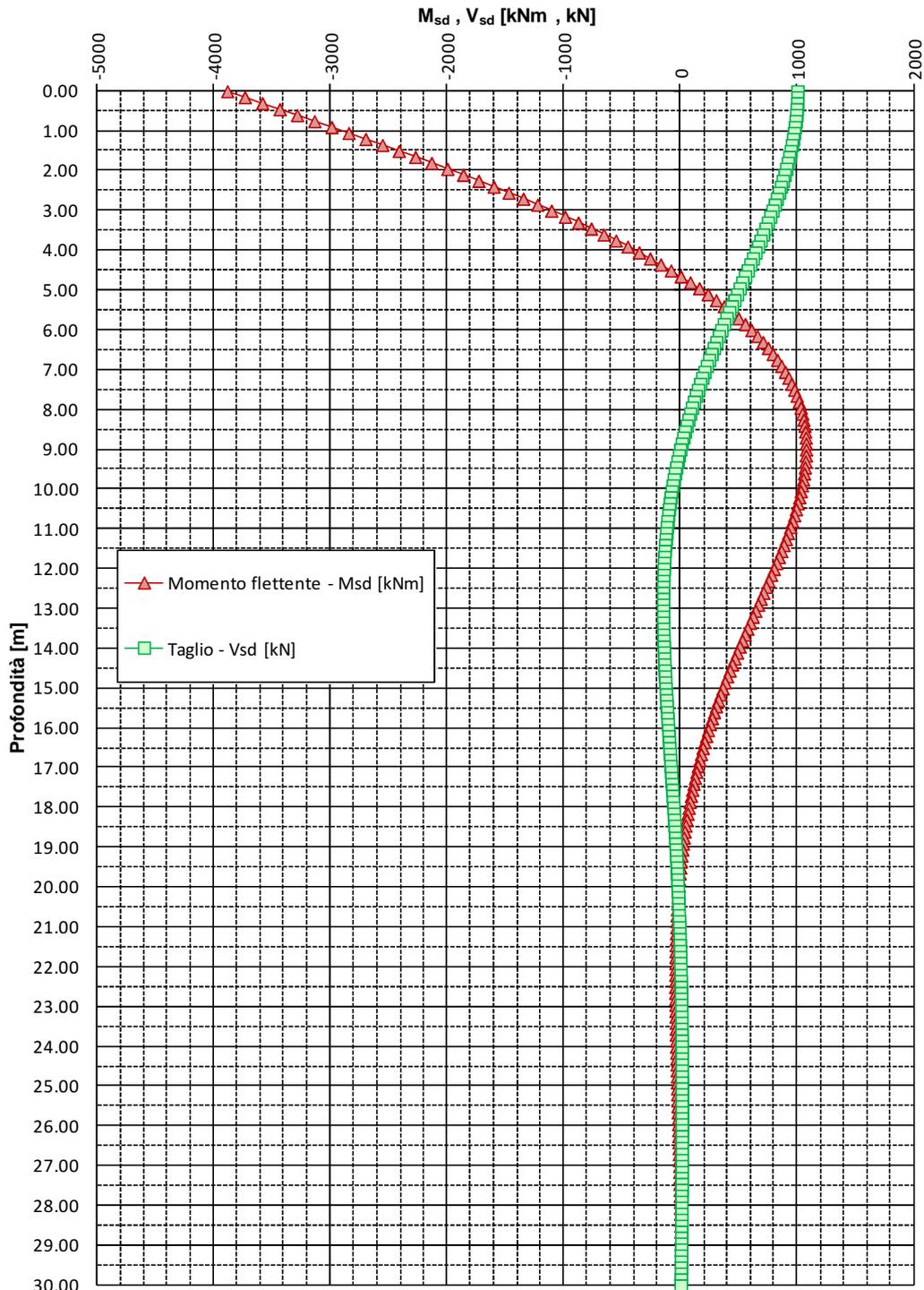


FIGURA 4-9: ANDAMENTO DELLE SOLLECITAZIONI FLETTENTE E TAGLIANTE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

Pali di fondazione da p.c. - Opera VPO02 - ZO12

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

D = 1200 mm - condizione di incastro in testa

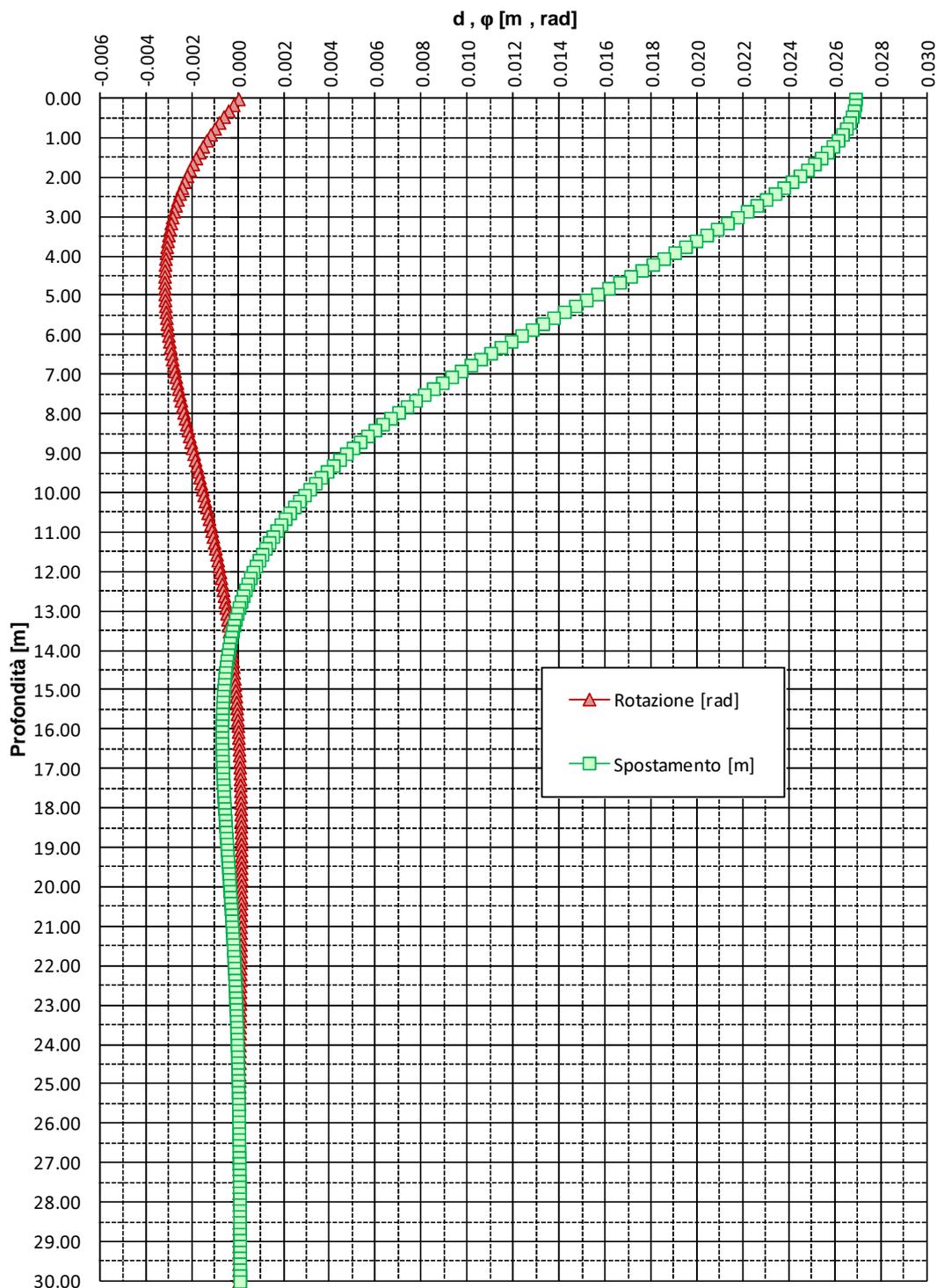


FIGURA 4-10: SPOSTAMENTI E ROTAZIONI – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

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	0.03	0.00	-3255.35	1000.00	10.05	0.00	0.00	667.85	-145.43	20.10	0.00	0.00	-36.32	6.43
0.15	0.03	0.00	-3105.39	999.15	10.20	0.00	0.00	645.84	-147.84	20.25	0.00	0.00	-35.33	6.86
0.30	0.03	0.00	-2955.67	996.62	10.35	0.00	0.00	623.52	-149.70	20.40	0.00	0.00	-34.27	7.22
0.45	0.03	0.00	-2806.45	992.41	10.50	0.00	0.00	600.95	-151.03	20.55	0.00	0.00	-33.16	7.52
0.60	0.03	0.00	-2657.96	986.55	10.65	0.00	0.00	578.24	-151.86	20.70	0.00	0.00	-32.02	7.77
0.75	0.03	0.00	-2510.57	979.06	10.80	0.00	0.00	555.41	-152.23	20.85	0.00	0.00	-30.83	7.97
0.90	0.03	0.00	-2364.42	969.98	10.95	0.00	0.00	532.59	-152.16	21.00	0.00	0.00	-29.63	8.11
1.05	0.03	0.00	-2219.61	959.36	11.10	0.00	0.00	509.80	-151.66	21.15	0.00	0.00	-28.40	8.21
1.20	0.03	0.00	-2076.64	947.24	11.25	0.00	0.00	487.11	-150.76	21.30	0.00	0.00	-27.17	8.27
1.35	0.03	0.00	-1935.52	933.68	11.40	0.00	0.00	464.59	-149.50	21.45	0.00	0.00	-25.93	8.28
1.50	0.03	0.00	-1796.60	918.73	11.55	0.00	0.00	442.28	-147.88	21.60	0.00	0.00	-24.68	8.27
1.65	0.03	0.00	-1660.01	902.45	11.70	0.00	0.00	420.24	-145.95	21.75	0.00	0.00	-23.45	8.21
1.80	0.03	0.00	-1525.88	884.92	11.85	0.00	0.00	398.50	-143.72	21.90	0.00	0.00	-22.22	8.13
1.95	0.03	0.00	-1394.57	866.20	12.00	0.00	0.00	377.14	-141.22	22.05	0.00	0.00	-21.01	8.02
2.10	0.03	0.00	-1266.09	846.36	12.15	0.00	0.00	356.15	-138.48	22.20	0.00	0.00	-19.82	7.88
2.25	0.03	0.00	-1140.72	825.49	12.30	0.00	0.00	335.60	-135.49	22.35	0.00	0.00	-18.65	7.72
2.40	0.03	0.00	-1018.53	803.66	12.45	0.00	0.00	315.51	-132.32	22.50	0.00	0.00	-17.50	7.54
2.55	0.03	0.00	-899.67	780.94	12.60	0.00	0.00	295.91	-128.96	22.65	0.00	0.00	-16.38	7.35
2.70	0.03	0.00	-784.28	757.42	12.75	0.00	0.00	276.84	-125.44	22.80	0.00	0.00	-15.30	7.13
2.85	0.03	0.00	-672.48	733.17	12.90	0.00	0.00	258.30	-121.78	22.95	0.00	0.00	-14.24	6.91
3.00	0.02	0.00	-564.36	708.28	13.05	0.00	0.00	240.31	-118.00	23.10	0.00	0.00	-13.23	6.67
3.15	0.02	0.00	-460.02	682.83	13.20	0.00	0.00	222.89	-114.12	23.25	0.00	0.00	-12.24	6.42
3.30	0.02	0.00	-359.54	656.89	13.35	0.00	0.00	206.07	-110.16	23.40	0.00	0.00	-11.30	6.17
3.45	0.02	0.00	-262.97	630.54	13.50	0.00	0.00	189.86	-106.13	23.55	0.00	0.00	-10.39	5.91
3.60	0.02	0.00	-170.39	603.87	13.65	0.00	0.00	174.24	-102.05	23.70	0.00	0.00	-9.53	5.64
3.75	0.02	0.00	-81.83	576.96	13.80	0.00	0.00	159.24	-97.93	23.85	0.00	0.00	-8.70	5.37
3.90	0.02	0.00	2.69	549.88	13.95	0.00	0.00	144.86	-93.80	24.00	0.00	0.00	-7.92	5.10
4.05	0.02	0.00	83.13	522.68	14.10	0.00	0.00	131.10	-89.66	24.15	0.00	0.00	-7.17	4.83
4.20	0.02	0.00	159.48	495.46	14.25	0.00	0.00	117.96	-85.53	24.30	0.00	0.00	-6.47	4.55
4.35	0.02	0.00	231.77	468.29	14.40	0.00	0.00	105.44	-81.42	24.45	0.00	0.00	-5.81	4.28
4.50	0.02	0.00	299.99	441.22	14.55	0.00	0.00	93.53	-77.35	24.60	0.00	0.00	-5.18	4.02
4.65	0.02	0.00	364.14	414.32	14.70	0.00	0.00	82.23	-73.31	24.75	0.00	0.00	-4.60	3.75
4.80	0.02	0.00	424.29	387.67	14.85	0.00	0.00	71.54	-69.33	24.90	0.00	0.00	-4.06	3.49
4.95	0.02	0.00	480.46	361.30	15.00	0.00	0.00	61.43	-65.42	25.05	0.00	0.00	-3.55	3.24
5.10	0.01	0.00	532.70	335.27	15.15	0.00	0.00	51.91	-61.57	25.20	0.00	0.00	-3.08	2.99
5.25	0.01	0.00	581.06	309.66	15.30	0.00	0.00	42.96	-57.80	25.35	0.00	0.00	-2.65	2.75
5.40	0.01	0.00	625.62	284.47	15.45	0.00	0.00	34.56	-54.11	25.50	0.00	0.00	-2.26	2.51
5.55	0.01	0.00	666.43	259.81	15.60	0.00	0.00	26.72	-50.52	25.65	0.00	0.00	-1.90	2.29
5.70	0.01	0.00	703.58	235.67	15.75	0.00	0.00	19.40	-47.02	25.80	0.00	0.00	-1.57	2.07
5.85	0.01	0.00	737.16	212.12	15.90	0.00	0.00	12.61	-43.63	25.95	0.00	0.00	-1.28	1.85
6.00	0.01	0.00	767.25	189.18	16.05	0.00	0.00	6.31	-40.34	26.10	0.00	0.00	-1.02	1.65
6.15	0.01	0.00	793.94	166.88	16.20	0.00	0.00	0.50	-37.16	26.25	0.00	0.00	-0.78	1.46
6.30	0.01	0.00	817.35	145.27	16.35	0.00	0.00	-4.85	-34.09	26.40	0.00	0.00	-0.58	1.27
6.45	0.01	0.00	837.57	124.38	16.50	0.00	0.00	-9.74	-31.14	26.55	0.00	0.00	-0.40	1.10
6.60	0.01	0.00	854.70	104.20	16.65	0.00	0.00	-14.19	-28.31	26.70	0.00	0.00	-0.25	0.93
6.75	0.01	0.00	868.86	84.78	16.80	0.00	0.00	-18.23	-25.59	26.85	0.00	0.00	-0.12	0.78
6.90	0.01	0.00	880.17	66.12	16.95	0.00	0.00	-21.88	-22.99	27.00	0.00	0.00	-0.02	0.63
7.05	0.01	0.00	888.74	48.25	17.10	0.00	0.00	-25.14	-20.51	27.15	0.00	0.00	0.07	0.49
7.20	0.01	0.00	894.68	31.17	17.25	0.00	0.00	-28.03	-18.15	27.30	0.00	0.00	0.13	0.37
7.35	0.01	0.00	898.13	14.89	17.40	0.00	0.00	-30.59	-15.90	27.45	0.00	0.00	0.18	0.25
7.50	0.01	0.00	899.19	-0.58	17.55	0.00	0.00	-32.81	-13.78	27.60	0.00	0.00	0.21	0.15
7.65	0.01	0.00	897.99	-15.24	17.70	0.00	0.00	-34.72	-11.77	27.75	0.00	0.00	0.23	0.05
7.80	0.00	0.00	894.65	-29.09	17.85	0.00	0.00	-36.35	-9.88	27.90	0.00	0.00	0.23	-0.03
7.95	0.00	0.00	889.30	-42.13	18.00	0.00	0.00	-37.69	-8.10	28.05	0.00	0.00	0.22	-0.10
8.10	0.00	0.00	882.06	-54.36	18.15	0.00	0.00	-38.78	-6.43	28.20	0.00	0.00	0.20	-0.16
8.25	0.00	0.00	873.04	-65.79	18.30	0.00	0.00	-39.63	-4.87	28.35	0.00	0.00	0.17	-0.22
8.40	0.00	0.00	862.37	-76.43	18.45	0.00	0.00	-40.25	-3.41	28.50	0.00	0.00	0.13	-0.26
8.55	0.00	0.00	850.14	-86.29	18.60	0.00	0.00	-40.66	-2.06	28.65	0.00	0.00	0.09	-0.29
8.70	0.00	0.00	836.51	-95.39	18.75	0.00	0.00	-40.87	-0.81	28.80	0.00	0.00	0.05	-0.30
8.85	0.00	0.00	821.58	-103.73	18.90	0.00	0.00	-40.90	0.34	28.95	0.00	0.00	0.00	-0.31
9.00	0.00	0.00	805.44	-111.33	19.05	0.00	0.00	-40.77	1.39	29.10	0.00	0.00	-0.05	-0.31
9.15	0.00	0.00	788.21	-118.21	19.20	0.00	0.00	-40.49	2.36	29.25	0.00	0.00	-0.09	-0.29
9.30	0.00	0.00	770.01	-124.39	19.35	0.00	0.00	-40.07	3.24	29.40	0.00	0.00	-0.13	-0.27
9.45	0.00	0.00	750.93	-129.87	19.50	0.00	0.00	-39.52	4.03	29.55	0.00	0.00	-0.17	-0.23
9.60	0.00	0.00	731.08	-134.71	19.65	0.00	0.00	-38.86	4.74	29.70	0.00	0.00	-0.20	-0.18
9.75	0.00	0.00	710.55	-138.89	19.80	0.00	0.00	-38.10	5.38	29.85	0.00	0.00	-0.22	-0.11
9.90	0.00	0.00	689.44	-142.46	19.95	0.00	0.00	-37.25	5.94	30.00	0.00	0.00	-0.23	-0.04

Pali trivellati ϕ 1200

Profondità					Profondità					Profondità				
	Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio		Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio		Spostamento	Rotazione	Momento	Taglio
[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]	[m]	[cm]	[rad]	[kNm]	[kN]
0.00	0.03	0.00	-3887.01	1000.01	10.05	0.00	0.00	1028.08	-77.60	20.10	0.00	0.00	-22.46	-24.65
0.15	0.03	0.00	-3737.13	999.40	10.20	0.00	0.00	1015.84	-85.84	20.25	0.00	0.00	-25.99	-22.47
0.30	0.03	0.00	-3587.25	997.62	10.35	0.00	0.00	1002.38	-93.54	20.40	0.00	0.00	-29.21	-20.37
0.45	0.03	0.00	-3437.88	994.67	10.50	0.00	0.00	987.80	-100.71	20.55	0.00	0.00	-32.11	-18.35
0.60	0.03	0.00	-3289.01	990.55	10.65	0.00	0.00	972.17	-107.35	20.70	0.00	0.00	-34.71	-16.41
0.75	0.03	0.00	-3140.66	985.28	10.80	0.00	0.00	955.61	-113.49	20.85	0.00	0.00	-37.04	-14.56
0.90	0.03	0.00	-2993.32	978.87	10.95	0.00	0.00	938.15	-119.12	21.00	0.00	0.00	-39.09	-12.79
1.05	0.03	0.00	-2847.00	971.33	11.10	0.00	0.00	919.91	-124.26	21.15	0.00	0.00	-40.88	-11.10
1.20	0.03	0.00	-2701.95	962.71	11.25	0.00	0.00	900.90	-128.92	21.30	0.00	0.00	-42.42	-9.48
1.35	0.03	0.00	-2558.43	953.04	11.40	0.00	0.00	881.25	-133.12	21.45	0.00	0.00	-43.73	-7.95
1.50	0.03	0.00	-2416.18	942.32	11.55	0.00	0.00	861.00	-136.85	21.60	0.00	0.00	-44.81	-6.50
1.65	0.03	0.00	-2275.69	930.62	11.70	0.00	0.00	840.21	-140.15	21.75	0.00	0.00	-45.68	-5.12
1.80	0.02	0.00	-2137.06	917.95	11.85	0.00	0.00	818.98	-143.02	21.90	0.00	0.00	-46.35	-3.82
1.95	0.02	0.00	-2000.36	904.36	12.00	0.00	0.00	797.33	-145.47	22.05	0.00	0.00	-46.83	-2.59
2.10	0.02	0.00	-1865.79	889.85	12.15	0.00	0.00	775.34	-147.52	22.20	0.00	0.00	-47.13	-1.44
2.25	0.02	0.00	-1733.44	874.53	12.30	0.00	0.00	753.10	-149.19	22.35	0.00	0.00	-47.26	-0.35
2.40	0.02	0.00	-1603.46	858.40	12.45	0.00	0.00	730.61	-150.48	22.50	0.00	0.00	-47.24	0.67
2.55	0.02	0.00	-1475.97	841.50	12.60	0.00	0.00	707.96	-151.42	22.65	0.00	0.00	-47.07	1.62
2.70	0.02	0.00	-1351.05	823.89	12.75	0.00	0.00	685.21	-152.01	22.80	0.00	0.00	-46.76	2.50
2.85	0.02	0.00	-1228.83	805.62	12.90	0.00	0.00	662.38	-152.28	22.95	0.00	0.00	-46.32	3.32
3.00	0.02	0.00	-1109.38	786.72	13.05	0.00	0.00	639.53	-152.23	23.10	0.00	0.00	-45.76	4.08
3.15	0.02	0.00	-992.84	767.22	13.20	0.00	0.00	616.73	-151.88	23.25	0.00	0.00	-45.10	4.78
3.30	0.02	0.00	-879.27	747.20	13.35	0.00	0.00	593.98	-151.26	23.40	0.00	0.00	-44.33	5.42
3.45	0.02	0.00	-768.70	726.71	13.50	0.00	0.00	571.36	-150.36	23.55	0.00	0.00	-43.48	6.00
3.60	0.02	0.00	-661.26	705.77	13.65	0.00	0.00	548.89	-149.21	23.70	0.00	0.00	-42.53	6.54
3.75	0.02	0.00	-557.01	684.45	13.80	0.00	0.00	526.60	-147.83	23.85	0.00	0.00	-41.52	7.02
3.90	0.02	0.00	-455.96	662.76	13.95	0.00	0.00	504.56	-146.22	24.00	0.00	0.00	-40.43	7.44
4.05	0.02	0.00	-358.19	640.80	14.10	0.00	0.00	482.75	-144.39	24.15	0.00	0.00	-39.29	7.83
4.20	0.02	0.00	-263.73	618.59	14.25	0.00	0.00	461.25	-142.38	24.30	0.00	0.00	-38.09	8.16
4.35	0.02	0.00	-172.61	596.17	14.40	0.00	0.00	440.05	-140.18	24.45	0.00	0.00	-36.84	8.45
4.50	0.02	0.00	-84.88	573.60	14.55	0.00	0.00	419.21	-137.81	24.60	0.00	0.00	-35.55	8.70
4.65	0.02	0.00	-0.54	550.90	14.70	0.00	0.00	398.73	-135.29	24.75	0.00	0.00	-34.23	8.90
4.80	0.02	0.00	80.39	528.12	14.85	0.00	0.00	378.62	-132.63	24.90	0.00	0.00	-32.89	9.07
4.95	0.02	0.00	157.90	505.35	15.00	0.00	0.00	358.93	-129.84	25.05	0.00	0.00	-31.51	9.20
5.10	0.02	0.00	231.99	482.55	15.15	0.00	0.00	339.67	-126.93	25.20	0.00	0.00	-30.13	9.30
5.25	0.01	0.00	302.67	459.83	15.30	0.00	0.00	320.86	-123.92	25.35	0.00	0.00	-28.73	9.36
5.40	0.01	0.00	369.95	437.18	15.45	0.00	0.00	302.51	-120.81	25.50	0.00	0.00	-27.32	9.39
5.55	0.01	0.00	433.82	414.66	15.60	0.00	0.00	284.62	-117.63	25.65	0.00	0.00	-25.91	9.38
5.70	0.01	0.00	494.36	392.31	15.75	0.00	0.00	267.22	-114.37	25.80	0.00	0.00	-24.51	9.35
5.85	0.01	0.00	551.54	370.18	15.90	0.00	0.00	250.31	-111.06	25.95	0.00	0.00	-23.11	9.29
6.00	0.01	0.00	605.41	348.24	16.05	0.00	0.00	233.90	-107.69	26.10	0.00	0.00	-21.72	9.20
6.15	0.01	0.00	656.02	326.59	16.20	0.00	0.00	218.00	-104.29	26.25	0.00	0.00	-20.35	9.08
6.30	0.01	0.00	703.40	305.21	16.35	0.00	0.00	202.62	-100.85	26.40	0.00	0.00	-19.00	8.94
6.45	0.01	0.00	747.60	284.17	16.50	0.00	0.00	187.75	-97.40	26.55	0.00	0.00	-17.67	8.78
6.60	0.01	0.00	788.68	263.48	16.65	0.00	0.00	173.40	-93.93	26.70	0.00	0.00	-16.36	8.60
6.75	0.01	0.00	826.67	243.16	16.80	0.00	0.00	159.57	-90.46	26.85	0.00	0.00	-15.09	8.39
6.90	0.01	0.00	861.63	223.24	16.95	0.00	0.00	146.26	-86.99	27.00	0.00	0.00	-13.85	8.16
7.05	0.01	0.00	893.67	203.73	17.10	0.00	0.00	133.47	-83.53	27.15	0.00	0.00	-12.64	7.91
7.20	0.01	0.00	922.78	184.67	17.25	0.00	0.00	121.20	-80.09	27.30	0.00	0.00	-11.48	7.65
7.35	0.01	0.00	949.09	166.07	17.40	0.00	0.00	109.44	-76.67	27.45	0.00	0.00	-10.35	7.36
7.50	0.01	0.00	972.63	147.95	17.55	0.00	0.00	98.20	-73.29	27.60	0.00	0.00	-9.27	7.06
7.65	0.01	0.00	993.50	130.31	17.70	0.00	0.00	87.46	-69.94	27.75	0.00	0.00	-8.24	6.73
7.80	0.01	0.00	1011.74	113.19	17.85	0.00	0.00	77.21	-66.63	27.90	0.00	0.00	-7.25	6.39
7.95	0.01	0.00	1027.47	96.58	18.00	0.00	0.00	67.46	-63.37	28.05	0.00	0.00	-6.32	6.04
8.10	0.01	0.00	1040.75	80.51	18.15	0.00	0.00	58.20	-60.17	28.20	0.00	0.00	-5.44	5.67
8.25	0.01	0.00	1051.64	64.98	18.30	0.00	0.00	49.41	-57.01	28.35	0.00	0.00	-4.62	5.28
8.40	0.01	0.00	1060.27	50.00	18.45	0.00	0.00	41.09	-53.82	28.50	0.00	0.00	-3.86	4.88
8.55	0.01	0.00	1066.68	35.57	18.60	0.00	0.00	33.23	-50.89	28.65	0.00	0.00	-3.16	4.46
8.70	0.01	0.00	1070.96	21.70	18.75	0.00	0.00	25.82	-47.93	28.80	0.00	0.00	-2.52	4.02
8.85	0.00	0.00	1073.22	8.40	18.90	0.00	0.00	18.85	-45.04	28.95	0.00	0.00	-1.95	3.57
9.00	0.00	0.00	1073.53	-4.33	19.05	0.00	0.00	12.30	-42.22	29.10	0.00	0.00	-1.45	3.11
9.15	0.00	0.00	1071.95	-18.49	19.20	0.00	0.00	6.18	-39.47	29.25	0.00	0.00	-1.02	2.63
9.30	0.00	0.00	1068.59	-28.09	19.35	0.00	0.00	0.46	-36.80	29.40	0.00	0.00	-0.66	2.13
9.45	0.00	0.00	1063.55	-39.11	19.50	0.00	0.00	-4.87	-34.21	29.55	0.00	0.00	-0.38	1.62
9.60	0.00	0.00	1056.89	-49.57	19.65	0.00	0.00	-9.81	-31.70	29.70	0.00	0.00	-0.18	1.09
9.75	0.00	0.00	1048.72	-59.47	19.80	0.00	0.00	-14.38	-29.27	29.85	0.00	0.00	-0.05	0.55
9.90	0.00	0.00	1039.07	-68.81	19.95	0.00	0.00	-18.59	-26.92	30.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01

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

Per il calcolo della capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi assiali si rimanda alla trattazione esposta al paragrafo § 3.5.

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

Per il calcolo della capacità portante dei pali in gruppo soggetti a carichi trasversali si rimanda alla trattazione esposta al paragrafo § 3.6.

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

Per la valutazione dell'andamento delle sollecitazioni nei pali in gruppo soggetti a carichi trasversali si rimanda alla trattazione esposta al paragrafo § 3.7.

4.8. COMPORTAMENTO DEI PALI IN ESERCIZIO

4.8.1. Cedimento del palo singolo soggetto a carichi assiali

Per la valutazione del cedimento del palo singolo soggetto a carichi assiali si rimanda alla trattazione esposta al paragrafo § 3.8.1.

4.8.2. Cedimento dei pali in gruppo soggetti a carico assiale

Per la valutazione del cedimento dei pali in gruppo soggetti a carico assiale si rimanda alla trattazione esposta al paragrafo § 3.8.2.

4.8.3. Rigidezze assiali e trasversali

Alla luce delle considerazioni esposte al § 3.8.1, 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 § 4.2 congiuntamente ai tabulati di capacità portante verticale.

VPO02 - Ponte sul canale Diversivo di Burana - ZO12
NTC del 14/01/2008

Rigidezza assiale - Pali trivellati ϕ 1000mm

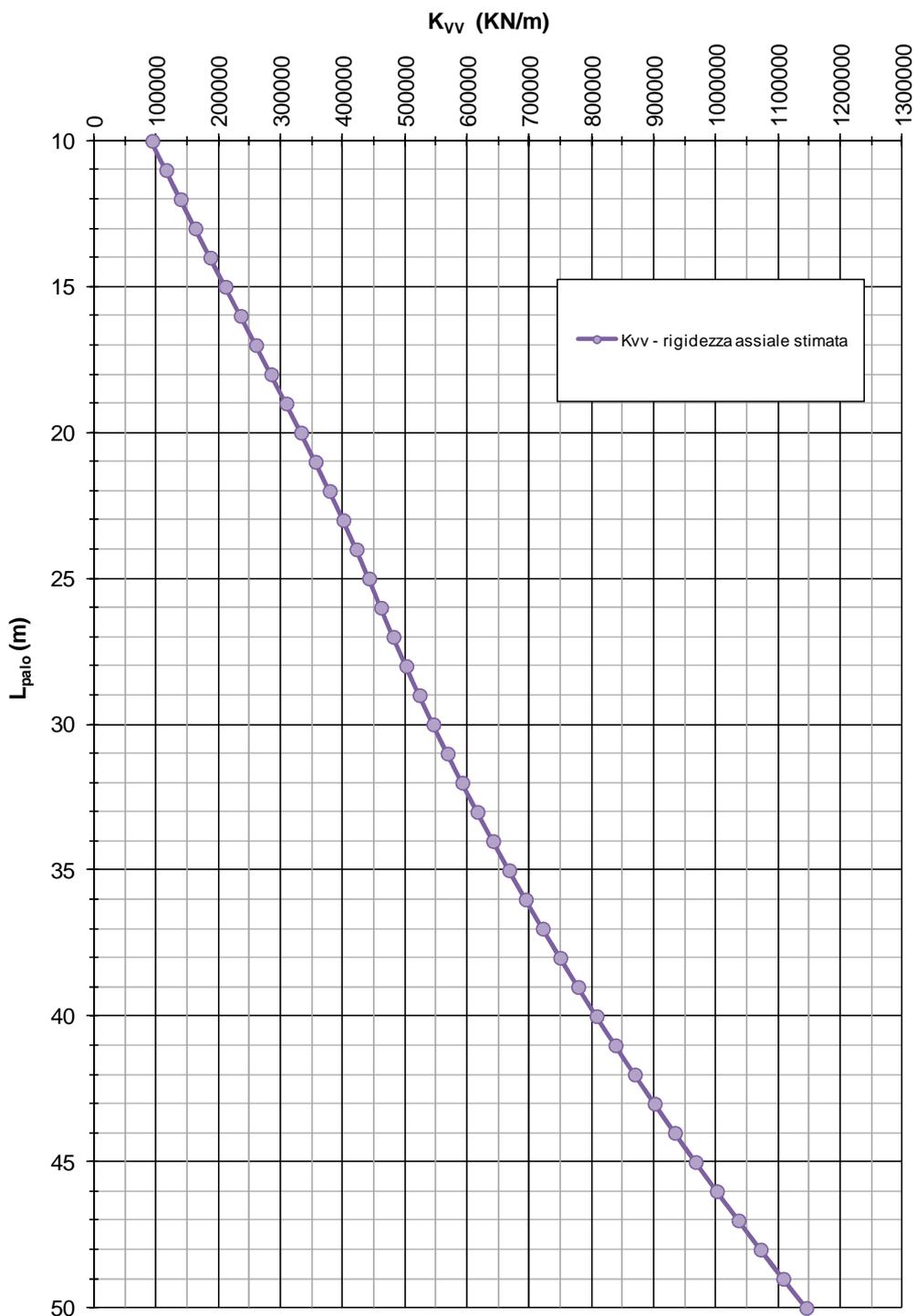


FIGURA 4-11: RIGIDEZZA VERTICALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1000

VPO02 - Ponte sul canale Diversivo di Burana - ZO12
NTC del 14/01/2008

Rigidezza assiale - Pali trivellati ϕ 1200mm

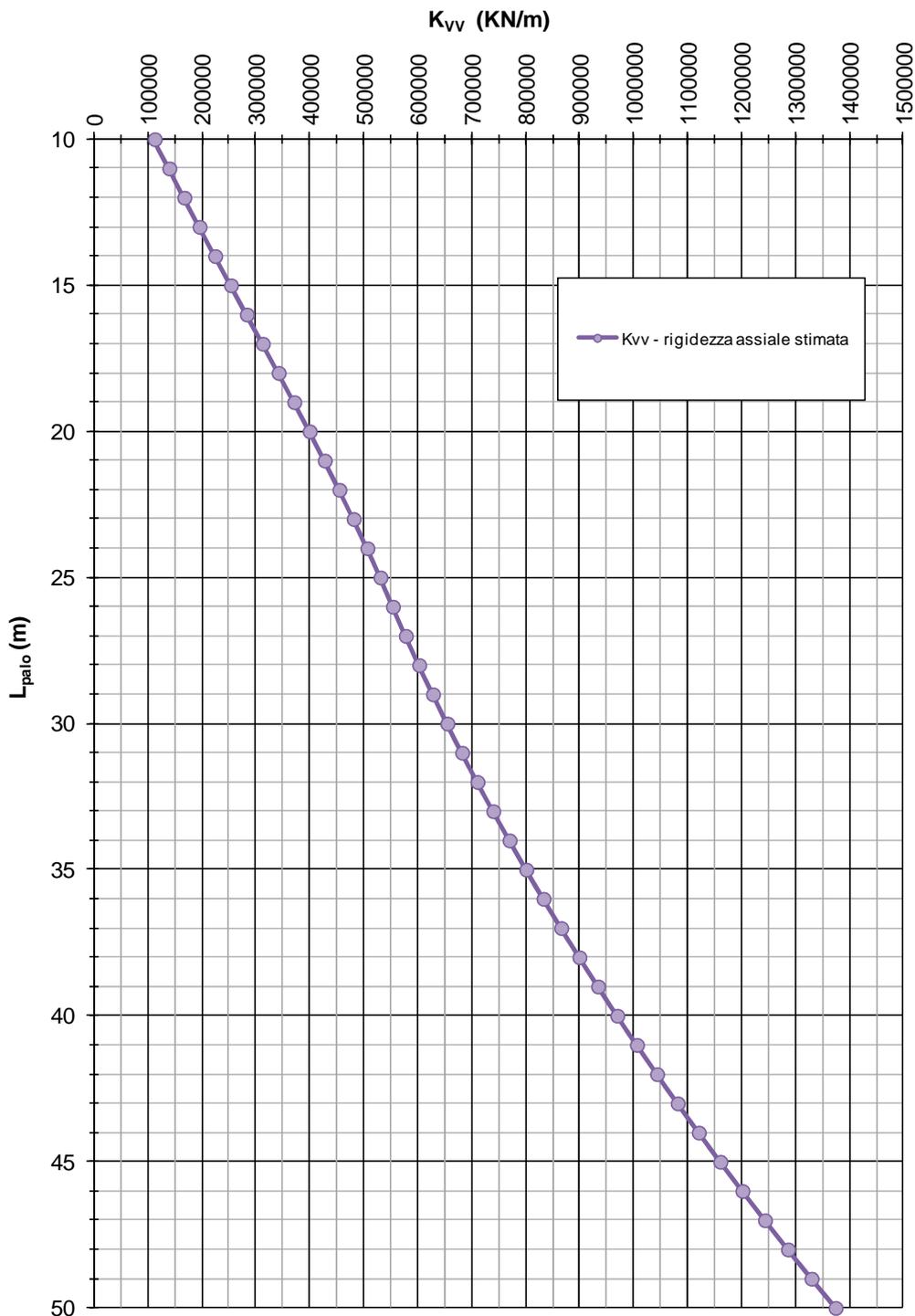


FIGURA 4-12: RIGIDEZZA VERTICALE – PALI TRIVELLATI ϕ 1200

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>		
$K_{MR} =$	2 299	kN/m ³
<i>Rigidezze statiche alla testa dei pali</i>		
$K_{HH} =$	35 677	kN/m
$K_{MM} =$	545 474	kNm
$K_{HM} =$	-103 229	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>		
$K_{MR} =$	1 964	kN/m ³
<i>Rigidezze statiche alla testa dei pali</i>		
$K_{HH} =$	43 518	kN/m
$K_{MM} =$	947 336	kNm
$K_{HM} =$	-150 154	kN
Calcolo svolto secondo le indicazioni riportate in Appendice C dell'Eurocodice 8 - Parte 5		

5. STRATIGRAFIE E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO AI FINI DELLE VERIFICHE GEOTECNICHE DEI RILEVATI

Nel seguito si la stratigrafia di calcolo e i principali parametri geotecnici assunti per le varie unità litostratigrafiche considerate.

Per ogni unità litostratigrafica individuata sono riportati i corrispondenti parametri di deformabilità e di consolidazione per la valutazione dei cedimenti e i parametri di resistenza al taglio caratteristici e di progetto ai fini delle verifiche di stabilità.

TABELLA 5-1: STRATIGRAFIA E PARAMETRI DI PROGETTO – V24.

Z _{min} [m da p.c.]	Z _{max} [m da p.c.]	Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di deformabilità		Parametri di consolidazione		Parametri di resistenza al taglio caratteristici				Parametri di resistenza al taglio di progetto			
				E' [kPa]	E _u [kPa]	c _v cmq/s	c _{αε} [-]	c' _k [kPa]	φ' _k [°]	c _{uk-in} [kPa]	c _{uk-fin} [kPa]	c' _d [kPa]	φ' _d [°]	c _{ud-in} [kPa]	c _{ud-fin} [kPa]
0.00	1.50	2	18.5	7000	-	-	-	-	29	-	-	-	23.91	-	-
1.50	5.00	1	19.0	4458	60000	0.0015	0.0023	5	21	60	60	4	17.07	43	43
5.00	9.50	1	19.0	3715	36000	0.0015	0.0023	5	21	60	60	4	17.07	43	43
9.50	12.50	2	18.5	15000	-	-	-	-	29	-	-	-	23.91	-	-
12.50	15.50	4	19.0	30000	-	-	-	-	32	-	-	-	26.56	-	-
15.50	25.00	5	19.5	60000	-	-	-	-	31.5	-	-	-	26.12	-	-
25.00	33.00	1	19.0	8173	60750-66750	0.0015	0.0023	5	21	90	90	4	17.07	64	64
33.00	44.00	5	20.0	60000	-	-	-	-	31.5	-	-	-	26.12	-	-
44.00	50.00	1	20.0	9793-10651	75000-79500	0.0015	0.0023	5	21	110	137	4	17.07	78.6	97.9
50.00	60.00	5	20.0	60000	-	-	-	-	31.5	-	-	-	26.12	-	-

6. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI

Nel presente capitolo saranno riportate separatamente:

- le analisi relative alla stabilità delle scarpate dei rilevati;
- le analisi relative alla stabilità globale dei rilevati.

Per quanto concerne i criteri adottati per tali verifiche e le condizioni di analisi si rimanda all'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02 "Criteri generali verifiche geotecniche".

Le verifiche sono state condotte con riferimento alla stratigrafia riportata al precedente § 5.

Per completezza in aggiunta a tali parametri si riportano nella seguente tabella i parametri geotecnici caratteristici adottati per il materiale da rilevato ipotizzato in materiale stabilizzato a calce e per il terreno vegetale adottato per il rivestimento delle scarpate.

TABELLA 6-1: PARAMETRI DI RESISTENZA AL TAGLIO MATERIALE DA RILEVATO E TERRENO VEGETALE.

Unità	γ [kN/m ³]	Parametri di resistenza al taglio caratteristici			Parametri di resistenza al taglio di progetto		
		c'_k [kPa]	ϕ'_k [°]	c_{uk} [kPa]	c'_d [kPa]	ϕ'_d [°]	c_{ud} [kPa]
Materiale da rilevato	19.5	15	28	200.00	12	23.04	142.90
Terreno vegetale	18.5	5	24	-	4	19.61	

Ai fini delle sole verifiche di stabilità è stato assunto il livello di falda a - 0.50 m da p.c.

Con riferimento ai seguenti parametri per la determinazione di a_g :

- Vita nominale V_N : 50 anni;
- Classe d'uso: III;
- Coefficiente d'uso C_U : 1.5;
- Periodo di riferimento V_R : 75 anni.

si riassumono, nella seguente tabella, i valori dei coefficienti sismici adottati nelle verifiche di stabilità, ottenuti a partire dai massimi valori di a_g in corrispondenza dei comuni attraversati dalla viabilità in oggetto.

TABELLA 6-2: COEFFICIENTI SISMICI ADOTTATI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ DEI RILEVATI.

VIABILITÀ	Comune	Categoria sottosuolo	a_g	S_s	S_T	a_{max}	β_s	k_h	k_v
V24	San Felice sul Panaro	C	0.178	1.427	1.000	0.254	0.24	0.0686	0.03043

6.1. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL CORPO RILEVATO

La geometria assunta per il corpo rilevato risulta analoga alla geometria dei rilevati autostradali in termini di pendenza delle scarpate e inserimento di banche intermedie ovvero:

- rilevati di altezza $H_{ri} \leq 6.00$ m: pendenza delle scarpate pari a 2/3;
- rilevati di altezza $6.00 \text{ m} < H_{ri} \leq 11.00$ m:
 - pendenza delle scarpate pari a 2/3;
 - larghezza banca pari a 2.00 m a 6.00 m dalla sommità del rilevato.

Inoltre tenuto conto che, per la viabilità interferita oggetto della presente trattazione:

- la larghezza della piattaforma risulta inferiore rispetto a quella dell'asse autostradale;
- il valore del periodo di riferimento per la determinazione dell'azione sismica, $V_R = 75$ anni, risulta inferiore rispetto a quello adottato per l'asse autostradale;

si ritiene che le verifiche di stabilità del corpo rilevato siano soddisfatte in quanto risultano tali le verifiche di stabilità del corpo rilevato dell'asse autostradale. Per tali verifiche geotecniche si rimanda al documento PD_0_A00_00000_0_GT_RB_03 "Relazione di verifiche geotecniche".

6.2. VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI

Sulla base delle altezze massime di rilevato individuate nel precedente paragrafo § 6.1 è stata analizzata la stabilità globale i cui risultati sono riportati nei seguenti paragrafi.

6.2.1. H_{ril} = 6.00 m

Si riportano nella tabella e nelle immagini seguenti i risultati ottenuti per le diverse condizioni di calcolo per rilevati di altezza 6.00 m.

TABELLA 6-3: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE H_{ril} = 6.00 m.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=6.00 m	2.268	1.204	1.929	2.017

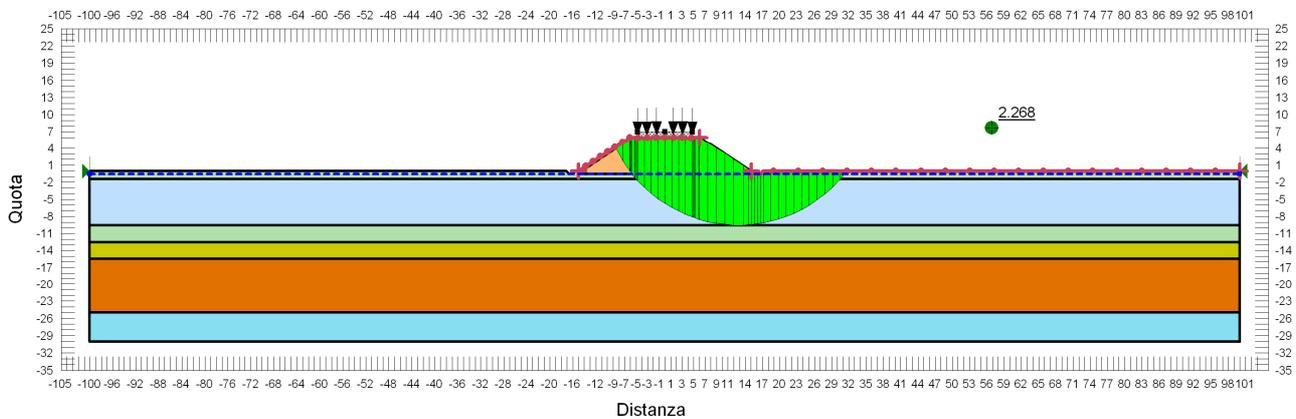


FIGURA 6-1: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 m - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

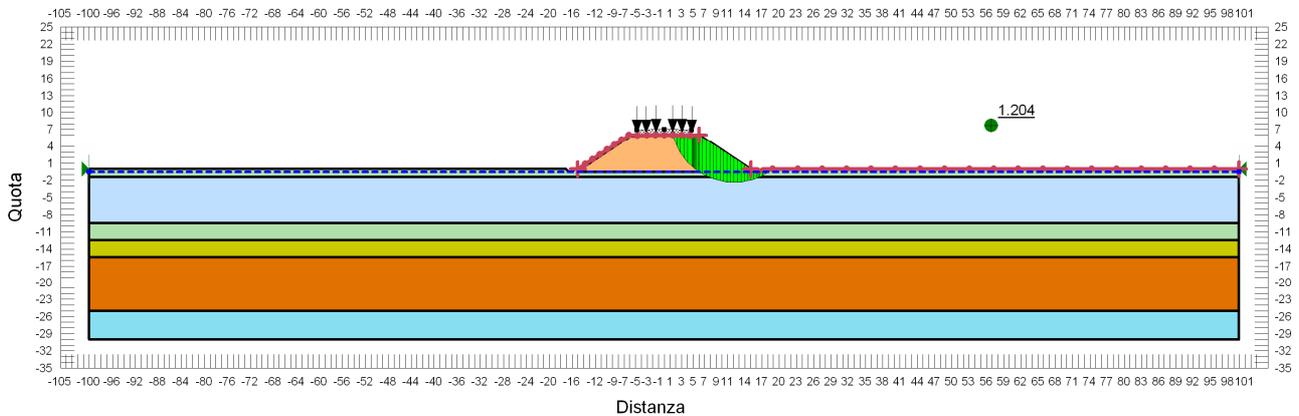


FIGURA 6-2: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 m - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

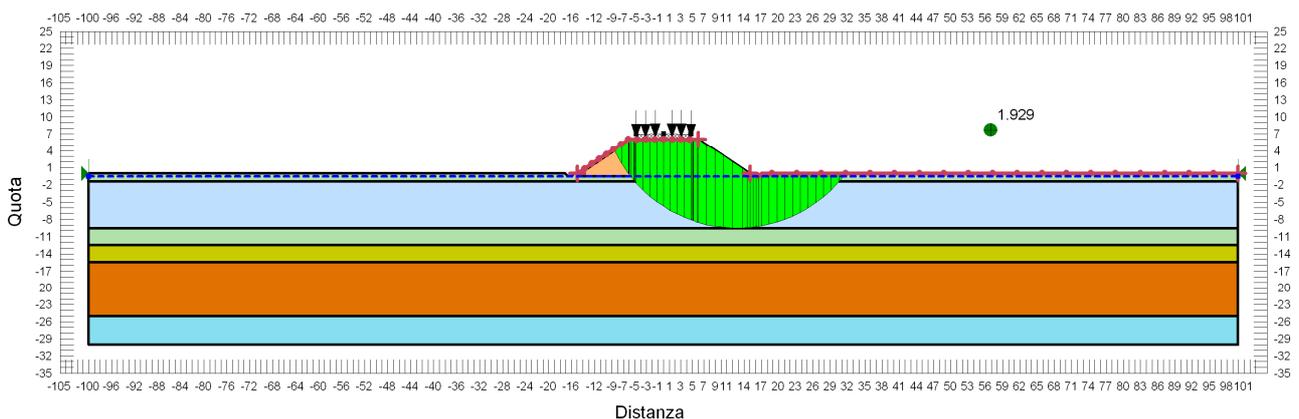


FIGURA 6-3: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 m - CONDIZIONE SISMA+.

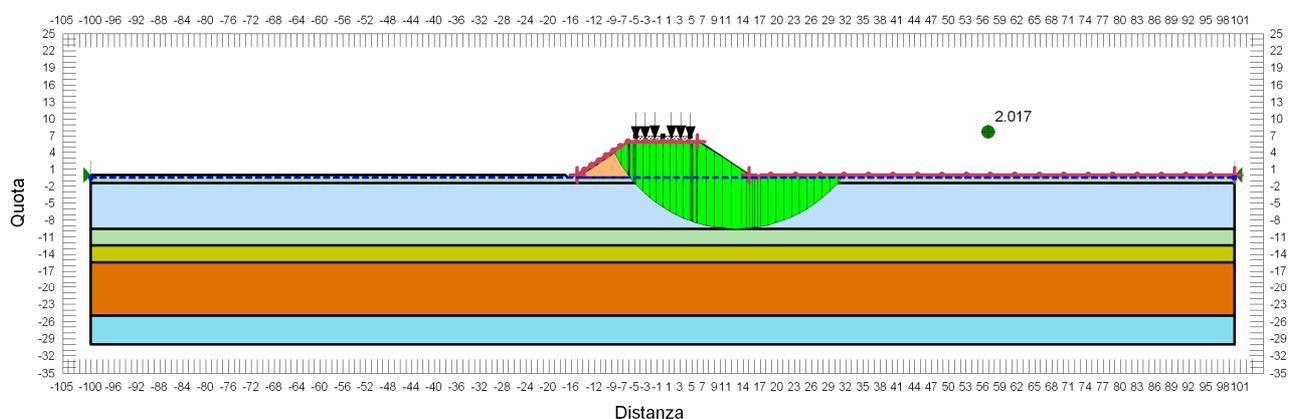


FIGURA 6-4: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=6.00 m - CONDIZIONE SISMA-.

6.2.2. H_{ril} = 11.00 m

Si riportano nella tabella e nelle immagini seguenti i risultati ottenuti per le diverse condizioni di calcolo per rilevati di altezza 11.00 m.

TABELLA 6-4: RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE H_{RIL} = 11.00 M.

VERIFICHE	FS ($\gamma_R \geq 1.1$)			
	Cond. STATICA NON DRENATA	Cond. STATICA DRENATA	Cond. SISMA +	Cond. SISMA -
H=11.00 m	1.590	1.101	1.388	1.324

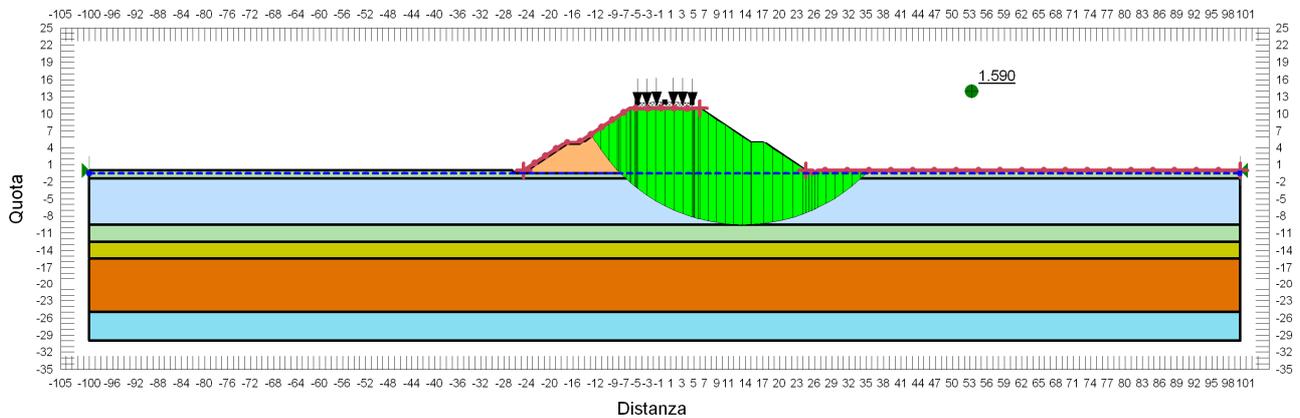


FIGURA 6-5: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=11.00 M - CONDIZIONE STATICA NON DRENATA.

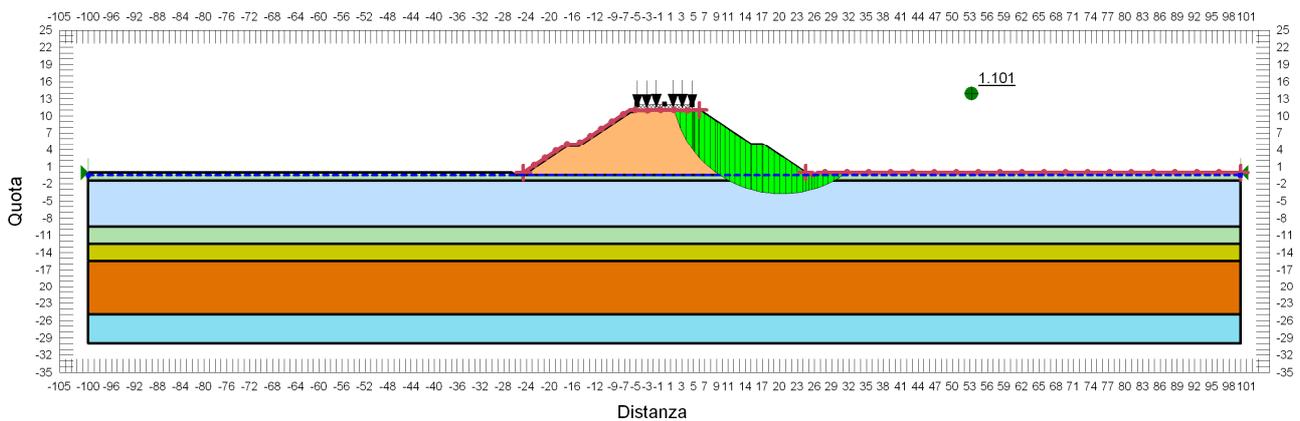


FIGURA 6-6: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=11.00 M - CONDIZIONE STATICA DRENATA.

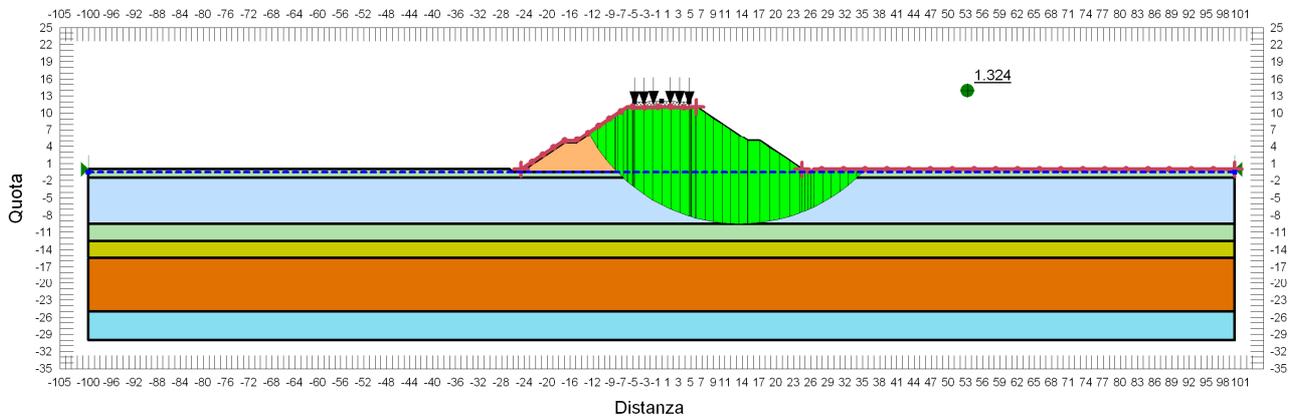


FIGURA 6-7: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=11.00 m - CONDIZIONE SISMA+.

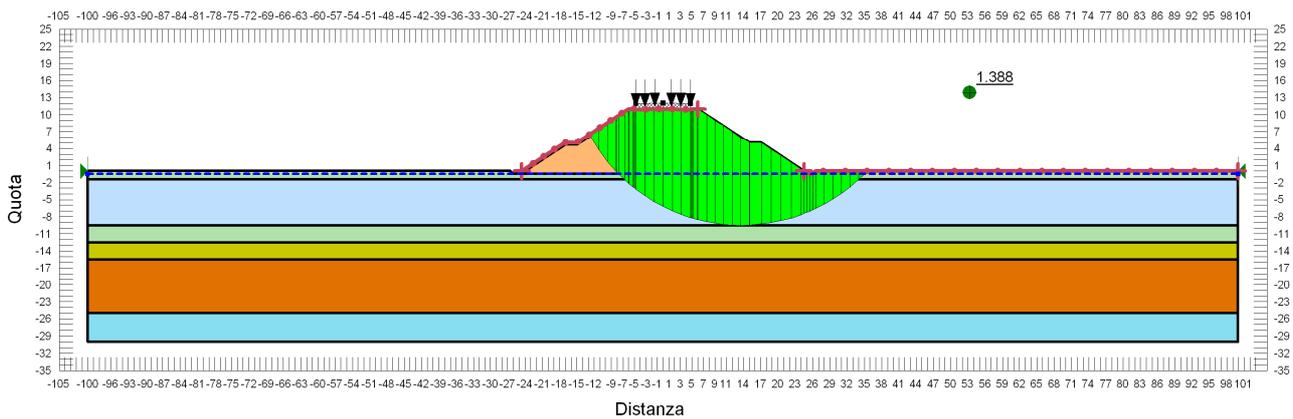


FIGURA 6-8: VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE RILEVATO DI H=11.00 m - CONDIZIONE SISMA-.

7. STIMA DEI CEDIMENTI E LORO EVOLUZIONE NEL TEMPO

7.1. LIVELLI PRESTAZIONALI RILEVATI

Per la progettazione degli interventi di consolidamento al di sotto del rilevato corrente sono stati considerati i seguenti livelli prestazionali:

- il cedimento residuo, dopo la messa in esercizio dell'opera (T_c+T_a), deve risultare **inferiore a 7.5 cm nel corso del primo anno di esercizio** ($T_c+T_a+360gg$);
- il cedimento residuo, dopo la messa in esercizio dell'opera (T_c+T_a), deve risultare **inferiore a 22.5 cm nel corso dei primi 10 anni di esercizio** ($T_c+T_a+3600gg$);

dove:

T_c è il tempo di costruzione del rilevato considerato pari a 10 gg/metro;

T_a è il tempo che intercorre tra la fine della costruzione del rilevato e la realizzazione della sovrastruttura stradale.

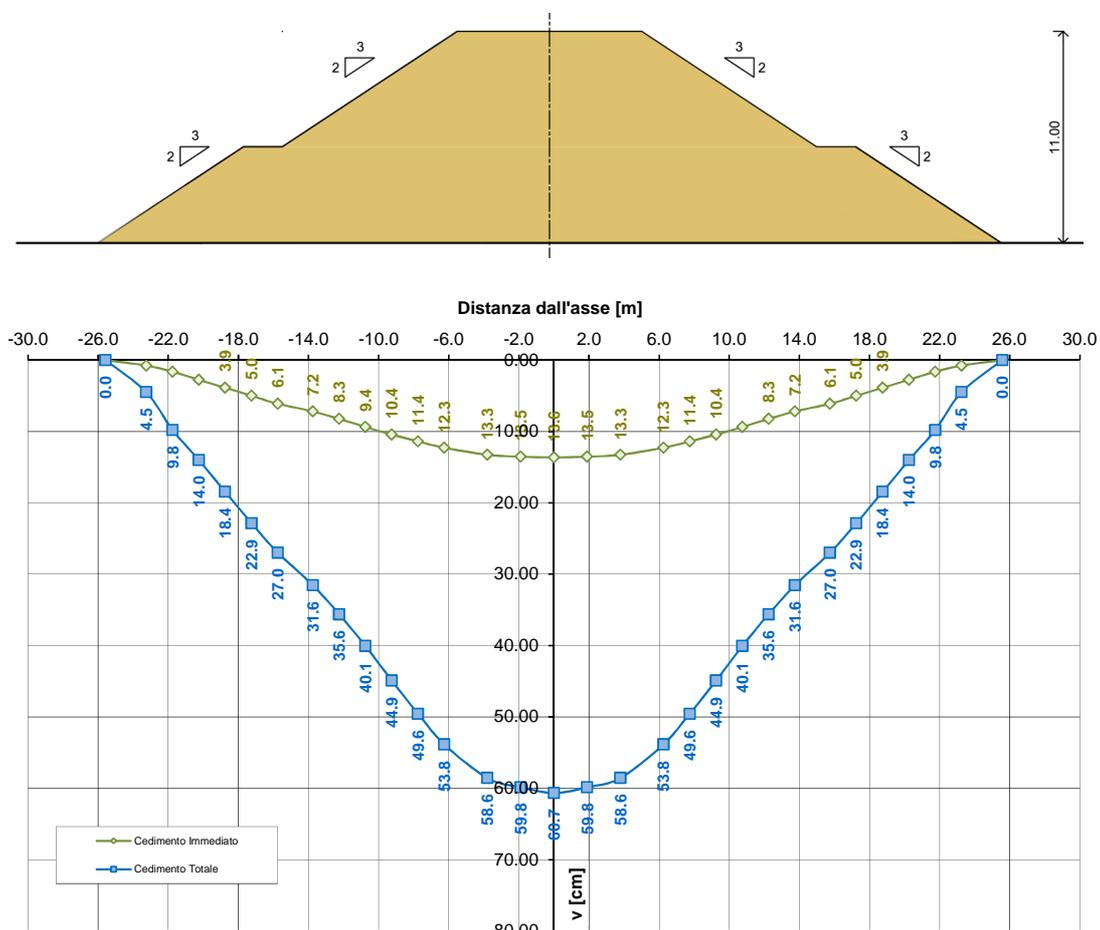
Le elaborazioni sono state condotte secondo quanto riportato nell'elaborato PD_0_A00_A0000_0_GT_RB_02.

La valutazione dei cedimenti è stata condotta con riferimento alla stratigrafia e caratterizzazione geotecnica riportata in TABELLA 5-1.

Ai fini del calcolo dei cedimenti è stato assunto il livello di falda a - 0.50 m da p.c.

7.2. HRIL=11.00 M

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 11.00 m

FIGURA 7-1: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

Nelle figure seguenti sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

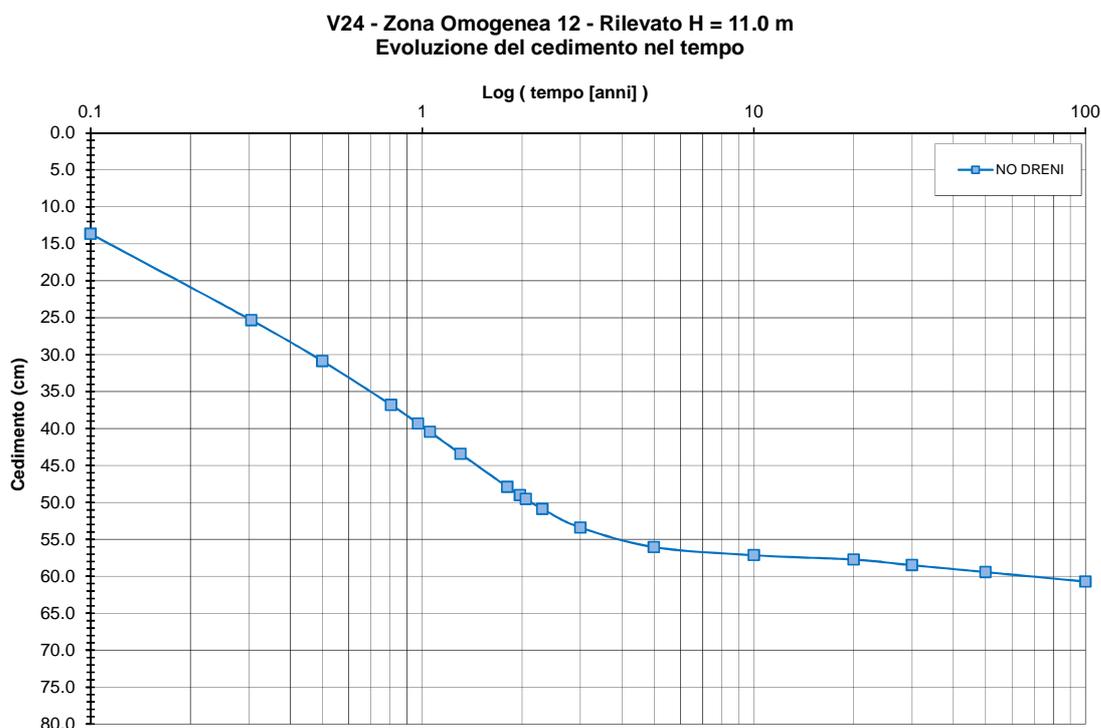


FIGURA 7-2: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 11.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

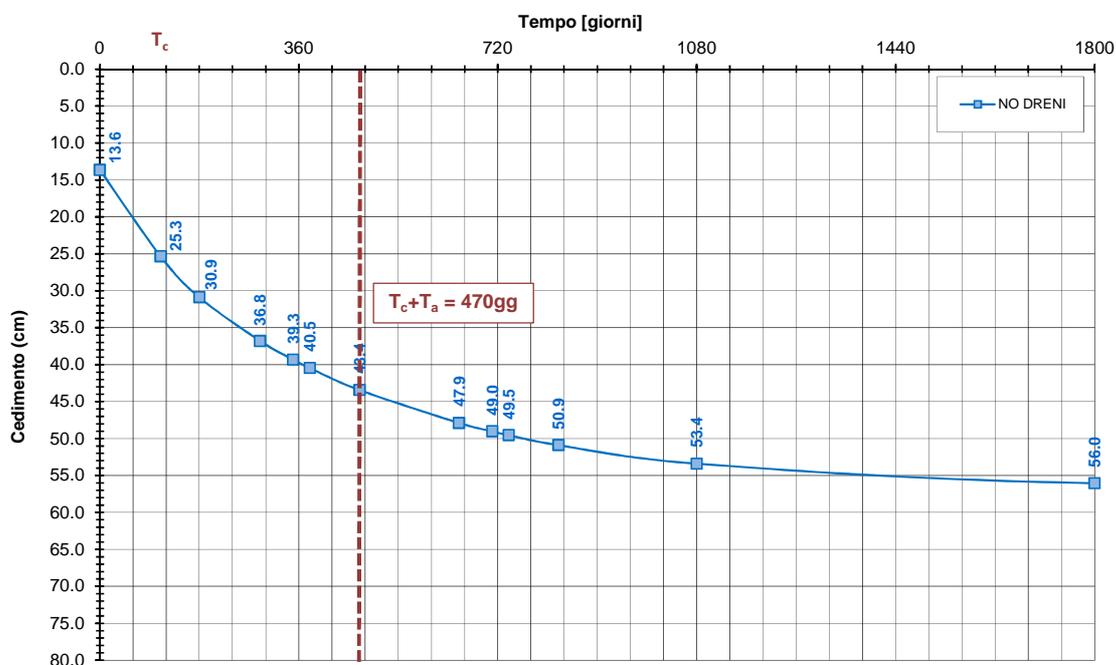


FIGURA 7-3: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportati rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 7-1: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

Cedimento immediato [cm]	13.6
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	43.5
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	3.6

TABELLA 7-2: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	43.4	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	50.9	$\Delta_{1^\circ\text{anno}} = 7.5 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	57.2	$\Delta_{10^\circ\text{anno}} = 13.8 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

7.3. HRIL=8.00 M

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).

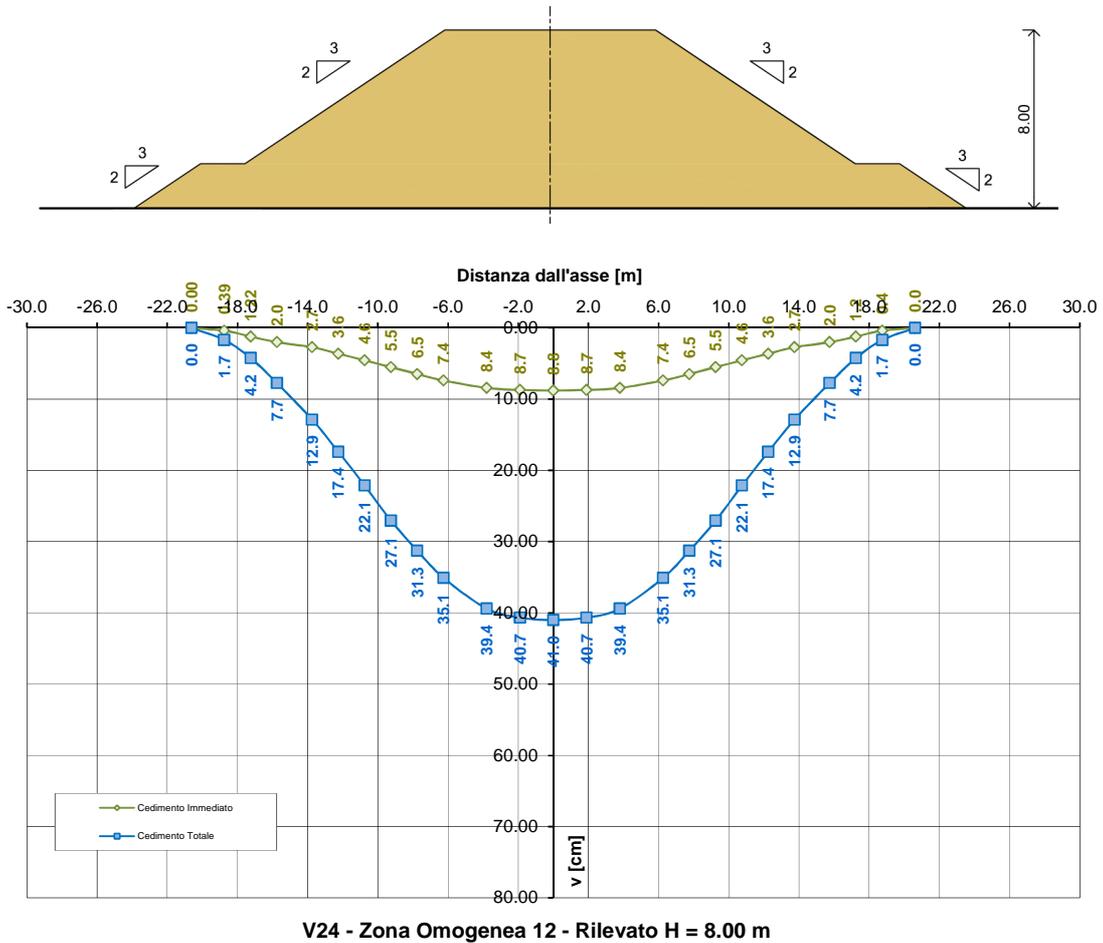


FIGURA 7-4: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

Nelle figure seguenti sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

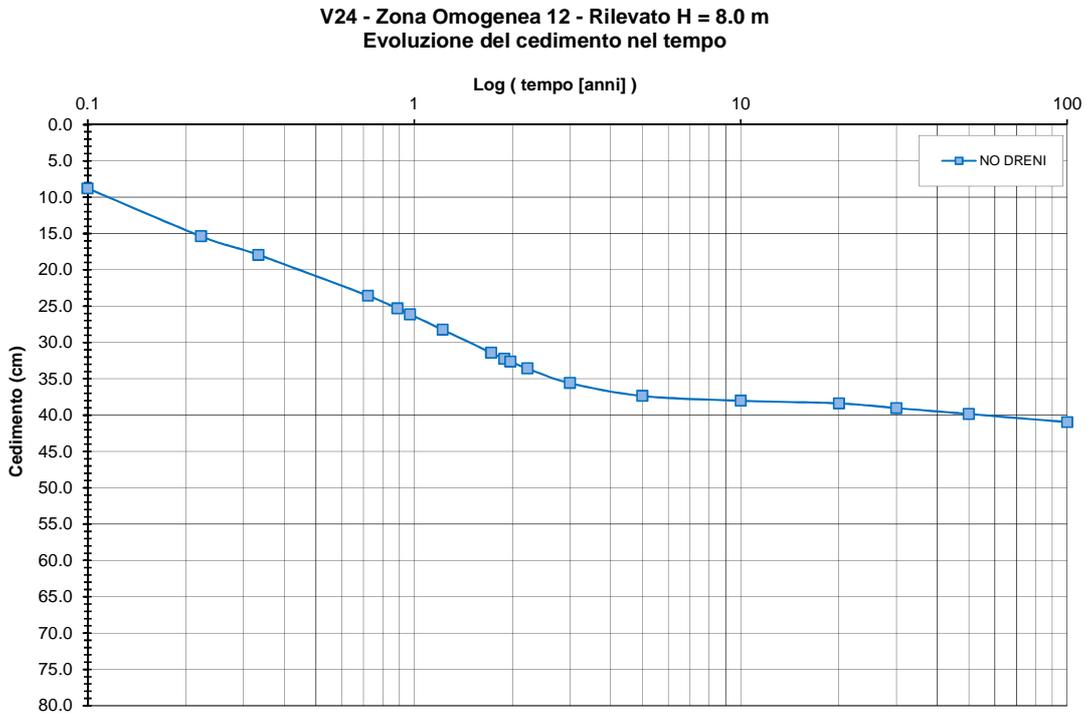


FIGURA 7-5: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

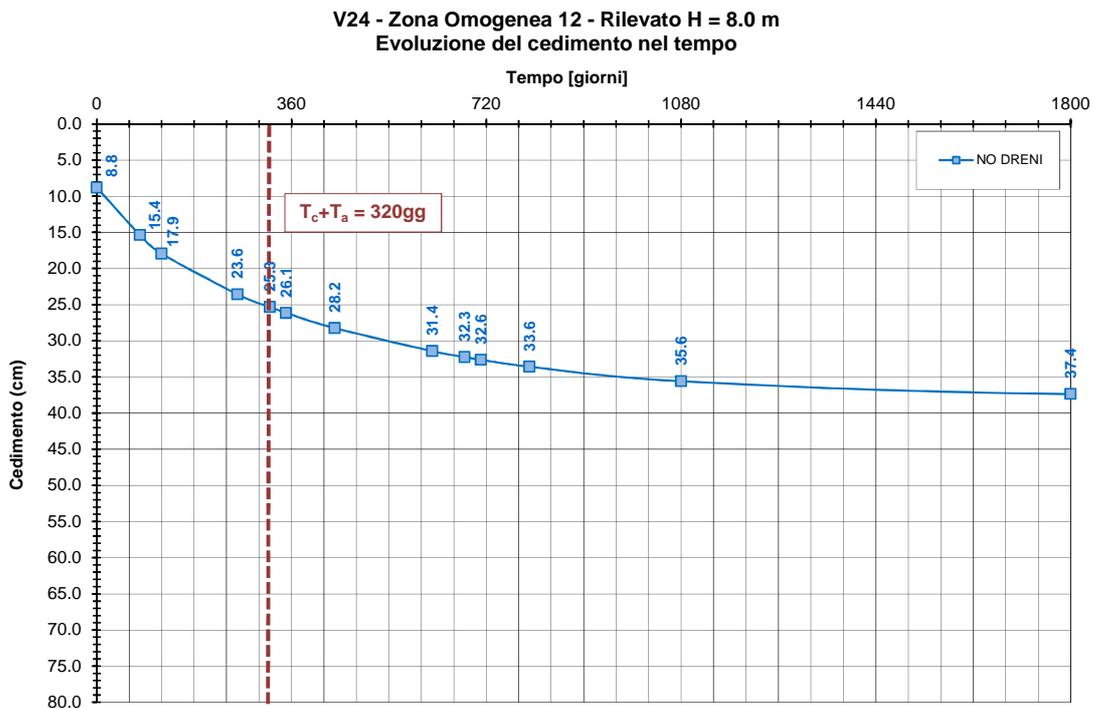


FIGURA 7-6: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportati rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di dreni posti ad interasse pari a 3.5m e di lunghezza 11.0m.

TABELLA 7-3: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

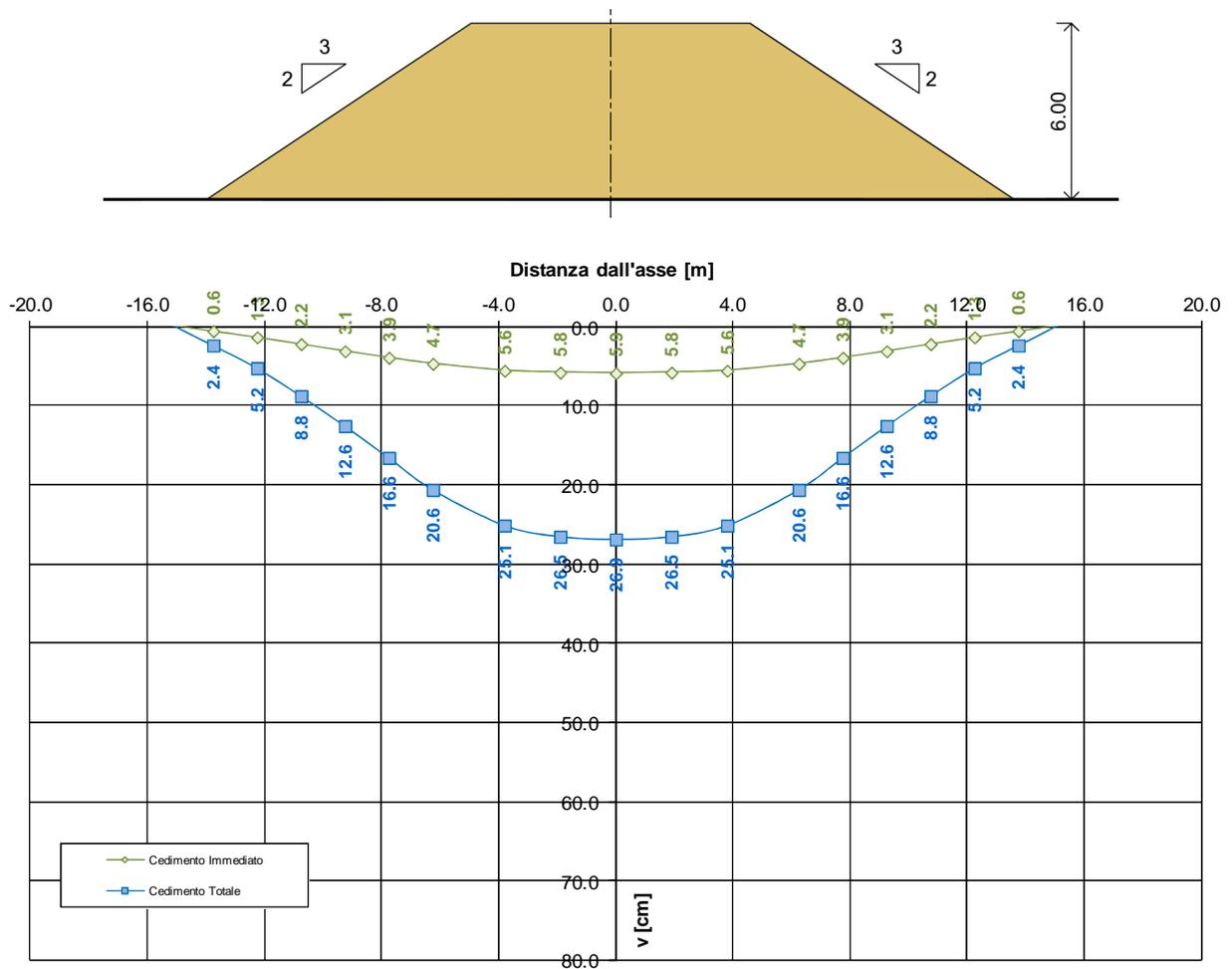
Cedimento immediato [cm]	8.8
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	29.3
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	2.8

TABELLA 7-4: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	25.3	
$T_c + T_a + 360gg$	32.3	$\Delta_{1^o\text{anno}} = 7.0 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600gg$	38.1	$\Delta_{10^o\text{anno}} = 12.8 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

7.4. HRIL=6.00 M

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 6.00 m

FIGURA 7-7: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

Nelle figure seguenti sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

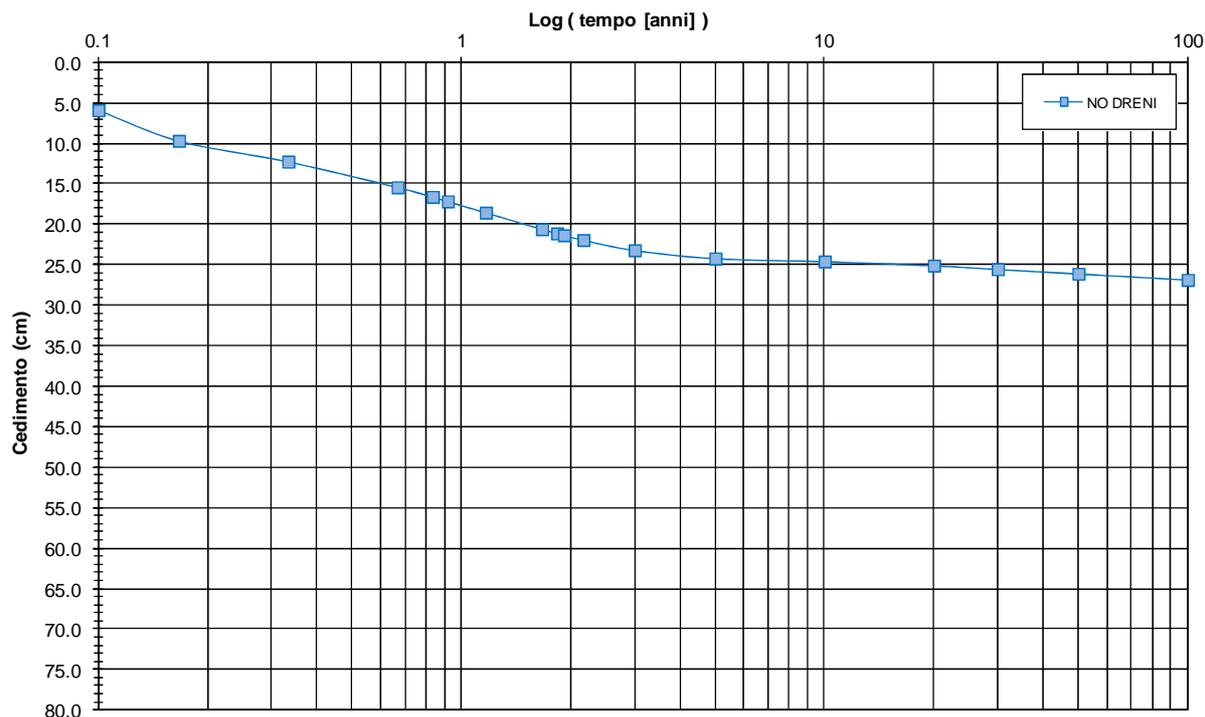


FIGURA 7-8: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 6.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

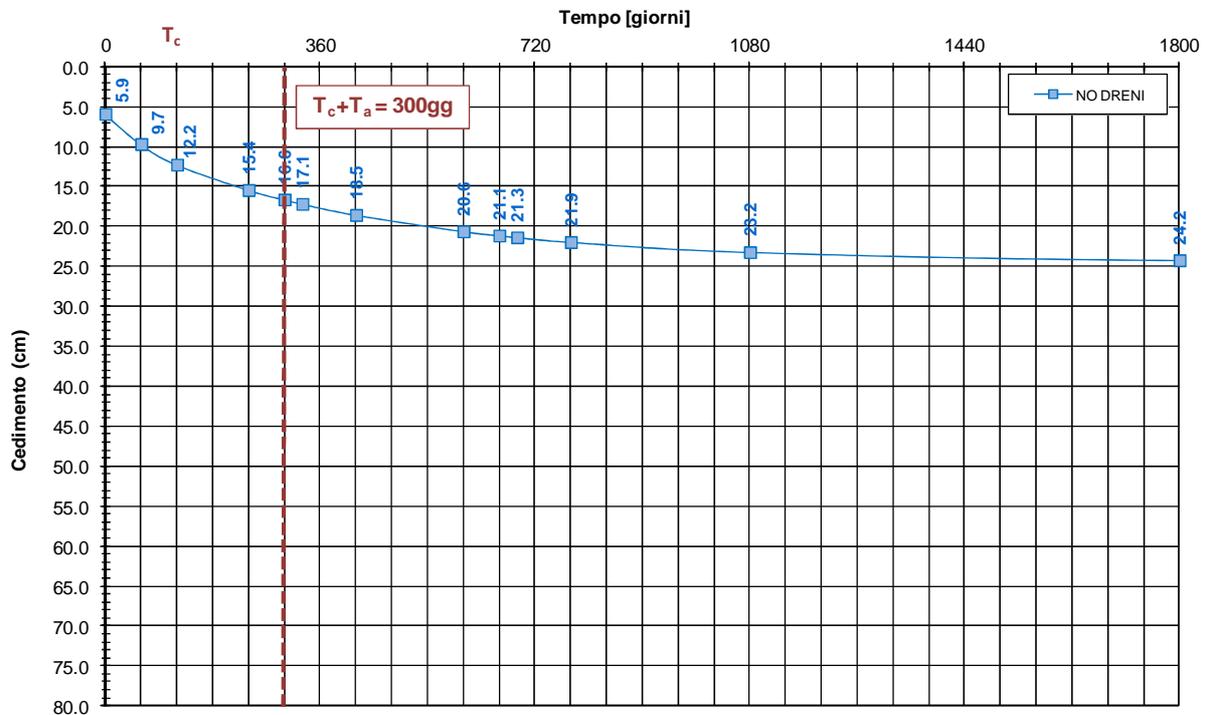


FIGURA 7-9: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportati rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 7-5: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

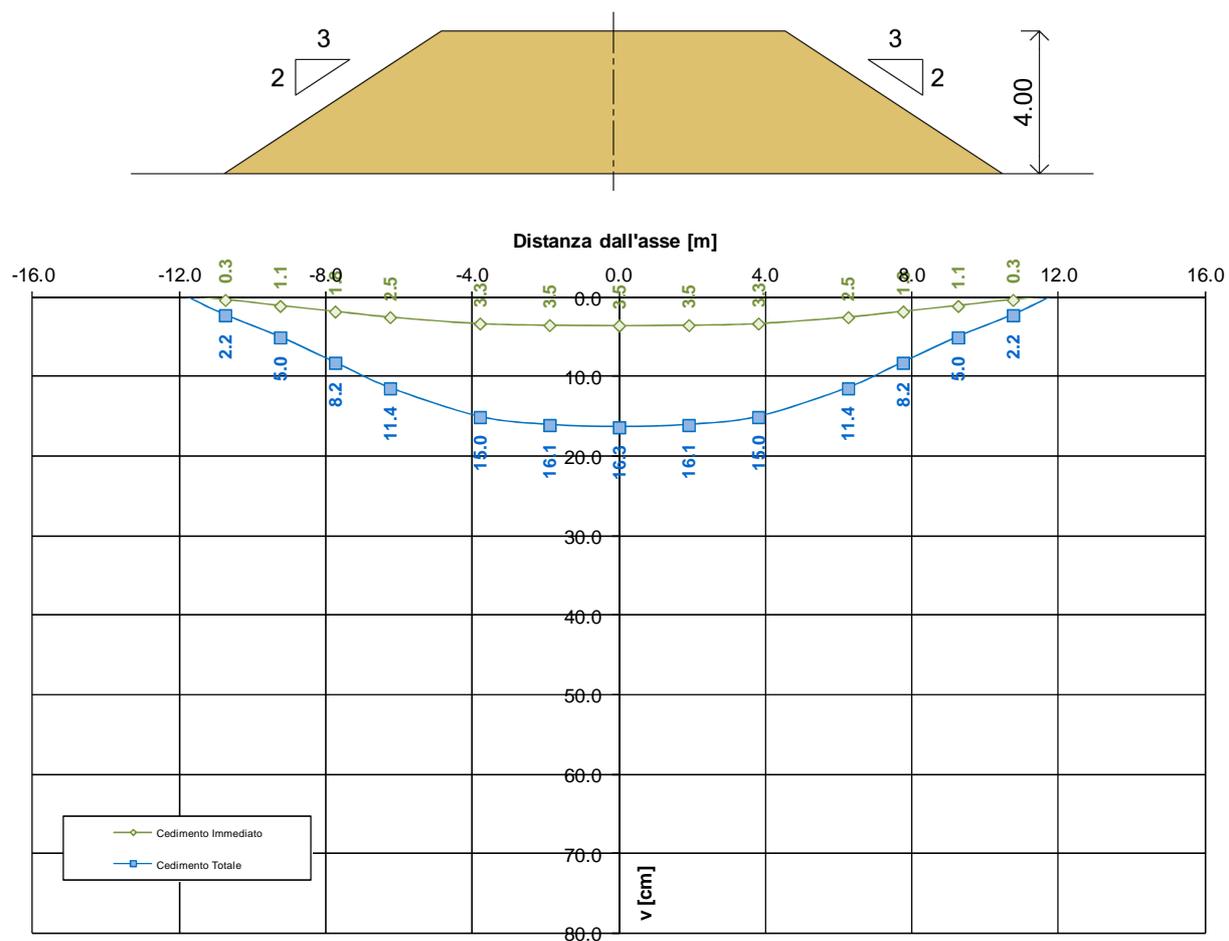
Cedimento immediato [cm]	5.9
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	18.8
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	2.2

TABELLA 7-6: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	16.6	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	21.1	$\Delta_{1^\text{anno}} = 4.5 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	24.6	$\Delta_{10^\text{anno}} = 8.0 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

7.5. HRIL=4.00 M

Si riportano nella seguente figura i cedimenti immediati e totali (immediati, consolidazione primaria e secondaria).



V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 4.00 m

FIGURA 7-10: ANDAMENTO DEI CEDIMENTI IMMEDIATI E TOTALI.

Nelle figure seguenti sono riportati gli andamenti dei cedimenti totali (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) nel tempo relativi rispettivamente agli intervalli temporali 0-100 anni e 0-5 anni.

V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 4.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

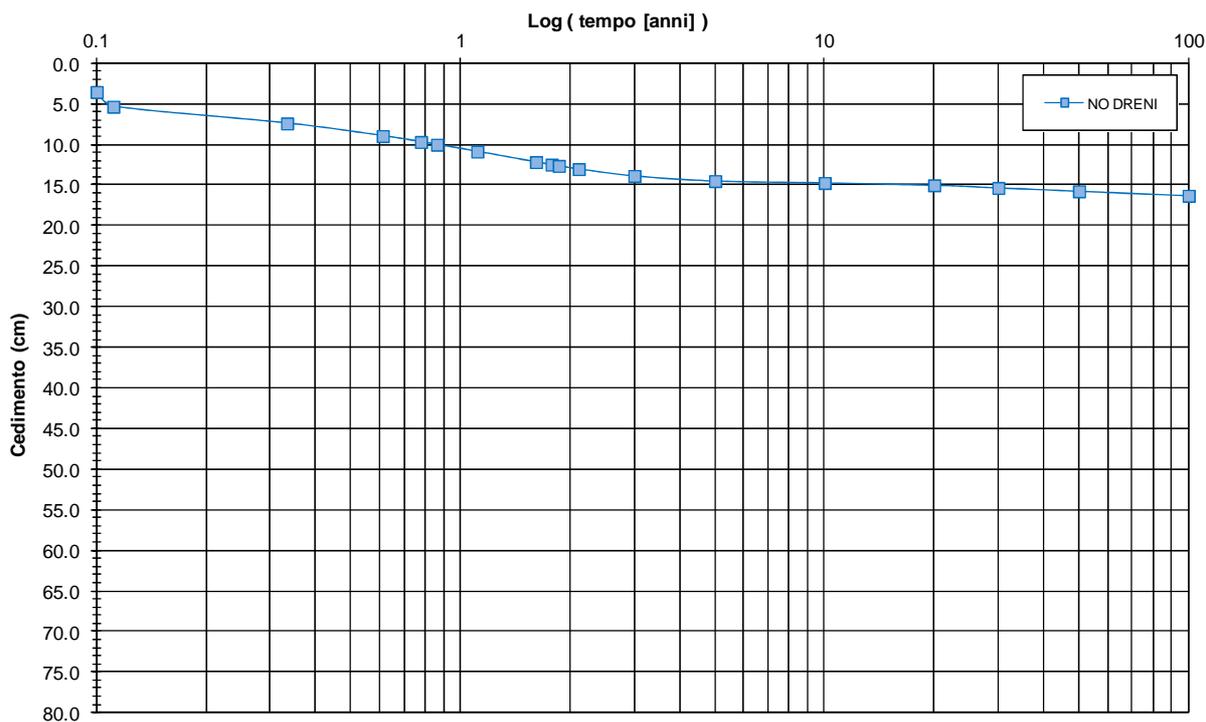


FIGURA 7-11: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA LOGARITMICA.

V24 - Zona Omogenea 12 - Rilevato H = 4.0 m
Evoluzione del cedimento nel tempo

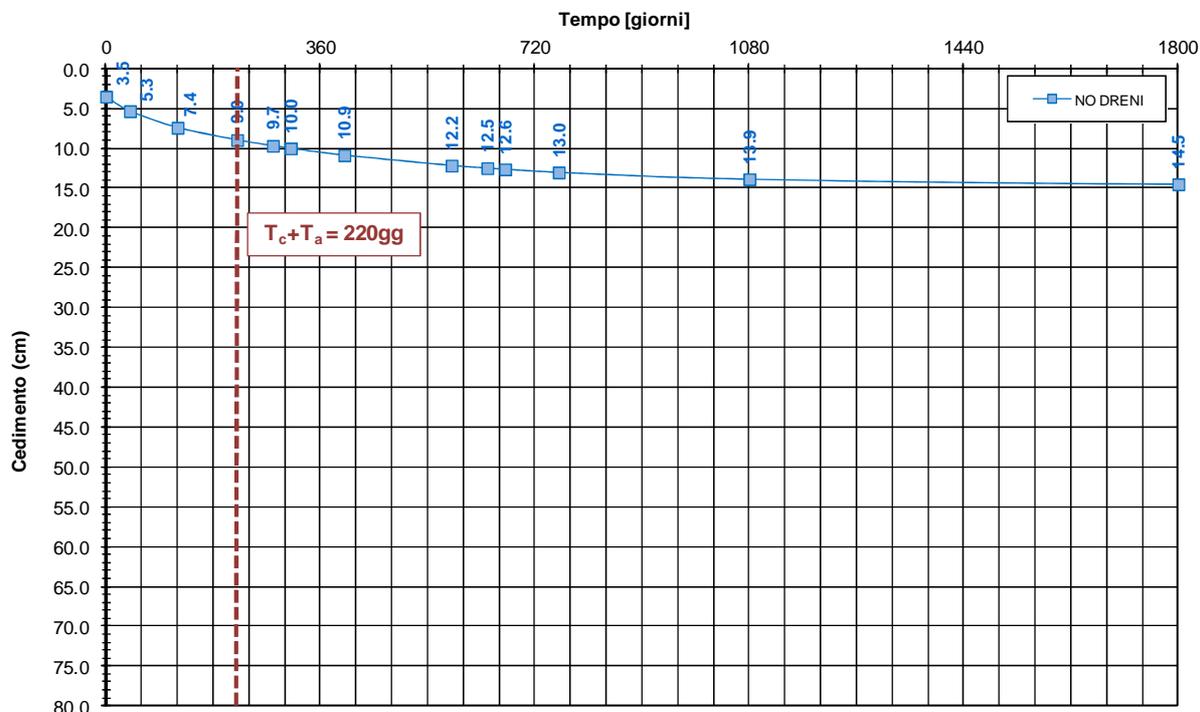


FIGURA 7-12: EVOLUZIONE DEL CEDIMENTO NEL TEMPO – SCALA NATURALE.

Nelle seguenti tabelle sono riportati rispettivamente le entità di cedimento immediato, di consolidazione primaria e secondaria e la valutazione del rispetto dei limiti prestazionali nel caso di assenza di interventi di consolidamento.

TABELLA 7-7: ENTITA' DEL CEDIMENTO A 100 ANNI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

Cedimento immediato [cm]	3.5
Cedimento di consolidazione primaria [cm]	11.3
Cedimento di consolidazione secondaria [cm]	1.5

TABELLA 7-8: VERIFICA LIMITI PRESTAZIONALI – V24 - ZONA OMOGENEA 12.

Tempi	Cedimento in funzione delle caratteristiche dell'intervento previsto [cm]	
$T_c + T_a$	9.0	
$T_c + T_a + 360\text{gg}$	12.2	$\Delta_{1^\text{anno}} = 3.2 \text{ cm} < 7.5 \text{ cm}$
$T_c + T_a + 3600\text{gg}$	14.8	$\Delta_{10^\text{anno}} = 5.8 \text{ cm} < 22.5 \text{ cm}$

8. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO IN CORRISPONDENZA DELLE SPALLE DELLE OPERE D'ARTE

Nel seguente paragrafo vengono analizzati gli interventi volti alla accelerazione del decorso dei cedimenti nel tempo (dreni e precarico) nel caso di spalla passante a due file di pali in cui la scarpata frontale del rilevato viene rimossa per i primi 5 metri a partire dalla sommità del rilevato come mostrato in **FIGURA 8-1**.

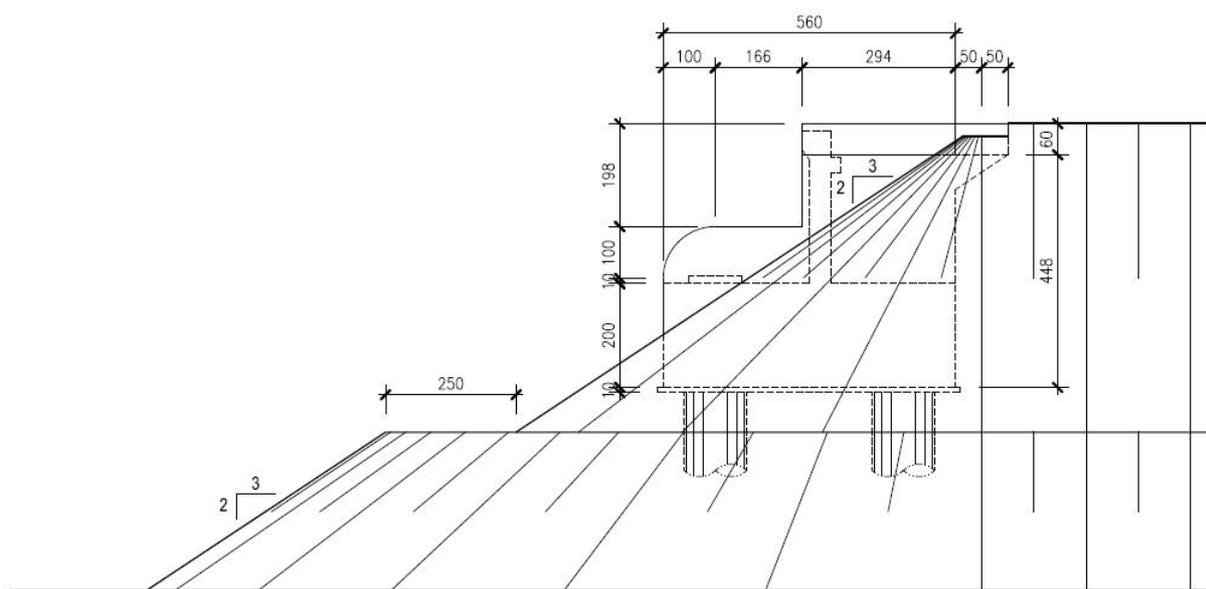


FIGURA 8-1: GEOMETRIA TIPO SPALLA APERTA

La valutazione dei cedimenti, per un rilevato di altezza 11.0 metri (VCV08 – Cavalcavia SP8 dir. San Felice), è stata condotta con riferimento alla stratigrafia alla Tabella 5-1. Ai fini del calcolo dei cedimenti è stato assunto il livello di falda a - 0.50 m da p.c.

Nel caso in esame si sono adottati:

- dreni prefabbricati a nastro di lunghezza 11.0 m a maglia quadrata 2.0m x 2.0m estesi fino a 15 metri dal ciglio superiore del rilevato;
- precarico di altezza 3 metri fino a 15 metri dal ciglio superiore del rilevato.

Il cedimento di consolidazione (primaria completa + secondaria a 100 anni) che si verifica in corrispondenza del ciglio superiore della scarpata, lungo l'asse della spalla, risulta pari a 43.1 cm:

- cedimento di consolidazione primaria nei primi 100 anni dall'inizio della costruzione del rilevato: 38.2 cm
- cedimento di consolidazione primaria residuo dopo i primi 100 anni dalla costruzione del rilevato: 0.0 cm
- cedimento secondario nei primi 100 anni dall'inizio della costruzione del rilevato: 4.9 cm

Il cedimento immediato non viene riportato perché irrilevante al fine della valutazione in oggetto.

In FIGURA 8-2 è riportato l'andamento dei cedimenti immediati e di consolidazione primario e secondario nel tempo del rilevato di altezza 10.5 m (scala logaritmica).

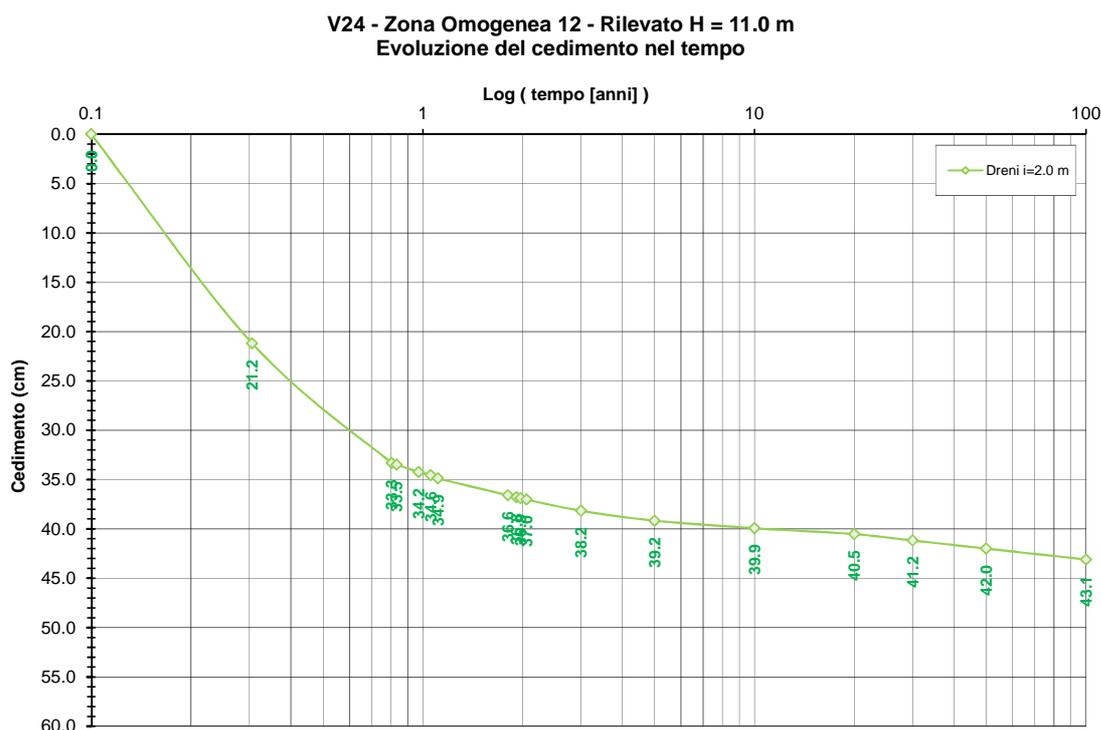


FIGURA 8-2: EVOLUZIONE CEDIMENTO CONSOLIDAZIONE (PRIMARIA + SECONDARIA) NEL TEMPO – SPALLA PASSANTE.

In FIGURA 8-3 è riportato sia l'andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione, comprensivi del cedimento secondario, per quanto riguarda il rilevato di altezza 11.0m, sia l'andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione (primario + secondario) per quanto riguarda il rilevato di altezza 11.0 m con precarico di 3.0 m.

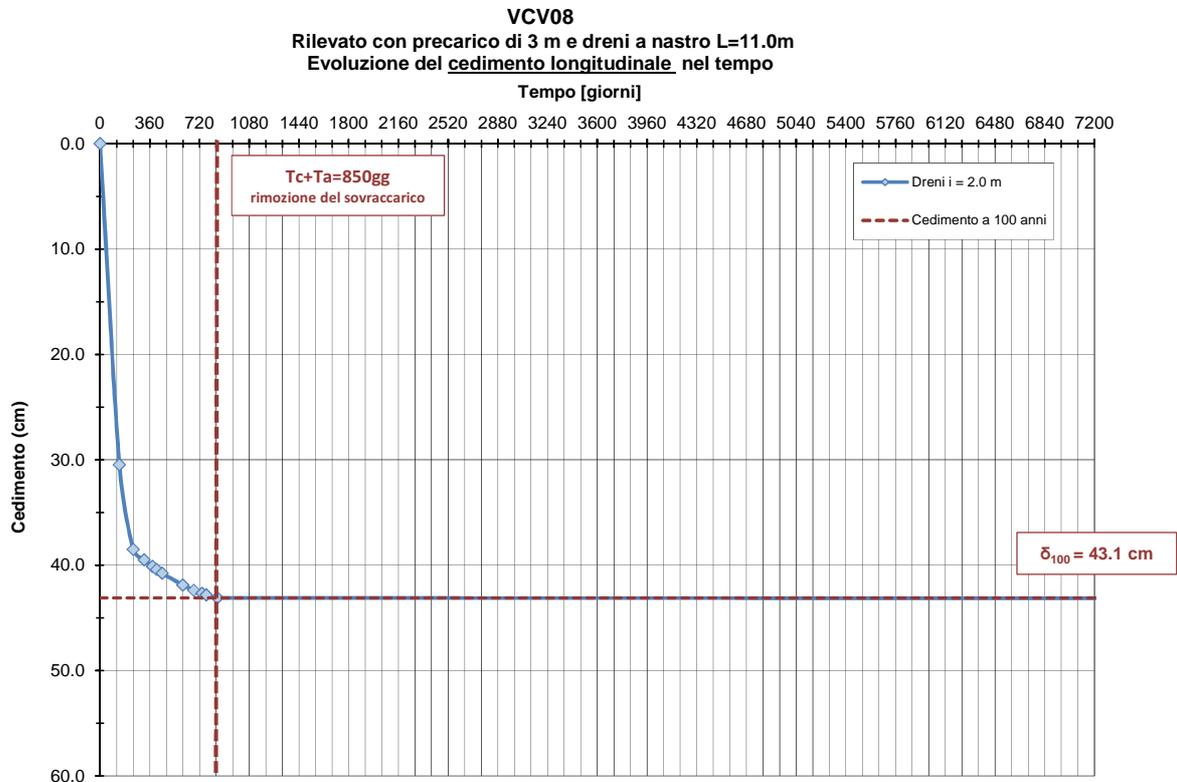


FIGURA 8-3: EVOLUZIONE CEDIMENTO CONSOLIDAZIONE (PRIMARIA + SECONDARIA) NEL TEMPO – SPALLA PASSANTE.

Dall'esame dell'evoluzione dei cedimenti nel tempo, si evidenzia come **dopo i primi 29 mesi**, comprensivi della costruzione del rilevato (10gg per ogni metro di altezza) e di un periodo di attesa (760gg), **il cedimento residuo in corrispondenza della spalla lungo la direttrice centrale risulta nullo.**

Gli interventi di consolidamento previsti per accelerare il decorso dei cedimenti nel tempo, nel caso del Ponte sul Canale Diversivo Burana (VPO02) sono l'utilizzo di dreni prefabbricati a nastro di lunghezza 13.0m disposti a maglia quadrata 2.0x2.0 ed estesi per una lunghezza, in direzione longitudinale, pari a 15m metri dal ciglio superiore del rilevato.

9. TRATTAMENTO DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE

9.1. 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".

9.2. SCHEMA GENERALE DELLE BONIFICHE

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

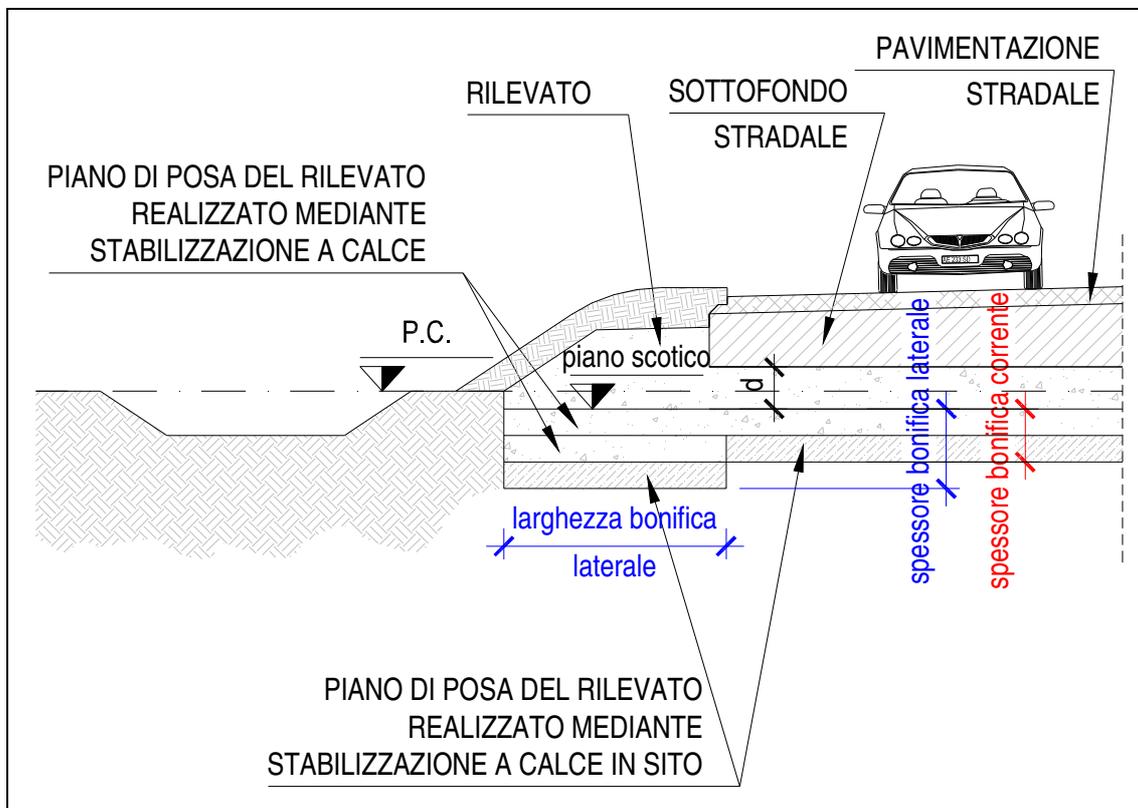


FIGURA 9-1: SCHEMA GENERALE BONIFICHE.

9.3. 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 altezze di rilevato di riferimento;
- il livello prestazionale in termini di valore del modulo di deformazione su piastra M_d richiesto in funzione della distanza "d" considerata.

TABELLA 9-1: LIVELLI PRESTAZIONALI MINIMI DEL PIANO DI POSA DEI RILEVATI/TRINCEE.

Altezza rilevato [m]	d [m]	$M_{d\text{-richiesto}}$ [MPa]
≤ 1	0.0	50.0
> 1	1.0	20.0

9.4. 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 205 e 206 (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, in base all'altezza del rilevato, il modulo elastico $E_0 = E_{PLT}$ assunto nelle elaborazioni.

TABELLA 9-2: TERRENO NATURALE – MODULO ELASTICO ASSUNTO NELLE ELABORAZIONI.

Altezza rilevato [m]	$E_{PLT} = E_0$ [MPa]
≤ 1	3.9
> 1	3.3

9.5. 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 9-1).

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 9-3: SPESSORI DI BONIFICA LUNGO IL TRACCIATO.

Altezza rilevato [m]	Spessore bonifica corrente [m]	Spessore bonifica laterale [m]	Larghezza bonifica laterale [m]	Analisi di Burmister
≤ 1	0.7	1.0	2.5	Figura 9-2
> 1	0.3	0.9	2.5	Figura 9-3

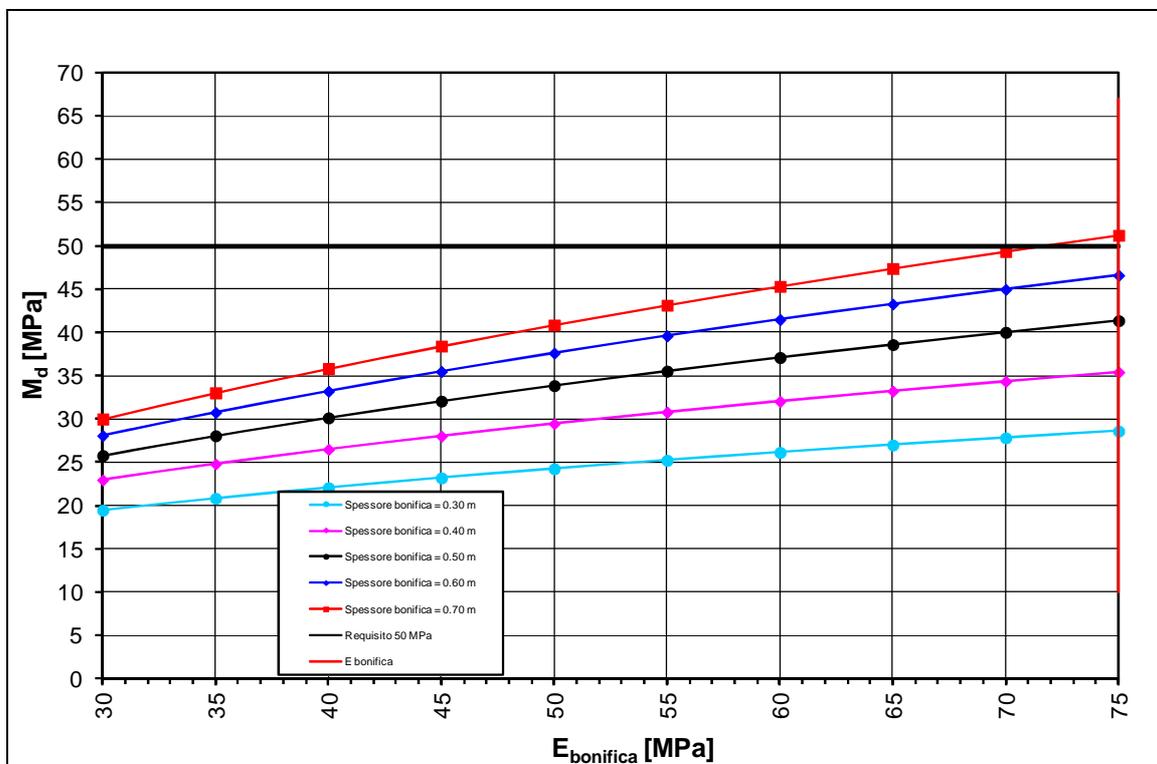


FIGURA 9-2: HRIL ≤ 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

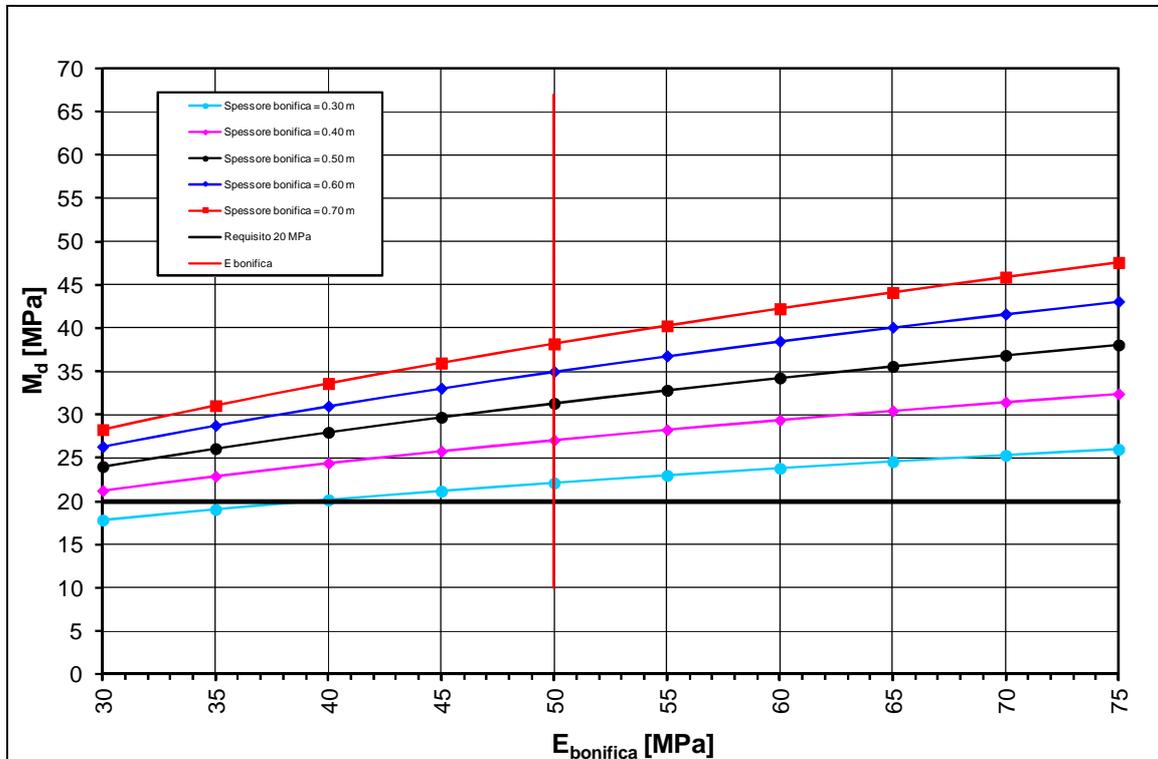


FIGURA 9-3: HRIL > 1M – DETERMINAZIONE SPESSORE DI BONIFICA.

9.6. 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 9-4: INDICAZIONI IN MERITO ALLA %CAO DA ADOTTARE NELLA STABILIZZAZIONE.

pk inizio [km]	pk fine [km]	% calce viva (CaO) per stabilizzazione
/	/	4.5