

Commissario:



Contraente:



Progettista:



Project & Construction Management &
Quality Assurance: Rina Consulting SpA



VIADOTTO POLCEVERA

PROGETTO ESECUTIVO di 2° LIVELLO

RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO FONDAZIONE – PLINTO P11

Contraente	Project & Construction Management & Quality Assurance	Direttore Lavori
Data: _____	Data: _____	Data: _____

COMMESSA

LOTTO

FASE

ENTE

TIPO DOC

OPERA/DISCIPLINA



PROGR



REV

N	G	1	2	0	0	E	0	9	C	L	V	I	0	2	0	2	C	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integrator	Data	A. Vittozzi
A	Emissione esecutiva di 2° livello	<i>S.F. Bianchi</i>	15/04/2019	<i>L. Utzeri</i>	15/04/2019	<i>A. Pirego</i>	15/04/2019	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A20783 Data 15/04/2019
B								
C								

File: NG1200E09CLVIO202C02A

Contraente 		Progettista 				
Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0202 C02	Rev. A	Foglio 2 di 43
INDICE						
1	PREMESSA.....					4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO, NORMATIVA E SOFTWARE					4
2.1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....					4
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO					4
2.3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....					4
2.4	SOFTWARE.....					4
3	MATERIALI					5
3.1	ACCIAIO.....					5
3.1.1	Acciaio per armatura strutture in c.a.					5
3.2	CALCESTRUZZO					5
3.2.1	Calcestruzzo magro per getti di livellamento					5
3.2.2	Calcestruzzo pali					5
4	SISMICITA'					6
5	DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI E STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO					7
5.1	DESCRIZIONE DEL SISTEMA FONDALE					7
5.2	STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO.....					8
6	CRITERI DI VERIFICA					8
7	SCARICHI IN FONDAZIONE.....					9
7.1	SCARICHI ALLA BASE DELLA PILA					9
7.1.1	Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi sismici (SLV).....					9
7.1.2	Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi statici (SLU).....					10
7.1.3	Combinazioni delle azioni agli stati limite di esercizio (SLE).....					10
7.2	SCARICHI A INTRADOSSO PLINTO					11
7.2.1	Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi sismici (SLV).....					11
7.2.2	Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi statici (SLU).....					14
7.2.3	Combinazioni delle azioni agli stati limite di esercizio (SLE).....					15
8	ANALISI DELL'INTERAZIONE FONDAZIONE-TERRENO					18

Contraente 		Progettista 			
Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0202 C02	Rev. A
					Foglio 3 di 43

8.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO GROUP.....	18
8.2	SINTESI DEI RISULTATI AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE (CARATTERISTICA).....	23
8.2.1	<i>Spostamenti SLE</i>	26
8.3	SINTESI DEI RISULTATI AGLI STATI LIMITE ULTIMI STATICI (SLU)	27
8.3.1	<i>Spostamenti SLU</i>	28
8.4	SINTESI DEI RISULTATI RELATIVI AGLI STATI LIMITE ULTIMI SISMICI (SLV)	29
8.4.1	<i>Spostamenti SLV</i>	31
9	VERIFICA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO.....	33
9.1	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE DEL PALO SINGOLO	33
9.2	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE GRUPPO DI PALI	34
9.3	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE DEL GRUPPO DI PALI.....	36
10	VERIFICA DEI PALI AGLI SLU E SLE DI TIPO STRUTTURALE.....	38
10.1	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE A PRESSO-TENSO FLESSIONE	38
10.2	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE A TAGLIO	39
10.3	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI SISMICHE A PRESSO-TENSO FLESSIONE.....	40
10.4	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI SISMICHE A TAGLIO.....	41
10.5	VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STR.....	41
10.5.1	<i>Verifica di apertura delle fessure</i>	41
10.5.2	<i>Verifica tensionale</i>	42

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
4 di 43

1 PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche geotecniche e strutturali dei pali della pila P11 del viadotto Polcevera.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO, NORMATIVA E SOFTWARE

2.1 Documentazione di riferimento

- Rif. [1] NG12 00 E 09 F6 VI0000 C01 - "Profilo Geotecnico"
- Rif. [2] NG12 00 E 09 F6 VI0000 C02 - "Profilo geotecnico ramo di svincolo"
- Rif. [3] NG12 00 E 09 BZ VI0202 C02 - "Armatura palo Pila P11"
- Rif. [4] NG12 00 E 09 BZ VI0203 C04 - "Armatura plinto Pila P11 - Tav. 1"
- Rif. [5] NG12 00 E 09 BZ VI0203 C05 - "Armatura plinto Pila P11 - Tav. 2"
- Rif. [6] NG12 00 E 09 BA VI0003 C02 - "Carpenteria fondazioni - Tav. 2"
- Rif. [7] NG12 00 E 09 GE VI0000 C01 - "Relazione Geotecnica Generale"
- Rif. [8] NG12 00 E 09 RH VI0000 C02 - "Criteri di caratterizzazione sismica e risposta sismica locale"
- Rif. [9] NG12 00 E 09 GE VI0002 C01 - "Relazione Criteri di Progettazione geotecnica"
- Rif. [10] NG12 00 E 09 GE VI0002 C02 - "Relazione geotecnica fondazioni"
- Rif. [11] NG12 00 E 09 CL VI0203 C02 - "Relazione di calcolo strutturale plinto - Pila P11"
- Rif. [12] NG12 00 E 09 TT VI0000 C02 - "Tabella materiali sottostrutture e opere fondali"

2.2 Normativa e Standard di Riferimento

- Rif. [13] Decreto Ministeriale del 17/01/2018: "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" (GU n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8)
- Rif. [14] UNI EN 1992-1-1:2004 "Eurocodice 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings" e relativa appendice nazionale italiana
- Rif. [15] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 - Progettazione Geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- Rif. [16] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Rif. [17] UNI EN 206:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- Rif. [18] UNI 11104: 2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206.

2.3 Riferimenti bibliografici

- Rif. [19] Mandolini, A., Russo, G., Viggiani, C. (2005). "Piled foundations: Experimental investigations, analysis and design." State-of-the-Art Rep. Proc., 16th ICSMGE, Osaka, Japan, Vol. 1, 177-213

2.4 Software

- Rif. [20] Group, Ensoft Inc, versione 2016, release n.10
- Rif. [21] GeoStru, RC-SEC 2018, Calcolo di sezioni in Cemento Armato

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
5 di 43

3 MATERIALI

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

3.1 Acciaio

3.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.

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

- tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
- allungamento caratteristico: $\geq 7.5 \%$
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento: $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

3.2 Calcestruzzo

3.2.1 Calcestruzzo magro per getti di livellamento

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

3.2.2 Calcestruzzo pali

Classe di resistenza: C30/37
classe di consistenza: S4-S5
classe di esposizione: XC2+XA1
dimensione massima dell'inerte: $D_{\max} = 32 \text{ mm}$
copriferro minimo: $c_{f,\min} \geq 75 \text{ mm}$

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
6 di 43

4 SISMICITA'

L'azione sismica è valutata in accordo alle NTC2018 di cui al Rif. [13] (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione sismica di cui al Rif. [8]):

- vita nominale: $V_N = 100$ anni
- classe d'uso: IV
- coefficiente d'uso: $C_U = 2$
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U$
- Coordinate geografiche di riferimento: ED50 dell'opera

Dall'analisi di risposta sismica locale (vedasi Rif. [8]) l'accelerazione massima orizzontale e verticale in superficie, comprensiva degli effetti stratigrafici e topografici, risulta rispettivamente pari a:

- $a_{\max,H} = 0.121g$;
- $a_{\max,V} = 0.064g$

Ai fini del dimensionamento delle strutture di fondazione l'azione sismica dovuta alle forze di inerzia dovute al sisma sono applicate come forze statiche equivalenti proporzionali al peso dei plinti e del terreno imbarcato:

- $F_h = a_{\max,H} \cdot W$;
- $F_v = a_{\max,V} \cdot W$.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
7 di 43

5 DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI E STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

5.1 Descrizione del sistema fondale

La fondazione è un plinto a 14 pali trivellati di diametro $\phi=1500$ mm, lunghezza 45.0 m e interasse 4.50 m; le dimensioni del plinto di fondazione sono 10.80x21.00x3.00 m (Figura 5-1).

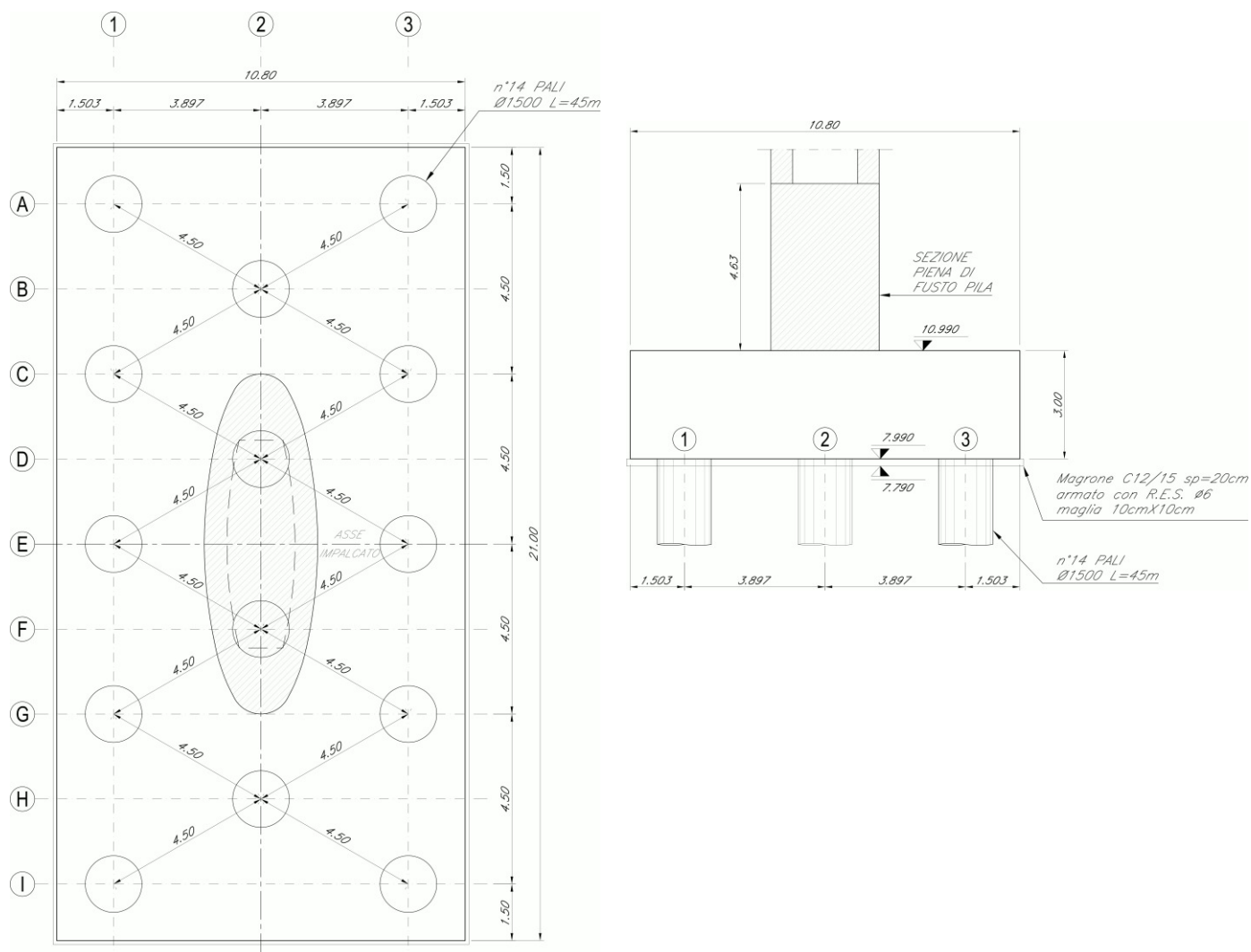


Figura 5-1 – Geometria di riferimento per il plinto su pali.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
8 di 43

5.2 Stratigrafia di riferimento

In accordo alla caratterizzazione geotecnica di cui al documento in Rif. [7] i parametri geotecnici di riferimento sono riportati nella seguente tabella. Nei modelli Group la falda è stata considerata a testa palo e il terreno a quota estradosso plinto la cui quota assoluta è 11.0 m.

Unità di rif.	Descrizione	Quota assoluta (m)	Profondità da intradosso plinto (m)
R	Riporto	9.8	-1.8
DG	Depositi alluvionali grossolani	-24.9	33.0
ARGalt	Argilliti alterate	-29.0	37.0
ARGcat	Argilliti cataclasate	-33.4	41.4
ARG	Argilliti	< -33.4	> 41.4

Tabella 5-1 – Stratigrafia

Unità	γ [kN/mc]	ϕ' [°]	c_u [kPa]	σ_{ci} [kPa]	E_i [kPa]	mb	s	a	E_{press} [kPa]	RQD
R	19	34								
DG	20.5	32								
ARGalt	26.5			2 000	1 100 000	0.1540	1.560E-05	0.5530	138 000	25
ARGcat	26.5			4 000	2 200 000	0.1770	2.330E-05	0.5440	160 000	20
ARG	26.5			13 000	10 010 000	0.5740	3.000E-04	0.5110	350 000	70

Tabella 5-2 –Parametri geotecnici di riferimento.

6 CRITERI DI VERIFICA

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d,$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d è il valore di progetto della resistenza.

Le verifiche sono sviluppate secondo l'approccio 2:

A1+M1+R3,

in cui è previsto un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali (STR) sia nelle verifiche geotecniche (GEO).

Per maggiori dettagli sui criteri di calcolo e verifica si rimanda alla relazione Rif. [9]. Per le verifiche a fessurazione si ricorda che sono svolte per condizioni ambientali aggressive e armature poco sensibili (vedasi § 9.4.1 di Rif. [9]).

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
9 di 43

7 SCARICHI IN FONDAZIONE

Nel seguito a partire dagli scarichi a base pila derivanti dall'analisi strutturale complessiva del viadotto, si valutano le azioni ad intradosso plinto aggiungendo le azioni permanenti dovute al peso proprio del plinto e al terreno imbarcato e le azioni inerziali sul terreno imbarcato e plinto.

Gli scarichi dovuti alla struttura in elevazione sono riferiti alla terna di assi 1-2-3 di Figura 7-1a. Per l'analisi del plinto di fondazione le azioni sono riportate ad intradosso plinto e, per l'utilizzo nell'ambito del software Group (vedasi § 8) riferite agli assi x-y-z; la corrispondenza fra i due sistemi di riferimento è indicata in Figura 7-1b.

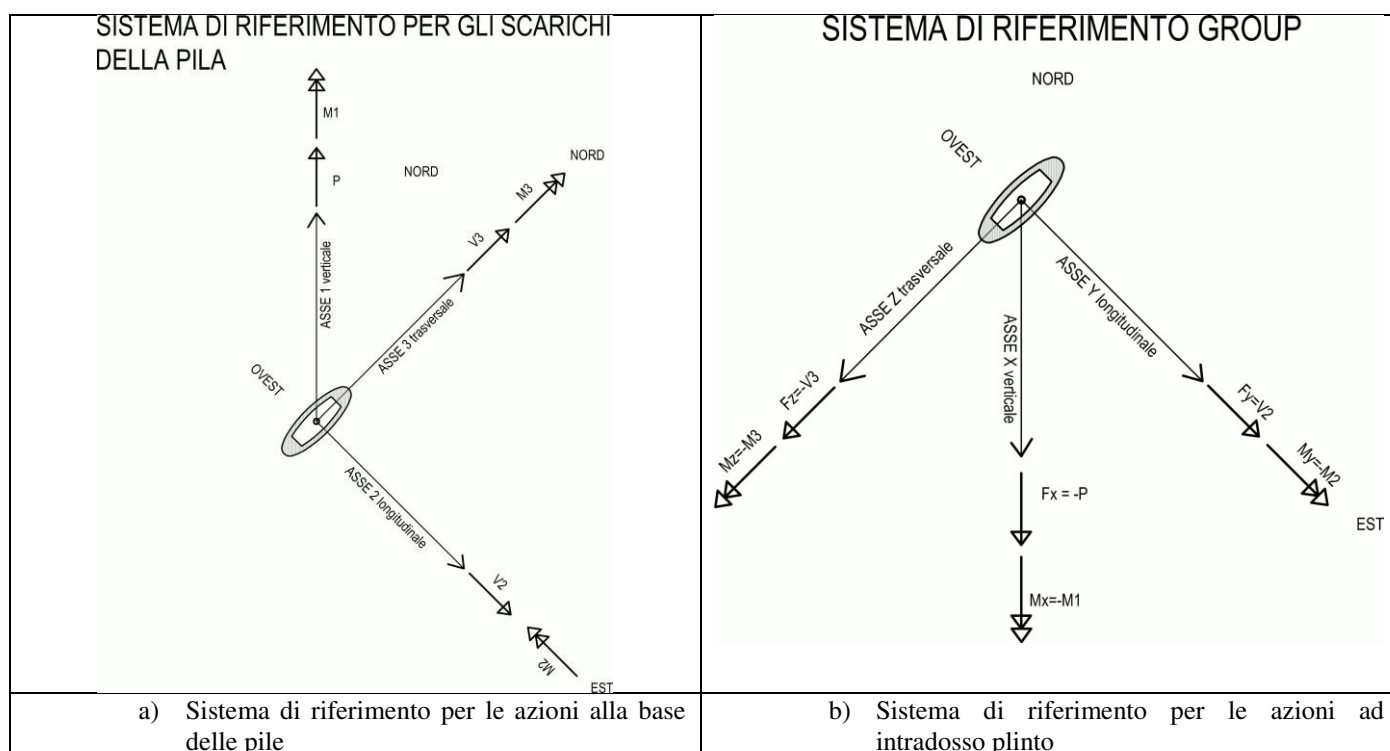


Figura 7-1 – Assi di riferimento per gli scarichi in fondazione.

7.1 Scarichi alla base della pila

Di seguito si riportano gli scarichi alla base della pila per le combinazioni di carico sismiche (SLV), statiche (SLU) e di esercizio (SLE).

7.1.1 Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi sismici (SLV)

Nella tabella seguente si riportano gli scarichi per gli stati limite ultimi (SLV) connessi all'azione sismica e valutati considerando per la struttura in elevazione un fattore di struttura $q=1$.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
10 di 43

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F_x	F_y	M_z	F_z	M_y	M_x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P11-V2max-SIS.TH.1	50 715	2 195	-61 289	-336	-3 556	-11
P11-V2min-SIS.TH.1	52 664	-1 669	47 404	-787	-28 436	3
P11-M3max-SIS.TH.1	50 302	1 837	-67 917	519	20 391	-12
P11-M3min-SIS.TH.1	52 132	-1 436	55 016	-444	-17 054	4
P11-V3max-SIS.TH.1	51 209	360	-13 262	-2 504	-76 063	46
P11-V3min-SIS.TH.1	51 960	-328	14 108	2 787	84 037	3
P11-M2max-SIS.TH.1	50 996	169	-11 712	-2 359	-84 868	22
P11-M2min-SIS.TH.1	52 239	5	-3 469	2 553	89 733	-26
P11-Tmax-SIS.TH.1	51 892	56	-10 557	780	26 794	-128
P11-Tmin-SIS.TH.1	52 434	-86	5 066	-1 078	-39 812	151
P11-Pmax-SIS.TH.1	46 892	153	-8 239	-33	464	-19
P11-Pmin-SIS.TH.1	56 746	-197	8 867	-3	-5 446	11

Tabella 7-1 – Combinazioni sismiche SLV: azioni agenti a base pila.

7.1.2 Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi statici (SLU)

Nella tabella seguente si riportano gli scarichi per gli stati limite ultimi statici (SLU).

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F_x	F_y	M_z	F_z	M_y	M_x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P11-V2max-SLUstr.2	70 354	1 950	-69 584	-15	-1 660	-10
P11-V2min-SLUstr.9	52 499	-1 574	54 378	-1	-820	3
P11-M3max-SLUstr.2	70 354	1 899	-71 600	-15	-1 660	-10
P11-M3min-SLUstr.9	52 499	-1 545	55 532	-1	-820	3
P11-V3max-SLUstr.5	65 560	688	-30 123	-3 581	-154 153	1 266
P11-V3min-SLUstr.12	46 539	-372	16 647	3 573	153 393	-1 270
P11-M2max-SLUstr.5	65 560	688	-30 123	-2 949	-179 166	1 266
P11-M2min-SLUstr.12	46 539	-372	16 647	2 942	178 406	-1 270
P11-Tmax-SLUstr.1	67 811	951	-40 504	1 727	91 232	-2 210
P11-Tmin-SLUstr.8	48 807	-617	26 382	-1 736	-91 185	2 205
P11-Pmax-SLUstr.12	43 177	534	-22 815	2 915	152 176	-1 289
P11-Pmin-SLUstr.1	87 111	414	-11 025	-7	-2 226	0

Tabella 7-2 – Combinazioni statiche SLU: azioni agenti a base pila.

7.1.3 Combinazioni delle azioni agli stati limite di esercizio (SLE)

Nella tabella seguente si riportano gli scarichi per le combinazioni caratteristiche impiegate per gli stati limite di esercizio (SLE).

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
11 di 43

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F _x	F _y	M _z	F _z	M _y	M _x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P11-V2max-SLEqp.1	50 668	532	-22 026	-11	-459	-8
P11-V2min-SLEqp.1	52 446	-237	10 430	-2	-104	2
P11-M3max-SLEqp.1	50 668	532	-22 026	-11	-459	-8
P11-M3min-SLEqp.1	52 446	-237	10 430	-2	-104	2
P11-V3max-SLEqp.1	51 564	517	-21 446	-20	-826	-12
P11-V3min-SLEqp.1	52 002	-217	9 643	11	455	7
P11-M2max-SLEqp.1	51 564	517	-21 446	-20	-826	-12
P11-M2min-SLEqp.1	52 002	-217	9 643	11	455	7
P11-Tmax-SLEqp.1	51 564	517	-21 446	-20	-826	-12
P11-Tmin-SLEqp.1	52 002	-217	9 643	11	455	7
P11-Pmax-SLEqp.1	50 220	292	-12 531	-8	-351	-5
P11-Pmin-SLEqp.1	52 906	4	-1 277	-5	-212	-1
P11-V2max-SLEf.2	50 669	634	-23 949	-11	-602	-8
P11-V2min-SLEf.2	52 446	-338	12 356	-2	-248	2
P11-M3max-SLEf.3	50 708	606	-25 068	-12	-494	-9
P11-M3min-SLEf.3	52 414	-310	13 475	-2	-69	3
P11-V3max-SLEf.1	51 564	517	-21 523	-488	-988	-12
P11-V3min-SLEf.1	52 002	-217	9 721	479	619	7
P11-M2max-SLEf.2	50 812	488	-20 355	-465	-23 537	180
P11-M2min-SLEf.2	51 248	-194	8 777	456	23 187	-185
P11-Tmax-SLEf.1	51 564	517	-21 523	-20	-988	-496
P11-Tmin-SLEf.1	52 002	-217	9 721	11	619	490
P11-Pmax-SLEf.2	49 466	315	-13 488	437	22 383	-197
P11-Pmin-SLEf.1	57 670	4	-1 502	-5	-400	-1
P11-V2max-SLEr.2	50 698	1 359	-47 848	-10	-935	-7
P11-V2min-SLEr.2	52 424	-1 047	36 307	-3	-679	1
P11-M3max-SLEr.2	50 698	1 321	-49 341	-10	-935	-7
P11-M3min-SLEr.2	52 424	-1 025	37 161	-3	-679	1
P11-V3max-SLEr.5	47 762	470	-19 994	-2 436	-102 596	843
P11-V3min-SLEr.5	48 281	-198	9 321	2 429	102 331	-847
P11-M2max-SLEr.5	47 762	470	-19 994	-1 968	-121 124	843
P11-M2min-SLEr.5	48 281	-198	9 321	1 962	120 859	-847
P11-Tmax-SLEr.1	49 262	645	-26 914	1 149	60 503	-1 580
P11-Tmin-SLEr.1	49 793	-362	15 792	-1 157	-60 827	1 575
P11-Pmax-SLEr.5	45 711	409	-17 497	1 941	101 427	-860
P11-Pmin-SLEr.1	63 334	283	-6 895	-5	-1 191	0

Tabella 7-3 – Combinazioni di esercizio SLE: azioni agenti a base pila.

7.2 Scarichi a intradosso plinto

7.2.1 Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi sismici (SLV)

Nella Tabella 7-6 si riportano gli scarichi per gli stati limite ultimi (SLV) connessi all'azione sismica ottenuti:

- aggiungendo il peso proprio del plinto e del terreno imbarcato (Tabella 7-5);
- aggiungendo la forza inerziale orizzontale del plinto e del terreno imbarcato adottando i coefficienti di combinazione indicati nella tabella seguente:

ID	Combinazione			Azione inerziale dir. X (asse -1) (sisma verticale)	Azione inerziale dir Y (asse 2) (sisma orizz. long.)	Azione inerziale dir. Z (asse -3) (sisma orizz. trasv.)
1	V2	max	SIS.TH.1	-0.30	1.00	-0.30

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
12 di 43

2	V2	min	SIS.TH.1	0.30	-1.00	-0.30
3	M3	max	SIS.TH.1	-0.30	1.00	0.30
4	M3	min	SIS.TH.1	0.30	-1.00	-0.30
5	V3	max	SIS.TH.1	-0.30	0.30	-1.00
6	V3	min	SIS.TH.1	0.30	-0.30	1.00
7	M2	max	SIS.TH.1	-0.30	0.30	-1.00
8	M2	min	SIS.TH.1	0.30	0.30	1.00
9	T	max	SIS.TH.1	-0.30	0.30	1.00
10	T	min	SIS.TH.1	0.30	-0.30	-1.00
11	P	max	SIS.TH.1	-1.00	0.30	-0.30
12	P	min	SIS.TH.1	1.00	-0.30	-0.30

Tabella 7-4 – Azioni inerziali di plinto e terreno imbarcato.

VIADOTTO

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P11

SLV - SISMICO

APPROCCIO 2, A1+M1+R3

DATI GEOMETRICI DEL PLINTO DI FONDAZIONE

L_y	10.80 m	dimensione del plinto in direzione y
L_z	21.00 m	dimensione del plinto in direzione z
H	3.00 m	dimensione del plinto lungo x
z	1.00 m	altezza di ricoprimento del terreno al di sopra del plinto
A_{pila}	21.49 m ²	area sezione trasversale della pila

ANALISI DEI CARICHI

a) PLINTO DI FONDAZIONE - Carico verticale

γ_{cls}	25.00 kN/m ³	
PP	17 010 kN	peso proprio del plinto
γ_{G1}	1.00 -	coefficiente amplificativo
$PP_{sd,v}$	17 010 kN	valore azione di progetto

b) PLINTO DI FONDAZIONE - Carichi inerziali

$k_h \times \beta_m$	0.121 -	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_v \times \beta_m$	0.064 -	accelerazione verticale massima attesa al sito
$PP_{sd,h}$	2 057 kN	azione inerziale del plinto in direzione orizzontale
b_v	1.50 m	braccio della forza $PP_{sd,h}$ da intradosso plinto
$PP_{sd,v}$	1 081 kN	azione inerziale del plinto in direzione verticale

c) RICOPRIMENTO TERRENO - Carico verticale

$\gamma_{terreno\ ricoprimento}$	20.00 kN/m ³	
ST	4 106 kN	sovraccarico terreno imbarcato
γ_{G1}	1.00 -	coefficiente amplificativo
$ST_{sd,v}$	4 106 kN	valore azione di progetto

d) RICOPRIMENTO TERRENO - Carichi inerziali

$k_h \times \beta_m$	0.121 -	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_v \times \beta_m$	0.064 -	accelerazione verticale massima attesa al sito
$ST_{sd,h}$	497 kN	azione inerziale del terreno di ricoprimento in direzione orizzontale
b_v	3.50 m	braccio della forza $ST_{sd,h}$ da intradosso plinto
$ST_{sd,v}$	261 kN	azione inerziale del terreno di ricoprimento in direzione verticale

Tabella 7-5 - SLV-Determinazione delle azioni dovute al peso proprio del plinto e del terreno imbarcato

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
13 di 43

ID	SISIMICO_SLV	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P11-V2max-SIS.TH.1	71 430	4 749	-72 696	-1 101	-6 009	-10
2	P11-V2min-SIS.TH.1	74 183	-4 222	57 234	-1 552	-32 243	3
3	P11-M3max-SIS.TH.1	71 017	4 391	-78 252	1 285	23 394	-12
4	P11-M3min-SIS.TH.1	73 651	-3 989	64 149	-1 209	-19 832	4
5	P11-V3max-SIS.TH.1	71 923	1 126	-15 788	-5 056	-88 397	47
6	P11-V3min-SIS.TH.1	73 480	-1 093	16 538	5 341	97 221	3
7	P11-M2max-SIS.TH.1	71 711	935	-13 665	-4 911	-96 767	22
8	P11-M2min-SIS.TH.1	73 758	772	-4 931	5 107	102 215	-25
9	P11-Tmax-SIS.TH.1	72 606	822	-12 171	3 334	33 956	-127
10	P11-Tmin-SIS.TH.1	73 953	-852	6 772	-3 630	-47 867	151
11	P11-Pmax-SIS.TH.1	66 667	920	-10 145	-798	-1 081	-19
12	P11-Pmin-SIS.TH.1	79 205	-963	10 907	-769	-6 902	12

Tabella 7-6 - Combinazioni sismiche SLV: azioni agenti ad intradosso plinto.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
14 di 43

7.2.2 Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi statici (SLU)

Nella Tabella 7-8 si riportano gli scarichi per gli stati limite ultimi statici (SLU) amplificati con i coefficienti parziali A1, ottenuti:

- aggiungendo il peso proprio del plinto e del terreno imbarcato (Tabella 7-7).

VIADOTTO

VI01

ID PILA

P11

VERIFICA

SLU - STATICO

TIPO DI APPROCCIO

APPROCCIO 2, A1+M1+R3

DATI GEOMETRICI DEL PLINTO DI FONDAZIONE

L_y	10.80 m	dimensione del plinto in direzione longitudinale (2)
L_z	21.00 m	dimensione del plinto in direzione trasversale all'asse del viadotto (3)
H	3.00 m	dimensione del plinto lungo z
z	1.00 m	altezza di ricoprimento del terreno al di sopra del plinto
A_{pila}	21.49 m ²	area sezione trasversale della pila

ANALISI DEI CARICHI

a) PLINTO DI FONDAZIONE - Carico verticale

V_{cls}	25.00 kN/m ³	
PP	17 010 kN	peso proprio del plinto
V_{G1}	1.35 -	coefficiente A1
$PP_{sd,v}$	22 964 kN	valore azione di progetto

b) PLINTO DI FONDAZIONE - Carico orizzontale inerziale

a_{max}/g	0.000 -	accelerazione massima attesa al sito
$PP_{sd,h}$	0 kN	valore di progetto SLU
b_1	1.50 m	quota del punto di applicazione della forza da intradosso plinto

c) RICOPRIMENTO TERRENO - Carico verticale

$V_{terreno\ ricoprimento}$	20.00 kN/m ³	
ST	4 106 kN	sovraccarico terreno imbarcato
V_{G1}	1.35 -	coefficiente A1
$ST_{sd,v}$	5 543 kN	valore azione di progetto

d) RICOPRIMENTO TERRENO - Carico orizzontale

a_{max}/g	0.000 -	accelerazione massima attesa al sito
$ST_{sd,h}$	0 kN	valore di progetto della spinta sismica SLU in direzione longitudinale
b_2	3.50 m	quota del punto di applicazione della forza da intradosso plinto

Tabella 7-7 - SLU-Determinazione delle azioni dovute al peso proprio del plinto e del terreno imbarcato.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
15 di 43

ID	STATICO - max	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P11-V2max-SLUstr.2	98 862	1 951	-75 434	-14	-1 704	-10
2	P11-V2min-SLUstr.9	81 006	-1 574	59 102	-1	-823	3
3	P11-M3max-SLUstr.2	98 862	1 900	-77 297	-14	-1 704	-10
4	P11-M3min-SLUstr.9	81 006	-1 545	60 168	-1	-823	3
5	P11-V3max-SLUstr.5	94 067	689	-32 187	-3 581	-164 896	1 266
6	P11-V3min-SLUstr.12	75 047	-371	17 763	3 574	164 114	-1 269
7	P11-M2max-SLUstr.5	94 067	689	-32 187	-2 948	-188 012	1 266
8	P11-M2min-SLUstr.12	75 047	-371	17 763	2 942	187 232	-1 269
9	P11-Tmax-SLUstr.1	96 318	951	-43 356	1 728	96 414	-2 210
10	P11-Tmin-SLUstr.8	77 314	-617	28 234	-1 735	-96 392	2 205
11	P11-Pmax-SLUstr.12	71 684	534	-24 415	2 916	160 922	-1 289
12	P11-Pmin-SLUstr.1	115 618	415	-12 266	-6	-2 245	0

Tabella 7-8 - Combinazioni statiche SLU: azioni agenti ad intradosso plinto.

7.2.3 Combinazioni delle azioni agli stati limite di esercizio (SLE)

Dalla Tabella 7-10 alla Tabella 7-12 si riportano gli scarichi per le combinazioni a gli stati limite di esercizio ottenuti aggiungendo agli scarichi di Tabella 7-3 il peso proprio del plinto e del terreno imbarcato (Tabella 7-9)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
16 di 43

VIADOTTO

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P11

SLE

APPROCCIO 2, A1+M1+R3

DATI GEOMETRICI DEL PLINTO DI FONDAZIONE

L_y	10.80 m	dimensione del plinto in direzione longitudinale (2)
L_z	21.00 m	dimensione del plinto in direzione trasversale all'asse del viadotto (3)
H	3.00 m	dimensione del plinto lungo z
z	1.00 m	altezza di ricoprimento del terreno al di sopra del plinto
A_{pila}	21.49 m ²	area sezione trasversale della pila

ANALISI DEI CARICHI

a) PLINTO DI FONDAZIONE - Carico verticale

V_{cls}	25.00 kN/m ³	
PP	17 010 kN	peso proprio del plinto
V_{G1}	1.00 -	coefficiente A1
$PP_{sd,v}$	17 010 kN	valore azione di progetto

b) PLINTO DI FONDAZIONE - Carico orizzontale inerziale

a_{max}/g	0.000 -	accelerazione massima attesa al sito
$PP_{sd,h}$	0 kN	valore di progetto SLE
b_1	1.50 m	quota del punto di applicazione della forza da intradosso plinto

c) RICOPRIMENTO TERRENO - Carico verticale

$V_{terreno\ ricoprimento}$	20.00 kN/m ³	
ST	4 106 kN	sovraccarico terreno imbarcato
V_{G1}	1.00 -	coefficiente A1
$ST_{sd,v}$	4 106 kN	valore azione di progetto

d) RICOPRIMENTO TERRENO - Carico orizzontale

a_{max}/g	0.000 -	accelerazione massima attesa al sito
$ST_{sd,h}$	0 kN	valore di progetto della spinta sismica SLU in direzione longitudinale
b_2	3.50 m	quota del punto di applicazione della forza da intradosso plinto

Tabella 7-9 - SLE- Determinazione delle azioni dovute al peso proprio del plinto e del terreno imbarcato.

ID	STATICO - max	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P11-V2max-SLEqp.1	71 785	533	-23 622	-10	-491	-8
2	P11-V2min-SLEqp.1	73 563	-236	11 141	-2	-111	2
3	P11-M3max-SLEqp.1	71 785	533	-23 622	-10	-491	-8
4	P11-M3min-SLEqp.1	73 563	-236	11 141	-2	-111	2
5	P11-V3max-SLEqp.1	72 681	517	-22 997	-19	-884	-12
6	P11-V3min-SLEqp.1	73 119	-217	10 295	11	488	8
7	P11-M2max-SLEqp.1	72 681	517	-22 997	-19	-884	-12
8	P11-M2min-SLEqp.1	73 119	-217	10 295	11	488	8
9	P11-Tmax-SLEqp.1	72 681	517	-22 997	-19	-884	-12
10	P11-Tmin-SLEqp.1	73 119	-217	10 295	11	488	8
11	P11-Pmax-SLEqp.1	71 337	292	-13 405	-8	-375	-5
12	P11-Pmin-SLEqp.1	74 023	5	-1 289	-5	-226	-1

Tabella 7-10 - Combinazioni di esercizio SLE-quasi permanente: azioni agenti ad intradosso plinto.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A



Foglio
17 di 43

ID	STATICO - max	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
13	P11-V2max-SLEf.2	71 786	634	-25 849	-10	-634	-8
14	P11-V2min-SLEf.2	73 562	-338	13 371	-2	-254	2
15	P11-M3max-SLEf.3	71 825	606	-26 884	-11	-529	-9
16	P11-M3min-SLEf.3	73 530	-310	14 405	-1	-73	3
17	P11-V3max-SLEf.1	72 681	517	-23 074	-487	-2 451	-12
18	P11-V3min-SLEf.1	73 119	-217	10 373	479	2 055	8
19	P11-M2max-SLEf.2	71 928	489	-21 819	-464	-24 930	181
20	P11-M2min-SLEf.2	72 365	-193	9 359	457	24 556	-184
21	P11-Tmax-SLEf.1	72 681	517	-23 074	-19	-1 046	-495
22	P11-Tmin-SLEf.1	73 119	-217	10 373	11	652	491
23	P11-Pmax-SLEf.2	70 583	315	-14 432	438	23 695	-197
24	P11-Pmin-SLEf.1	78 786	5	-1 514	-5	-415	-1

Tabella 7-11 - Combinazioni di esercizio SLE-frequente: azioni agenti ad intradosso plinto.

ID	STATICO - max	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
25	P11-V2max-SLEr.2	71 814	1 359	-51 923	-10	-965	-6
26	P11-V2min-SLEr.2	73 541	-1 046	39 448	-3	-688	1
27	P11-M3max-SLEr.2	71 814	1 321	-53 303	-10	-965	-6
28	P11-M3min-SLEr.2	73 541	-1 025	40 237	-3	-688	1
29	P11-V3max-SLEr.5	68 878	470	-21 403	-2 436	-109 905	843
30	P11-V3min-SLEr.5	69 398	-198	9 917	2 430	109 620	-846
31	P11-M2max-SLEr.5	68 878	470	-21 403	-1 968	-127 028	843
32	P11-M2min-SLEr.5	69 398	-198	9 917	1 962	126 744	-846
33	P11-Tmax-SLEr.1	70 379	645	-28 848	1 150	63 951	-1 579
34	P11-Tmin-SLEr.1	70 909	-362	16 879	-1 156	-64 298	1 576
35	P11-Pmax-SLEr.5	66 828	409	-18 722	1 942	107 251	-860
36	P11-Pmin-SLEr.1	84 451	283	-7 742	-4	-1 205	0

Tabella 7-12 - Combinazioni di esercizio SLE-caratteristica: azioni agenti ad intradosso plinto.

Contraente 	Progettista 				
Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0202 C02	Rev. A	Foglio 18 di 43

8 ANALISI DELL'INTERAZIONE FONDAZIONE-TERRENO

L'analisi di interazione terreno-fondazione è stata sviluppata con il software GROUP della Ensoft. Se si considera un palo ad asse verticale, immerso in un terreno inizialmente le tensioni normali agenti sulla superficie laterale del palo presentano una distribuzione assialsimmetrica, la cui risultante è nulla. Quando il palo è soggetto, in testa, ad una forza orizzontale e/o ad una coppia applicata, si induce una traslazione y all'interno del terreno. Il diagramma delle tensioni del terreno, conseguentemente, si modifica; le tensioni normali poste di fronte al palo aumentano ed il terreno tende ad allontanarsi dal palo in direzione radiale. Le tensioni normali poste a tergo del palo, viceversa, diminuiscono, mentre il terreno tende a spostarsi verso il palo, ancora lungo una direzione radiale. Lungo i bordi del palo, le tensioni orizzontali presentano una componente normale ed una tangenziale. La risultante p [F/L] di tali azioni sarà posta nella direzione dello spostamento del palo ed avrà verso opposto ad esso.

Ad un certo livello di carico, in prossimità del piano campagna, il terreno posto a tergo del palo tende a distaccarsi dallo stesso; il terreno posto di fronte al palo, invece, tende a raggiungere la condizione di collasso. A profondità maggiori, il terreno tende a scorrere defluendo lungo il bordo del palo, senza un distacco relativo a tergo. Alla luce di queste considerazioni risulta evidente come la reazione del terreno p dipenda sia dall'entità dello spostamento y raggiunto dal palo sia dalla quota di riferimento z .

Di conseguenza, la risposta di un palo verticale ad un carico orizzontale crescente, in termini di curva carichi – spostamenti, oppure in termini di carichi – momenti flettenti massimi, è di tipo non lineare. Con il software GROUP in funzione della natura e caratteristiche dei terreni è possibile rappresentare tramite le curve p - y questo comportamento non lineare.

Il programma considera inoltre che il comportamento di un palo soggetto ad azioni orizzontali all'interno di un gruppo differisce da quello di un palo singolo ed isolato. In un gruppo di pali caricato da azioni orizzontali i fenomeni di interazione reciproca palo – terreno – palo determinano, complessivamente, una diminuzione della rigidezza del sistema.

La diversità di comportamento si manifesta mediante un differente valore dello sforzo di taglio agente in testa a ciascun palo, differenti valori di momento flettente, diversa ubicazione del valore massimo di momento al variare della profondità (nell'ipotesi in cui il vincolo in testa al palo non sia un incastro). La modalità di risposta di ciascun palo è funzione essenzialmente dalla posizione geometrica che questo occupa all'interno del gruppo. Precisamente, la risposta del singolo palo all'interno del gruppo è condizionata:

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

8.1 Descrizione del modello di calcolo GROUP

Nella Figura 8-1 e Figura 8-2 sono riportate alcune viste del modello che riproduce esattamente la disposizione in pianta dei pali assunti incastrati a livello del plinto di fondazione. In questo modello non si considera la reazione del terreno nell'intorno del plinto.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
19 di 43

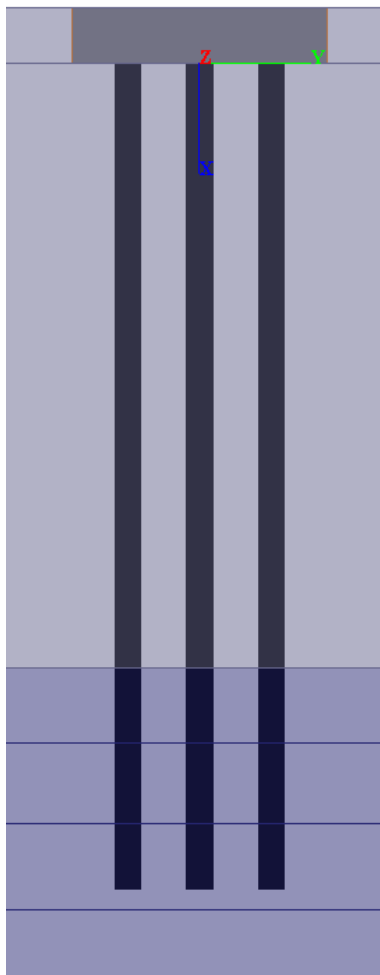


Figura 8-1 - Vista frontale del modello GROUPv2016.

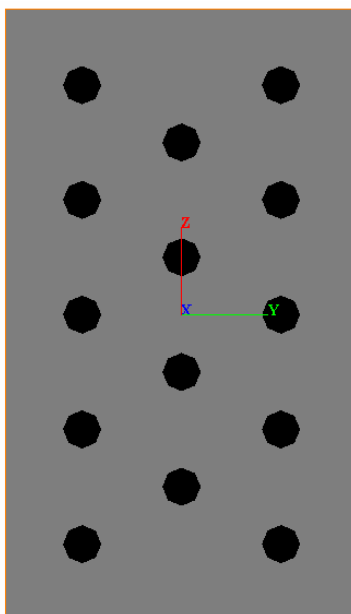


Figura 8-2 - Vista planimetrica del modello GROUPv2016.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
20 di 43

In accordo alla caratterizzazione geotecnica riportata nel §5.2 nelle seguenti figure si riporta la stratigrafia di calcolo implementata nel software e i parametri geotecnici assegnati agli strati. I parametri di rigidità del terreno sono stati assunti in accordo ai criteri illustrati nella relazione Rif. [9] § 8.1 per “sand” e “weak rock” e riepilogati nella tabella seguente in cui con q_s e q_b si è indicata la portanza laterale e di base inserita in group e determinata sulla base delle curve di capacità portante di cui al § 9.1. Per il parametro k_{rm} che interviene nella costruzione delle curve p-y per le weak rock è stato usato il valore 0.0005 corrispondente al valore maggiore del range $0.0005 \div 0.00005$ suggerito dal manuale di Group che caratterizza un comportamento meno rigido.

Unità	p-y model	ϕ' (°)	Dr %	k (kPa)	K_{rm}	σ_{ci} (kPa)	E_{press} (kPa)	RQD	q_s (kPa)	q_b (kPa)
R	“sand”	34	80	34 000					-	-
DG	“sand”	30	75	34 000					19.6-126.7	493-3191
ARGalt	“weak rock”				0.0005	2 000	138 000	25	112.4	1098-1219
ARGcat	“weak rock”				0.0005	4 000	160 000	20	162.3	1679-1835
ARG	“weak rock”				0.0005	13 000	350 000	70	250	1835-7000
ARG	“weak rock”				0.0005	13 000	350 000	70	250	7000

Tabella 8-1 – Parametri di input modello group

Layer	Soil Type	Depth for Top of Soil Layer (m)	Depth for Bottom of Soil Layer (m)	Properties of Layer
1	API Sand (O'Neil)	-3	0.01	1: API Sand
2	API Sand (O'Neil)	0.01	32.95	2: API Sand
3	Weak Rock (Reese)	32.95	37	3: Weak Rock
4	Weak Rock (Reese)	37	41.4	4: Weak Rock
5	Weak Rock (Reese)	41.4	46.1	5: Weak Rock
6	Weak Rock (Reese)	46.1	57	6: Weak Rock

Figura 8-3 - Stratigrafia modello GROUP-v2016.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
21 di 43

API Sand 1

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Friction Angle (DEG.)	p-y Modulus, k (kN/m ³)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	19	34	34000	1	1
2	19	34	34000	1	1

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.

p-y Modulus, k:

- Always check recommended value in Geotechnical Investigation Reports.
- Program will help to estimate value for p-y Modulus, k, if zero input value is entered.

Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:

- The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
- The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
- Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
- Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Figura 8-4 - Layer no.1 (R sopra falda)

API Sand 2

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Friction Angle (DEG.)	p-y Modulus, k (kN/m ³)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	10.5	32	34000	19.6	493
2	10.5	32	34000	126.7	3191

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.

p-y Modulus, k:

- Always check recommended value in Geotechnical Investigation Reports.
- Program will help to estimate value for p-y Modulus, k, if zero input value is entered.

Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:

- The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
- The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
- Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
- Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Figura 8-5 - Layer no.2 (DG)

Weak Rock 3

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Uniaxial Compressive Strength, qu, (kN/m ²)	Initial Modulus of Rock Mass, (kN/m ²)	Strain Factor, k _m	RQD, (%)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	16.5	2000	138000	0.0005	25	112.4	1098
2	16.5	2000	138000	0.0005	25	112.4	1219

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.

This p-y model is best used for cohesive intermediate geomaterials like claystones and silstones with uniaxial compressive strengths ranging from 500 kPa to 5000 kPa (75 to 750 psi).

Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:

- The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
- The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
- Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
- Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Figura 8-6 - Layer no.3 (ARGalt)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
22 di 43

Weak Rock 4							
1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight	Uniaxial Compressive	Initial Modulus of	Strain Factor, k _{rm}	RQD, (%)	Ultimate Unit Side Friction	Ultimate Unit Tip Resistance
	(kN/m ³)	Strength, q _u , (kN/m ²)	Rock Mass, (kN/m ²)			(kN/m ²)	(kN/m ²)
1	16.5	4000	160000	0.0005	20	162.3	1679
2	16.5	4000	160000	0.0005	20	162.3	1835

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.
 This p-y model is best used for cohesive intermediate geomaterials like claystones and silstones with uniaxial compressive strengths ranging from 500 kPa to 5000 kPa (75 to 750 psi).
 Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:
 - The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
 - The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
 - Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
 - Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Figura 8-7 - Layer no.4 (ARGcat)

Weak Rock 5							
1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight	Uniaxial Compressive	Initial Modulus of	Strain Factor, k _{rm}	RQD, (%)	Ultimate Unit Side Friction	Ultimate Unit Tip Resistance
	(kN/m ³)	Strength, q _u , (kN/m ²)	Rock Mass, (kN/m ²)			(kN/m ²)	(kN/m ²)
1	16.5	13000	350000	0.0005	70	250	1835
2	16.5	13000	350000	0.0005	70	250	7000

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.
 This p-y model is best used for cohesive intermediate geomaterials like claystones and silstones with uniaxial compressive strengths ranging from 500 kPa to 5000 kPa (75 to 750 psi).
 Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:
 - The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
 - The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
 - Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
 - Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Figura 8-8 – Layer no.5 (ARG)

Weak Rock 6							
1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight	Uniaxial Compressive	Initial Modulus of	Strain Factor, k _{rm}	RQD, (%)	Ultimate Unit Side Friction	Ultimate Unit Tip Resistance
	(kN/m ³)	Strength, q _u , (kN/m ²)	Rock Mass, (kN/m ²)			(kN/m ²)	(kN/m ²)
1	16.5	13000	350000	0.0005	70	250	7000
2	16.5	13000	350000	0.0005	70	250	7000

A linear interpolation with depth will be used to compute values between the top and bottom of the layer.
 This p-y model is best used for cohesive intermediate geomaterials like claystones and silstones with uniaxial compressive strengths ranging from 500 kPa to 5000 kPa (75 to 750 psi).
 Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance:
 - The program uses Ultimate Unit Side Friction to generate t-z curves.
 - The program uses Ultimate Unit Tip Resistance to generate q-w curves.
 - Always check recommended values in Geotechnical Investigation Reports.
 - Program will help to estimate values for Ultimate Unit Side Friction and Ultimate Unit Tip Resistance if zero input values are entered.

Figura 8-9 - Layer no.6 (ARG)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
23 di 43

8.2 Sintesi dei risultati agli stati limite di esercizio SLE (caratteristica)

Nella Tabella 8-2 si riportano le sollecitazioni massime di sforzo assiale, taglio e momento con indicato la relativa combinazione di carico e numero identificativo del palo. Dalla Tabella 8-3÷Tabella 8-5 si riportano le sollecitazioni massime di sforzo assiale, taglio e momento con indicato la relativa combinazione di carico e numero identificativo del palo per ciascuna combinazione delle azioni allo SLE: Quasi permanente, Frequente e Rara.

In Figura 8-10 e in Figura 8-11 sono diagrammati gli involucri dell'andamento con la profondità del momento flettente e del taglio.

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	5	31	7 647	142	200
Min Compressione / Max Trazione	3.60	10	31	1 944	210	16
Massimo Momento	0.00	10	30	7 148	298	247
Massimo Taglio	0.00	10	30	7 148	298	247

Tabella 8-2 - Combinazioni SLE: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	5	5	5 772	47	51
Min Compressione / Max Trazione	2.25	10	1	4 416	112	2
Massimo Momento	2.70	5	1	5 538	119	2
Massimo Taglio	0.00	1	1	5 700	47	53

Tabella 8-3 - Combinazioni SLE – Quasi Permanente: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	5	19	6 115	50	68
Min Compressione / Max Trazione	2.70	10	19	4 007	109	11
Massimo Momento	2.70	1	15	5 602	135	2
Massimo Taglio	0.00	5	17	5 819	95	69

Tabella 8-4 - Combinazioni SLE – Frequente: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	5	31	7 647	142	200
Min Compressione / Max Trazione	3.60	10	31	1 944	210	16
Massimo Momento	0.00	10	30	7 148	298	247
Massimo Taglio	0.00	10	30	7 148	298	247

Tabella 8-5 - Combinazioni SLE – Rara: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
24 di 43

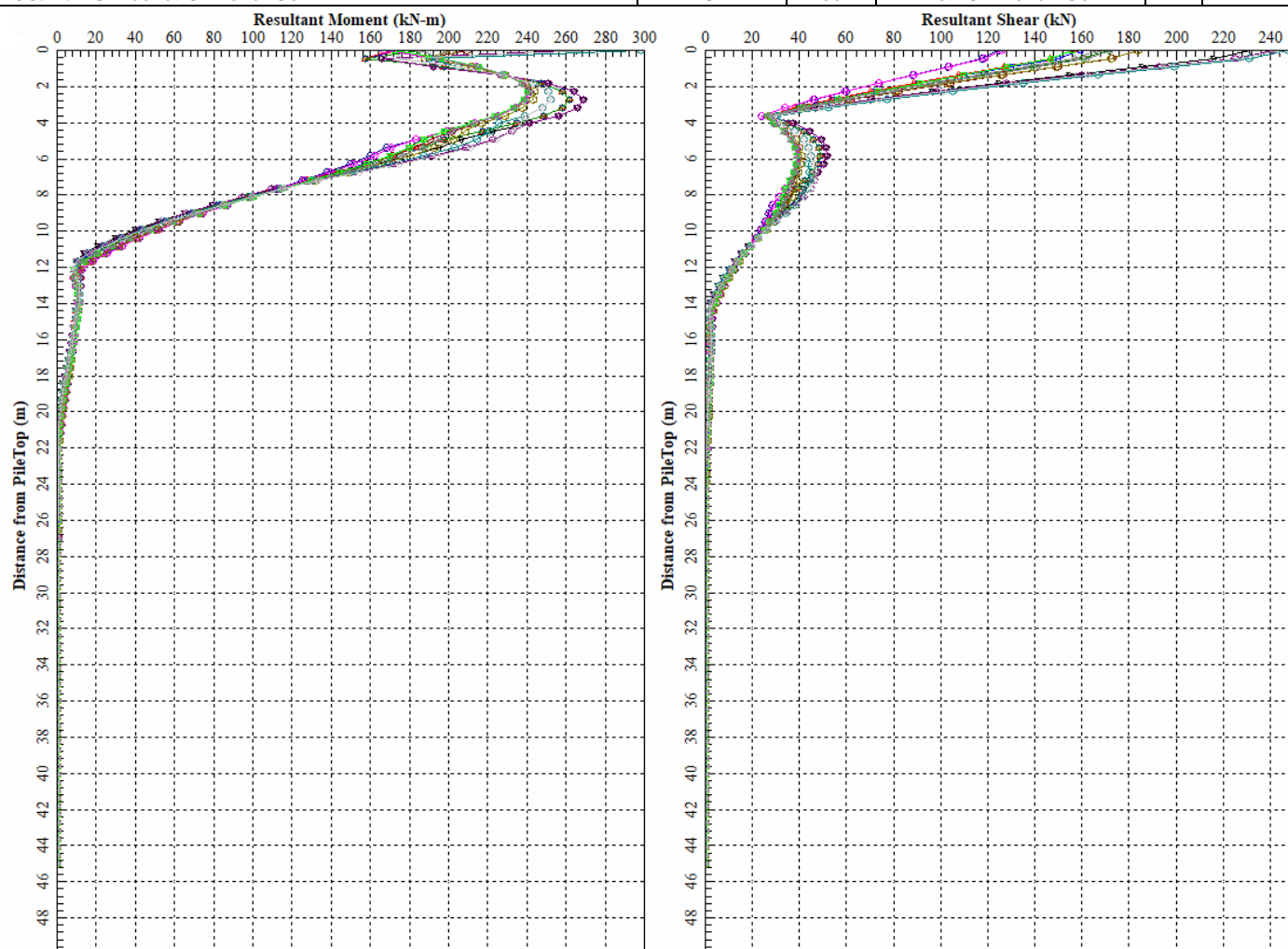


Figura 8-10 - Combinazioni SLE (QP – Freq – Rara): Involuppo massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
25 di 43

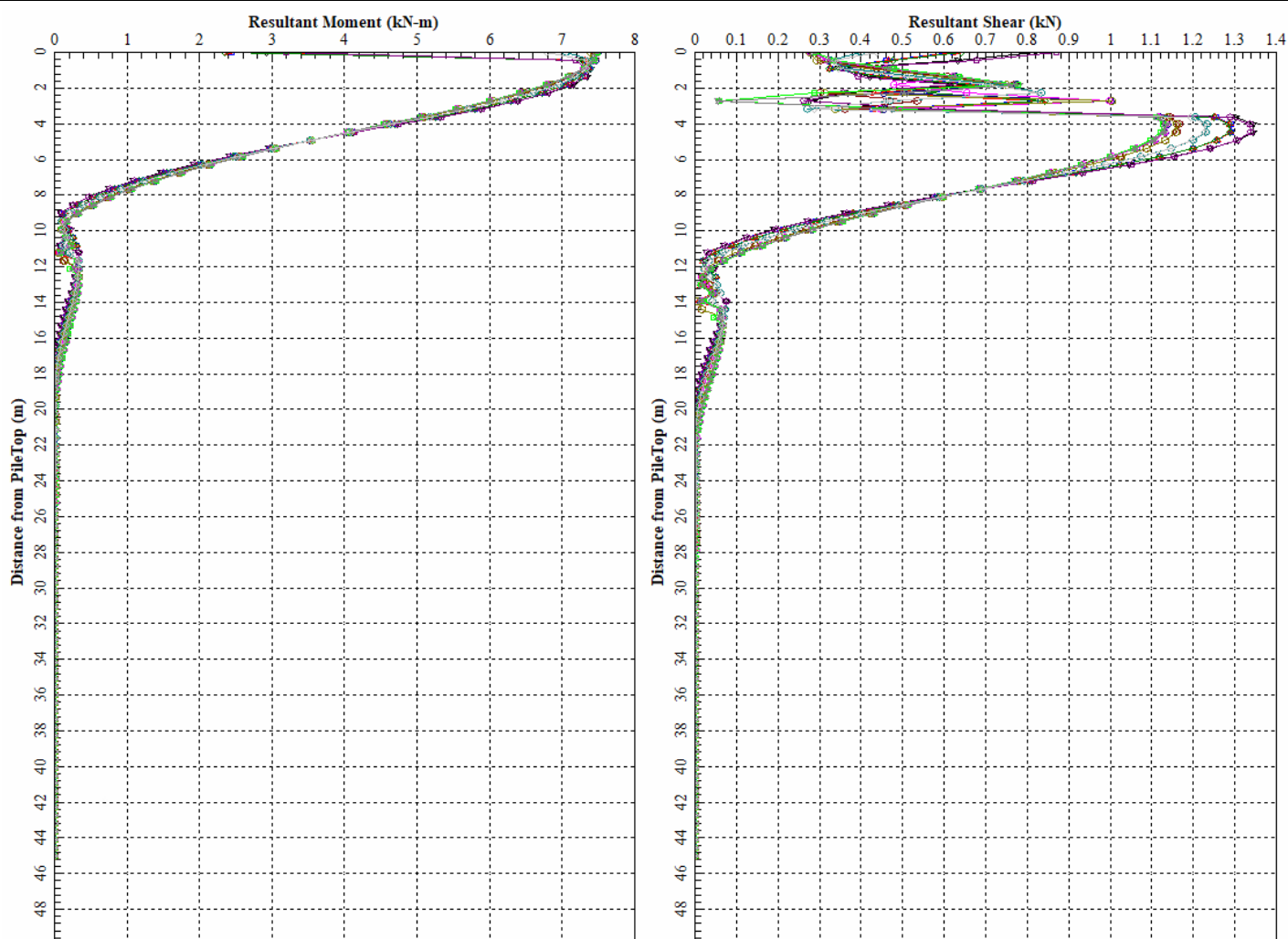


Figura 8-11 - Combinazioni SLE (QP – Freq – Rara): Involuppo minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
26 di 43

8.2.1 Spostamenti SLE

Nella Tabella 8-6 si riportano gli spostamenti e le rotazioni ad intradosso plinto e sommità pila; in rosso sono evidenziati i valori massimi e in viola quelli minimi. Gli spostamenti orizzontali (direzione y-2) e direzione z-3) tengono già conto dell'interazione fra pali e sono quindi rappresentativi degli spostamenti orizzontali del gruppo di pali; lo spostamento verticale non tiene conto dell'effetto gruppo.

Il coefficiente amplificativo del cedimento verticale per effetto gruppo E_G viene valutato in accordo a Mandolini et al. (2005) ed è riportato in Tabella 8-7 (vedasi relazione generale sui criteri Rif. [9] § 8.4), risulta:

$$\delta_{\max} = 3.45E-03 \times 3.24 = 0.011178 \text{ m} = 11.18 \text{ mm.}$$

H plinto 3 H pila [m] 38

Combinazione	Spost. Verticale lungo Asse 1 (X) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 2 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]	Rotazione attorno all'Asse 2 (Y) [Rad]	Rotazione attorno all'Asse 3 (Z) [Rad]	Spostamento a testa Pila	
						Spost. Orizzontale lungo Asse 2 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]
1	2.91E-03	2.93E-04	-3.06E-06	-5.86E-07	-8.87E-05	3.93E-03	2.10E-05
2	2.98E-03	-1.35E-04	-6.46E-07	-1.33E-07	4.17E-05	1.58E-03	4.81E-06
3	2.91E-03	2.93E-04	-3.06E-06	-5.86E-07	-8.87E-05	3.93E-03	2.10E-05
4	2.98E-03	-1.35E-04	-6.46E-07	-1.33E-07	4.17E-05	1.58E-03	4.81E-06
5	2.94E-03	2.85E-04	-5.69E-06	-1.06E-06	-8.64E-05	3.83E-03	3.78E-05
6	2.96E-03	-1.25E-04	3.25E-06	5.86E-07	3.85E-05	1.46E-03	2.73E-05
7	2.94E-03	2.85E-04	-5.69E-06	-1.06E-06	-8.64E-05	3.83E-03	3.78E-05
8	2.96E-03	-1.25E-04	3.25E-06	5.86E-07	3.85E-05	1.46E-03	2.73E-05
9	2.94E-03	2.85E-04	-5.69E-06	-1.06E-06	-8.64E-05	3.83E-03	3.78E-05
10	2.96E-03	-1.25E-04	3.25E-06	5.86E-07	3.85E-05	1.46E-03	2.73E-05
11	2.89E-03	1.64E-04	-2.42E-06	-4.55E-07	-5.02E-05	2.22E-03	1.62E-05
12	3.00E-03	1.14E-05	-1.50E-06	-2.77E-07	-4.65E-06	2.02E-04	9.87E-06
13	2.91E-03	3.30E-04	-3.43E-06	-7.52E-07	-9.74E-05	4.33E-03	2.74E-05
14	2.98E-03	-1.73E-04	-1.01E-06	-2.96E-07	5.05E-05	1.90E-03	1.11E-05
15	2.91E-03	3.33E-04	-3.33E-06	-6.32E-07	-1.01E-04	4.47E-03	2.26E-05
16	2.98E-03	-1.76E-04	-3.65E-07	-8.64E-08	5.40E-05	2.04E-03	3.18E-06
17	2.94E-03	2.86E-04	-9.42E-05	-4.07E-06	-8.67E-05	3.84E-03	7.26E-05
18	2.96E-03	-1.26E-04	9.23E-05	3.59E-06	3.88E-05	1.47E-03	2.40E-04
19	2.91E-03	2.71E-04	-1.49E-04	-2.97E-05	-8.20E-05	3.63E-03	1.07E-03
20	2.93E-03	-1.15E-04	1.48E-04	2.92E-05	3.50E-05	1.32E-03	1.35E-03
21	2.94E-03	2.85E-04	-5.35E-06	-1.25E-06	-8.67E-05	3.84E-03	4.57E-05
22	2.96E-03	-1.25E-04	4.45E-06	7.77E-07	3.88E-05	1.47E-03	3.63E-05
23	2.86E-03	1.78E-04	1.41E-04	2.81E-05	-5.40E-05	2.39E-03	1.29E-03
24	3.20E-03	1.34E-05	-1.96E-06	-4.84E-07	-5.53E-06	2.40E-04	1.79E-05
25	2.92E-03	6.81E-04	-4.29E-06	-1.13E-06	-1.97E-04	8.75E-03	4.21E-05
26	2.99E-03	-5.20E-04	-2.32E-06	-7.96E-07	1.50E-04	5.63E-03	3.03E-05
27	2.92E-03	6.85E-04	-4.29E-06	-1.13E-06	-2.02E-04	8.95E-03	4.21E-05
28	2.99E-03	-5.23E-04	-2.32E-06	-7.96E-07	1.53E-04	5.74E-03	3.03E-05
29	2.80E-03	2.69E-04	-7.45E-04	-1.32E-04	-8.03E-05	3.56E-03	4.65E-03
30	2.82E-03	-1.24E-04	7.47E-04	1.31E-04	3.71E-05	1.40E-03	6.13E-03
31	2.80E-03	2.69E-04	-7.01E-04	-1.50E-04	-8.03E-05	3.56E-03	5.44E-03
32	2.82E-03	-1.24E-04	7.04E-04	1.50E-04	3.71E-05	1.40E-03	6.84E-03
33	2.85E-03	3.59E-04	3.78E-04	7.60E-05	-1.08E-04	4.80E-03	3.49E-03
34	2.87E-03	-2.13E-04	-3.82E-04	-7.64E-05	6.34E-05	2.39E-03	2.75E-03
35	2.71E-03	2.34E-04	6.44E-04	1.27E-04	-6.99E-05	3.10E-03	5.84E-03
36	3.45E-03	1.18E-04	-3.92E-06	-1.42E-06	-3.07E-05	1.38E-03	5.44E-05

Tabella 8-6 - Combinazioni SLE: spostamenti e rotazioni.

B (y)	9.30	m	larghezza
L (z)	19.50	m	lunghezza
D	45.00	m	profondità
i	4.50	m	interasse pali
n°	14.00		numero pali
E_G	3.24		Coefficiente amplificativo del cedimento per effetto gruppo

Tabella 8-7 - Coefficiente amplificativo del cedimento verticale per effetto gruppo.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
27 di 43

8.3 Sintesi dei risultati agli stati limite ultimi statici (SLU)

Nella Tabella 8-8 si riportano le sollecitazioni massime di sforzo assiale, taglio e momento con indicato la relativa combinazione di carico e numero identificativo del palo in cui esse si verificano.

In Figura 8-12 e in Figura 8-13 sono diagrammati gli involucri dell'andamento con la profondità del momento flettente e del taglio.

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	5	7	10 684	201	300
Min Compressione / Max Compressione	4.05	5	8	1 364	291	8
Massimo Momento	0.00	10	6	8 667	432	364
Massimo Taglio	0.00	10	6	8 667	432	364

Tabella 8-8 - Combinazioni SLU: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

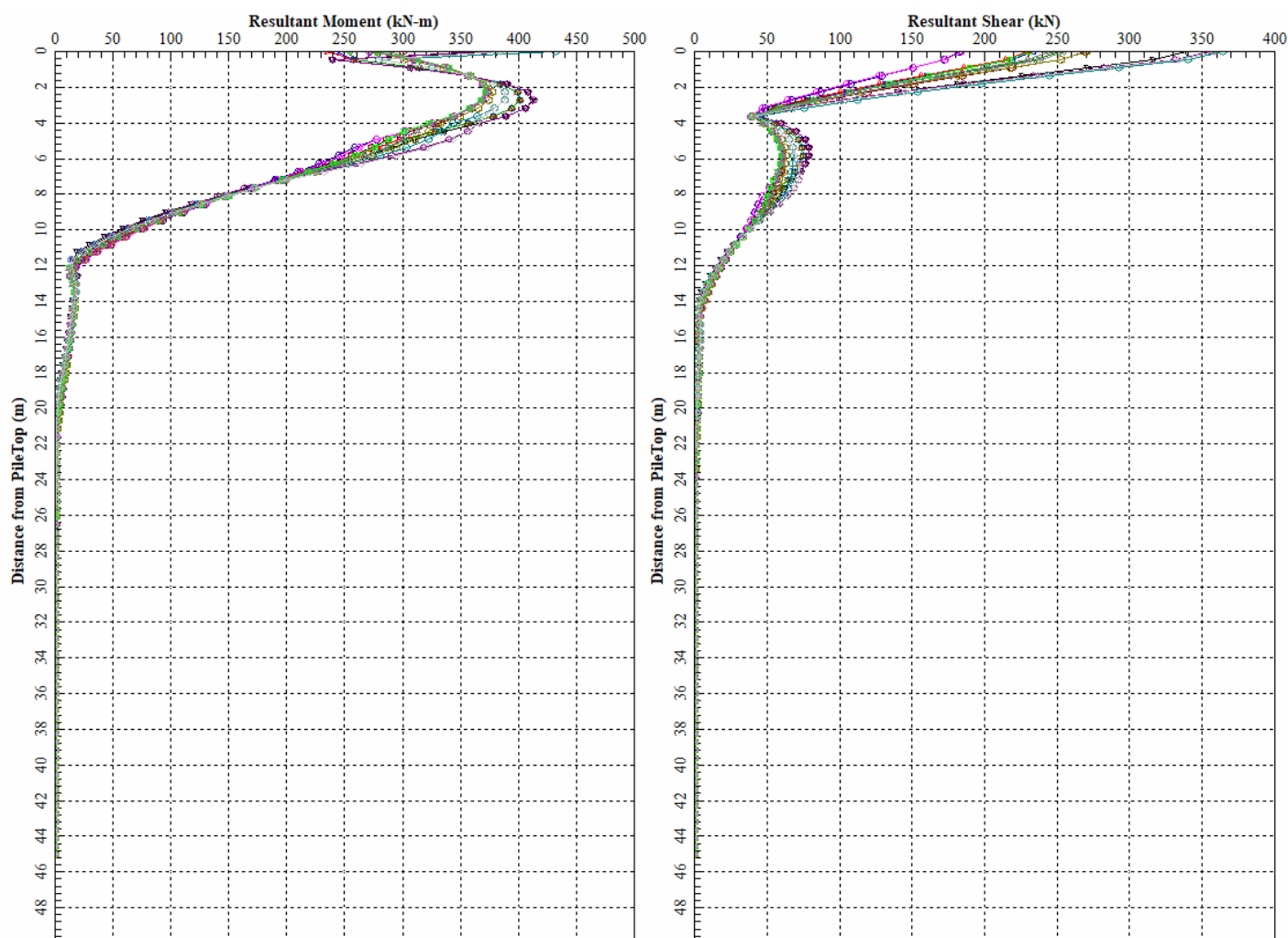


Figura 8-12 - Combinazione statica SLU: involucro massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
28 di 43

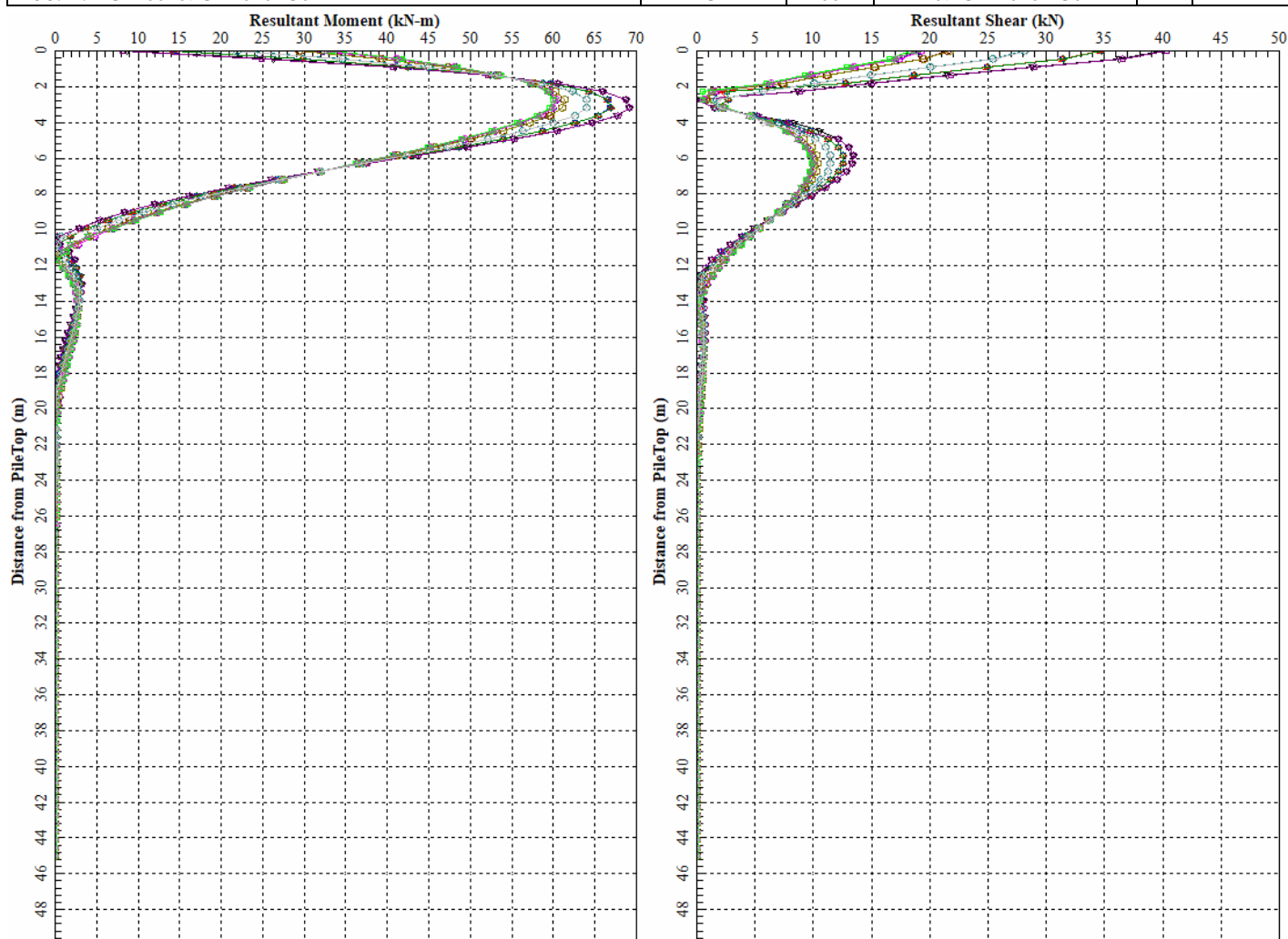


Figura 8-13 - Combinazione statica SLU: involucro minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

8.3.1 Spostamenti SLU

Nella Tabella 8-9 si riportano gli spostamenti e le rotazioni ad intradosso plinto e sommità pila; in rosso sono evidenziati i valori massimi e in viola quelli minimi. Gli spostamenti orizzontali (direzione y-2) e direzione z-3) tengono già conto dell'interazione fra pali e sono quindi rappresentativi degli spostamenti orizzontali del gruppo di pali; lo spostamento verticale non tiene conto dell'effetto gruppo.

Il coefficiente amplificativo del cedimento verticale per effetto gruppo E_G viene valutato in accordo a Mandolini et al. (2005) ed è riportato in Tabella 8-7 (vedasi relazione generale sui criteri Rif. [9] § 8.4), risulta:

$$\delta_{\max} = 4.865E-03 \times 3.24 = 0.0157464 \text{ m} = 15.75 \text{ mm}.$$

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
29 di 43

H plinto

3

H pila [m]

38

Combinazione	Spost. Verticale lungo Asse 1 (X) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 2 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]	Rotazione attorno all'Asse 2 (Y) [Rad]	Rotazione attorno all'Asse 3 (Z) [Rad]	Spostamento a testa Pila	
						Spost. Orizzontale lungo Asse 2	Spost. Orizzontale lungo Asse 3
1	4.12E-03	1.02E-03	-7.19E-06	-2.10E-06	-3.02E-04	1.34E-02	7.90E-05
2	3.31E-03	-7.89E-04	-2.35E-06	-9.63E-07	2.28E-04	8.57E-03	3.71E-05
3	4.12E-03	1.03E-03	-7.18E-06	-2.10E-06	-3.09E-04	1.37E-02	7.89E-05
4	3.31E-03	-7.93E-04	-2.35E-06	-9.63E-07	2.32E-04	8.72E-03	3.71E-05
5	3.92E-03	4.15E-04	-1.13E-03	-2.08E-04	-1.27E-04	5.62E-03	7.40E-03
6	3.08E-03	-2.27E-04	1.11E-03	1.99E-04	6.75E-05	2.54E-03	9.27E-03
7	3.93E-03	4.15E-04	-1.07E-03	-2.34E-04	-1.27E-04	5.62E-03	8.53E-03
8	3.09E-03	-2.27E-04	1.05E-03	2.24E-04	6.76E-05	2.55E-03	1.02E-02
9	4.00E-03	5.57E-04	5.84E-04	1.21E-04	-1.71E-04	7.58E-03	5.55E-03
10	3.16E-03	-3.60E-04	-5.76E-04	-1.16E-04	1.08E-04	4.05E-03	4.19E-03
11	2.93E-03	3.08E-04	9.74E-04	1.92E-04	-9.23E-05	4.09E-03	8.86E-03
12	4.86E-03	1.89E-04	-7.49E-06	-2.85E-06	-5.18E-05	2.31E-03	1.09E-04

Tabella 8-9 - Combinazioni SLU: spostamenti e rotazioni.

8.4 Sintesi dei risultati relativi agli stati limite ultimi sismici (SLV)

Nella Tabella 8-10 si riportano le sollecitazioni massime di sforzo assiale, taglio e momento con indicato la relativa combinazione di carico e numero identificativo del palo in cui esse si verificano.

In Figura 8-14 e in Figura 8-15 sono diagrammati gli involucri dell'andamento con la profondità del momento flettente e del taglio.

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	1	3	7 548	384	435
Min Compressione / Max Compressione	4.05	14	3	2 363	410	18
Massimo Momento	0.00	10	6	7 535	887	526
Massimo Taglio	0.00	10	6	7 535	887	526

Tabella 8-10 - Combinazioni sismiche SLV: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
30 di 43

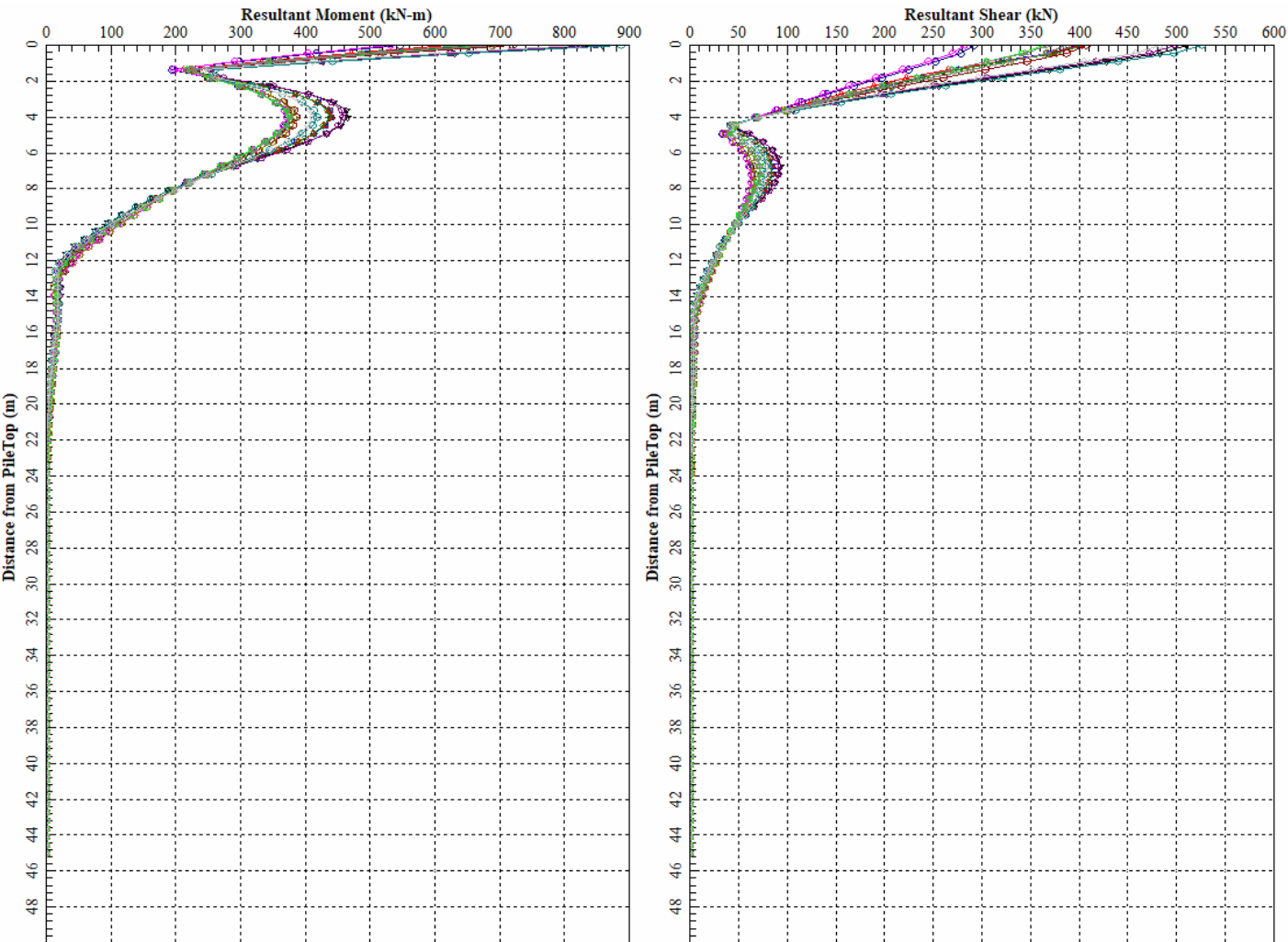


Figura 8-14 - Combinazione sismica SLV: Inviluppo massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
31 di 43

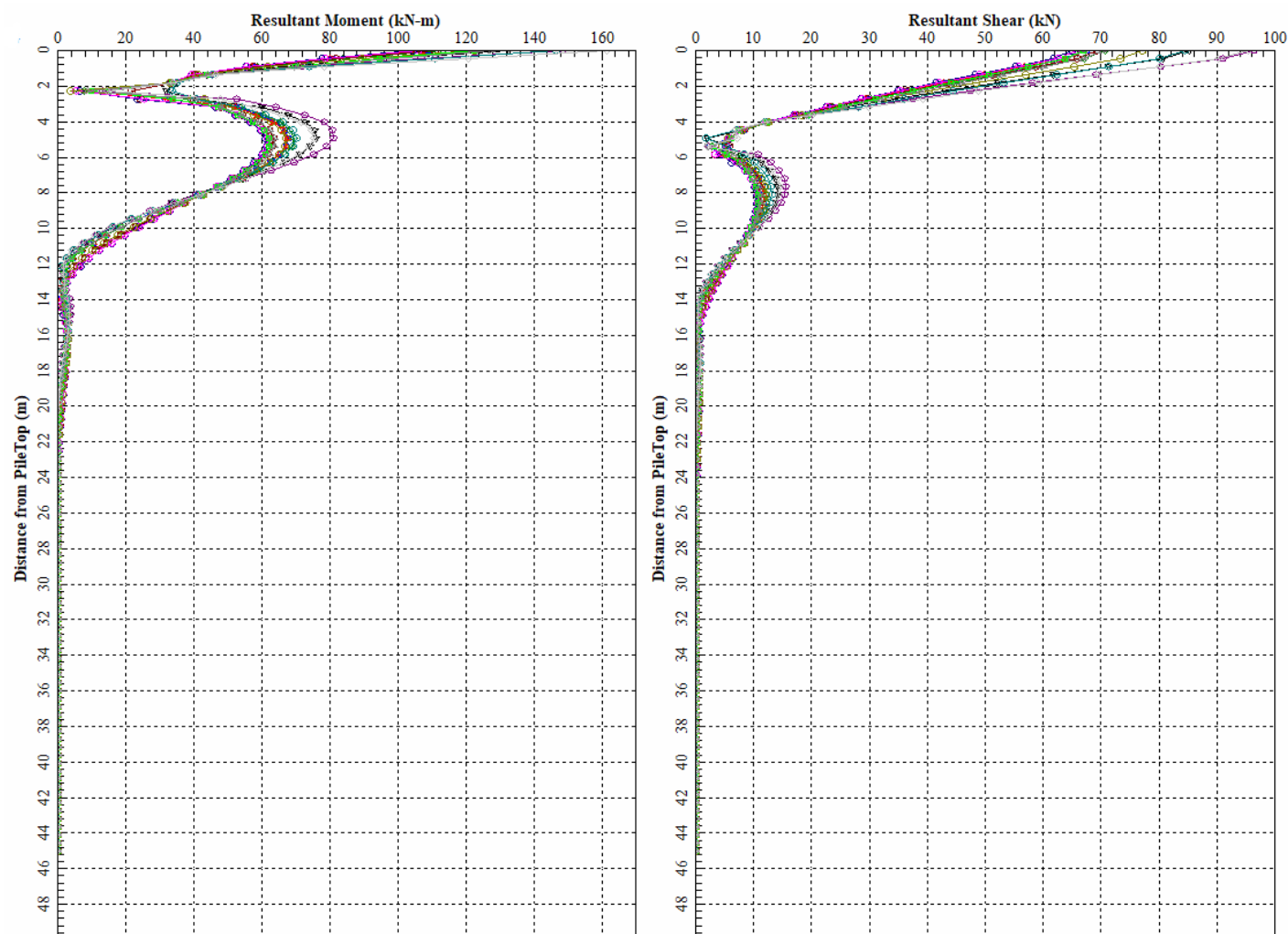


Figura 8-15 - Combinazione sismica SLV: Involuppo minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

8.4.1 Spostamenti SLV

Nella Tabella 8-11 si riportano gli spostamenti e le rotazioni ad intradosso plinto e sommità pila; in rosso sono evidenziati i valori massimi e in viola quelli minimi. Gli spostamenti orizzontali (direzione y-2) e direzione z-3) tengono già conto dell'interazione fra pali e sono quindi rappresentativi degli spostamenti orizzontali del gruppo di pali; lo spostamento verticale non tiene conto dell'effetto gruppo.

Il coefficiente amplificativo del cedimento verticale per effetto gruppo E_G viene valutato in accordo a Mandolini et al. (2005) ed è riportato in Tabella 8-7 (vedasi relazione generale sui criteri Rif. [9] § 8.4), risulta:

$$\delta_{\max} = 3.22E-03 \times 3.24 = 0.0104328 \text{ m} = 10.43 \text{ mm.}$$

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
32 di 43

H plinto

3

H pila [m]

38

Spostamento a testa Pila

Combinazione	Spost. Verticale lungo Asse 1 (X) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 2 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]	Rotazione attorno all'Asse 2 (Y) [Rad]	Rotazione attorno all'Asse 3 (Z) [Rad]	Spost. Orizzontale lungo Asse 2	Spost. Orizzontale lungo Asse 3
1	2.91E-03	1.51E-03	-2.15E-04	-9.74E-06	-2.99E-04	1.38E-02	1.84E-04
2	3.02E-03	-1.28E-03	-3.65E-04	-4.12E-05	2.40E-04	8.58E-03	1.32E-03
3	2.90E-03	1.48E-03	2.93E-04	3.01E-05	-3.16E-04	1.44E-02	1.53E-03
4	3.00E-03	-1.29E-03	-2.70E-04	-2.60E-05	2.63E-04	9.50E-03	7.94E-04
5	2.92E-03	3.59E-04	-1.19E-03	-1.15E-04	-6.60E-05	3.07E-03	3.51E-03
6	2.99E-03	-3.59E-04	1.27E-03	1.26E-04	6.87E-05	2.46E-03	6.43E-03
7	2.91E-03	3.03E-04	-1.18E-03	-1.24E-04	-5.68E-05	2.63E-03	3.89E-03
8	3.00E-03	1.99E-04	1.24E-03	1.31E-04	-2.42E-05	1.19E-03	6.61E-03
9	2.94E-03	2.66E-04	7.15E-04	4.76E-05	-5.04E-05	2.33E-03	2.67E-03
10	3.00E-03	-2.29E-04	-8.11E-04	-6.45E-05	3.14E-05	1.06E-03	1.83E-03
11	2.69E-03	2.59E-04	-1.47E-04	-3.27E-06	-4.34E-05	2.04E-03	-1.30E-05
12	3.22E-03	-2.76E-04	-1.57E-04	-1.00E-05	4.74E-05	1.67E-03	2.53E-04

Tabella 8-11 - Combinazioni SLV: spostamenti e rotazioni.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
33 di 43

9 VERIFICA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO

9.1 Verifica di capacità portante verticale del palo singolo

La verifica di capacità portata verticale per il singolo palo è stata condotta in accordo ai criteri descritti nel documento di cui al Rif. [9]§ 5-9.2.2; vedasi anche la relazione Rif. [10].

In Figura 9-1 si riporta, per i pali di lunghezza 45.0 m, la capacità portante a compressione ($R_{c,d}$) e a trazione ($R_{t,d}$) del palo isolato secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

COMPRESSIONE						
DA2. Capacità portante compressione A1+M1+R3						
L m	$R_{c,s,cal}$ kN	$R_{c,s,cal}/1.25$ kN	$R_{c,b,cal}$ kN	W'_p kN	$R_{c,calc}$ kN	$R_{c,d}$ kN
45	21 036	16 829	10 264	1 193	30 107	13 682

TRAZIONE					
DA2. Capacità portante trazione A1+M1+R3					
L m	$R_{t,s,cal}$ kN	$R_{t,b,cal}$ kN	W'_p kN	$R_{t,calc}$ kN	$R_{t,d}$ kN
45	16 829		1 193	18 022	9 112

Tabella 9-1 - Capacità portante a compressione e a trazione dei pali di fondazione secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Il carico assiale massimo sui pali è riportato nella tabella seguente (vedasi anche Tabella 8-8 e Tabella 8-10).

	E_d [kN]
Massima compressione, $N_{cd,max}$ [kN]	10 684 (SLU)
Massima trazione, $N_{td,max}$ [kN]	- (SLU)

Tabella 9-2 - Combinazioni SLU e SLV: Sollecitazioni massime di compressione e trazione sui pali.

Si verifica inoltre che lo sforzo assiale massimo in esercizio (Tabella 9-3) sia inferiore della resistenza laterale di calcolo ($R_{c,s,cal}$) divisa per un fattore pari a 1.25 (Tabella 9-1).

	E_d [kN]
Massima compressione esercizio	7 647 (SLE)

Tabella 9-3 - Combinazioni SLE: Sollecitazione massima di compressione.

Nella Tabella 9-4 e grafico di Figura 9-1 si riassumono i risultati delle verifiche di capacità portante.

	E_d [kN]		R_d [kN]	
Massima Compressione	10 684 (SLU)	≤	13 682	VERIFICATO
Massima trazione	- (SLU)	≤	9 112	VERIFICATO
Massima compressione esercizio	7 647 (SLE)	≤	16 829	VERIFICATO

Tabella 9-4 - Sintesi delle verifiche di capacità portante

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
34 di 43

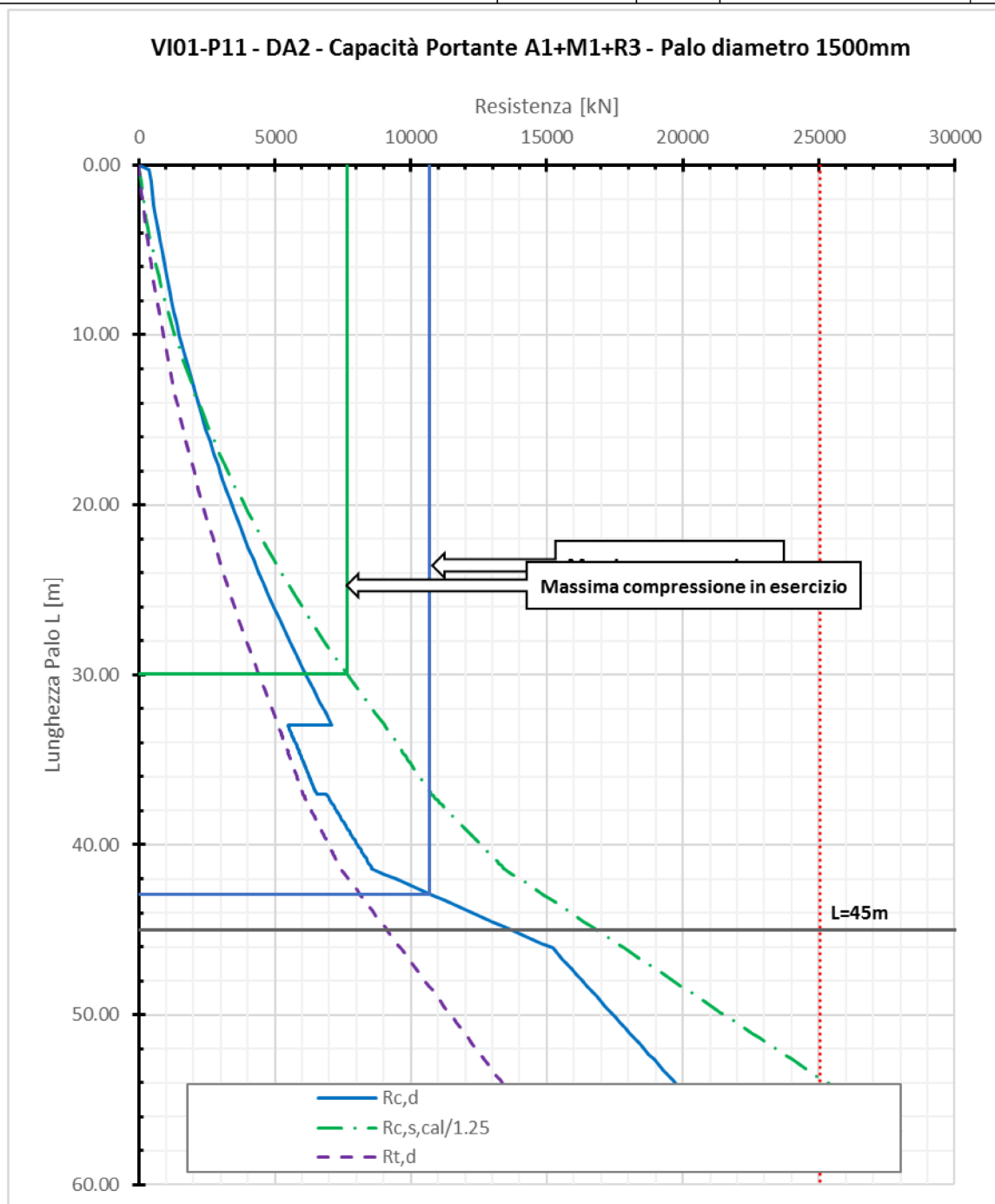


Figura 9-1 - Curve di capacità portante del palo singolo

9.2 Verifica di capacità portante verticale gruppo di pali

La verifica di capacità portata verticale del blocco è stata condotta in accordo ai criteri descritti nel documento di cui al Rif. [9]§ 7.1.

Nella seguente tabella si riporta la capacità portante del blocco valutata secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
35 di 43

Capacità portante verticale del blocco (BS 8004:2015)			
A1+M1+R3			
B (y)	9.30	m	larghezza
L (z)	19.50	m	lunghezza
D	45.00	m	profondità
Ø	1.50	m	diametro palo
Area	1.77	m ²	area palo
n°	14		numero pali
γ _{R, cap. port.}	2.30		coefficiente di sicurezza globale per capacità portante
Strato 1: DG			32.95 m
φ _{laterale}	32.00	°	angolo di resistenza al taglio
k ₀	0.47		coefficiente di spinta a riposo
σ' _v	234.18	kPa	pressione verticale efficace media sulle superficie laterale
s _{block}	0.81		fattore di forma
q _{s,k}	56	kPa	portanza laterale
A _{s1}	1898	m ²	area laterale
Strato 2: ARGalt			4.05 m
X ₃	1.00	-	fattore di confidenza
s _{block}	0.81		fattore di forma
q _s	112.4	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s,k}	91	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s2}	233	m ²	area laterale
Strato 3: ARGcat			4.4 m
X ₃	1.00	-	fattore di confidenza
s _{block}	0.81		fattore di forma
q _s	162.3	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s,k}	131	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s3}	253	m ²	area laterale
Strato 4: ARG			3.6 m
X ₃	1.00	-	fattore di confidenza
s _{block}	0.81		fattore di forma
q _s	250	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s,k}	202	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s4}	207	m ²	area laterale
q _b	5623	kPa	portanza limite palo singolo alla base
q _{b,k}	5623		portanza alla base caratteristica
A _b	181	m ²	area della base
R _{block,c,d}	531 232	kN	resistenza di progetto

Tabella 9-5 - Capacità portante del blocco (Approccio 2 A1+M1+R3).

Dalle sollecitazioni riportate in Tabella 7-6 e in Tabella 7-8 si ricava il carico verticale massimo ad intradosso plinto che risulta inferiore alla portanza del blocco.

	E _d [kN]
Carico verticale massimo, N _{Rd,max} [kN]	115 618 (SLU)

Tabella 9-6 - Combinazioni SLU e SLV: Carico verticale massimo ad intradosso plinto.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
36 di 43

9.3 Verifica di capacità portante orizzontale del gruppo di pali

La verifica di capacità portata orizzontale del gruppo di pali è stata condotta con i criteri descritti nel documento di cui al Rif. [9] § costruendo il dominio di resistenza sulla base dei tagli resistenti nelle due direzioni determinati riducendo il carico p delle curve p - y del fattore:

$$\frac{1}{(\xi \cdot \gamma_T)} = \frac{1}{(1.7 \cdot 1.3)} = 0.45.$$

Nell'analisi si tiene conto anche dell'interazione fra i pali (effetto ombra) in accordo a Reese & Van Impe.

Nella tabella seguente si riportano i valori del taglio resistente (V_{rdy} , V_{rdz}) nelle direzioni $\pm y$ e $\pm z$:

$V_{rdy} (+)$	Taglio resistente in direzione +y	16 500 [kN]
$V_{rdy} (-)$	Taglio resistente in direzione -y	-16 500 [kN]
$V_{rdz} (+)$	Taglio resistente in direzione +z	16 500 [kN]
$V_{rdz} (-)$	Taglio resistente in direzione -z	-16 500 [kN]

Tabella 9-7 – Taglio resistente del gruppo di pali in direzione y e z.

Nella figura seguente all'intorno del dominio di rottura sono rappresentati i valori dei tagli sollecitanti di Tabella 7-8 per gli SLU e di Tabella 7-6 per lo SLV da cui risulta che:

$$V_{Ed,max} \leq V_{Rd}$$

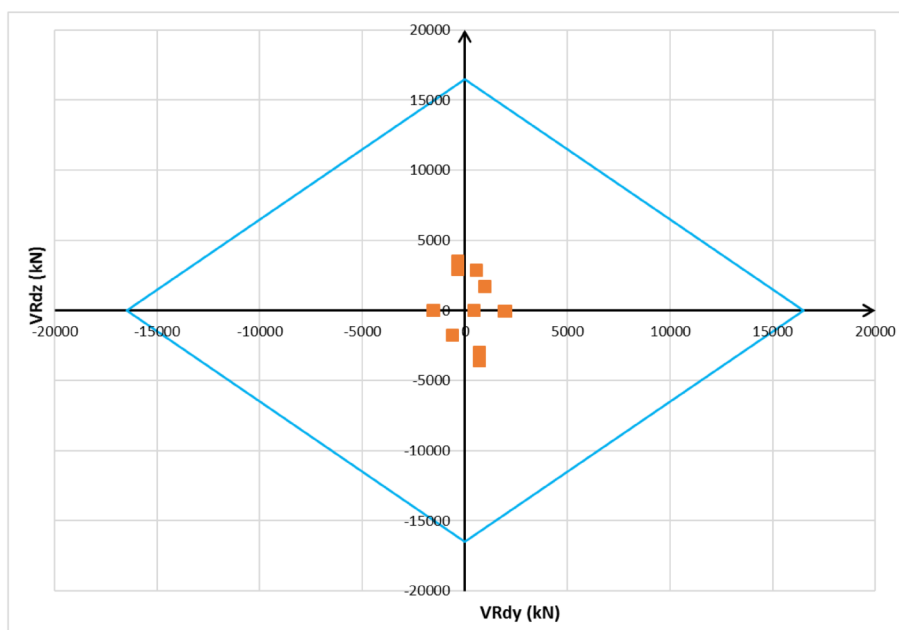


Figura 9-2 - Dominio di resistenza per la verifica alle azioni orizzontali per combinazione SLU

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
37 di 43

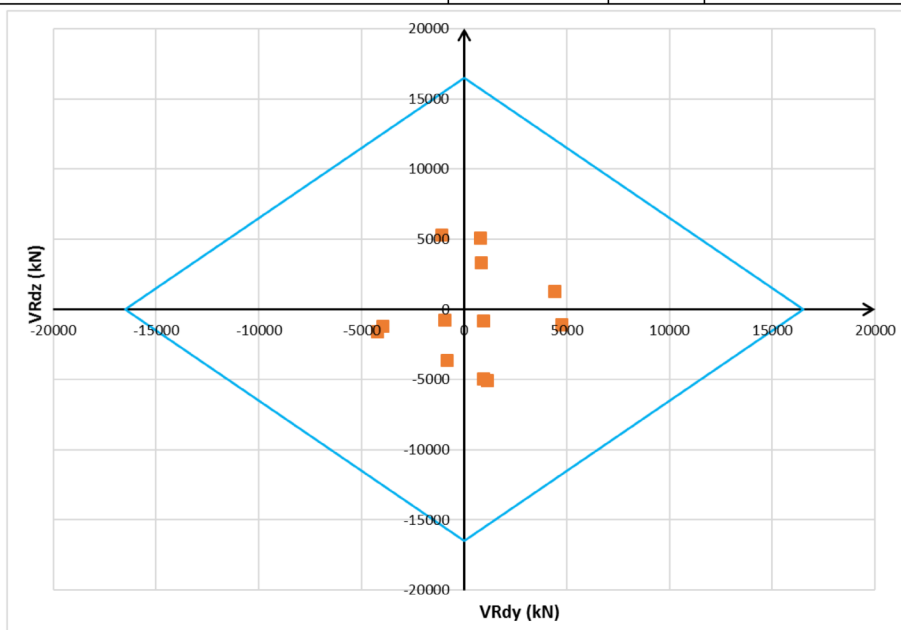


Figura 9-3 - Dominio di resistenza per la verifica alle azioni orizzontali per combinazione SLV

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
38 di 43

10 VERIFICA DEI PALI AGLI SLU E SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche strutturali nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei pali di fondazione la cui armatura di riferimento (gabbia n.1) è riportata nella figura seguente.

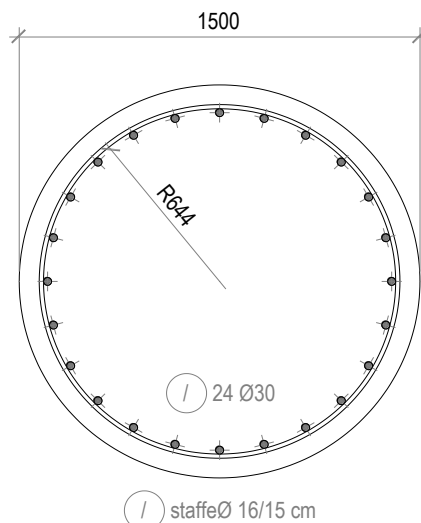


Figura 10-1 - Armatura palo.

Numero Gabbia	Lunghezza gabbia [m]	Armatura longitudinale	Armatura a taglio
1-2	12.00	24Ø30	Ø16/150
3	12.00	24Ø26	Ø12/150
4	12.00	24Ø24	Ø12/150
5	4.70	24Ø24	Ø12/150

Tabella 10-1 - Armatura prevista a flessione per il palo di fondazione.

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche condotte allo SLU, SLV e allo SLE. Le stesse sono state effettuate con l'ausilio del programma di calcolo RC-SEC (Rif. [21]).

10.1 Verifica allo SLU in condizioni statiche a presso-tenso flessione

La verifica a presso-tenso flessione di seguito riportata è condotta con riferimento alle sollecitazioni statiche SLU di Tabella 8-8; come risulta dalla Figura 8-12, Figura 8-13 a profondità maggiori di 14.0 m da testa palo, le sollecitazioni flessionali si riducono notevolmente.

Nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- Palo: indicazione del palo maggiormente sollecitato, secondo la numerazione di Figura 8-2;
- ID: condizione di carico;
- N_{Sd} : sollecitazione assiale agente nella sezione di interesse;
- M_{Sd} : sollecitazione flessionale agente nella sezione di interesse;
- FS: Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N_{Rd}, M_{Rd}) e (N_{Sd}, M_{Sd}) con N_{Rd} e M_{Rd} valori di resistenza a sforzo normale e flessionale.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
39 di 43

	Palo	ID	N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	FS [-]
Massima Compressione	5	7	10 684	201	34.10
Min Compressione / Max Trazione	5	8	1 364	291	15.34
Massimo Momento	10	6	8 667	432	15.26
Massimo Taglio	10	6	8 667	432	15.26

Tabella 10-2- Verifiche a presso/tenso-flessione agli SLU per le condizioni di carico più gravose

Le verifiche risultano soddisfatte.

In Figura 10-2 viene riportato il dominio di interazione N-M all'interno del quale sono state graficate tutte le coppie sollecitanti N-M di ogni palo e per ogni combinazione di carico SLU. Le sollecitazioni graficate sono relative all'intervallo compreso tra la quota di testa palo e la profondità di 19.10m (fine della seconda gabbia di armatura). Tutti i punti N-M sono all'interno del dominio, pertanto la verifica è soddisfatta.

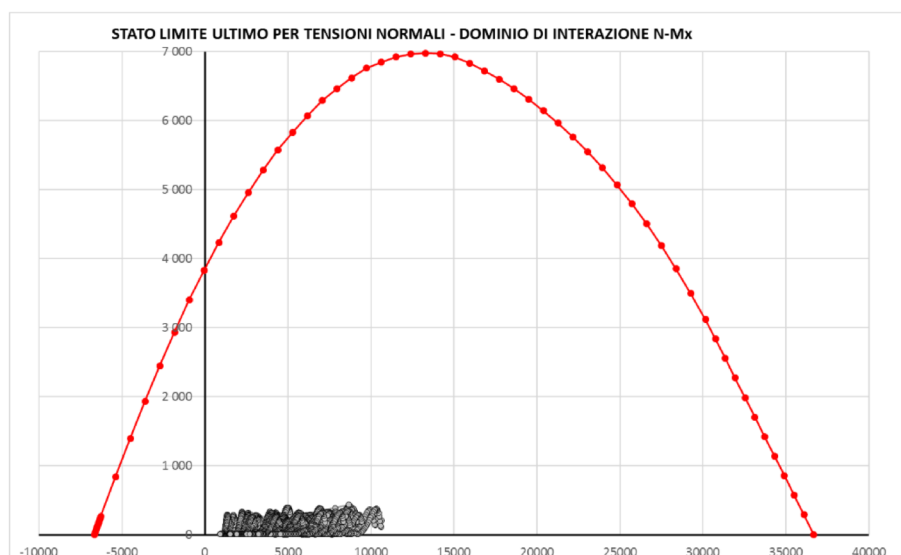


Figura 10-2 – Dominio di interazione N-M per la combinazione SLU

10.2 Verifica allo SLU in condizioni statiche a taglio

La verifica a taglio di seguito riportata è condotta con riferimento alle sollecitazioni statiche SLU di Tabella 8-8; come risulta dalla Figura 8-12, Figura 8-13 a profondità maggiori di 14.0 m da testa palo le sollecitazioni taglienti si riducono notevolmente.

Nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- Palo: indicazione del palo maggiormente sollecitato, secondo la numerazione di Figura 8-2;
- ID: condizione di carico;
- V_{sd}: sollecitazione di taglio agente nella sezione di interesse;
- V_{Rd}: resistenza a taglio di progetto;
- FS: Misura sicurezza = rapporto tra V_{Rd} e V_{sd} con V_{Rd} valore di resistenza a taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
40 di 43

	Palo	ID	V _{sd} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS [-]
Massima Compressione	5	7	300	2 445	8.14
Min Compressione / Max Trazione	5	8	8	2 896	365.90
Massimo Momento	10	6	364	2 519	6.92
Massimo Taglio	10	6	364	2 519	6.92

Tabella 10-3 - Verifiche a taglio agli SLU per le condizioni di carico più gravose

Le verifiche risultano soddisfatte.

10.3 Verifica allo SLU in condizioni sismiche a presso-tenso flessione

La verifica a presso-tenso flessione di seguito riportata è condotta con riferimento alle sollecitazioni sismiche SLV di Tabella 8-10; come risulta dalla Figura 8-14, Figura 8-15, a profondità maggiori di 14.0 m da testa palo, le sollecitazioni flessionali si riducono notevolmente.

Nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- Palo: indicazione del palo maggiormente sollecitato, secondo la numerazione di Figura 8-2;
- ID: condizione di carico;
- N_{sd}: sollecitazione assiale agente nella sezione di interesse;
- M_{sd}: sollecitazione flessionale agente nella sezione di interesse;
- FS: Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N_{Rd}, M_{Rd}) e (N_{sd}, M_{sd}) con N_{Rd} e M_{Rd} valori di resistenza a sforzo normale e flessionale valutati in campo sostanzialmente elastico.

	Palo	ID	N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	FS [-]
Massima Compressione	1	3	7 548	384	14.31
Min Compressione / Max Trazione	14	3	2 363	410	8.97
Massimo Momento	10	6	7 535	887	6.19
Massimo Taglio	10	6	7 535	887	6.19

Tabella 10-4 - Verifiche a presso/tenso-flessione agli SLU per le condizioni di carico più gravose

Le verifiche risultano soddisfatte.

In Figura 10-3 viene riportato il dominio di interazione N-M_{yd} in campo sostanzialmente elastico, all'interno del quale sono state graficate tutte le coppie sollecitanti N-M di ogni palo e per ogni combinazione di carico SLV. Le sollecitazioni graficate sono relative all'intervallo compreso tra la quota di testa palo e la profondità di 19.10m (fine della seconda gabbia di armatura). Tutti i punti N-M sono all'interno del dominio, pertanto la verifica è soddisfatta.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
41 di 43

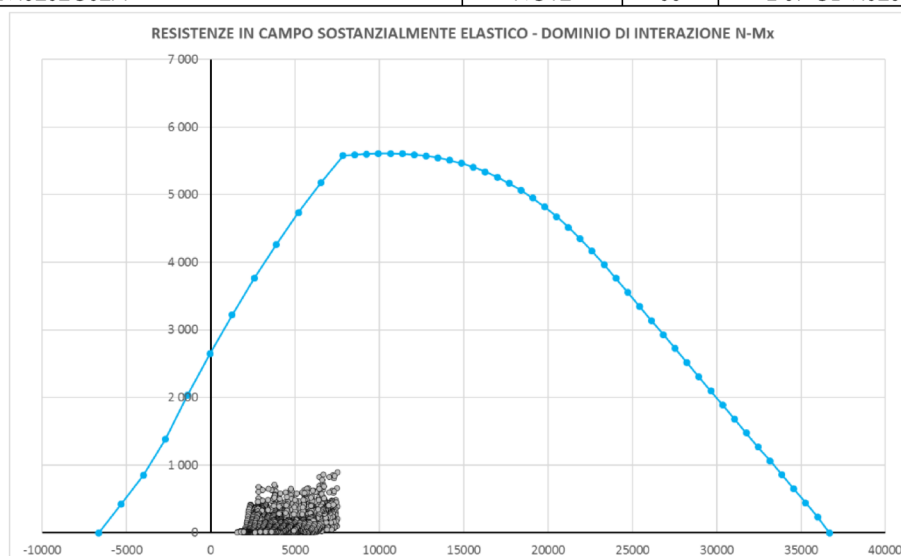


Figura 10-3– Dominio di interazione N-M per la combinazione SLV in campo sostanzialmente elastico

10.4 Verifica allo SLU in condizioni sismiche a taglio

La verifica a taglio di seguito riportata è condotta con riferimento alle sollecitazioni sismiche SLV di Tabella 8-10; come risulta dalla Figura 8-14, Figura 8-15, a profondità maggiori di 14.0 m da testa palo, le sollecitazioni taglianti si riducono notevolmente.

Nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

- Palo: indicazione del palo maggiormente sollecitato, secondo la numerazione di Figura 8-2;
- ID: condizione di carico;
- V_{sd} : sollecitazione di taglio agente nella sezione di interesse;
- V_{Rd} : resistenza a taglio di progetto;
- FS: Misura sicurezza = rapporto tra V_{Rd} e V_{sd} con V_{Rd} valore di resistenza a taglio.

	Palo	ID	V_{sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	FS [-]
Massima Compressione	1	3	435	2 468	5.67
Min Compressione / Max Trazione	14	3	18	2 640	142.94
Massimo Momento	10	6	526	2 468	4.70
Massimo Taglio	10	6	526	2 468	4.70

Tabella 10-5 - Verifiche a taglio agli SLU per le condizioni di carico più gravose

Le verifiche risultano soddisfatte.

10.5 Verifiche agli SLE di tipo STR

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche condotte allo SLE.

10.5.1 Verifica di apertura delle fessure

Nel seguente prospetto sono riportati i seguenti parametri:

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
42 di 43

- Palo: indicazione del palo maggiormente sollecitato, secondo la numerazione di Figura 8-2;
- ID: condizione di carico;
- N_{sd} : sollecitazione assiale agente nella sezione di interesse;
- M_{sd} : sollecitazione flessionale agente nella sezione di interesse;
- $w_{k,lim}$: valore limite di apertura della fessura per condizioni ambientali aggressive, vedasi “Relazione dei Criteri di Progettazione Geotecnica” (Rif. [9]);
- w_k : valore calcolato di apertura della fessura;
- $\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d’armatura (>0 se di compressione).

SLE-FREQUENTE

	Palo	ID	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	$w_{k,lim}$ [mm]	w_k [mm]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]
Massima Compressione	5	19	6 115	50	0.20	0.00	43.80
Min. Compressione / Max. Trazione	10	19	4 007	109	0.20	0.00	26.20
Massimo Momento	1	15	5 602	135	0.20	0.00	37.20
Massimo Taglio	5	17	5 819	95	0.20	0.00	40.10

Tabella 10-6 - Verifica apertura delle fessure combinazione SLE frequente

Le verifiche risultano soddisfatte.

SLE-QUASI PERMANENTE

	Palo	ID	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	$w_{k,lim}$ [mm]	w_k [mm]
Massima Compressione	5	5	5 772	47	0.20	0.00
Min. Compressione / Max. Trazione	10	1	4 416	112	0.20	0.00
Massimo Momento	5	1	5 538	119	0.20	0.00
Massimo Taglio	1	1	5 700	47	0.20	0.00

Tabella 10-7 - Verifica apertura delle fessure combinazione SLE quasi permanente

Le verifiche risultano soddisfatte.

10.5.2 Verifica tensionale

In Tabella 10-8 sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d’armatura agenti sulla sezione di verifica. Nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- Palo: indicazione del palo maggiormente sollecitato, secondo la numerazione di Figura 8-2;
- ID: condizione di carico;
- N_{sd} : sollecitazione assiale agente nella sezione di interesse;
- M_{sd} : sollecitazione flessionale agente nella sezione di interesse;
- $\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato (>0 se di compressione);
- $\sigma_{c,min}$: minima tensione di compressione determinata nel conglomerato (>0 se di compressione);
- $\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d’armatura (>0 se di compressione).

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0202C02A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0202 C02

Rev.
A

Foglio
43 di 43

SLE-RARA

	Palo	ID	N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	σ _{c,max} [MPa]	σ _{c,min} [MPa]	σ _{s,max} [MPa]
Massima Compressione	5	31	7 647	142	4.14	3.43	52.20
Min. Compressione / Max. Trazione	10	31	1 944	210	1.48	0.44	7.70
Massimo Momento	10	30	7 148	298	4.28	2.79	43.50
Massimo Taglio	10	30	7 148	298	4.28	2.79	43.50

Tabella 10-8 - Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE-RARA

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

- allo SLE in combinazione di carico rara le massime tensioni rispettivamente su calcestruzzo e barre d'armatura risultano inferiori ai limiti imposti dalle vigenti NTC18 pari a:
 - $\sigma_{c,lim}=0.60 \cdot f_{ck} = 18.0$ MPa;
 - $\sigma_{s,lim}=0.80 \cdot f_{yk} = 360.0$ MPa.

SLE-QUASI PERMANENTE

	Palo	ID	N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	σ _{c,max} [MPa]	σ _{c,min} [MPa]	σ _{s,max} [MPa]
Massima Compressione	5	5	5 772	47	2.97	2.74	41.30
Min. Compressione / Max. Trazione	10	1	4 416	112	2.46	1.91	29.20
Massimo Momento	5	1	5 538	119	3.04	2.44	37.30
Massimo Taglio	1	1	5 700	47	2.94	2.70	40.80

Tabella 10-9 - Massimi valori di tensione lato conglomerato agli SLE-QUASI PERMANENTE

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

- allo SLE in combinazione di carico quasi permanente le massime tensioni sul calcestruzzo risultano inferiori ai limiti imposti dalle vigenti NTC18 pari a:
 - $\sigma_{c,lim}=0.45 \cdot f_{ck} = 13.50$ MPa.