

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 P6

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	1	0	2	C	0	6	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	A. Vittozzi Data 15/04/2019
A	Emissione esecutiva di 2° livello	F. Bianchi	15/04/2019	L. Utzeri	15/04/2019	A. Perego	15/04/2019	
B								
C								

File: NG1200E09CLVI0102C06A

Contraente 		Progettista 				
Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0102 C06	Rev. A	Foglio 2 di 44
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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
3 di 44

8.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO GROUP.....	18
8.2	SINTESI DEI RISULTATI AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE (CARATTERISTICA).....	24
8.2.1	<i>Spostamenti SLE</i>	27
8.3	SINTESI DEI RISULTATI AGLI STATI LIMITE ULTIMI STATICI (SLU)	28
8.3.1	<i>Spostamenti SLU</i>	29
8.4	SINTESI DEI RISULTATI RELATIVI AGLI STATI LIMITE ULTIMI SISMICI (SLV)	30
8.4.1	<i>Spostamenti SLV</i>	32
9	VERIFICA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO.....	34
9.1	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE DEL PALO SINGOLO	34
9.2	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE GRUPPO DI PALI	35
9.3	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE DEL GRUPPO DI PALI.....	37
10	VERIFICA DEI PALI AGLI SLU E SLE DI TIPO STRUTTURALE.....	39
10.1	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE A PRESSO-TENSO FLESSIONE	39
10.2	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE A TAGLIO	40
10.3	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI SISMICHE A PRESSO-TENSO FLESSIONE.....	41
10.4	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI SISMICHE A TAGLIO.....	42
10.5	VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STR.....	42
10.5.1	<i>Verifica di apertura delle fessure</i>	42
10.5.2	<i>Verifica tensionale</i>	43

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
4 di 44

1 PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche geotecniche e strutturali dei pali della pila P6 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 VI0102 C06 - "Armatura palo Pila P6"
- Rif. [4] NG12 00 E 09 BZ VI0103 C011 - "Armatura plinto Pila P6 - Tav. 1"
- Rif. [5] NG12 00 E 09 BZ VI0103 C012 - "Armatura plinto Pila P6 - Tav. 2"
- Rif. [6] NG12 00 E 09 BA VI0003 C01 - "Carpenteria fondazioni - Tav. 1"
- 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 VI0103 C07 - "Relazione di calcolo strutturale plinto - Pila P6"
- 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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
5 di 44

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
6 di 44

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:

- $a_{\max,H} = 0.102g$;
- $a_{\max,V} = 0.059g$

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
7 di 44

5 DESCRIZIONE DELLE FONDAZIONI E STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

5.1 Descrizione del sistema fondale

La fondazione è un plinto a 11 pali trivellati di diametro $\phi=1500$ mm, lunghezza 46.0 m e interasse 4.50 m; le dimensioni del plinto di fondazione sono 10.80x16.5x2.5 m (Figura 5-1).

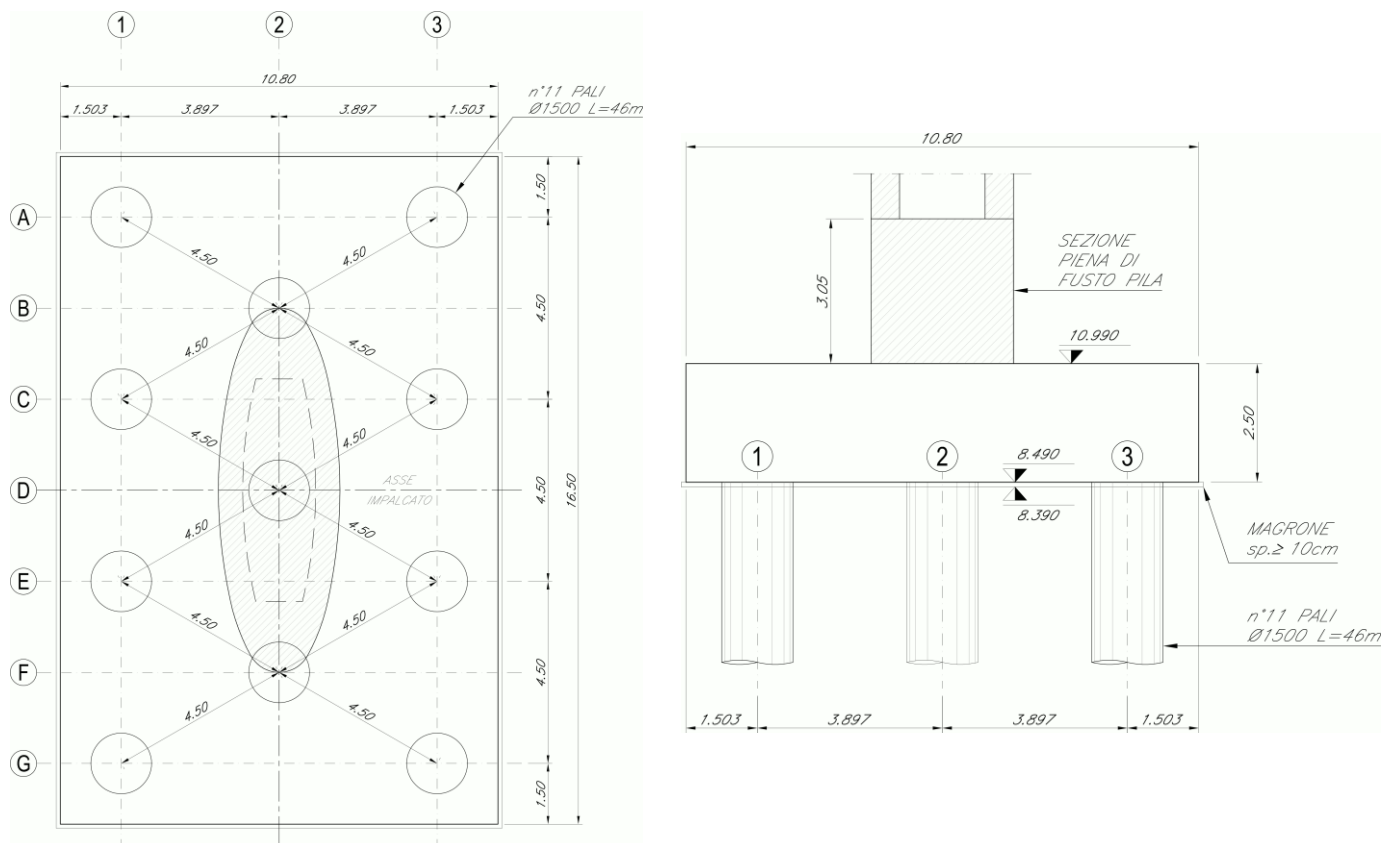




Figura 5-1 – Geometria di riferimento per il plinto su pali.

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 CL VI0102 C06 Rev. A Foglio 8 di 44

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	8.2	0.3
DG	Depositi alluvionali grossolani	-9.6	18.1
DAL	Depositi alluvionali fini	-18.7	27.2
DG	Depositi alluvionali grossolani	-27.8	36.3
ARGalt	Argilliti alterate	-29.6	38.1
ARG	Argilliti	< -29.60	> 38.1

Tabella 5-1 – Stratigrafia

Unità	γ [kN/mc]	φ' [°]	c' [kPa]	c_u [kPa]	σ_{ci} [kPa]	E_i [kPa]	mb	s	a	E_{press} [kPa]	RQD
R	19	32									
DG	19.5	30									
DAL	19			65							
DG	19.5	30									
ARGalt	26.5				2 000	800 000	0.1540	1.560E-05	0.5530	138 000	15
ARG	26.5				8 000	3 200 000	0.5740	3.000E-04	0.5110	400 000	80

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
9 di 44

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.

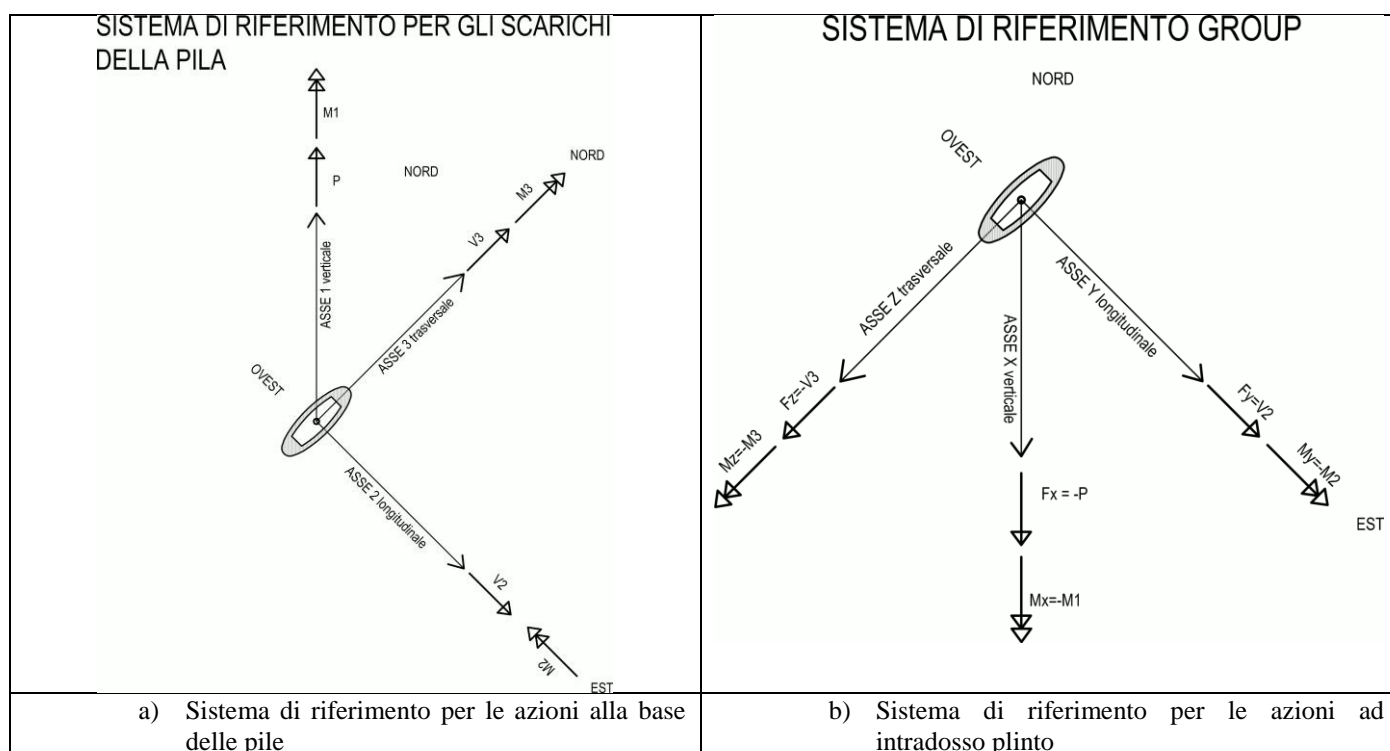


Figura 7-1 – Assi di riferimento per gli scarichi in fondazione.

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. NG1200E09CLV10102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL V10102 C06

Rev.
A

Foglio
10 di 44

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F_x	F_y	M_z	F_z	M_y	M_x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P6-V2max-SIS.TH.1	37 519	2 132	-62 445	51	1 370	4
P6-V2min-SIS.TH.1	36 835	-1 972	60 515	0	-12 396	-30
P6-M3max-SIS.TH.1	37 058	1 795	-68 303	-209	-8 336	25
P6-M3min-SIS.TH.1	37 039	-1 747	67 073	444	13 661	-24
P6-V3max-SIS.TH.1	37 307	-651	27 750	-2 103	-63 843	-2
P6-V3min-SIS.TH.1	35 454	460	-26 257	2 297	69 350	0
P6-M2max-SIS.TH.1	37 224	-643	24 966	-1 901	-70 317	6
P6-M2min-SIS.TH.1	35 697	551	-26 178	2 119	72 057	9
P6-Tmax-SIS.TH.1	35 343	-649	35 652	-239	-3 894	-88
P6-Tmin-SIS.TH.1	36 657	993	-42 777	-85	-4 562	86
P6-Pmax-SIS.TH.1	30 683	-432	16 671	-436	-12 380	-9
P6-Pmin-SIS.TH.1	42 538	278	-5 976	1 088	30 608	-12

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
P6-V2max-SLUstr.13	37 489	2 468	-89 978	235	9 575	25
P6-V2min-SLUstr.6	51 620	-2 483	91 749	-239	-10 217	-25
P6-M3max-SLUstr.13	37 489	2 451	-90 661	235	9 575	25
P6-M3min-SLUstr.6	51 620	-2 465	92 469	-239	-10 217	-25
P6-V3max-SLUstr.12	33 798	-1 285	52 517	-3 109	-121 298	-45
P6-V3min-SLUstr.5	45 566	1 288	-53 284	3 211	125 667	35
P6-M2max-SLUstr.5	47 684	-1 287	53 212	-2 506	-141 851	-45
P6-M2min-SLUstr.12	31 680	1 290	-52 754	2 609	145 796	34
P6-Tmax-SLUstr.8	32 978	-1 261	51 375	-1 536	-74 069	-100
P6-Tmin-SLUstr.1	47 846	1 246	-51 659	1 601	76 766	94
P6-Pmax-SLUstr.12	30 731	-523	22 210	-2 391	-116 726	-38
P6-Pmin-SLUstr.1	61 145	-28	-12 046	76	4 398	-2

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
11 di 44

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F_x	F_y	M_z	F_z	M_y	M_x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P6-V2max-SLEqp.1	37 389	670	-27 395	78	2 930	8
P6-V2min-SLEqp.1	37 467	-681	27 843	-83	-3 434	-7
P6-M3max-SLEqp.1	37 389	670	-27 395	78	2 930	8
P6-M3min-SLEqp.1	37 467	-681	27 843	-83	-3 434	-7
P6-V3max-SLEqp.1	37 371	-657	26 869	-101	-4 530	-5
P6-V3min-SLEqp.1	35 421	658	-26 819	103	4 150	5
P6-M2max-SLEqp.1	37 371	-657	26 787	-101	-4 529	-5
P6-M2min-SLEqp.1	35 421	658	-26 901	103	4 151	5
P6-Tmax-SLEqp.1	35 403	-669	27 288	-75	-3 316	-7
P6-Tmin-SLEqp.1	36 187	656	-26 791	79	3 028	8
P6-Pmax-SLEqp.1	35 292	-237	10 249	-33	-1 930	0
P6-Pmin-SLEqp.1	37 503	238	-10 362	36	1 580	1
P6-V2max-SLEf.3	37 381	803	-32 819	94	3 594	9
P6-V2min-SLEf.3	37 476	-814	33 270	-100	-4 082	-8
P6-M3max-SLEf.3	37 381	803	-32 819	94	3 594	9
P6-M3min-SLEf.3	37 476	-814	33 270	-100	-4 082	-8
P6-V3max-SLEf.1	37 371	-657	26 889	-547	-4 616	-5
P6-V3min-SLEf.1	35 421	658	-26 838	549	4 229	5
P6-M2max-SLEf.2	36 877	-673	27 463	-453	-21 439	-10
P6-M2min-SLEf.2	34 947	674	-27 594	469	21 678	9
P6-Tmax-SLEf.1	35 403	-669	27 306	-75	-3 395	-29
P6-Tmin-SLEf.1	36 187	656	-26 810	79	3 109	30
P6-Pmax-SLEf.2	34 798	-253	10 924	-385	-18 840	-6
P6-Pmin-SLEf.1	40 897	238	-10 520	36	1 680	1
P6-V2max-SLEr.6	37 352	1 647	-60 062	155	6 294	17
P6-V2min-SLEr.6	37 514	-1 659	60 519	-160	-6 717	-16
P6-M3max-SLEr.6	37 352	1 635	-60 567	155	6 294	17
P6-M3min-SLEr.6	37 514	-1 646	61 053	-160	-6 717	-16
P6-V3max-SLEr.5	34 891	-856	35 061	-2 118	-80 996	-30
P6-V3min-SLEr.5	33 065	858	-35 042	2 187	83 651	23
P6-M2max-SLEr.5	34 891	-856	34 942	-1 672	-95 985	-30
P6-M2min-SLEr.5	33 065	858	-35 161	1 741	98 680	23
P6-Tmax-SLEr.1	33 930	-842	34 382	-1 023	-49 451	-71
P6-Tmin-SLEr.1	34 759	830	-33 934	1 067	51 022	68
P6-Pmax-SLEr.5	32 390	-350	14 980	-1 592	-77 895	-25
P6-Pmin-SLEr.1	44 570	-17	-7 450	49	2 711	-1

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:

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
12 di 44

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
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	-1.00	-0.30
10	T	min	SIS.TH.1	0.30	1.00	-0.30
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.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
13 di 44

VIADOTTO

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P06

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	16.50 m	dimensione del plinto in direzione z
H	2.50 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	11 138 kN	peso proprio del plinto
γ_{G1}	1.00 -	coefficiente amplificativo
$PP_{sd,v}$	11 138 kN	valore azione di progetto

b) PLINTO DI FONDAZIONE - Carichi inerziali

$k_h \times \beta_m$	0.102 -	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_v \times \beta_m$	0.059 -	accelerazione verticale massima attesa al sito
$PP_{sd,h}$	1 132 kN	azione inerziale del plinto in direzione orizzontale
b_v	1.25 m	braccio della forza $PP_{sd,h}$ da intradosso plinto
$PP_{sd,v}$	654 kN	azione inerziale del plinto in direzione verticale

c) RICOPRIMENTO TERRENO - Carico verticale

$\gamma_{terreno\ ricoprimento}$	20.00 kN/m ³	
ST	3 134 kN	sovraccarico terreno imbarcato
γ_{G1}	1.00 -	coefficiente amplificativo
$ST_{sd,v}$	3 134 kN	valore azione di progetto

d) RICOPRIMENTO TERRENO - Carichi inerziali

$k_h \times \beta_m$	0.102 -	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_v \times \beta_m$	0.059 -	accelerazione verticale massima attesa al sito
$ST_{sd,h}$	318 kN	azione inerziale del terreno di ricoprimento in direzione orizzontale
b_v	3.00 m	braccio della forza $ST_{sd,h}$ da intradosso plinto
$ST_{sd,v}$	184 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

ID	SISIMICO_SLV	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P6-V2max-SIS.TH.1	52 043	3 583	-70 145	486	2 209	5
2	P6-V2min-SIS.TH.1	50 856	-3 422	67 816	436	-11 684	-29
3	P6-M3max-SIS.TH.1	51 582	3 246	-75 161	-644	-9 569	25
4	P6-M3min-SIS.TH.1	51 060	-3 197	73 812	879	15 481	-23
5	P6-V3max-SIS.TH.1	51 830	-1 086	30 089	-3 553	-71 471	-2
6	P6-V3min-SIS.TH.1	49 475	895	-28 117	3 748	77 463	0
7	P6-M2max-SIS.TH.1	51 748	-1 077	27 284	-3 350	-77 438	7
8	P6-M2min-SIS.TH.1	49 718	987	-28 266	3 569	79 724	9
9	P6-Tmax-SIS.TH.1	49 364	-2 099	39 645	-674	-5 202	-88
10	P6-Tmin-SIS.TH.1	51 181	2 443	-47 628	-520	-5 486	87
11	P6-Pmax-SIS.TH.1	44 117	-866	18 462	-870	-14 180	-9
12	P6-Pmin-SIS.TH.1	57 649	714	-7 381	1 523	34 039	-11

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
14 di 44

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

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P06

SLU - STATICO

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	16.50 m	dimensione del plinto in direzione trasversale all'asse del viadotto (3)
H	2.50 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	11 138 kN	peso proprio del plinto
V_{G1}	1.35 -	coefficiente A1
$PP_{sd,v}$	15 036 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	1.25 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	3 134 kN	sovraccarico terreno imbarcato
V_{G1}	1.35 -	coefficiente A1
$ST_{sd,v}$	4 231 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	3.00 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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
15 di 44

ID	STATICO - ax-	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P6-V2max-SLUstr.13	56 757	2 469	-96 148	235	10 161	26
2	P6-V2min-SLUstr.6	70 887	-2 482	97 956	-239	-10 814	-24
3	P6-M3max-SLUstr.13	56 757	2 452	-96 788	235	10 161	26
4	P6-M3min-SLUstr.6	70 887	-2 464	98 632	-239	-10 814	-24
5	P6-V3max-SLUstr.12	53 065	-1 285	55 731	-3 108	-129 069	-45
6	P6-V3min-SLUstr.5	64 833	1 289	-56 504	3 211	133 695	35
7	P6-M2max-SLUstr.5	66 951	-1 287	56 431	-2 505	-148 116	-45
8	P6-M2min-SLUstr.12	50 947	1 291	-55 979	2 610	152 319	35
9	P6-Tmax-SLUstr.8	52 246	-1 260	54 528	-1 536	-77 909	-99
10	P6-Tmin-SLUstr.1	67 114	1 247	-54 773	1 602	80 770	95
11	P6-Pmax-SLUstr.12	49 998	-522	23 517	-2 390	-122 702	-37
12	P6-Pmin-SLUstr.1	80 412	-27	-11 976	76	4 588	-1

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
16 di 44

VIADOTTO

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P06

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	16.50 m	dimensione del plinto in direzione trasversale all'asse del viadotto (3)
H	2.50 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	11 138 kN	peso proprio del plinto
V_{G1}	1.00 -	coefficiente A1
$PP_{sd,v}$	11 138 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	1.25 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	3 134 kN	sovraccarico terreno imbarcato
V_{G1}	1.00 -	coefficiente A1
$ST_{sd,v}$	3 134 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	3.00 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 - ax-	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P6-V2max-SLEqp.1	51 661	671	-29 070	78	3 125	8
2	P6-V2min-SLEqp.1	51 739	-681	29 547	-83	-3 642	-6
3	P6-M3max-SLEqp.1	51 661	671	-29 070	78	3 125	8
4	P6-M3min-SLEqp.1	51 739	-681	29 547	-83	-3 642	-6
5	P6-V3max-SLEqp.1	51 643	-656	28 512	-100	-4 782	-4
6	P6-V3min-SLEqp.1	49 693	658	-28 463	104	4 409	6
7	P6-M2max-SLEqp.1	51 643	-656	28 430	-100	-4 780	-4
8	P6-M2min-SLEqp.1	49 693	658	-28 544	104	4 410	6
9	P6-Tmax-SLEqp.1	49 675	-669	28 962	-75	-3 504	-7
10	P6-Tmin-SLEqp.1	50 460	657	-28 431	80	3 227	9
11	P6-Pmax-SLEqp.1	49 564	-237	10 842	-32	-2 011	0
12	P6-Pmin-SLEqp.1	51 775	238	-10 956	36	1 670	1

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A



Foglio
17 di 44

ID	STATICO - ax-	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
13	P6-V2max-SLEf.3	51 654	803	-34 826	95	3 830	10
14	P6-V2min-SLEf.3	51 749	-814	35 306	-99	-4 330	-8
15	P6-M3max-SLEf.3	51 654	803	-34 826	95	3 830	10
16	P6-M3min-SLEf.3	51 749	-814	35 306	-99	-4 330	-8
17	P6-V3max-SLEf.1	51 643	-656	28 532	-547	-5 983	-4
18	P6-V3min-SLEf.1	49 693	658	-28 481	550	5 602	6
19	P6-M2max-SLEf.2	51 149	-673	29 147	-453	-22 572	-10
20	P6-M2min-SLEf.2	49 219	675	-29 279	470	22 852	10
21	P6-Tmax-SLEf.1	49 675	-669	28 980	-75	-3 583	-28
22	P6-Tmin-SLEf.1	50 460	657	-28 449	80	3 308	30
23	P6-Pmax-SLEf.2	49 070	-253	11 559	-385	-19 803	-5
24	P6-Pmin-SLEf.1	55 169	238	-11 114	36	1 770	1

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

ID	STATICO - ax-	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
25	P6-V2max-SLEr.6	51 624	1 648	-64 179	156	6 683	18
26	P6-V2min-SLEr.6	51 786	-1 659	64 668	-159	-7 116	-16
27	P6-M3max-SLEr.6	51 624	1 635	-64 654	156	6 683	18
28	P6-M3min-SLEr.6	51 786	-1 646	65 169	-159	-7 116	-16
29	P6-V3max-SLEr.5	49 163	-856	37 203	-2 118	-86 291	-30
30	P6-V3min-SLEr.5	47 337	859	-37 187	2 187	89 118	24
31	P6-M2max-SLEr.5	49 163	-856	37 083	-1 671	-100 164	-30
32	P6-M2min-SLEr.5	47 337	859	-37 306	1 741	103 032	24
33	P6-Tmax-SLEr.1	48 203	-842	36 489	-1 022	-52 008	-70
34	P6-Tmin-SLEr.1	49 031	830	-36 008	1 067	53 690	68
35	P6-Pmax-SLEr.5	46 662	-350	15 856	-1 592	-81 876	-24
36	P6-Pmin-SLEr.1	58 842	-16	-7 408	50	2 835	-1

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

Contraente 	Progettista 				
Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0102 C06	Rev. A	Foglio 18 di 44

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
19 di 44

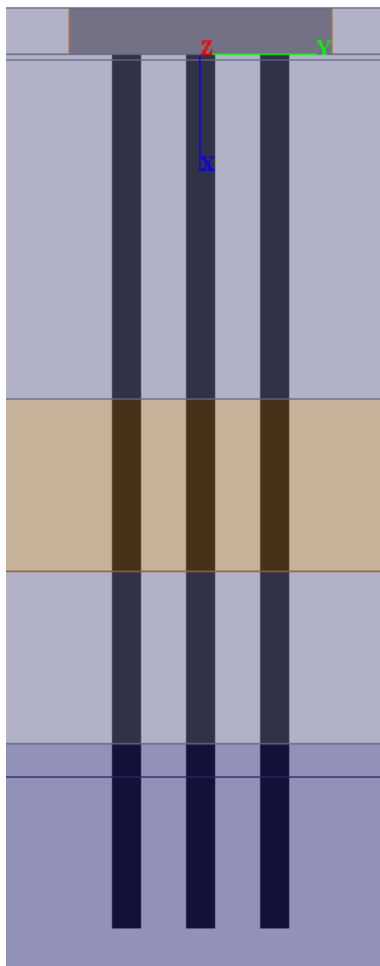


Figura 8-1 - Vista frontale del modello GROUPv2016.

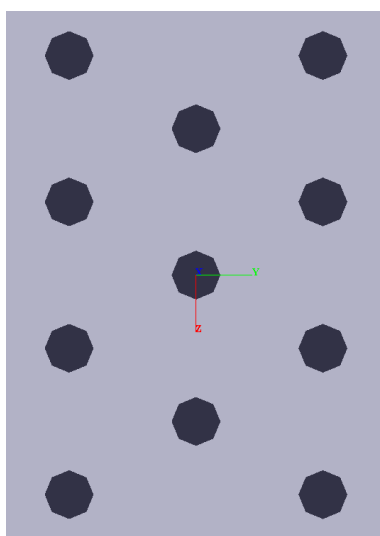




Figura 8-2 - Vista planimetrica del modello GROUPv2016.

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

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 CL VI0102 C06 Rev. A Foglio 20 di 44

assunti in accordo ai criteri illustrati nella relazione Rif. [9] § 8.1 per “sand”, “stiff clay” 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' (°)	cu kPa	Dr %	k (kPa)	K_{rm}	σ_{ci} (kPa)	E_{press} (kPa)	RQD	q_s (kPa)	q_b (kPa)
R	“sand”	32		40	16 300					14.7-15.5	370-391
DG	“sand”	30		60	25 000					14.4-63.3	309-1362
DAL	“Stiff Clay with Free Water”		65		55 000					50.4-69.3	985-1158
DG	“sand”	30		60	25 000					87-111.9	1870-2407
ARGalt	“weak rock”					0.0005	2 000	138 000	15	112.4	1064-1118
ARG	“weak rock”					0.0005	8 000	400 000	80	250	4531-5868

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)	-2.5	0.01	1: API Sand
2	API Sand (O'Neil)	0.01	0.25	2: API Sand
3	API Sand (O'Neil)	0.25	18.1	3: API Sand
4	Stiff Clay with Free Water (Reese)	18.1	27.2	4: Stiff Clay with Free Water
5	API Sand (O'Neil)	27.2	36.3	5: API Sand
6	Weak Rock (Reese)	36.3	38.05	6: Weak Rock
7	Weak Rock (Reese)	38.05	57.5	7: Weak Rock

Figura 8-3 - Stratigrafia modello GROUP-v2016.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
21 di 44

API Sand 1

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight	Friction Angle	p-y Modulus, k	Ultimate Unit Side Friction	Ultimate Unit Tip Resistance
	(kN/m ³)	(DEG.)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
1	19	32	16300	0	0
2	19	32	16300	15.1	380

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	Friction Angle	p-y Modulus, k	Ultimate Unit Side Friction	Ultimate Unit Tip Resistance
	(kN/m ³)	(DEG.)	(kN/m ³)	(kN/m ²)	(kN/m ²)
1	9	32	16300	14.7	370
2	9	32	16300	15.5	391

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 (R sotto falda)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
22 di 44

API Sand 3

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	9.5	30	25000	14.4	309
2	9.5	30	25000	63.3	1362

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 8-6 - Layer no.3 (DG)

Stiff Clay with Free Water 4

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Undrained Cohesion, c (kN/m ²)	p-y Modulus, k (kN/m ³)	Strain Factor E50	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	9	65	55000	0.007	50.4	985
2	9	65	55000	0.007	69.3	1158

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

p-y Modulus, k, and Strain Factor E50:

- Always check recommended value in Geotechnical Investigation Reports.
- Program will help to estimate values for p-y Modulus, k, and Strain Factor E50 if zero input values are 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 8-7 - Layer no.4 (DAL)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
23 di 44

API Sand 5

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	9.5	30	25000	87	1870
2	9.5	30	25000	111.9	2407

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 8-8 – Layer no.5 (DG)

Weak Rock 6

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 _{rm}	RQD, (%)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	16.5	2000	138000	0.0005	15	112.4	1064
2	16.5	2000	138000	0.0005	15	112.4	1118

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 (ARGalt)

Weak Rock 7

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 _{rm}	RQD, (%)	Ultimate Unit Side Friction (kN/m ²)	Ultimate Unit Tip Resistance (kN/m ²)
1	16.5	8000	400000	0.0005	80	250	4531
2	16.5	8000	400000	0.0005	80	250	5868

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.

Figure 8-1 - Layer no.7 (ARG)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
24 di 44

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	11	31	8 226	95	237
Min Compressione / Max Trazione	3.68	11	32	140	363	10
Massimo Momento	3.22	11	28	6 728	405	6
Massimo Taglio	0.00	1	30	7 830	267	291

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	11	2	5 721	39	87
Min Compressione / Max Trazione	3.22	11	8	3 384	162	4
Massimo Momento	3.22	11	2	5 554	181	2
Massimo Taglio	0.00	11	2	5 721	39	87

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	11	19	6 164	45	102
Min Compressione / Max Trazione	3.22	11	20	2 802	178	9
Massimo Momento	3.22	11	14	5 747	217	2
Massimo Taglio	0.00	1	18	5 585	122	106

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	11	31	8 226	95	237
Min Compressione / Max Trazione	3.68	11	32	140	363	10
Massimo Momento	3.22	11	28	6 728	405	6
Massimo Taglio	0.00	1	30	7 830	267	291

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
25 di 44

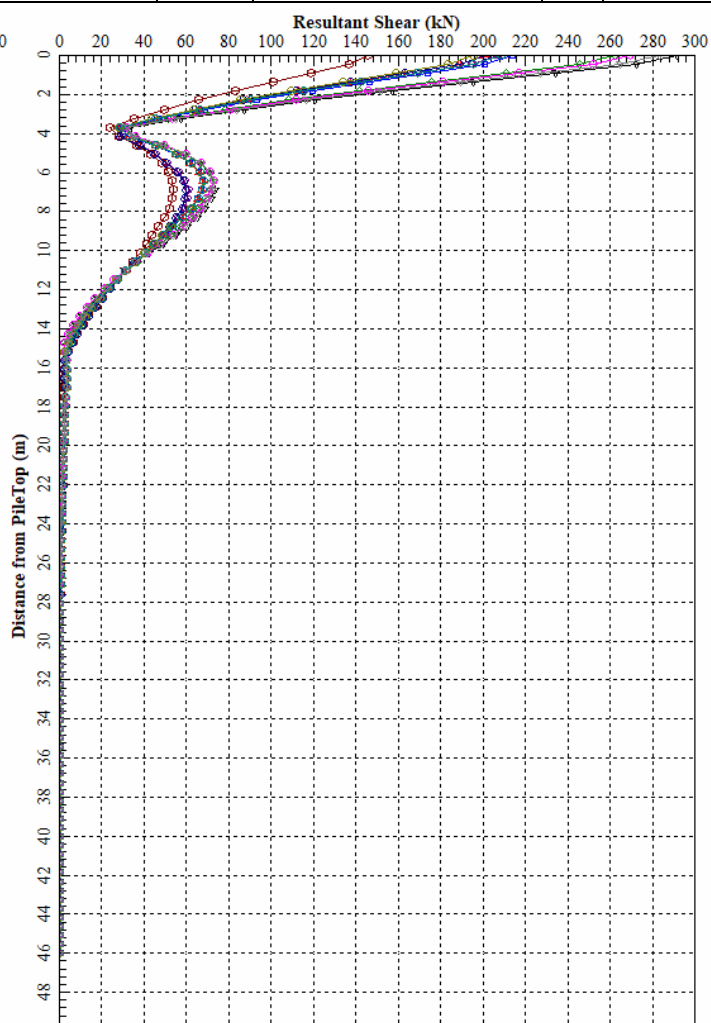
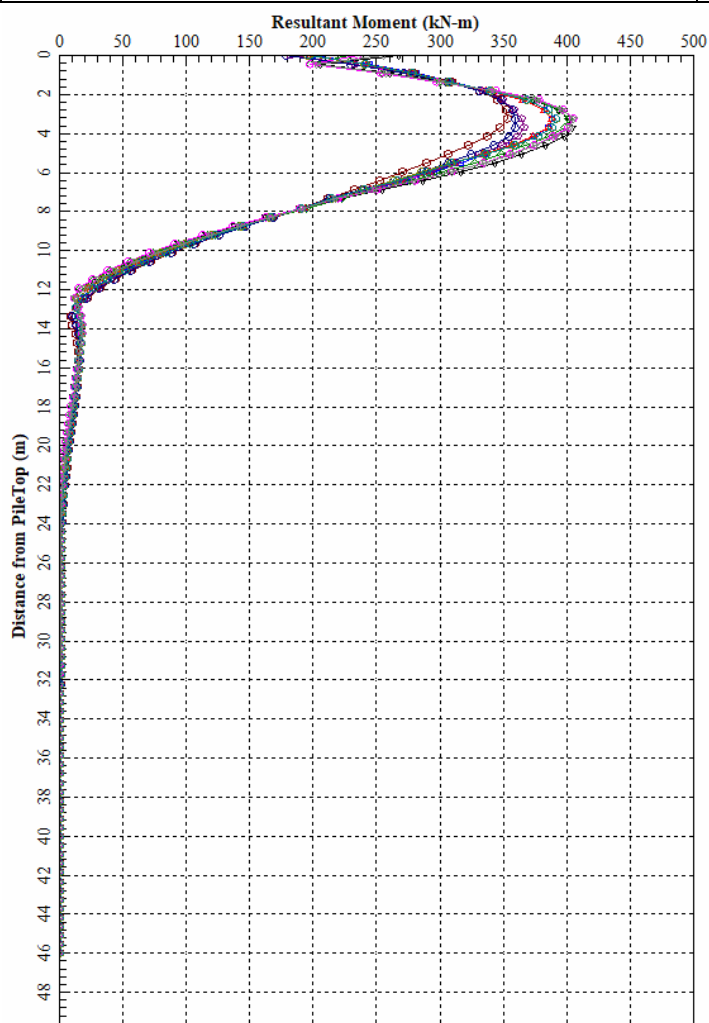


Figura 8-10 - Combinazioni SLE (QP – Freq. – Rara): Involuppo massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
26 di 44

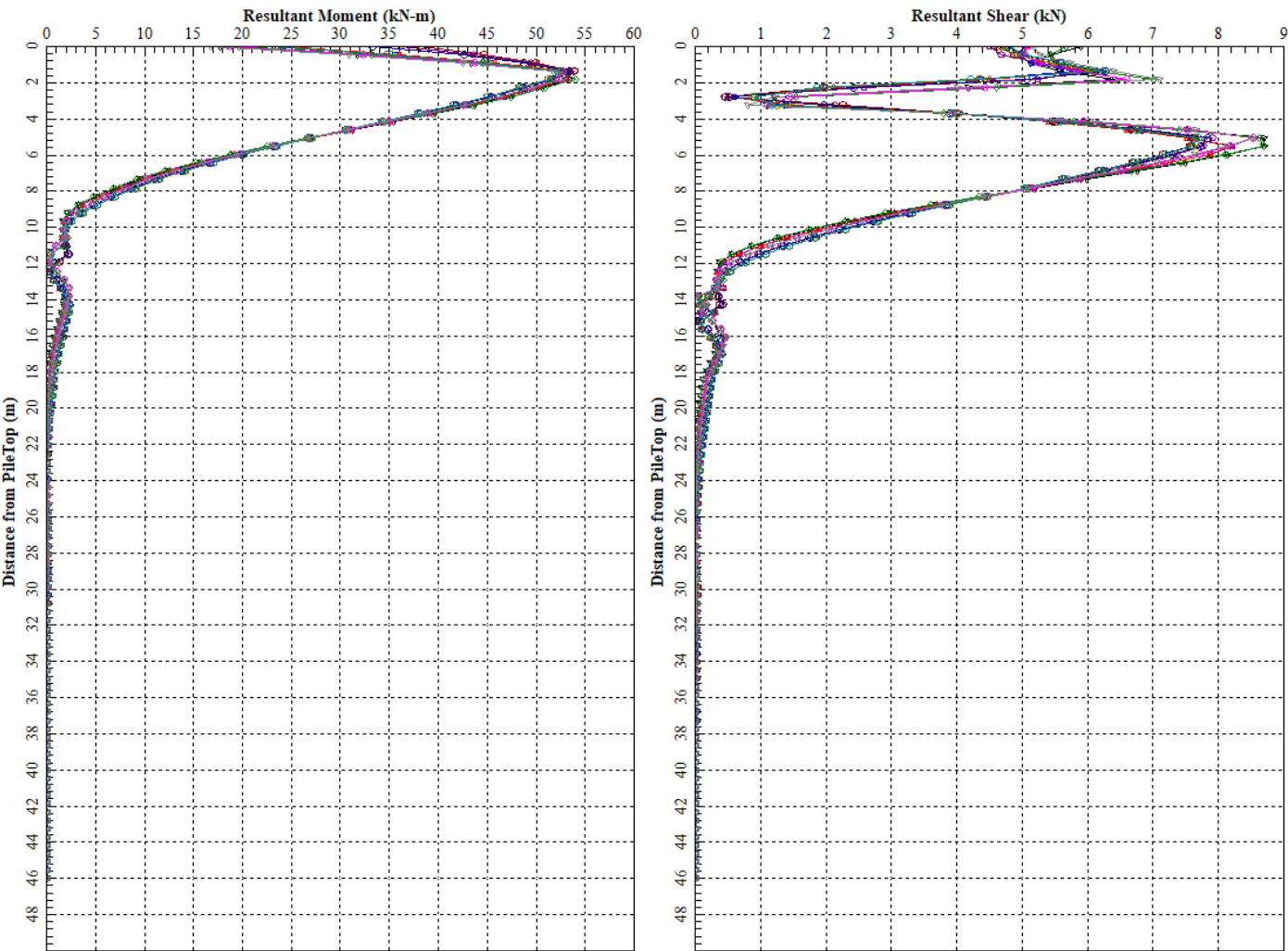


Figura 8-11 - Combinazioni SLE (QP – Freq. – Rara): Inviluppo minimo dell’andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
27 di 44

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:

$$\delta_{\max} = 3.23E-03 \times 3.04 = 0.009819 \text{ m} = 9.81 \text{ mm.}$$

H plinto [m]						H pila [m]	
2.5						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 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]
1	2.82E-03	5.62E-04	4.35E-05	8.24E-06	-1.46E-04	6.47E-03	3.77E-04
2	2.83E-03	-5.71E-04	-4.84E-05	-9.56E-06	1.48E-04	5.43E-03	3.39E-04
3	2.82E-03	5.62E-04	4.35E-05	8.24E-06	-1.46E-04	6.47E-03	3.77E-04
4	2.83E-03	-5.71E-04	-4.84E-05	-9.56E-06	1.48E-04	5.43E-03	3.39E-04
5	2.82E-03	-5.50E-04	-6.07E-05	-1.25E-05	1.43E-04	5.24E-03	4.45E-04
6	2.71E-03	5.49E-04	5.94E-05	1.15E-05	-1.42E-04	6.30E-03	5.26E-04
7	2.82E-03	-5.49E-04	-6.07E-05	-1.25E-05	1.43E-04	5.22E-03	4.45E-04
8	2.71E-03	5.50E-04	5.94E-05	1.15E-05	-1.42E-04	6.32E-03	5.26E-04
9	2.71E-03	-5.58E-04	-4.49E-05	-9.11E-06	1.45E-04	5.30E-03	3.24E-04
10	2.76E-03	5.49E-04	4.47E-05	8.48E-06	-1.42E-04	6.31E-03	3.88E-04
11	2.70E-03	-2.04E-04	-2.23E-05	-5.12E-06	5.39E-05	1.98E-03	1.85E-04
12	2.83E-03	2.07E-04	2.14E-05	4.34E-06	-5.46E-05	2.42E-03	1.97E-04
13	2.83E-03	6.74E-04	5.32E-05	1.01E-05	-1.75E-04	7.75E-03	4.63E-04
14	2.83E-03	-6.83E-04	-5.76E-05	-1.14E-05	1.77E-04	6.50E-03	4.04E-04
15	2.83E-03	6.74E-04	5.32E-05	1.01E-05	-1.75E-04	7.75E-03	4.63E-04
16	2.83E-03	-6.83E-04	-5.76E-05	-1.14E-05	1.77E-04	6.50E-03	4.04E-04
17	2.82E-03	-5.51E-04	-2.06E-04	-1.83E-05	1.43E-04	5.24E-03	5.34E-04
18	2.71E-03	5.50E-04	2.04E-04	1.72E-05	-1.42E-04	6.31E-03	9.02E-04
19	2.80E-03	-5.65E-04	-2.80E-04	-5.87E-05	1.46E-04	5.36E-03	2.10E-03
20	2.69E-03	5.65E-04	2.86E-04	5.92E-05	-1.46E-04	6.49E-03	2.68E-03
21	2.71E-03	-5.58E-04	-4.54E-05	-9.30E-06	1.45E-04	5.30E-03	3.31E-04
22	2.76E-03	5.49E-04	4.51E-05	8.67E-06	-1.42E-04	6.31E-03	3.96E-04
23	2.67E-03	-2.20E-04	-2.42E-04	-5.10E-05	5.74E-05	2.11E-03	1.82E-03
24	3.02E-03	2.09E-04	2.22E-05	4.62E-06	-5.58E-05	2.47E-03	2.09E-04
25	2.85E-03	1.30E-03	9.02E-05	1.77E-05	-3.26E-04	1.45E-02	8.07E-04
26	2.86E-03	-1.31E-03	-9.40E-05	-1.88E-05	3.29E-04	1.20E-02	6.67E-04
27	2.85E-03	1.30E-03	9.02E-05	1.77E-05	-3.28E-04	1.46E-02	8.07E-04
28	2.86E-03	-1.31E-03	-9.40E-05	-1.88E-05	3.31E-04	1.21E-02	6.67E-04
29	2.71E-03	-7.34E-04	-1.21E-03	-2.28E-04	1.88E-04	6.89E-03	8.01E-03
30	2.61E-03	7.34E-04	1.25E-03	2.34E-04	-1.88E-04	8.33E-03	1.07E-02
31	2.72E-03	-7.34E-04	-1.16E-03	-2.60E-04	1.88E-04	6.89E-03	9.36E-03
32	2.62E-03	7.36E-04	1.19E-03	2.66E-04	-1.89E-04	8.38E-03	1.20E-02
33	2.64E-03	-7.09E-04	-6.40E-04	-1.35E-04	1.83E-04	6.69E-03	4.81E-03
34	2.69E-03	7.01E-04	6.66E-04	1.39E-04	-1.81E-04	8.02E-03	6.31E-03
35	2.56E-03	-3.08E-04	-1.02E-03	-2.11E-04	7.94E-05	2.91E-03	7.53E-03
36	3.23E-03	8.50E-05	3.34E-05	7.46E-06	-3.56E-05	1.53E-03	3.35E-04

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

B (y)	9.30	m	larghezza
L (z)	15.00	m	lunghezza
D	46.00	m	profondità
i	4.50	m	interasse pali
n°	11.00		numero pali
E_G	3.04		Coefficiente amplificativo del cedimento per effetto gruppo

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
28 di 44

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 involuipi 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	11	7	11 558	141	357
Min Compressione / Max Trazione	0.00	11	8	-1 616	140	248
Massimo Momento	3.22	11	4	9 511	653	4
Massimo Taglio	0.00	1	6	11 066	364	430

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

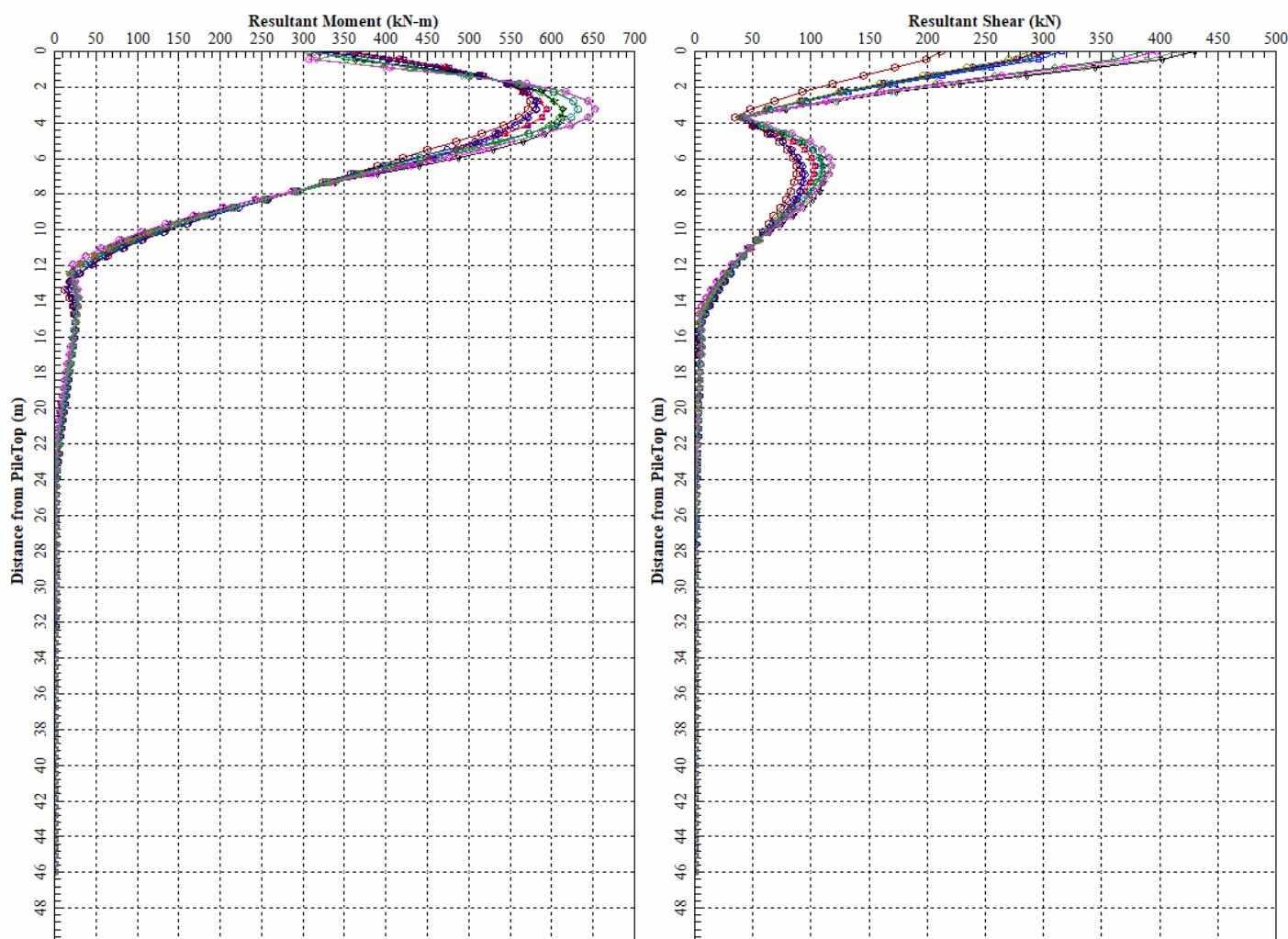


Figura 8-12 - Combinazione statica SLU: involucro massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
29 di 44

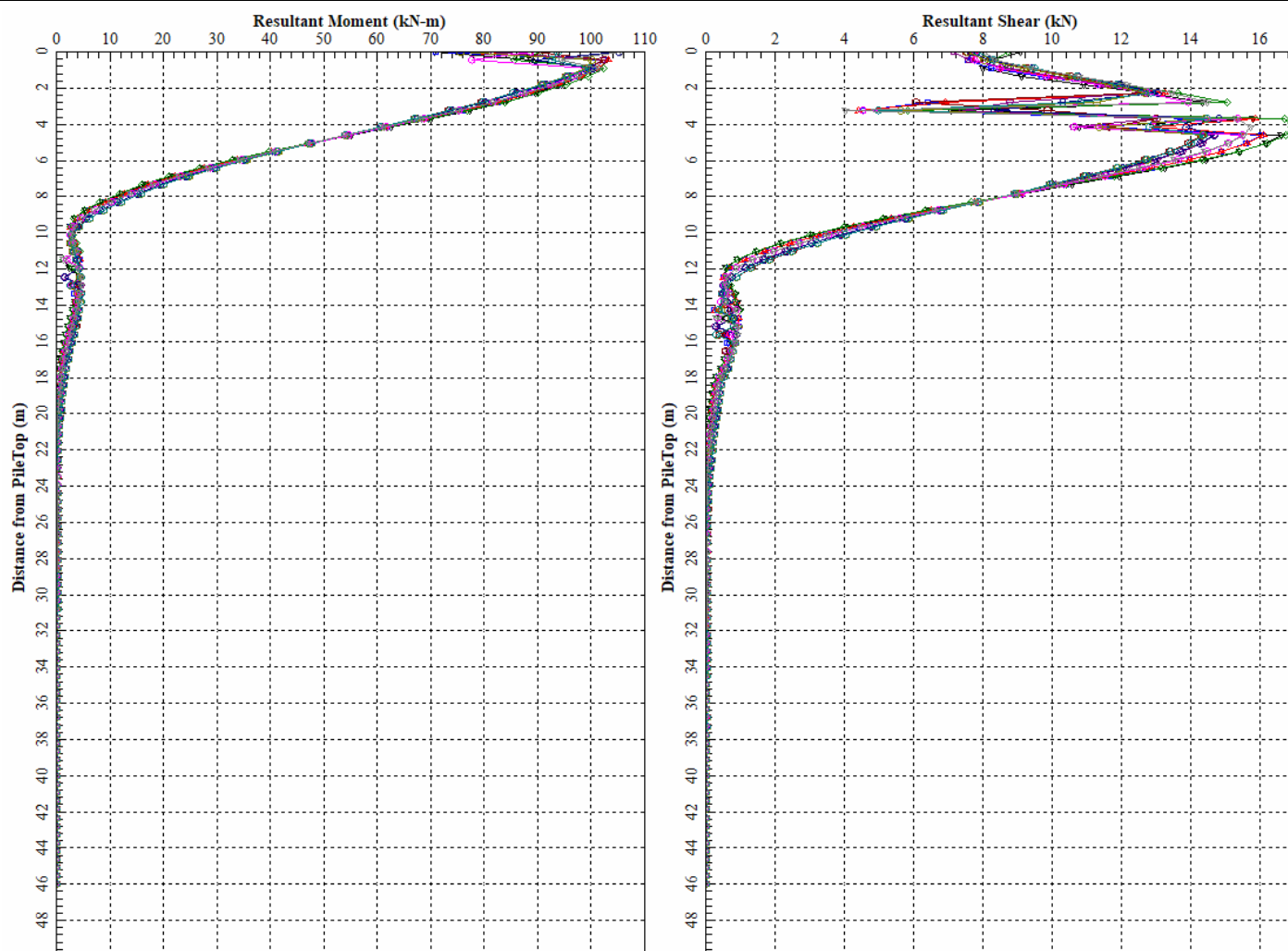


Figura 8-13 - Combinazione statica SLU: involucro minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

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:

$$\delta_{\max} = 4.55E-03 \times 3.04 = 0.0138322 \text{ m} = 13.83 \text{ mm.}$$

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
30 di 44

H plinto [m]

2.5

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 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]
1	3.19E-03	1.98E-03	1.39E-04	2.75E-05	-4.99E-04	2.22E-02	1.25E-03
2	4.05E-03	-2.07E-03	-1.47E-04	-3.03E-05	5.31E-04	1.94E-02	1.08E-03
3	3.19E-03	1.99E-03	1.39E-04	2.75E-05	-5.02E-04	2.23E-02	1.25E-03
4	4.05E-03	-2.07E-03	-1.47E-04	-3.03E-05	5.34E-04	1.96E-02	1.08E-03
5	2.99E-03	-1.12E-03	-1.81E-03	-3.47E-04	2.88E-04	1.05E-02	1.23E-02
6	3.70E-03	1.15E-03	1.91E-03	3.71E-04	-3.00E-04	1.33E-02	1.69E-02
7	3.84E-03	-1.15E-03	-1.79E-03	-4.07E-04	3.02E-04	1.11E-02	1.47E-02
8	2.88E-03	1.12E-03	1.80E-03	4.02E-04	-2.90E-04	1.29E-02	1.81E-02
9	2.90E-03	-1.07E-03	-9.72E-04	-2.05E-04	2.78E-04	1.02E-02	7.34E-03
10	3.79E-03	1.11E-03	1.04E-03	2.23E-04	-2.91E-04	1.29E-02	1.01E-02
11	2.78E-03	-4.66E-04	-1.54E-03	-3.22E-04	1.20E-04	4.40E-03	1.15E-02
12	4.55E-03	1.51E-04	5.55E-05	1.32E-05	-6.28E-05	2.70E-03	5.90E-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	11	7	7 753	626	428
Min Compressione / Max trazione	0.00	11	8	1 145	473	320
Massimo Momento	0.00	1	6	7 589	735	469
Massimo Taglio	0.00	1	6	7 589	735	469

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
31 di 44

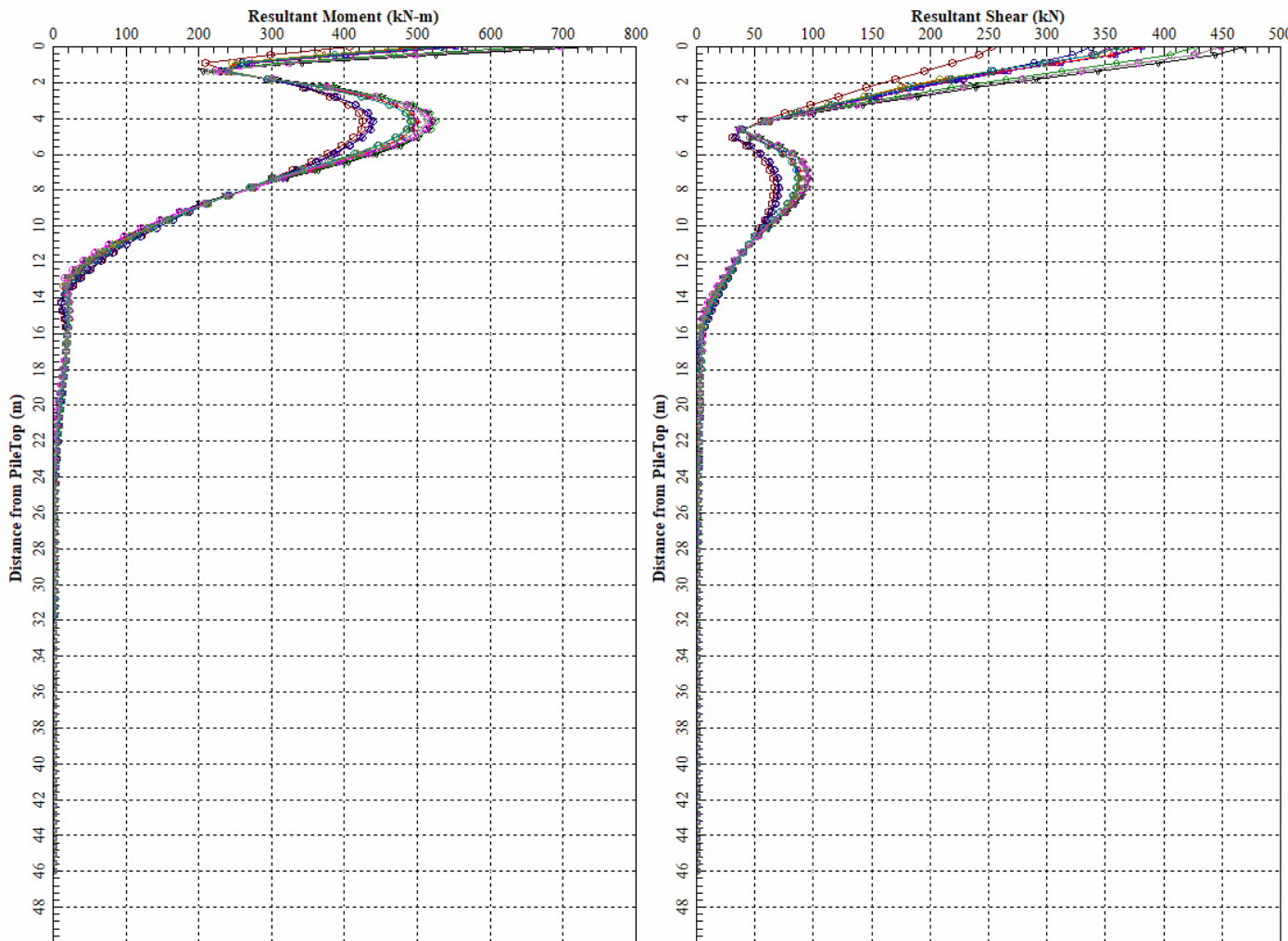


Figura 8-14 - Combinazione sismica SLV: Involuppo massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
32 di 44

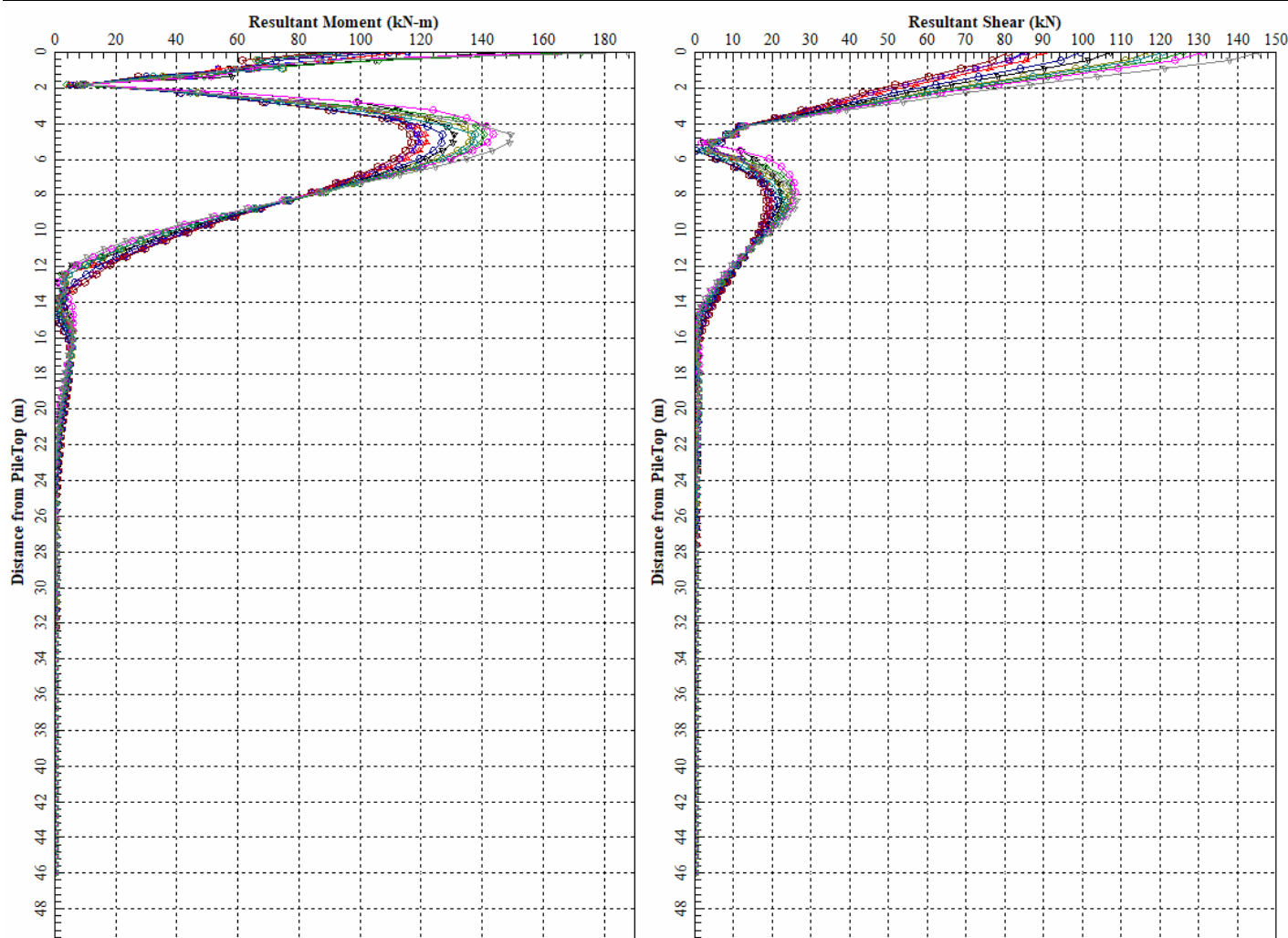


Figura 8-15 - Combinazione sismica SLV: Involuppo minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

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:

$$\delta_{\max} = 3.17E-03 \times 3.04 = 0.0096368 \text{ m} = 9.64 \text{ mm.}$$

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
33 di 44

H plinto [m]

2.5

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 (Y) [m]	Spost. Orizzontale lungo Asse 3 (Z) [m]
1	2.88E-03	2.01E-03	1.65E-04	8.64E-06	-3.79E-04	1.74E-02	5.15E-04
2	2.81E-03	-1.92E-03	6.08E-05	-2.65E-05	3.65E-04	1.28E-02	1.13E-03
3	2.86E-03	1.96E-03	-2.60E-04	-2.82E-05	-3.99E-04	1.81E-02	8.80E-04
4	2.83E-03	-1.92E-03	3.70E-04	4.44E-05	3.91E-04	1.39E-02	2.17E-03
5	2.86E-03	-7.30E-04	-1.58E-03	-2.01E-04	1.58E-04	5.66E-03	6.56E-03
6	2.73E-03	6.42E-04	1.68E-03	2.16E-04	-1.45E-04	6.53E-03	1.04E-02
7	2.86E-03	-6.93E-04	-1.55E-03	-2.15E-04	1.44E-04	5.15E-03	7.14E-03
8	2.74E-03	6.74E-04	1.64E-03	2.21E-04	-1.47E-04	6.64E-03	1.06E-02
9	2.70E-03	-1.15E-03	-2.40E-04	-1.71E-05	2.12E-04	7.45E-03	4.51E-04
10	2.81E-03	1.36E-03	-1.95E-04	-1.69E-05	-2.56E-04	1.17E-02	4.91E-04
11	2.40E-03	-4.96E-04	-3.55E-04	-3.98E-05	9.64E-05	3.41E-03	1.26E-03
12	3.17E-03	3.27E-04	6.97E-04	9.54E-05	-4.45E-05	2.13E-03	4.56E-03

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
34 di 44

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 46.0 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
46	20 408	16 327	9 042	1 219	28 231	12 794

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
46	16 327		1 219	17 546	8 902

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]	11 558 (SLU)
Massima trazione, $N_{td,max}$ [kN]	-1 616 (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	8 226 (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	11 558 (SLU)	\leq	12 794	VERIFICATO
Massima trazione	-1 616 (SLU)	\leq	8 902	VERIFICATO
Massima compressione esercizio	8 226 (SLE)	\leq	16 327	VERIFICATO

Tabella 9-4 - Sintesi delle verifiche di capacità portante

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
35 di 44

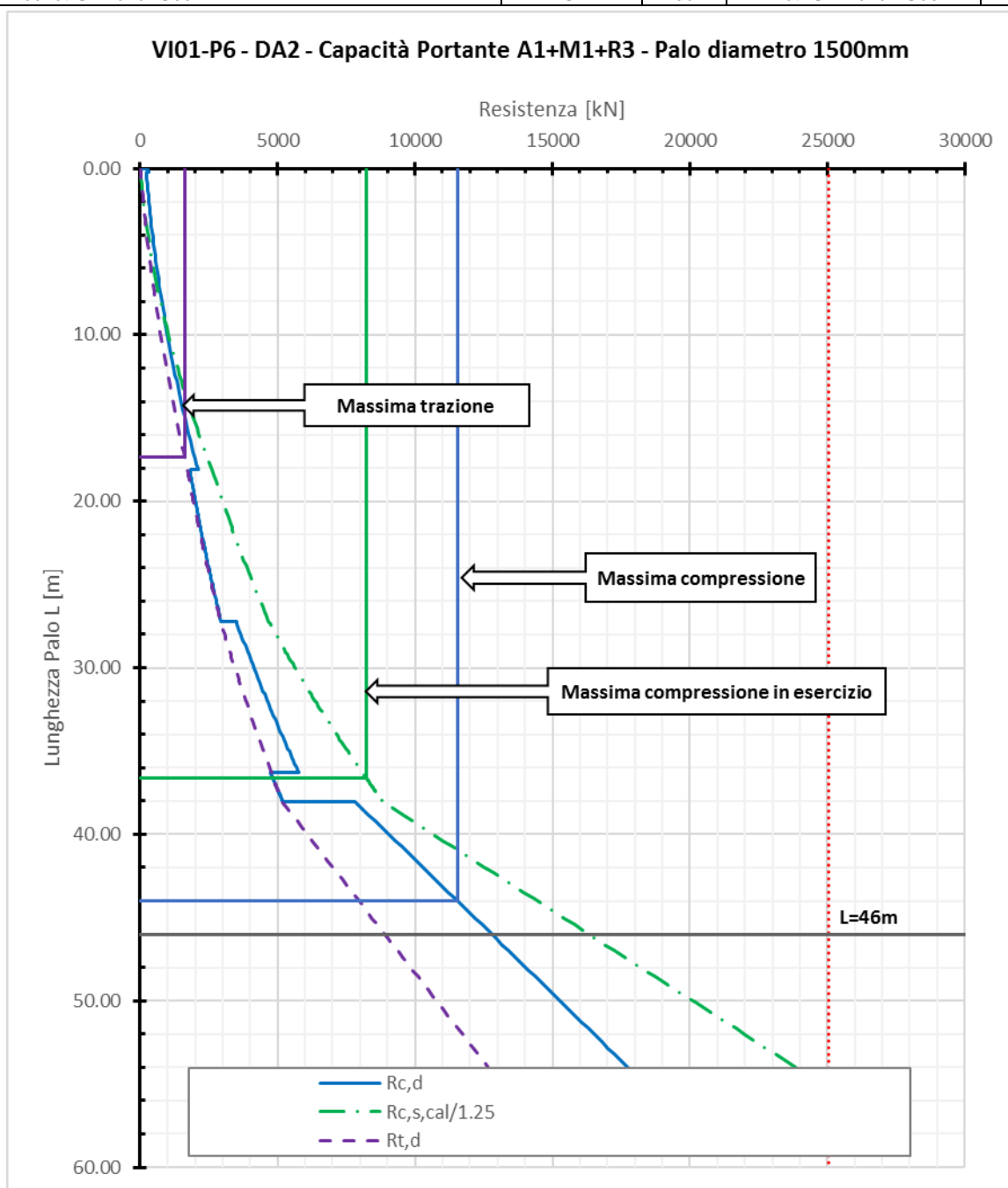


Figura 9-1 - Curve di capacità portante del palo singolo

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
36 di 44

Capacità portante verticale del blocco (BS 8004:2015)

A1+M1+R3

B (y)	9.30	m	larghezza
L (z)	15.00	m	lunghezza
D	46.00	m	profondità
Ø	1.50	m	diametro palo
Area	1.77	m ²	area palo
n°	11		numero pali
$\gamma_{R, \text{cap. port.}}$	2.30		coefficiente di sicurezza globale per capacità portante

Strato 1: DG

0.25 m

$\varphi_{\text{laterale}}$	32.00	°	angolo di resistenza al taglio
k_0	0.47		coefficiente di spinta a riposo
σ'_v	48.76	kPa	pressione verticale efficace media sulle superficie laterale
s_{block}	0.75		fattore di forma
$q_{s,k}$	11	kPa	portanza laterale
A_{s1}	12	m ²	area laterale

Strato 2: DG

17.85 m

$\varphi_{\text{laterale}}$	30.00	°	angolo di resistenza al taglio
k_0	0.5		coefficiente di spinta a riposo
σ'_v	134.54	kPa	pressione verticale efficace media sulle superficie laterale
s_{block}	0.75		fattore di forma
$q_{s,k}$	29	kPa	portanza laterale
A_{s2}	868	m ²	area laterale

Strato 3: DAL

9.1 m

s_{block}	0.75		fattore di forma
$c_{u,s,k}$	65	kPa	coesione non drenata
$q_{s,k}$	49	kPa	portanza laterale
A_{s3}	442	m ²	area laterale

Strato 4: DG

9.1 m

$\varphi_{\text{laterale}}$	30.00	°	angolo di resistenza al taglio
k_0	0.5		coefficiente di spinta a riposo
σ'_v	344.45	kPa	pressione verticale efficace media sulle superficie laterale
s_{block}	0.75		fattore di forma
$q_{s,k}$	75	kPa	portanza laterale
A_{s4}	442	m ²	area laterale

Strato 5: ARGalt

1.75 m

x_3	1.00	-	fattore di confidenza
s_{block}	0.75		fattore di forma
q_s	112.4	kPa	adesione laterale palo singolo
$q_{s,k}$	85	kPa	portanza laterale caratteristica
A_{s5}	85	m ²	area laterale

Strato 6: ARG

7.95 m

x_3	1.00	-	fattore di confidenza
s_{block}	0.75		fattore di forma
q_s	224.9	kPa	adesione laterale palo singolo
$q_{s,k}$	169	kPa	portanza laterale caratteristica
A_{s6}	386	m ²	area laterale
q_b	5105	kPa	portanza limite palo singolo alla base
$q_{b,k}$	5105		portanza alla base caratteristica
A_b	140	m ²	area della base
$R_{\text{block,c,d}}$	376 016	kN	resistenza di progetto

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
37 di 44

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]	79 163 (SLU)

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

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] § 9.3.2. 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	11 000 [kN]
V_{rdy} (-)	Taglio resistente in direzione -y	-11 000 [kN]
V_{rdz} (+)	Taglio resistente in direzione +z	11 000 [kN]
V_{rdz} (-)	Taglio resistente in direzione -z	-11 000 [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:

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLV0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL V0102 C06

Rev.
A

Foglio
38 di 44

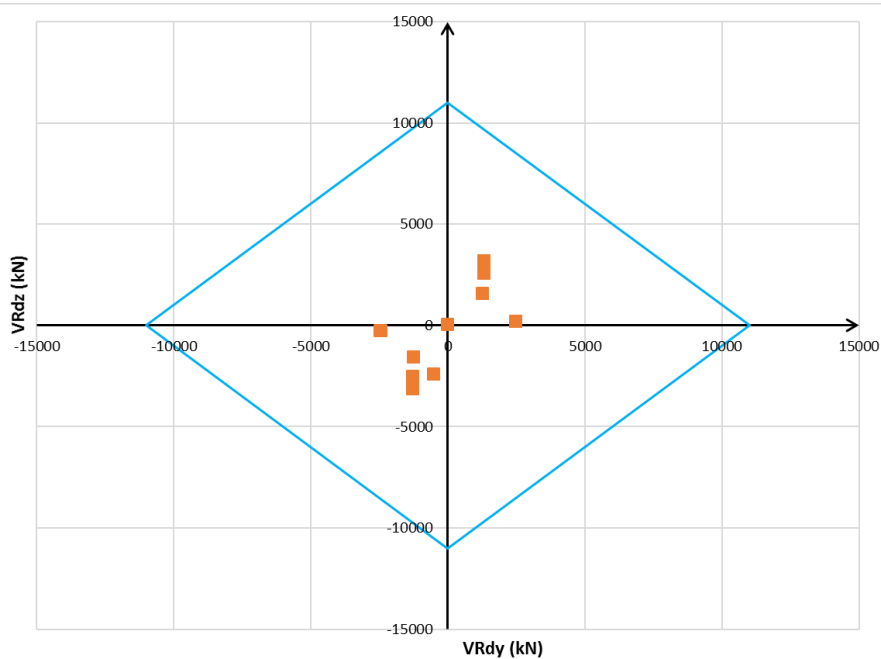


Figura 9-2 - Dominio di resistenza per la verifica alle azioni orizzontali per combinazione SLU

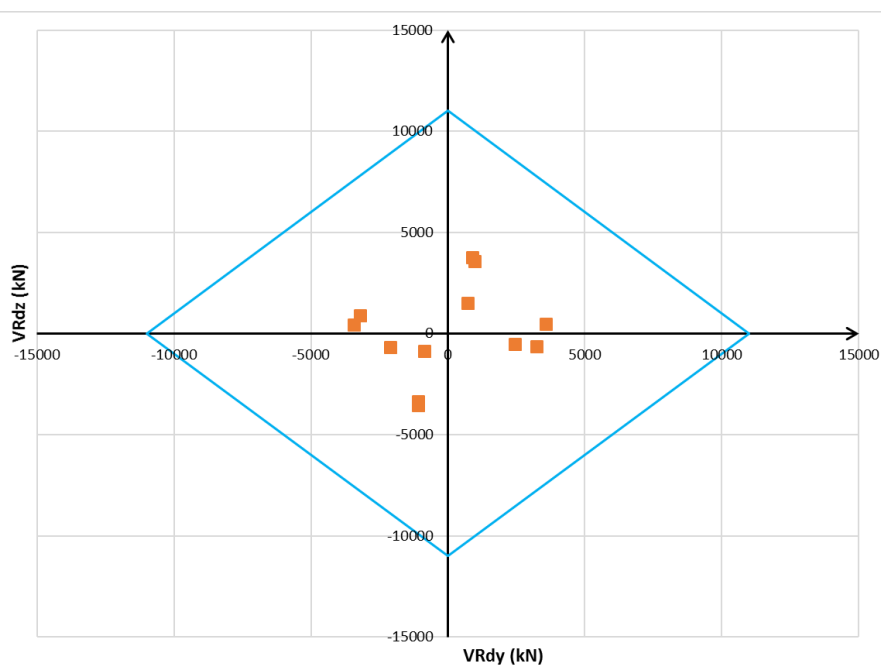


Figura 9-3 - Dominio di resistenza per la verifica alle azioni orizzontali per combinazione SLV

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
39 di 44

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.

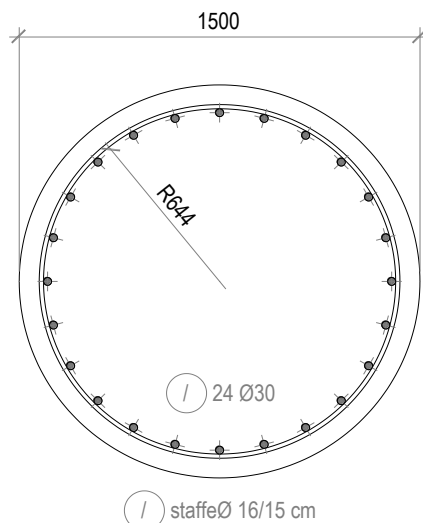


Figura 10-1 - Armatura palo.

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	5.70	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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
40 di 44

	Palo	ID	N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	FS [-]
Massima Compressione	11	7	11 558	141	49.12
Min Compressione / Max Trazione	11	8	-1 616	140	24.75
Massimo Momento	11	4	9 511	653	10.30
Massimo Taglio	1	6	11 066	364	18.92

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 19.10 m (fine della seconda gabbia di armatura). Tutti i punti N-M sono all'interno del dominio, pertanto la verifica è soddisfatta.

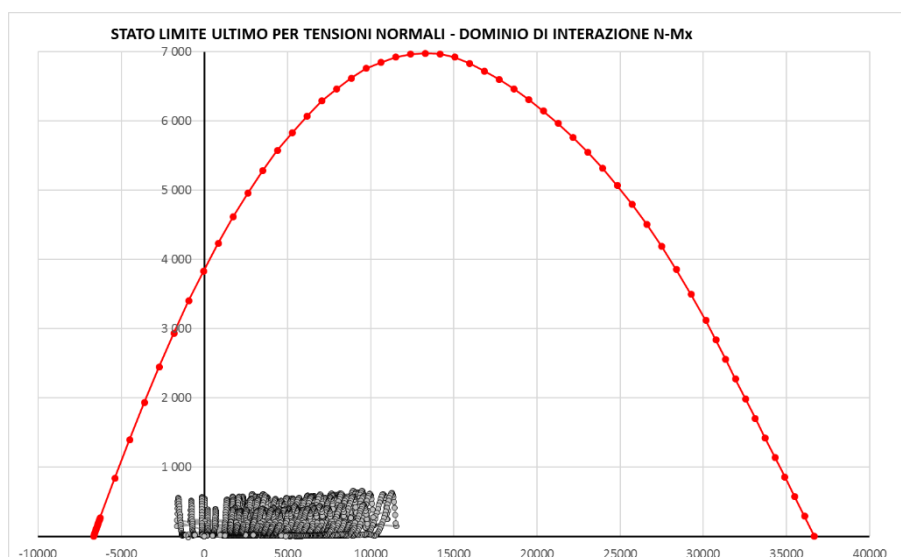


Figura 10-2 – Dominio di interazione N-M per la combinazione SLU

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 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.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
41 di 44

	Palo	ID	V_{sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	FS [-]
Massima Compressione	11	7	357	2 414	6.76
Min Compressione / Max Trazione	11	8	248	3 117	12.55
Massimo Momento	11	4	4	2 486	608.01
Massimo Taglio	1	6	430	2 431	5.65

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	11	7	7 753	626	8.87
Min Compressione / Max Trazione	11	8	1 145	473	6.71
Massimo Momento	1	6	7 589	735	7.49
Massimo Taglio	1	6	7 589	735	7.49

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
42 di 44

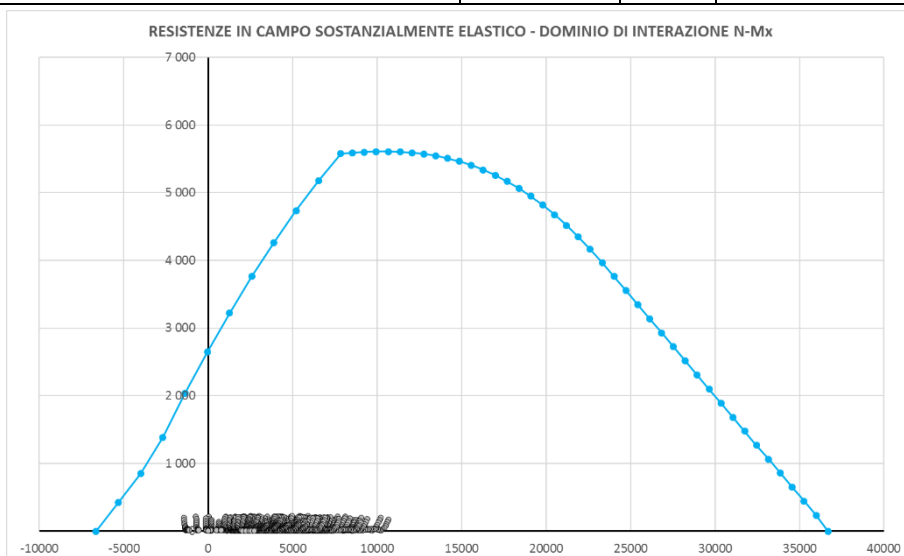


Figura 10-3– Dominio di interazione N-M per la combinazione SLV in campo sostanzialmente elastico

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	11	7	428	2 463	5.75
Min Compressione / Max Trazione	11	8	320	2 709	8.47
Massimo Momento	1	6	469	2 467	5.26
Massimo Taglio	1	6	469	2 467	5.26

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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
43 di 44

- 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	11	19	6 164	45	0.20	0.00	44.30
Min. Compressione / Max. Trazione	11	20	2 802	178	0.20	0.00	15.10
Massimo Momento	11	14	5 747	217	0.20	0.00	35.70
Massimo Taglio	1	18	5 585	122	0.20	0.00	37.50

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

SLE-QUASI PERMANENTE

	Palo	ID	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	$w_{k,lim}$ [mm]	w_k [mm]
Massima Compressione	11	2	5 721	39	0.20	0.00
Min. Compressione / Max. Trazione	11	8	3 384	162	0.20	0.00
Massimo Momento	11	2	5 554	181	0.20	0.00
Massimo Taglio	11	2	5 721	39	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. NG1200E09CLVI0102C06A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0102 C06

Rev.
A

Foglio
44 di 44

SLE-RARA

	Palo	ID	N _{sd} [kN]	M _{sd} [kNm]	σ _{c,max} [MPa]	σ _{c,min} [MPa]	σ _{s,max} [MPa]
Massima Compressione	11	31	8 226	95	4.31	3.83	58.00
Min. Compressione / Max. Trazione	11	32	140	363	1.64	0.00	-44.10
Massimo Momento	11	28	6 728	405	4.34	2.32	36.90
Massimo Taglio	1	30	7 830	267	4.54	3.21	49.50

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	0	11	2	5 721	2.93	2.73	41.20
Min. Compressione / Max. Trazione	3	11	8	3 384	2.08	1.27	19.90
Massimo Momento	3	11	2	5 554	3.20	2.30	35.40
Massimo Taglio	0	11	2	5 721	2.93	2.73	41.20

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.