

Commissario:



Contraente:



Progettista:



Project & Construction Management &
Quality Assurance: Rina Consulting SpA



VIADOTTO POLCEVERA

PROGETTO ESECUTIVO di 1° LIVELLO

Relazione geotecnica e di calcolo fondazione – Plinto P2

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	3	C	0	3	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	A. Vittozzi Data 12/03/2019
A	Emissione esecutiva 1° livello	L. Utzeri	12/03/2019	L. Utzeri	12/03/2019	A. Perego	12/03/2019	
B								
C								

File: NG1200E09CLV0103C03A.docx

Contraente 		Progettista 			
Doc. N. NG1200E09CLV0103C03A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL V0103 C03	Rev. A
Foglio 2 di 40					
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	<i>Acciaio per armatura strutture in c.a.</i>				5
3.2	CALCESTRUZZO				5
3.2.1	<i>Calcestruzzo magro per getti di livellamento</i>				5
3.2.2	<i>Calcestruzzo pali</i>				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	<i>Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi sismici (SLV)</i>				9
7.1.2	<i>Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi statici (SLU)</i>				10
7.1.3	<i>Combinazioni delle azioni agli stati limite di esercizio (SLE)</i>				10
7.2	SCARICHI A INTRADOSSO PLINTO				11
7.2.1	<i>Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi sismici (SLV)</i>				11
7.2.2	<i>Combinazioni delle azioni agli stati limite ultimi statici (SLU)</i>				14
7.2.3	<i>Combinazioni delle azioni agli stati limite di esercizio (SLE)</i>				15
8	ANALISI DELL'INTERAZIONE FONDAZIONE-TERRENO				17

Contraente 		Progettista 			
Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A	Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0103 C03	Rev. A	Foglio 3 di 40

8.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO GROUP.....	17
8.2	SINTESI DEI RISULTATI AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO SLE (CARATTERISTICA).....	22
8.2.1	<i>Spostamenti</i>	25
8.3	SINTESI DEI RISULTATI AGLI STATI LIMITE ULTIMI STATICI (SLU)	25
8.4	SINTESI DEI RISULTATI RELATIVI AGLI STATI LIMITE ULTIMI SISMICI (SLV)	27
9	VERIFICA AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO.....	30
9.1	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE DEL PALO SINGOLO.....	30
9.2	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE VERTICALE GRUPPO DI PALI	31
9.3	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE ORIZZONTALE DEL GRUPPO DI PALI.....	33
10	VERIFICA DEI PALI AGLI SLU E SLE DI TIPO STRUTTURALE.....	35
10.1	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE A PRESSO-TENSO FLESSIONE	35
10.2	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI STATICHE A TAGLIO	36
10.3	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI SISMICHE A PRESSO-TENSO FLESSIONE.....	37
10.4	VERIFICA ALLO SLU IN CONDIZIONI SISMICHE A TAGLIO.....	38
10.5	VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STR.....	38
10.5.1	<i>Verifica di apertura delle fessure</i>	38
10.5.2	<i>Verifica tensionale</i>	39

Contraente		Progettista				
						
Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0103 C03	Rev. A	Foglio 4 di 40

1 PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche geotecniche e strutturali dei pali della pila P2 del viadotto Porcevera.

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO, NORMATIVA E SOFTWARE

2.1 Documentazione di riferimento

- Rif. [1] NG12 00 E 09 F6 VI0000 C01 A - “Profilo Geotecnico”
- Rif. [2] NG12 00 E 09 GE VI0000 C01 A - “Relazione Geotecnica Generale”
- Rif. [3] NG12 00 E 00 RP VI 0000 C01 A - “Criteri di caratterizzazione sismica e risposta sismica locale”
- Rif. [4] NG12 00 E 09 GE VI0002 C01 A - “Relazione Criteri di Progettazione geotecnica”
- Rif. [5] NG12 00 E 09 GE VI0002 C02 A - “Relazione geotecnica fondazioni”
- Rif. [6] NG12 00 E09 TT VI0000 C01 A - “Tabella dei materiali note tecniche impalcato”

2.2 Normativa e Standard di Riferimento

- Rif. [7] 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. [8] 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. [9] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 - Progettazione Geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- Rif. [10] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Rif. [11] UNI EN 206:2016 – Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- Rif. [12] UNI 11104: 2016 – Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206.

2.3 Riferimenti bibliografici

- Rif. [13] 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. [14] Group, Ensoft Inc, versione 2016, release n.10
- Rif. [15] GeoStru, RC-SEC 2018, Calcolo di sezioni in Cemento Armato

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
5 di 40

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
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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
6 di 40

4 SISMICITA'

L'azione sismica è valutata in accordo alle NTC2018 di cui al Rif. [7] (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione sismica di cui al Rif. [3]):

- 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. [3]) l'accelerazione massima orizzontale e verticale in superficie, comprensiva degli effetti stratigrafici e topografici, risulta rispettivamente pari a:

- $a_{\max,H} = 0.144g$;
- $a_{\max,V} = 0.098g$

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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
7 di 40

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 37.0 m e interasse 4.09÷4.50 m; le dimensioni del plinto di fondazione sono 10.80x16.5x2.5 m (Figura 5-1).

Il plinto interferisce parzialmente con il plinto esistente del Ponte Morandi e per questo motivo il palo A3 è spostato rispetto agli allineamenti principali. Tale disposizione è indicativa e potrà variare in corso d'opera in base all'effettiva posizione rilevata. La distanza minima dai pali esistenti intesa come distanza fra asse nuovo pali a bordo palo esistente dovrà essere pari ad almeno il diametro del palo maggiore.

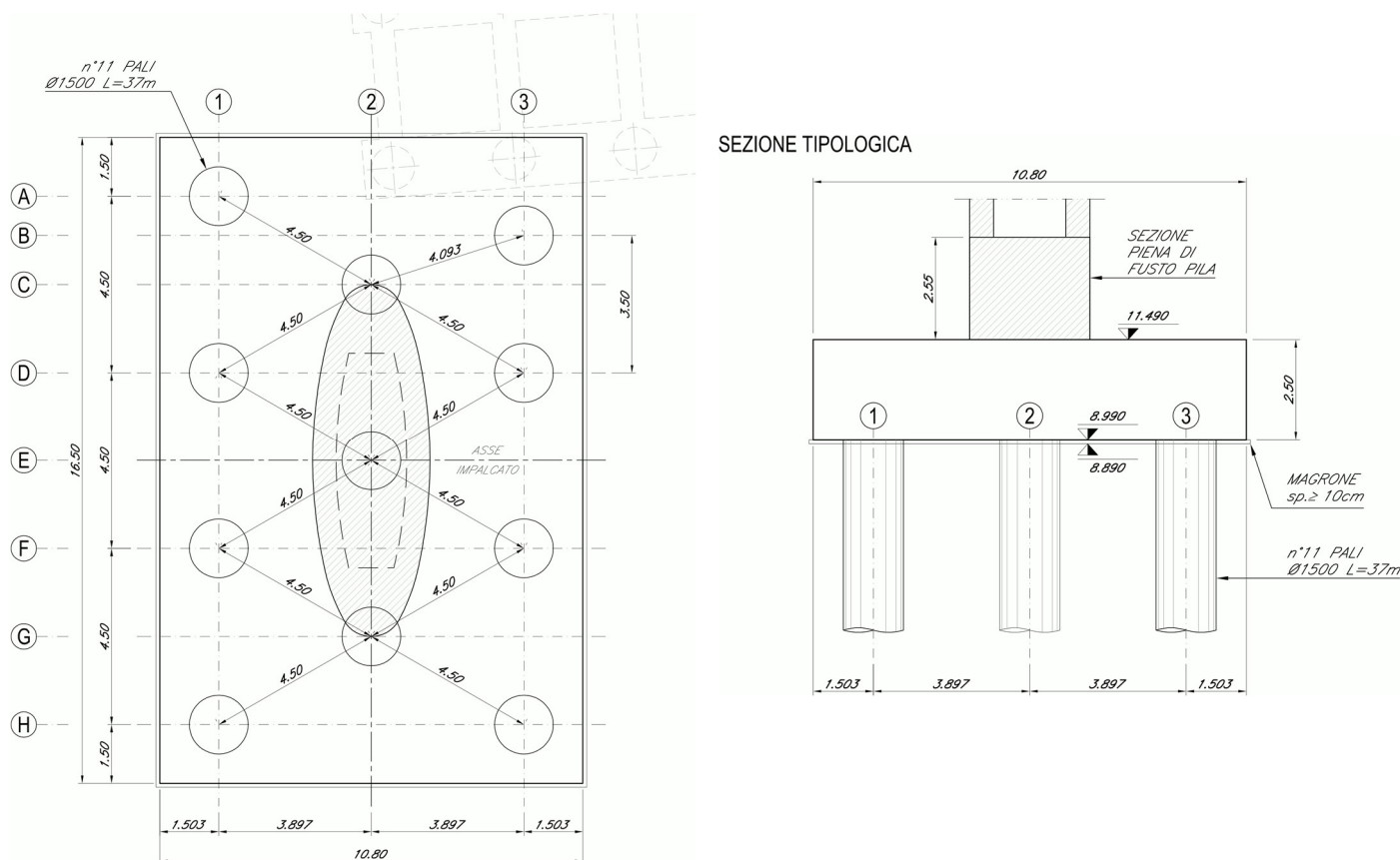




Figura 5-1 – Geometria di riferimento per il plinto su pali.

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 CL VI0103 C03 Rev. A Foglio 8 di 40

5.2 Stratigrafia di riferimento

In accordo alla caratterizzazione geotecnica di cui al documento in Rif. [2] i parametri geotecnici di riferimento sono riportati nella seguente tabella. La falda è stata considerata a testa palo e il terreno a quota estradosso plinto la cui quota assoluta è 11.5 m.

Unità di rif.	Descrizione	Quota assoluta (m)	Profondità da estradosso plinto (m)
R	Riporto	11.7	-0.1
COL1	Coltre eluvio-colluviale	1.9	9.5
DAL	Depositi alluvionali fini	0.9	10.6
ARGalt	Argilliti alterati	-1.7	13.2
ARG	Argilliti	-8.3	19.8
ARGcat	Argilliti cataclasate	-24.3	35.8
ARG	Argilliti	-29.9	41.4
ARGcat	Argilliti cataclasate	-34.5	46.0
ARG	Argilliti	>	>

Tabella 5-1 – Stratigrafia

Unità di rif.	γ [kN/mc]	φ' [°]	c' [kPa]	c_u [kPa]	σ_{ci} [MPa]	E_i [MPa]	mb	s	a	E_{rm} [MPa]	RQ D
R	19	32									
COL1	19	30									
DAL	19			50							
ARGalt	26.5				2 000	900 000					
ARG	27				5 500	3 410 000	0.1540	1.560E-05	0.5530	24 780	15
ARGcat	26.5				3 000	1 350 000	0.4530	2.000E-04	0.5160	194 860	50
ARG	27				5 500	3 410 000	0.1770	2.330E-05	0.5440	40 310	17
ARGcat	26.5				3 000	1 350 000	0.4530	2.000E-04	0.5160	194 860	50
ARG	27				5 500	3 410 000	0.1770	2.330E-05	0.5440	40 310	17

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. [4]. Per le verifiche a fessurazione si ricorda che sono svolte per condizioni ambientali aggressive e armature poco sensibili (vedasi § 9.4.1 di Rif. [4]).

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
9 di 40

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.

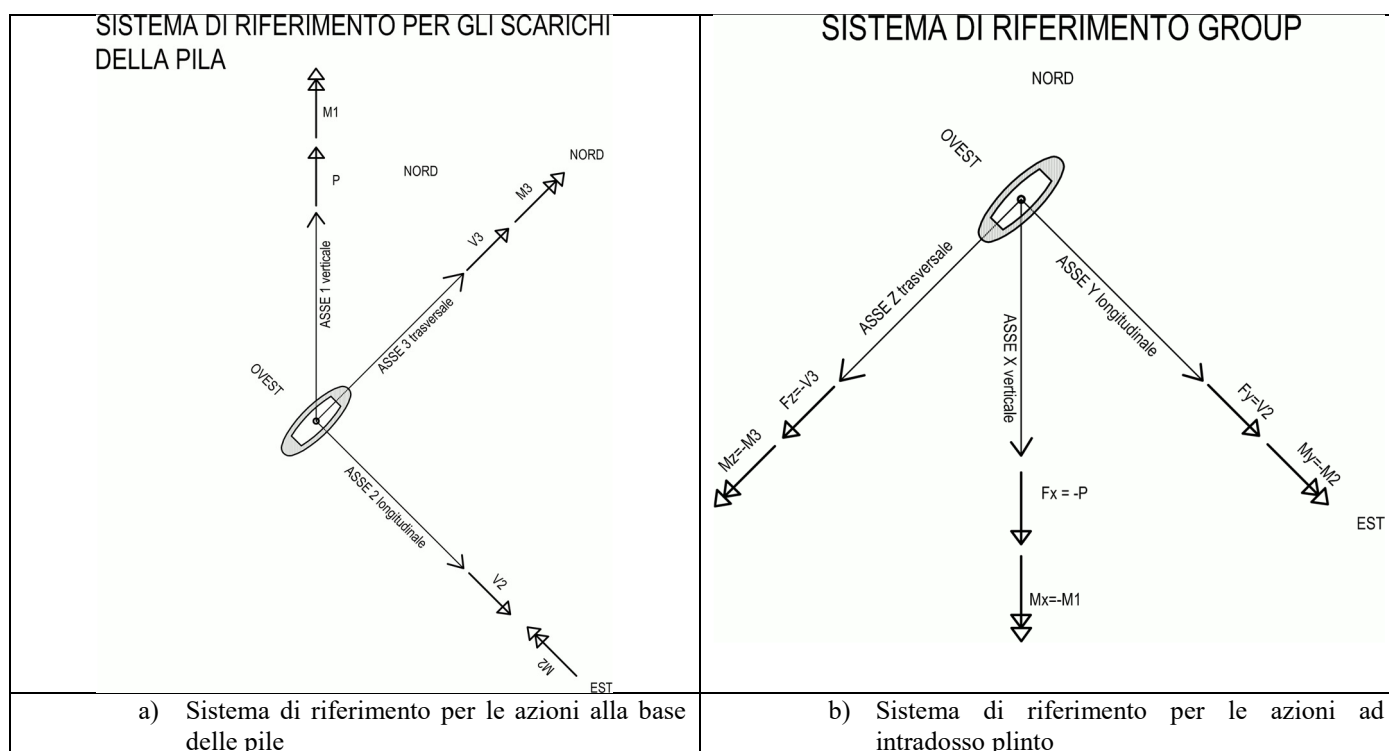


Figura 7-1 – Assi di riferimento per gli scarichi in fondazione.

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. NG1200E09CLVI0103C03A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0103 C03	Rev. A
					Foglio 10 di 40

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F_x	F_y	M_z	F_z	M_y	M_x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P2-V2max-SIS.TH.1	35 789	2 547	-64 853	-45	7 142	159
P2-V2min-SIS.TH.1	36 155	-2 496	62 379	-412	-19 403	-118
P2-M3max-SIS.TH.1	35 475	2 058	-78 517	-318	-16 985	167
P2-M3min-SIS.TH.1	35 167	-2 029	76 686	185	11 274	-134
P2-V3max-SIS.TH.1	34 885	-314	30 482	-2 152	-48 489	-40
P2-V3min-SIS.TH.1	33 683	849	-39 829	2 389	76 846	62
P2-M2max-SIS.TH.1	33 083	-1 067	40 947	-1 731	-75 391	-56
P2-M2min-SIS.TH.1	35 506	786	-34 382	2 198	82 349	55
P2-Tmax-SIS.TH.1	36 692	-1 485	64 329	-270	-4 143	-197
P2-Tmin-SIS.TH.1	33 290	1 525	-58 793	84	-1 568	227
P2-Pmax-SIS.TH.1	28 722	598	-27 836	-331	-8 208	36
P2-Pmin-SIS.TH.1	41 063	-851	44 973	-15	-4 179	-98

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
P2-V2max-SLUstr.13	35 954	3 135	-115 281	427	12 696	203
P2-V2min-SLUstr.6	49 235	-3 144	116 823	-471	-13 248	-203
P2-M3max-SLUstr.13	35 954	3 108	-116 335	427	12 696	203
P2-M3min-SLUstr.6	49 235	-3 116	117 934	-471	-13 248	-203
P2-V3max-SLUstr.12	34 320	-1 577	63 702	-3 001	-101 666	-135
P2-V3min-SLUstr.5	42 918	1 545	-62 929	2 965	112 042	140
P2-M2max-SLUstr.5	45 404	-1 559	63 745	-2 398	-123 833	-137
P2-M2min-SLUstr.12	31 798	1 548	-62 331	2 380	134 496	141
P2-Tmax-SLUstr.13	35 487	-2 613	105 379	-1 732	-75 772	-217
P2-Tmin-SLUstr.6	43 891	2 607	-105 822	1 736	82 422	219
P2-Pmax-SLUstr.12	28 701	1 538	-61 598	2 460	116 703	141
P2-Pmin-SLUstr.1	58 858	-1 143	58 098	-248	-12 943	-111

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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
11 di 40

COMBINAZIONE DI CALCOLO	F_x	F_y	M_z	F_z	M_y	M_x
	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
P2-V2max-SLEqp.1	35 789	889	-35 758	136	3 819	65
P2-V2min-SLEqp.1	35 810	-894	35 987	-170	-4 517	-65
P2-M3max-SLEqp.1	35 789	889	-35 758	136	3 819	65
P2-M3min-SLEqp.1	35 810	-894	35 987	-170	-4 517	-65
P2-V3max-SLEqp.1	35 810	-894	35 987	-170	-4 517	-65
P2-V3min-SLEqp.1	33 719	880	-35 312	190	3 110	65
P2-M2max-SLEqp.1	33 891	-881	35 379	-73	-7 410	-66
P2-M2min-SLEqp.1	35 609	884	-35 574	109	6 626	66
P2-Tmax-SLEqp.1	35 967	-873	35 149	-136	-6 513	-66
P2-Tmin-SLEqp.1	33 533	875	-35 132	172	5 723	66
P2-Pmax-SLEqp.1	33 533	875	-35 132	172	5 723	66
P2-Pmin-SLEqp.1	35 996	-890	35 826	-152	-7 130	-66
P2-V2max-SLEf.3	35 789	1 065	-42 859	164	4 632	78
P2-V2min-SLEf.3	35 807	-1 071	43 091	-198	-5 282	-78
P2-M3max-SLEf.3	35 789	1 065	-42 859	164	4 632	78
P2-M3min-SLEf.3	35 807	-1 071	43 091	-198	-5 282	-78
P2-V3max-SLEf.1	35 810	-894	36 015	-517	-4 594	-65
P2-V3min-SLEf.1	33 719	880	-35 337	538	3 180	65
P2-M2max-SLEf.2	33 671	-878	35 297	-414	-21 646	-69
P2-M2min-SLEf.2	35 097	879	-35 408	442	22 440	69
P2-Tmax-SLEf.3	36 001	-1 048	42 223	-161	-7 801	-79
P2-Tmin-SLEf.3	33 495	1 051	-42 175	196	7 058	80
P2-Pmax-SLEf.2	33 021	871	-34 962	504	21 532	70
P2-Pmin-SLEf.1	39 324	-890	36 026	-152	-7 224	-66
P2-V2max-SLEr.6	35 787	2 093	-76 911	284	8 372	135
P2-V2min-SLEr.6	35 795	-2 100	77 063	-319	-8 820	-135
P2-M3max-SLEr.6	35 787	2 073	-77 692	284	8 372	135
P2-M3min-SLEr.6	35 795	-2 079	77 886	-319	-8 820	-135
P2-V3max-SLEr.5	34 704	-1 054	42 603	-2 039	-68 015	-90
P2-V3min-SLEr.5	31 163	1 030	-41 414	2 020	74 471	93
P2-M2max-SLEr.5	32 821	-1 040	41 921	-1 590	-83 761	-91
P2-M2min-SLEr.5	33 017	1 033	-41 679	1 585	90 813	94
P2-Tmax-SLEr.6	35 475	-1 741	70 224	-1 156	-50 623	-145
P2-Tmin-SLEr.6	31 812	1 738	-69 705	1 166	54 750	147
P2-Pmax-SLEr.5	30 493	1 025	-41 163	1 650	77 595	94
P2-Pmin-SLEr.1	42 896	-764	38 020	-170	-8 564	-74

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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
12 di 40

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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
13 di 40

VIADOTTO

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P02

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

$k_h \times \beta_m$	0.144 -	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_v \times \beta_m$	0.098 -	accelerazione verticale massima attesa al sito
$PP_{sd,h}$	1 604 kN	azione inerziale del plinto in direzione orizzontale
b_v	1.25 m	braccio della forza $PP_{sd,h}$ da intradosso plinto
$PP_{sd,v}$	1 087 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

$k_h \times \beta_m$	0.144 -	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$k_v \times \beta_m$	0.098 -	accelerazione verticale massima attesa al sito
$ST_{sd,h}$	451 kN	azione inerziale del terreno di ricoprimento in direzione orizzontale
b_v	3.00 m	braccio della forza $ST_{sd,h}$ da intradosso plinto
$ST_{sd,v}$	306 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 kNm	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P2-V2max-SIS.TH.1	49 644	4 602	-74 578	-661	6 021	159
2	P2-V2min-SIS.TH.1	50 846	-4 550	71 977	-1 028	-21 440	-118
3	P2-M3max-SIS.TH.1	50 165	4 114	-87 021	-934	-18 787	167
4	P2-M3min-SIS.TH.1	49 021	-4 084	85 119	802	12 744	-133
5	P2-V3max-SIS.TH.1	49 575	-930	32 275	-4 206	-57 227	-39
6	P2-V3min-SIS.TH.1	47 537	1 466	-42 959	4 444	86 177	62
7	P2-M2max-SIS.TH.1	46 937	-1 683	44 623	-3 786	-83 077	-56
8	P2-M2min-SIS.TH.1	50 196	1 403	-37 355	4 254	91 204	56
9	P2-Tmax-SIS.TH.1	51 382	-3 539	71 400	-886	-5 826	-196
10	P2-Tmin-SIS.TH.1	47 144	3 581	-65 965	701	-349	227
11	P2-Pmax-SIS.TH.1	41 601	1 215	-30 338	-947	-10 042	37
12	P2-Pmin-SIS.TH.1	56 729	-1 467	48 108	-631	-5 224	-97

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
14 di 40

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

P02

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 m²

area sezione trasversale della pila

ANALISI DEI CARICHI

a) PLINTO DI FONDAZIONE - Carico verticale

γ_{cls}

25.00 kN/m³

PP

11 138 kN

peso proprio del plinto

γ_{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

$\gamma_{terreno}$ ricoprimento

20.00 kN/m³

ST

3 134 kN

sovraccarico terreno imbarcato

γ_{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.

ID	STATICO_SLU_STR	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P2-V2max-SLUstr.13	55 222	3 135	-123 118	428	13 765	204
2	P2-V2min-SLUstr.6	68 503	-3 144	124 684	-470	-14 425	-203
3	P2-M3max-SLUstr.13	55 222	3 108	-124 104	428	13 765	204
4	P2-M3min-SLUstr.6	68 503	-3 115	125 724	-470	-14 425	-203
5	P2-V3max-SLUstr.12	53 587	-1 576	67 644	-3 000	-109 167	-135
6	P2-V3min-SLUstr.5	62 185	1 546	-66 792	2 965	119 455	140
7	P2-M2max-SLUstr.5	64 671	-1 559	67 644	-2 397	-129 827	-136
8	P2-M2min-SLUstr.12	51 066	1 549	-66 202	2 380	140 446	141
9	P2-Tmax-SLUstr.13	54 754	-2 612	111 912	-1 732	-80 102	-216
10	P2-Tmin-SLUstr.6	63 158	2 607	-112 339	1 737	86 763	220
11	P2-Pmax-SLUstr.12	47 969	1 539	-65 443	2 461	122 854	142
12	P2-Pmin-SLUstr.1	78 125	-1 143	60 957	-247	-13 561	-111

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLV10103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL V10103 C03

Rev.
A

Foglio
15 di 40

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

Nella Tabella 7-10 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).

VIADOTTO

ID PILA

VERIFICA

TIPO DI APPROCCIO

VI01

P02

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

γ_{cls}	25.00 kN/m ³	
PP	11 138 kN	peso proprio del plinto
γ_{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 SLU
b_1	1.25 m	quota del punto di applicazione della forza da intradosso plinto

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 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_SLE	F_x kN	F_y kN	M_z kNm	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
1	P2-V2max-SLEqp.1	50 062	889	-37 978	137	4 160	66
2	P2-V2min-SLEqp.1	50 082	-894	38 223	-169	-4 941	-65
3	P2-M3max-SLEqp.1	50 062	889	-37 978	137	4 160	66
4	P2-M3min-SLEqp.1	50 082	-894	38 223	-169	-4 941	-65
5	P2-V3max-SLEqp.1	50 082	-894	38 223	-169	-4 941	-65
6	P2-V3min-SLEqp.1	47 991	880	-37 511	190	3 585	66
7	P2-M2max-SLEqp.1	48 163	-881	37 582	-73	-7 593	-65
8	P2-M2min-SLEqp.1	49 881	885	-37 784	109	6 899	66
9	P2-Tmax-SLEqp.1	50 239	-872	37 331	-135	-6 852	-66
10	P2-Tmin-SLEqp.1	47 805	876	-37 320	172	6 152	67
11	P2-Pmax-SLEqp.1	47 805	876	-37 320	172	6 152	67
12	P2-Pmin-SLEqp.1	50 268	-890	38 052	-151	-7 509	-66

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
16 di 40

ID	STATICO_SLE	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
13	P2-V2max-SLEf.3	50 061	1 066	-45 521	165	5 043	79
14	P2-V2min-SLEf.3	50 079	-1 070	45 769	-198	-5 778	-78
15	P2-M3max-SLEf.3	50 061	1 066	-45 521	165	5 043	79
16	P2-M3min-SLEf.3	50 079	-1 070	45 769	-198	-5 778	-78
17	P2-V3max-SLEf.1	50 082	-894	38 252	-517	-5 886	-65
18	P2-V3min-SLEf.1	47 991	880	-37 536	538	4 525	66
19	P2-M2max-SLEf.2	47 943	-878	37 494	-413	-22 681	-68
20	P2-M2min-SLEf.2	49 369	880	-37 606	442	23 544	70
21	P2-Tmax-SLEf.3	50 273	-1 048	44 844	-160	-8 202	-79
22	P2-Tmin-SLEf.3	47 768	1 052	-44 802	196	7 548	80
23	P2-Pmax-SLEf.2	47 294	871	-37 138	505	22 793	70
24	P2-Pmin-SLEf.1	53 596	-890	38 252	-151	-7 603	-66

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

ID	STATICO_SLE	F_x kN	F_y kN	M_z kN	F_z kNm	M_y kNm	M_x kNm
25	P2-V2max-SLEr.6	50 060	2 093	-82 143	284	9 082	136
26	P2-V2min-SLEr.6	50 067	-2 100	82 314	-319	-9 618	-135
27	P2-M3max-SLEr.6	50 060	2 073	-82 874	284	9 082	136
28	P2-M3min-SLEr.6	50 067	-2 079	83 084	-319	-9 618	-135
29	P2-V3max-SLEr.5	48 976	-1 053	45 238	-2 039	-73 113	-90
30	P2-V3min-SLEr.5	45 435	1 030	-43 988	2 020	79 521	94
31	P2-M2max-SLEr.5	47 093	-1 039	44 521	-1 589	-87 736	-91
32	P2-M2min-SLEr.5	47 289	1 034	-44 261	1 586	94 777	94
33	P2-Tmax-SLEr.6	49 748	-1 740	74 577	-1 155	-53 512	-144
34	P2-Tmin-SLEr.6	46 084	1 738	-74 049	1 166	57 665	147
35	P2-Pmax-SLEr.5	44 766	1 025	-43 724	1 650	81 720	95
36	P2-Pmin-SLEr.1	57 169	-764	39 931	-170	-8 990	-74

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
17 di 40

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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
18 di 40

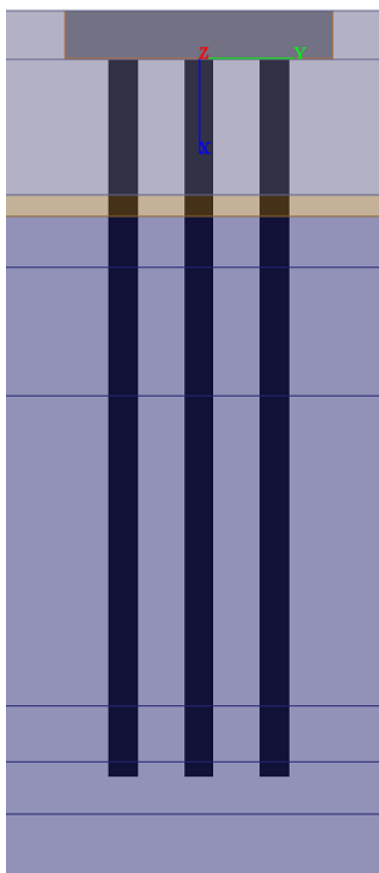


Figura 8-1 - Vista frontale del modello GROUPv2016.

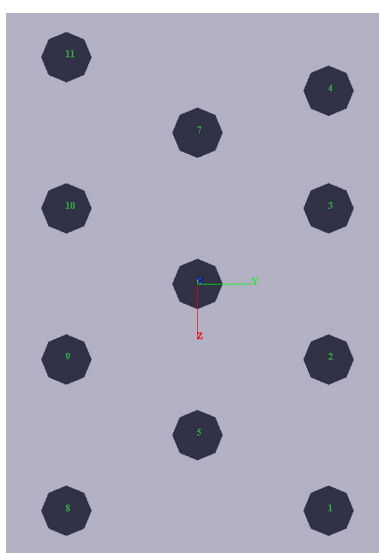


Figura 8-2 - Vista planimetrica del modello GROUPv2016.

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 rigidezza del terreno sono stati assunti in accordo ai criteri illustrati nella relazione Rif. [4] § 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.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
19 di 40

Unità	p-y model	ϕ' (°)	k (kPa)	K _{rm}	σ_{ci} (MPa)	E _i (MPa)	RQD	q _s (kPa)	q _b (kPa)
COL1	"sand"	30	16 300					13.60-32.00	293-689
DAL	"Stiff Clay with Free Water"		55 000					40.00	631-652
ARGalt	"weak rock"			0.0005	2 000	900 000	15	112.00	507-610
ARG	"weak rock"			0.0005	5 500	3 410 000	50	224.90	2087-2625
ARGcat	"weak rock"			0.0005	3 000	1 350 000	17	140.50	1081-1644
ARG	"weak rock"			0.0005	5 500	3 410 000	50	224.90	1644-2934
ARG	"weak rock"			0.0005	5 500	3 410 000	50	224.90	2934-1828
ARGcat	"weak rock"			0.0005	3 000	1 350 000	17	140.50	1828-1971
ARG	"weak rock"			0.0005	5 500	3 410 000	50	224.90	4147-4823

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 (0'Neil)	-2.5	0.01	1: API Sand
2	API Sand (0'Neil)	0.01	7.05	2: API Sand
3	Stiff Clay with Free Water (Reese)	7.05	8.15	3: Stiff Clay with Free Water
4	Weak Rock (Reese)	8.15	10.75	4: Weak Rock
5	Weak Rock (Reese)	10.75	17.35	5: Weak Rock
6	Weak Rock (Reese)	17.35	33.35	6: Weak Rock
7	Weak Rock (Reese)	33.35	36.26	7: Weak Rock
8	Weak Rock (Reese)	36.26	38.95	8: Weak Rock
9	Weak Rock (Reese)	38.95	43.55	9: Weak Rock
10	Weak Rock (Reese)	43.55	57	10: Weak Rock

Figura 8-3 - Stratigrafia modello GROUP-v2016.

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	30	16300	1	1
2	19	30	16300	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 (COL1 sopra falda)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
20 di 40

APISand 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	9	30	16300	13.6	293
2	9	30	16300	32	689

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 (COL1 sotto falda)

Stiff Clay with Free Water 3

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	50	55000	0.007	40	631
2	9	50	55000	0.007	40	652

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 8-6 - Layer no.3 (DAL)

Weak Rock 4

1=Top, 2=Bottom	Effective Unit Weight (kN/m ³)	Uniaxial Compressive Strength, q _u , (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	900000	0.0005	15	112	507
2	16.5	2000	900000	0.0005	15	112	610

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 siltstones 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 (ARGalt)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
21 di 40

Weak Rock 5

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	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	2087
2	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	2625

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 siltstones 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 (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	3000	1350000	0.0005	17	140.5	1081
2	16.5	3000	1350000	0.0005	17	140.5	1644

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 siltstones 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 (ARGcat)

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	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	1644
2	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	2934

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 siltstones 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 8-10 - Layer no.7 (ARG)

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
22 di 40

Weak Rock 8							
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	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	2934
2	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	1828

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 8-11 - Layer no.8 (ARG)

Weak Rock 9							
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	3000	1350000	0.0005	17	140.5	1828
2	16.5	3000	1350000	0.0005	17	140.5	1971

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.9 (ARGcat)

Weak Rock 10							
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	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	4147
2	17	5500	3410000	0.0005	50	224.9	4823

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 8-12 - Layer no.10 (ARG)

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
23 di 40

	Prof. (m)	Palo	Combinazione	N (kN)	M (kNm)	V (kN)
Massima Compressione	0.00	11	33	8 525	265	255
Min Compressione / Max Trazione	8.88	11	32	145	131	305
Massimo Momento	0.00	1	30	7 708	433	265
Massimo Taglio	8.88	7	29	5 451	161	373

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

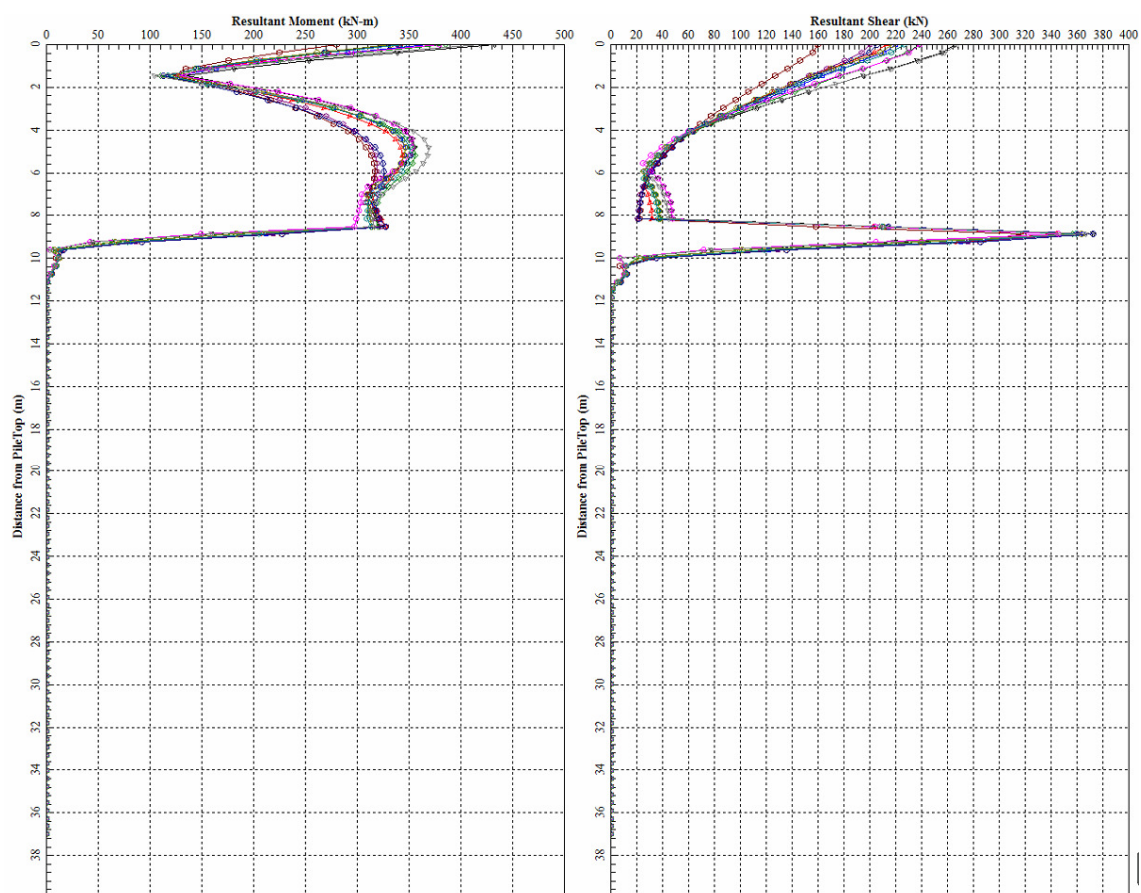


Figura 8-13 - Combinazioni SLE: Involuppo massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
24 di 40

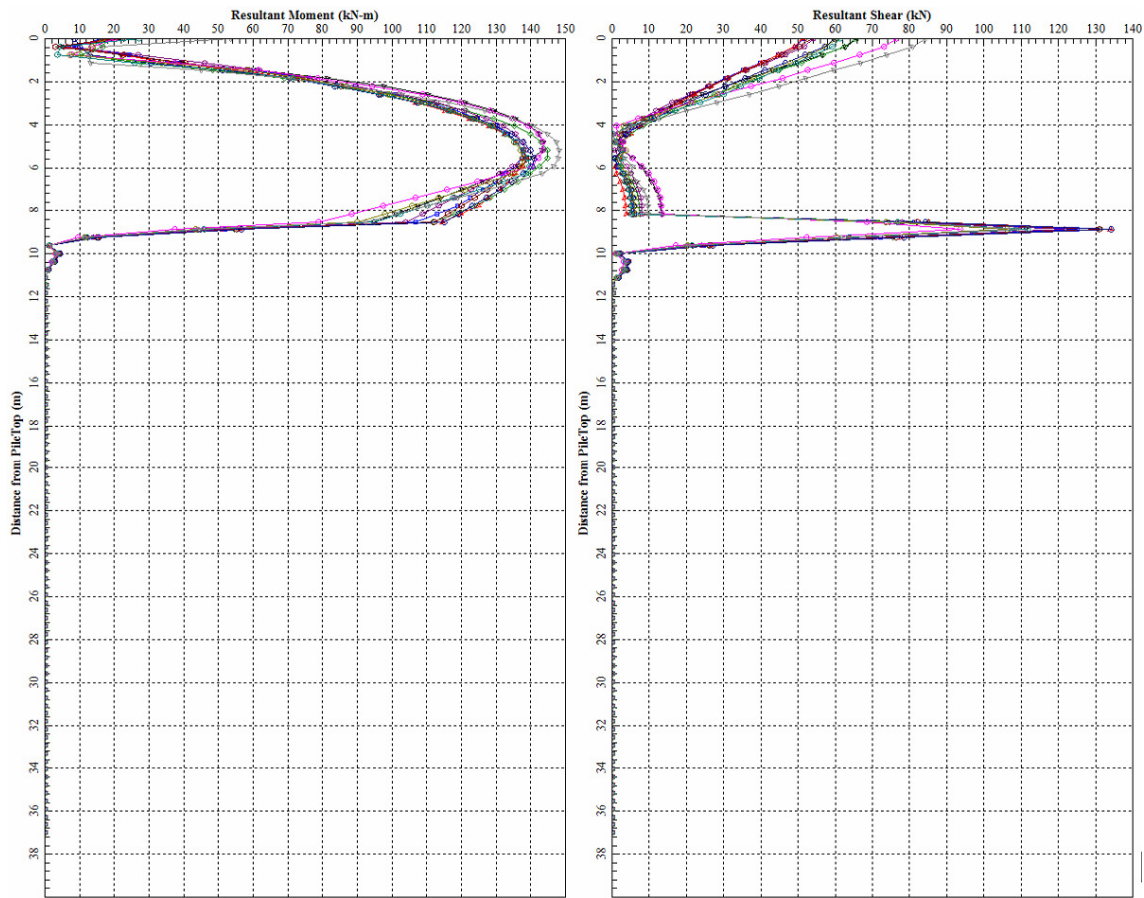


Figura 8-14 - Combinazioni SLE: Involuppo minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLV10103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL V10103 C03

Rev.
A

Foglio
25 di 40

8.2.1 Spostamenti

Nella Tabella 8-3 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 8-4 (vedasi relazione generale sui criteri Rif. [4] § 8.4), risulta:

$$\delta_{\max} = 2.10E-03 \times 2.62 = 0.005502 \text{ m} = 5.50 \text{ mm.}$$

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	1.83E-03	6.80E-04	4.08E-05	-2.10E-06	-1.28E-04	5.81E-03	1.25E-04
2	1.84E-03	-6.81E-04	-1.03E-04	-1.50E-05	1.29E-04	4.46E-03	4.96E-04
3	1.83E-03	6.80E-04	4.08E-05	-2.10E-06	-1.28E-04	5.81E-03	1.25E-04
4	1.84E-03	-6.81E-04	-1.03E-04	-1.50E-05	1.29E-04	4.46E-03	4.96E-04
5	1.84E-03	-6.81E-04	-1.03E-04	-1.50E-05	1.29E-04	4.46E-03	4.96E-04
6	1.76E-03	6.72E-04	5.81E-05	-2.48E-06	-1.27E-04	5.73E-03	1.57E-04
7	1.77E-03	-6.69E-04	-8.04E-05	-1.88E-05	1.26E-04	4.38E-03	6.70E-04
8	1.83E-03	6.76E-04	4.43E-05	2.48E-06	-1.27E-04	5.77E-03	1.44E-04
9	1.84E-03	-6.64E-04	-1.00E-04	-1.82E-05	1.25E-04	4.35E-03	6.26E-04
10	1.75E-03	6.68E-04	6.44E-05	1.86E-06	-1.26E-04	5.70E-03	1.39E-04
11	1.75E-03	6.68E-04	6.44E-05	1.86E-06	-1.26E-04	5.70E-03	1.39E-04
12	1.84E-03	-6.77E-04	-1.09E-04	-1.93E-05	1.28E-04	4.44E-03	6.64E-04
13	1.83E-03	8.15E-04	5.39E-05	-8.74E-07	-1.54E-04	6.96E-03	8.89E-05
14	1.84E-03	-8.15E-04	-1.17E-04	-1.62E-05	1.54E-04	5.35E-03	5.31E-04
15	1.83E-03	8.15E-04	5.39E-05	-8.74E-07	-1.54E-04	6.96E-03	8.89E-05
16	1.84E-03	-8.15E-04	-1.17E-04	-1.62E-05	1.54E-04	5.35E-03	5.31E-04
17	1.84E-03	-6.81E-04	-2.33E-04	-1.83E-05	1.29E-04	4.46E-03	5.00E-04
18	1.76E-03	6.72E-04	1.89E-04	8.52E-07	-1.27E-04	5.73E-03	2.23E-04
19	1.76E-03	-6.66E-04	-2.78E-04	-4.62E-05	1.25E-04	4.34E-03	1.57E-03
20	1.81E-03	6.70E-04	2.48E-04	3.27E-05	-1.26E-04	5.71E-03	1.56E-03
21	1.84E-03	-7.99E-04	-1.15E-04	-2.02E-05	1.51E-04	5.23E-03	6.94E-04
22	1.75E-03	8.02E-04	7.87E-05	3.96E-06	-1.51E-04	6.84E-03	2.37E-04
23	1.73E-03	6.62E-04	2.68E-04	3.20E-05	-1.24E-04	5.63E-03	1.55E-03
24	1.97E-03	-6.80E-04	-1.11E-04	-2.01E-05	1.29E-04	4.47E-03	6.92E-04
25	1.84E-03	1.54E-03	1.11E-04	4.66E-06	-2.81E-04	1.28E-02	2.97E-04
26	1.85E-03	-1.54E-03	-1.76E-04	-2.17E-05	2.81E-04	9.69E-03	6.91E-04
27	1.84E-03	1.54E-03	1.11E-04	4.63E-06	-2.83E-04	1.29E-02	2.96E-04
28	1.85E-03	-1.54E-03	-1.76E-04	-2.17E-05	2.83E-04	9.78E-03	6.90E-04
29	1.81E-03	-8.08E-04	-1.13E-03	-1.42E-04	1.50E-04	5.19E-03	4.53E-03
30	1.66E-03	7.88E-04	1.11E-03	1.37E-04	-1.45E-04	6.60E-03	6.60E-03
31	1.75E-03	-7.93E-04	-1.04E-03	-1.64E-04	1.47E-04	5.09E-03	5.53E-03
32	1.72E-03	7.90E-04	1.03E-03	1.61E-04	-1.46E-04	6.64E-03	7.48E-03
33	1.84E-03	-1.33E-03	-7.03E-04	-1.03E-04	2.51E-04	8.72E-03	3.41E-03
34	1.69E-03	1.33E-03	6.79E-04	9.42E-05	-2.49E-04	1.13E-02	4.45E-03
35	1.63E-03	7.82E-04	9.84E-04	1.39E-04	-1.44E-04	6.55E-03	6.55E-03
36	2.10E-03	-6.50E-04	-1.27E-04	-2.32E-05	1.33E-04	4.69E-03	8.01E-04

Tabella 8-3 - Combinazioni SLE: spostamenti e rotazioni ad intradosso plinto.

B (y)	9.30	m	larghezza
L (z)	14.50	m	lunghezza
D	37.00	m	profondità
i	4.50	m	interasse pali
n°	11.00		numero pali
E_G	2.62		Coefficiente amplificativo del cedimento per effetto gruppo

Tabella 8-4 - Coefficiente amplificativo del cedimento verticale per effetto gruppo.

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

Nella 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 in cui esse si verificano.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
26 di 40

In Figura 8-16 sono diagrammati gli involuppi 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	11 675	387	341
Min. Compressione / Max. Trazione	0.00	11	8	-1 637	270	253
Massimo Momento	0.00	1	6	10 836	623	394
Massimo Taglio	8.88	4	5	5 199	258	481

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

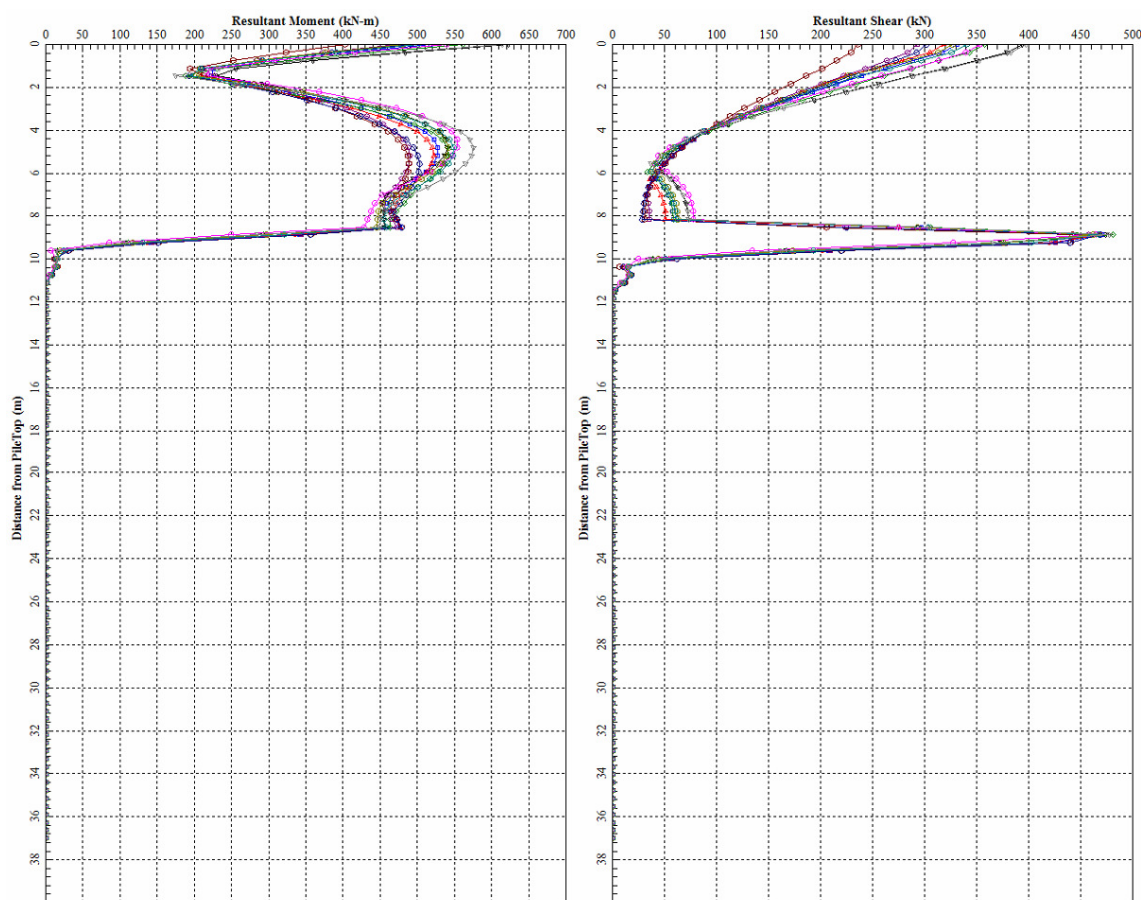


Figura 8-15 - Combinazione statica SLU: involucro massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
27 di 40

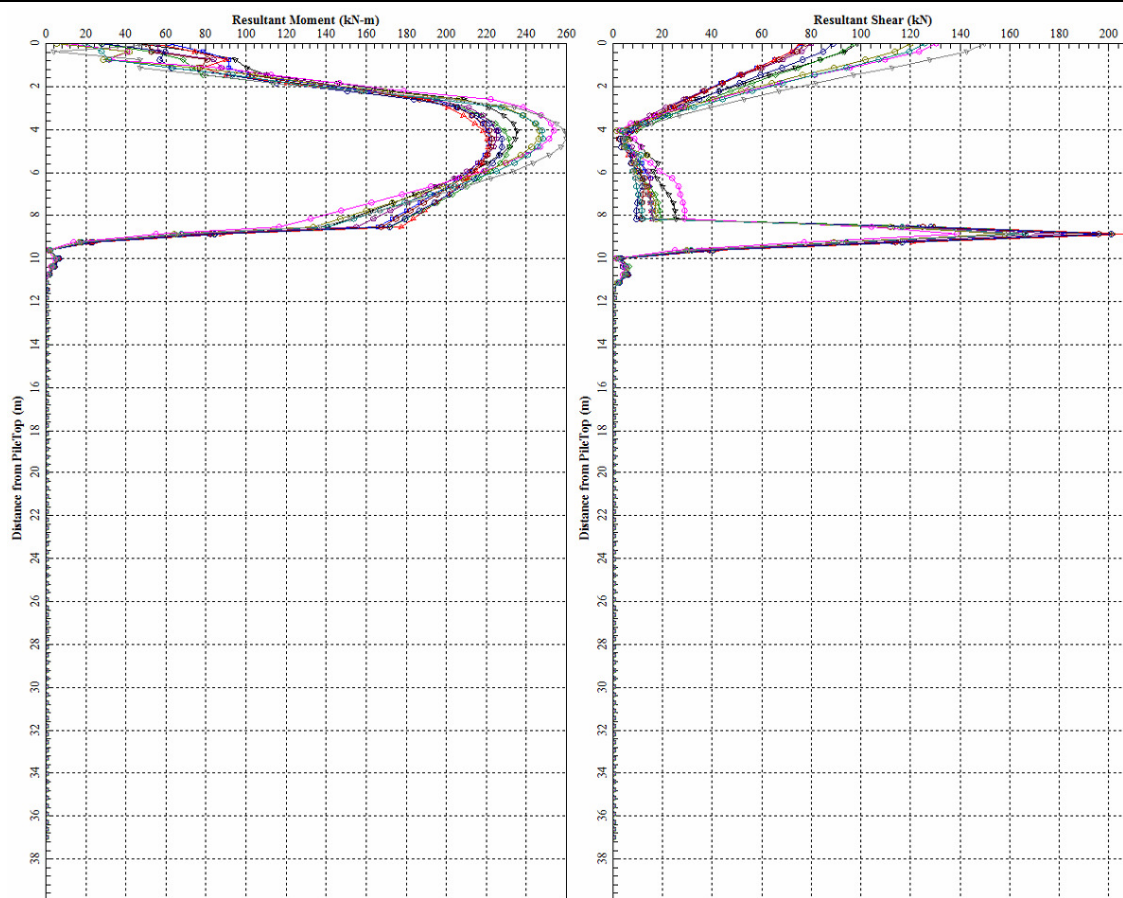


Figura 8-16 - Combinazione statica SLU: involucro minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

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

Nella Tabella 8-6 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 8-18 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	8	8 429	1 094	522
Min Compressione / Max Trazione	8.88	1	7	34	390	539
Massimo Momento	0.00	1	6	8 251	1 159	544
Massimo Taglio	8.88	11	2	7 178	330	636

Tabella 8-6 - Combinazioni sismiche SLV: Sollecitazioni massime con relativa combinazione e numero di palo in cui esse si verificano.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
28 di 40

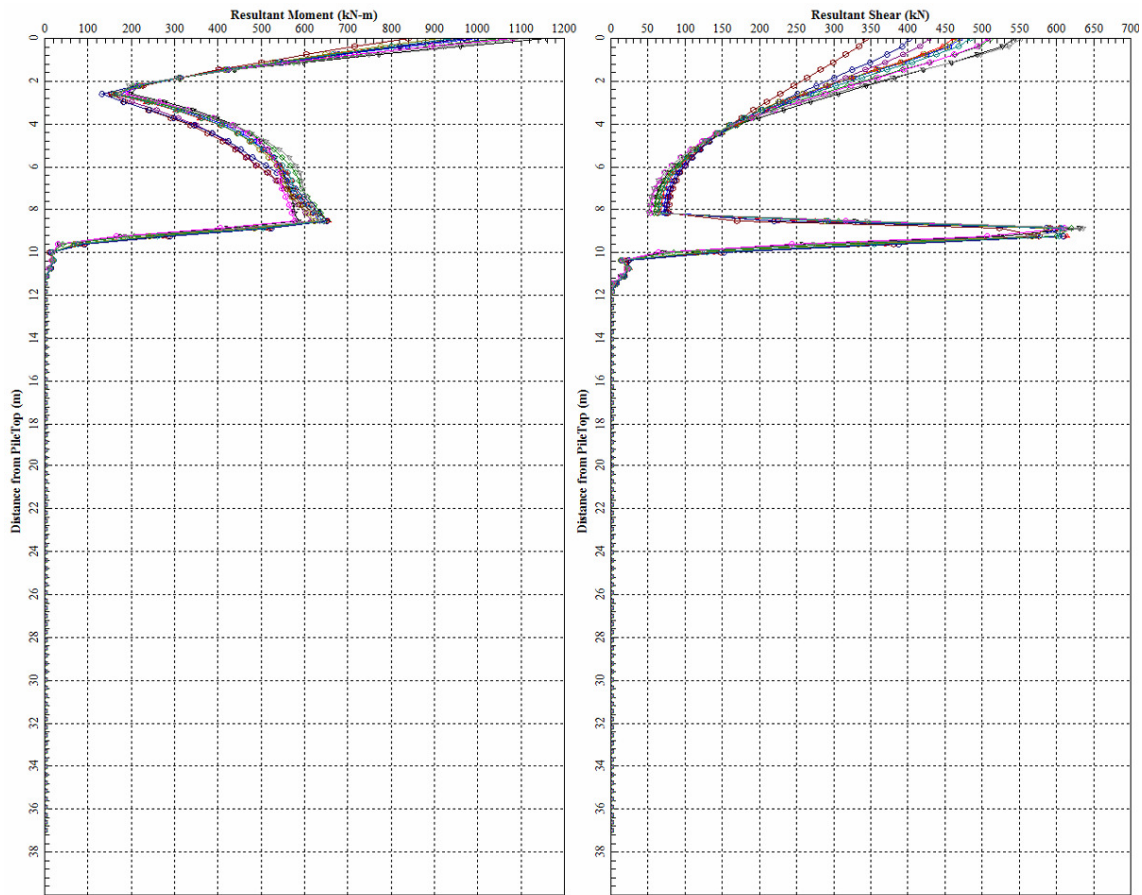


Figura 8-17 - Combinazione sismica SLV: Involuppo massimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
29 di 40

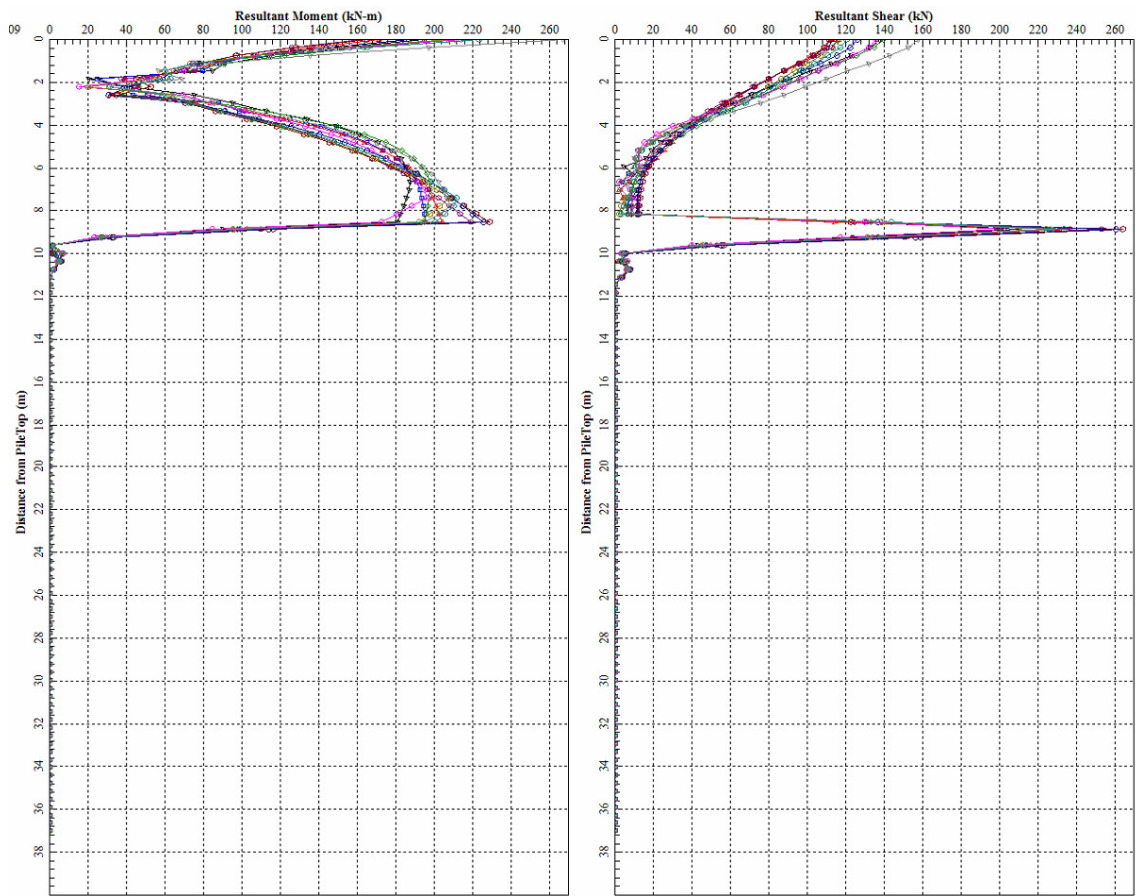




Figura 8-18 - Combinazione sismica SLV: Involuppo minimo dell'andamento con la profondità del momento e del taglio.

Contraente 	Progettista 
Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A	Progetto NG12 Lotto 00 Codifica Documento E 09 CL VI0103 C03 Rev. A Foglio 30 di 40

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. [4]§ 5-9.2.2; vedasi anche la relazione Rif. [5].

In Figura 9-1 si riporta, per i pali di lunghezza 37.0 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							TRAZIONE					
DA2. Capacità portante compressione A1+M1+R3							DA2. Capacità portante trazione 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	L m	$R_{t,s,cal}$ kN	$R_{t,b,cal}$ kN	W'_p kN	$R_{t,calc}$ kN	$R_{t,d}$ kN
37	23 803	19 043	4 649	981	27 471	12 926	37	19 043		981	20 024	9 942

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 8-5 e Tabella 8-6).

	E_d [kN]
Massima compressione, $N_{cd,max}$ [kN]	11 675 (SLU)
Massima trazione, $N_{td,max}$ [kN]	1636-(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	8 525 (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	11 675 (SLU)	≤	12 926	VERIFICATO
Massima trazione	1 636 (SLU)	≤	9 942	VERIFICATO
Massima compressione esercizio	8 525 (SLE)	≤	19 043	VERIFICATO

Tabella 9-4 - Sintesi delle verifiche di capacità portante

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
31 di 40

VI01-P2 - DA2 - Capacità Portante A1+M1+R3 - Palo diametro 1500mm

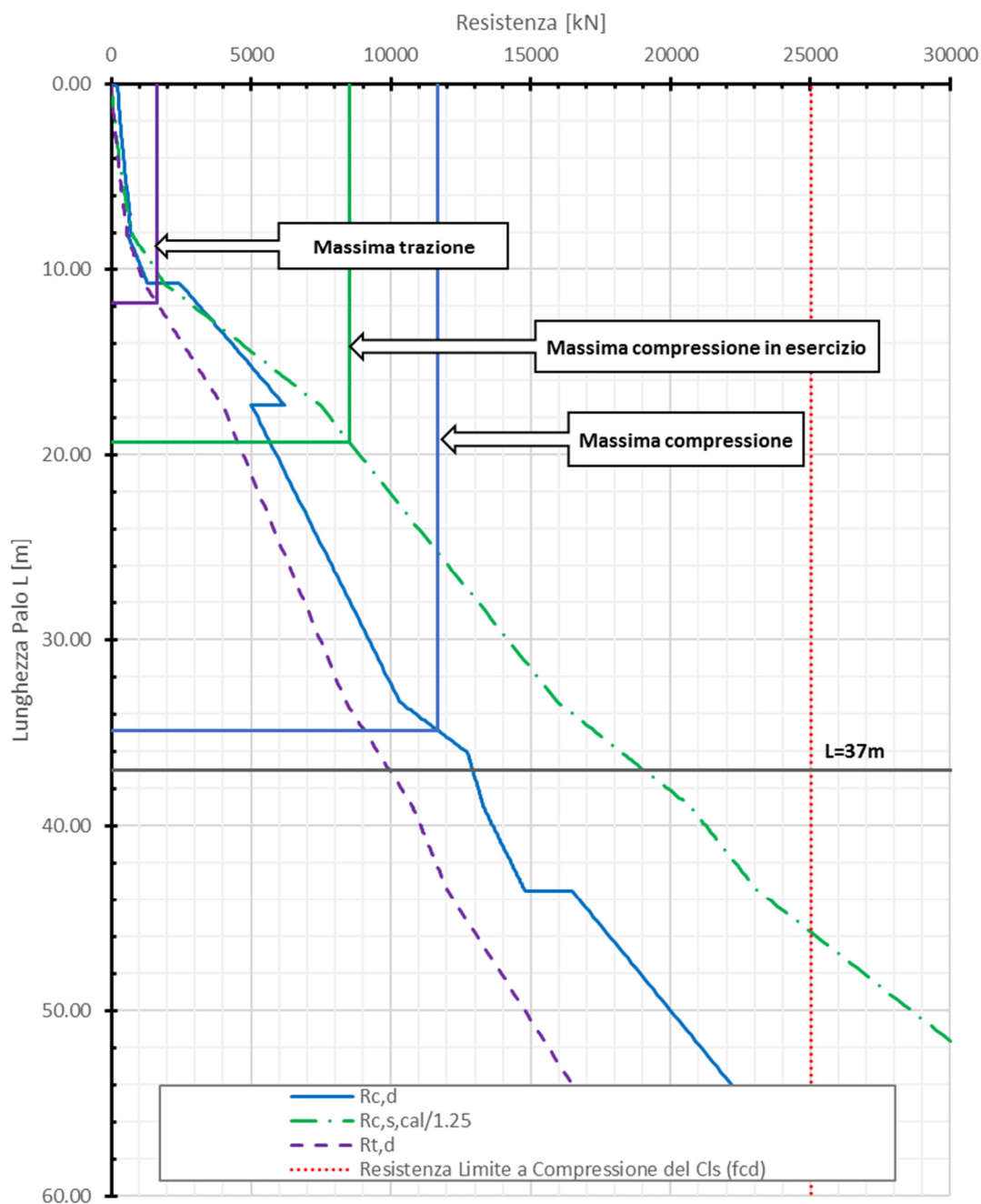


Figura 9-1 - Curve di capacità portante del palo singolo

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. [4]§ 7.1.

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLV10103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL V10103 C03

Rev.
A

Foglio
32 di 40

Capacità portante verticale del blocco (BS 8004:2015)

A1+M1+R3

B (y)	9.30	m	larghezza
L (z)	14.50	m	lunghezza
D	37.00	m	profondità
Ø	1.50	m	diametro palo
Area	1.77	m ²	area palo
n°	11		numero pali
γ _{R, cap. port.}	2.30		coefficiente di sicurezza globale per capacità portante

Strato 1: COL1

φ _{laterale}	30.00	°	angolo di resistenza al taglio
k ₀	0.50		coefficiente di spinta a riposo
σ _v	79.23	kPa	pressione verticale efficace media sulle superficie laterale
S _{block}	0.74		fattore di forma
q _{s, k}	17.0	kPa	portanza laterale
A _{s1}	336	m ²	area laterale

Strato 2: DAL

S _{block}	0.74		fattore di forma
c _{u, s, k}	50	kPa	coesione non drenata
q _{s, k}	37	kPa	portanza laterale
A _{s2}	52	m ²	area laterale

Strato 3: ARGalt

ξ ₃	1.00	-	fattore di confidenza
S _{block}	0.74		fattore di forma
q _s	112	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s, k}	83	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s2}	124	m ²	area laterale

Strato 4: ARG

ξ ₃	1.00	-	fattore di confidenza
S _{block}	0.74		fattore di forma
q _s	224.9	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s, k}	167	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s2}	314	m ²	area laterale

Strato 5: ARGcat

ξ ₃	1.00	-	fattore di confidenza
S _{block}	0.74		fattore di forma
q _s	140.5	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s, k}	104	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s2}	762	m ²	area laterale

Strato 6: ARG

ξ ₃	1.00	-	fattore di confidenza
S _{block}	0.74		fattore di forma
q _s	224.9	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s, k}	167	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s2}	139	m ²	area laterale

Strato 7: ARG

ξ ₃	1.00	-	fattore di confidenza
S _{block}	0.74		fattore di forma
q _s	224.9	kPa	adesione laterale palo singolo
q _{s, k}	167	kPa	portanza laterale caratteristica
A _{s2}	35	m ²	area laterale
q _b	2612	kPa	portanza limite palo singolo alla base
q _{b, k}	2612		portanza alla base caratteristica
A _b	135	m ²	area della base
R _{block, c, d}	231 007	kN	resistenza di progetto

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

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
33 di 40

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]	78 125 (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. [4] § costruendo il dominio di resistenza sulla base dei tagli resistenti nelle due direzioni.

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:

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

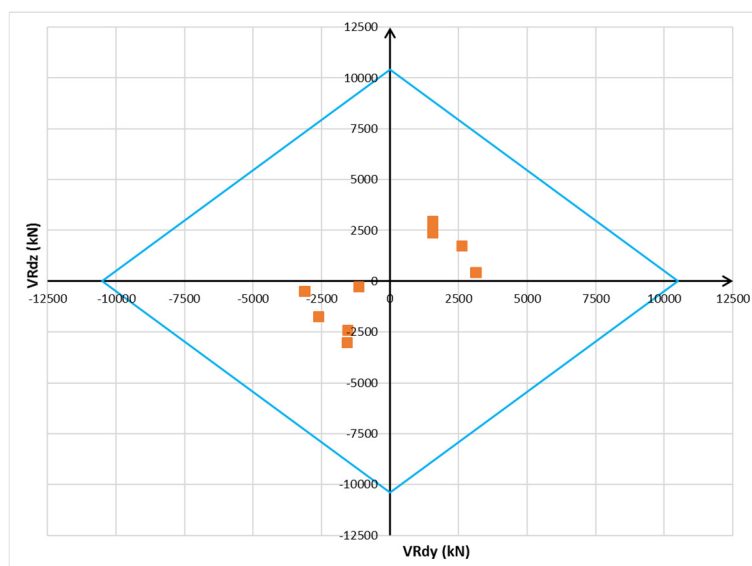


Figura 9-2 - Dominio di resistenza per la verifica alle azioni orizzontali per combinazione SLU

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
34 di 40

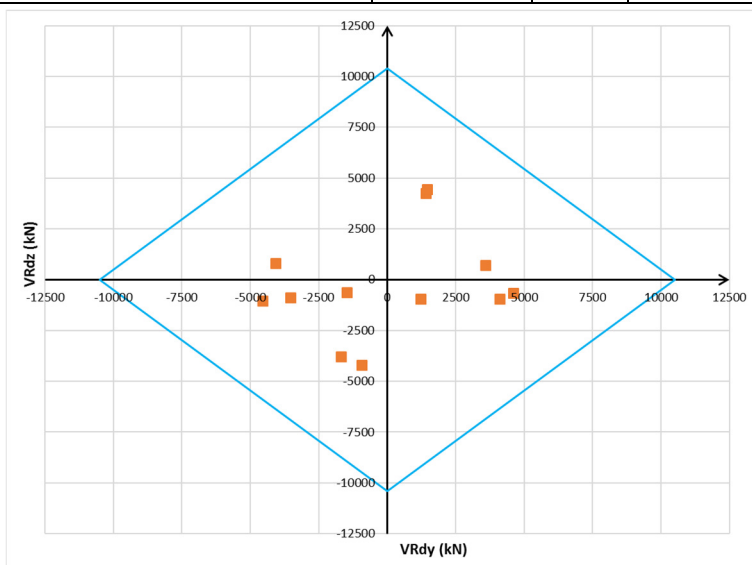


Figura 9-3 - Dominio di resistenza per la verifica alle azioni orizzontali per combinazione SLV

Contraente



Progettista



Doc. N. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
35 di 40

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 e n.2) è riportata nella figura seguente.

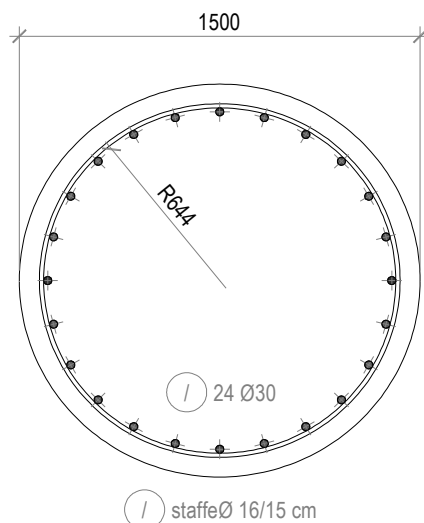


Figura 10-1 - Armatura palo.

Numero Gabbia	Lunghezza gabbia [m]	Armatura longitudinale	Armatura a taglio
1-2	12.00	24Ø30	Ø16/150
3	12.00	24Ø26	Ø12/150
4	7.20	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.

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 8-5; come risulta dalla Figura 8-15, Figura 8-16 a profondità maggiori di 10.0 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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
36 di 40

	Palo	ID	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	FS [-]
Massima Compressione	11	7	11 675	387	17.92
Min Compressione / Max Trazione	11	8	-1 637	270	11.24
Massimo Momento	1	6	10 836	623	11.02
Massimo Taglio	4	5	5 199	258	22.51

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 18.80m (fine della seconda gabbia di armatura). Tutti i punti N-M sono all'interno del dominio, pertanto la verifica è soddisfatta.

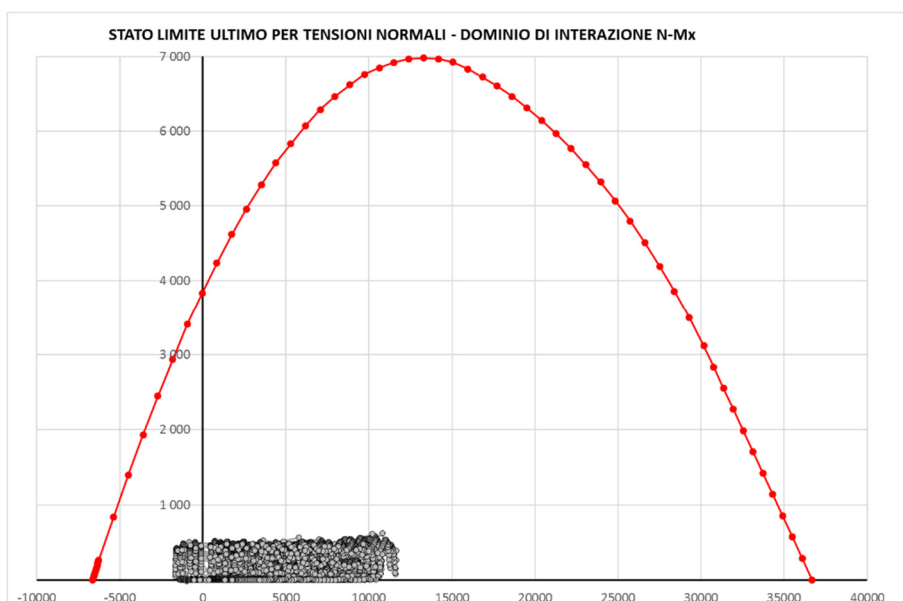


Figura 10-2 – Dominio di interazione N-M per la combinazione SLU

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 8-5; come risulta dalla Figura 8-15, Figura 8-16 a profondità maggiori di 11.0 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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
37 di 40

	Palo	ID	V_{sd} [kN]	V_{Rd} [kN]	FS [-]
Massima Compressione	11	7	341	2 410	7.06
Min Compressione / Max Trazione	11	8	253	3 118	12.31
Massimo Momento	1	6	394	2 439	6.20
Massimo Taglio	4	5	481	2 670	5.55

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 8-6; come risulta dalla Figura 8-17, Figura 8-18, a profondità maggiori di 10.0 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	8	8 429	1 094	5.11
Min Compressione / Max Trazione	1	7	34	390	6.90
Massimo Momento	1	6	8 251	1 159	4.82
Massimo Taglio	11	2	7 178	330	16.31

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 18.80m (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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
38 di 40

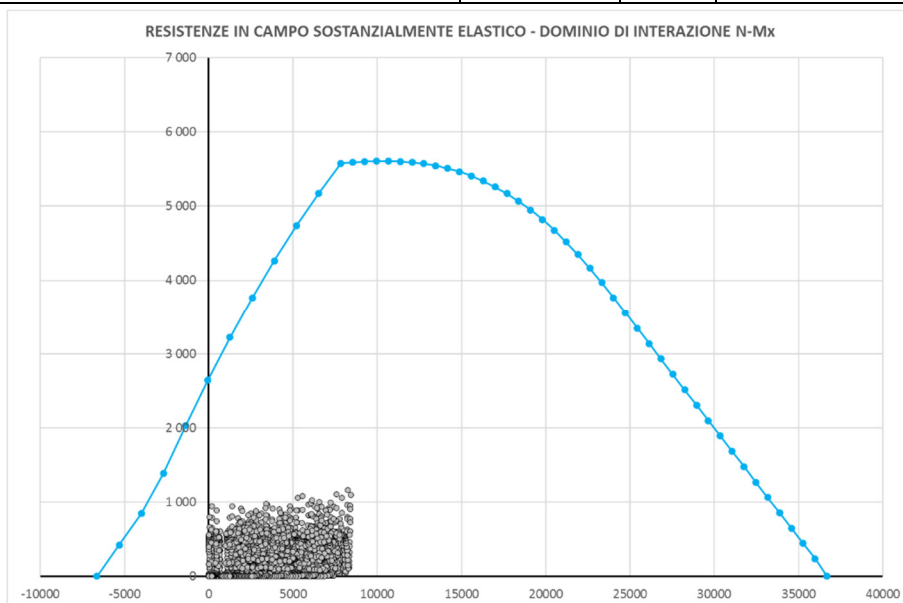


Figura 10-3– Dominio di interazione N-M per la combinazione SLV in campo sostanzialmente elastico

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 8-6; come risulta dalla Figura 8-17, Figura 8-18, a profondità maggiori di 11.0 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	8	522	2 439	4.67
Min Compressione / Max Trazione	1	7	539	2 785	5.17
Massimo Momento	1	6	544	2 446	4.50
Massimo Taglio	11	2	636	2 477	3.89

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. NG1200E09CLVI0103C03A		Progetto NG12	Lotto 00	Codifica Documento E 09 CL VI0103 C03	Rev. A	Foglio 39 di 40

- 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;
- w_k : valore calcolato di apertura della fessura.

SLE-FREQUENTE						
	Palo	ID	N_{sd} [kN]	M_{sd} [kNm]	$w_{k,lim}$ [mm]	w_k [mm]
Massima Compressione	11	24	6 438	96	0.2	0.00
Min. Compressione / Max. Trazione	1	19	2 136	60	0.2	0.00
Massimo Momento	11	14	6 097	197	0.2	0.00
Massimo Taglio	3	14	2 829	83	0.2	0.00

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	11	12	6 121	97	0.2	0.00
Min. Compressione / Max. Trazione	1	7	2 551	53	0.2	0.00
Massimo Momento	11	2	5 842	165	0.2	0.00
Massimo Taglio	3	2	3 043	69	0.2	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. NG1200E09CLVI0103C03A

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 09 CL VI0103 C03

Rev.
A

Foglio
40 di 40

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	33	8 525	265	4.88	3.56	54.80
Min Compressione / Max Trazione	11	32	145	131	0.57	0.00	-10.30
Massimo Momento	1	30	7 708	433	4.89	2.73	43.30
Massimo Taglio	7	29	5 451	161	3.10	2.30	35.30

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]
Massima Compressione	11	12	6 121	97	3.27	2.79
Min Compressione / Max Trazione	1	7	2 551	53	1.39	1.13
Massimo Momento	11	2	5 842	165	3.30	2.48
Massimo Taglio	3	2	3 043	69	1.68	1.33

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.