

autostrade // per l'italia

AUTOSTRADA (A1) : MILANO NAPOLI

AMPLIAMENTO ALLA QUARTA CORSIA
DEL TRATTO MILANO SUD (Tang. Ovest) – LODI

PROGETTO DEFINITIVO

GEOTECNICA

Opere provvisionali

Relazione tecnica

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Tiziano Collotta Ord. Ingg. Lecco N. 122 RESPONSABILE UFFICIO APE	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Massimiliano Giacobbi Ord. Ingg. Milano N. 20746 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO MILANO	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
---	---	--

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO					DATA: APRILE 2011	REVISIONE												
	DIRETTORIO		FILE				n.	data											
—	codice	commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo														
—	1	1	0	1	5	9	0	1	A	P	E	0	0	1	5	—	—		
	SCALA:					—													

 ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Federica Ferrari	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI : —
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI : —
CONSULENZA A CURA DI : —	IL RESPONSABILE UFFICIO GEI	Ing. Tiziano Collotta O.I. Lecco N. 122

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

I N D I C E

1.	INTRODUZIONE.....	2
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1	Documentazione	3
2.2	Normative e raccomandazioni.....	3
2.3	Bibliografia	4
3.	MATERIALI	6
4.	QUADRO PROGETTUALE	8
4.1	Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto	8
5.	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	9
6.	CRITERI DI VERIFICA	13
6.1	Criteri di verifica delle paratie	13
6.2	Vita utile dell'opera.....	16
6.3	Criteri di verifica degli ancoraggi.....	17
7.	VERIFICHE ESEGUITE	18
7.1	Parametri geotecnici utilizzati	18
7.2	Analisi sforzi-deformazioni.....	19
7.3	Verifica dei tubi di armatura dei micropali.....	19
7.4	Verifica dell'armatura dei tiranti.....	19
7.5	Verifica delle travi di ripartizione.....	20
7.6	Verifica a sfilamento dei tiranti	21
8.	PARATIE DI MICROPALI - DIMENSIONAMENTO	23
8.1	Dati di input	23
8.2	Risultati del programma PARATIE.....	28
8.2.1	Verifica dei tubi di armatura dei micropali.....	44
8.2.2	Verifica a sfilamento degli ancoraggi	44
8.2.3	Verifica dell'armatura degli ancoraggi	44
8.2.4	Verifica delle travi di ripartizione.....	46

1. INTRODUZIONE

La presente Relazione ha per oggetto

- l'esposizione dei criteri generali seguiti nel dimensionamento geotecnico delle Soluzioni Tipologiche per le paratie di sostegno previste nell'ambito del Progetto Definitivo per l'ampliamento alla 4^a Corsia dell'Autostrada A1 tratto Barriera di Milano Sud – Lodi in carreggiata nord e sud.
- l'esposizione dei risultati ottenuti nel calcolo di dimensionamento.

Si tratta di paratie di micropali con funzione provvisoria – berlinesi di sostegno degli scavi; tali opere sono rappresentate nelle Tavole seguenti:

Opere d'arte minori – Opere di sostegno – Berlinesi - Tipologie e dettagli costruttivi

GEI-APE 056

La presente relazione si articola come segue:

- il capitolo 2 elenca i documenti di riferimento;
- il capitolo 3 descrive i materiali;
- il capitolo 4 esamina il quadro in cui si inseriscono le opere, fornendo la stratigrafia ed i parametri geotecnici di progetto;
- il capitolo 5 riporta una descrizione sommaria delle opere in progetto;
- il capitolo 6 elenca i metodi seguiti nella verifica delle opere.
- il capitolo 7 ed il capitolo 8 illustrano le verifiche eseguite ed i risultati del dimensionamento

Si richiama il fatto che come Normativa di riferimento si sono utilizzate le *Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. del 14 gennaio 2008 (cfr. par. 2.2)*.

Le verifiche sismiche delle paratie provvisorie vengono omesse, in quanto si prevede per queste opere una durata inferiore a 2 anni (cfr. *par 2.4.1 – Vita Nominale - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*).

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione

Nella stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione:

- Relazione geotecnica di Progetto
- Relazione e Planimetria geologica di Progetto
- Profili geotecnici di progetto

2.2 Normative e raccomandazioni

1. Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. del 14 gennaio 2008
2. Decreto Ministeriale n. 47 (11/3/1988). "Norme Tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce; i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
3. Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.
4. EN 1997 Eurocodice 7 "Geotechnical Design"
 - Part 1: General rules
 - Part 2: Standards for laboratory testing
 - Part 3: Standards for field testing.

ASTM D4253 "Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table".

5. ASTM D4254 "Standard test method for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density".
6. ASTM D1557 "Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort".
7. CNR UNI 10009 "Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre".
8. CNR B.U., anno XXVI, n° 146 "Determinazione dei moduli di deformabilità M_d e M_d' mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
9. A.I.C.A.P. – "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni ", maggio 1993

2.3 Bibliografia

10. Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" *Geotechnique* 36, n° 3.
11. Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* 36 , n° 1.
12. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" *Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.*
13. Youd T.D. (1972) "Factors controlling maximum and minimum density of sands" *Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523.*
14. Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" *Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.*
15. Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.6.

16. Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
17. Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPT I.
18. Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995.

3. MATERIALI

Calcestruzzo

Pali	classe di resistenza minima	C25/30
	classe di esposizione	XC2
Cordolo paratie	classe di resistenza minima	C25/30
	classe di esposizione	XC2
Fondazioni muri	classe di resistenza minima	C28/35
	classe di esposizione	XC2
Elevazioni muri	classe di resistenza minima	C32/40
	classe di esposizione	XF2
Magrone di sottofondo	classe di resistenza minima	C12/15

Acciaio per armature ordinarie

acciaio in barre nervate B450C

$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$

$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$

Carpenteria metallica

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo saldati

- Tipo EN 10025-2 S355 J2+N – per spessori nominali $t \leq 40 \text{ mm}$
- Tipo EN 10025-2 S355 K2+N – per spessori nominali $t > 40 \text{ mm}$

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati

- o Tipo EN 10025-2 S355 J0+N

Acciaio in profili a sezione cava

- o Tipo EN 10210-1 S355 J0H+N

Tiranti

Tiranti permanenti classe 2 di protezione a trefoli in acciaio armonico

Trefoli	diametro nominale (pollici)	0.6"
	sezione nominale (mm ²)	139

Acciaio per tiranti in trefoli da 0.6" stabilizzati

tensione caratteristica a rottura	$f_{ptk} \geq 1870$ MPa
-----------------------------------	-------------------------

tensione caratteristica all'1% di deformaz. tot.	$f_{p(1)k} \geq 1670$ MPa
--	---------------------------

Miscela cementizia di iniezione tiranti

secondo N.T.A. – soggetto ad approvazione della D.L.

classe di resistenza minima	C25/30
-----------------------------	--------

classe di esposizione	XC2
-----------------------	-----

eventuali additivi secondo N.T.A.

Calcestruzzo proiettato (UNI10834)

secondo N.T.A. – soggetto ad approvazione della D.L.

classe di resistenza minima	CP20
-----------------------------	------

eventuali additivi secondo N.T.A.

Miscela cementiza per micropali

secondo N.T.A. – soggetto ad approvazione della D.L.

classe di resistenza minima	C25/30
-----------------------------	--------

classe di esposizione	XC2
-----------------------	-----

eventuali additivi secondo N.T.A.

Malta cementizia per micropali

secondo N.T.A. – soggetto ad approvazione della D.L.

classe di resistenza minima	C25/30
-----------------------------	--------

classe di esposizione	XC2
-----------------------	-----

eventuali additivi secondo N.T.A.

4. QUADRO PROGETTUALE

4.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di progetto

Le *condizioni stratigrafiche* di riferimento per il sottosuolo del progetto in esame sono rappresentate nei *Profili Geotecnici* allegati, cui si fa rimando per maggiori dettagli. La scelta dei parametri costitutivi dei terreni che interessano le opere in oggetto, utilizzati nelle analisi svolte, sono stati desunti dalla *Relazione Geotecnica*.

La Tabella riassuntiva seguente riporta i parametri geotecnici dei materiali utilizzati in questa fase di Progetto Definitivo.

Tabella. 3.1 – Quadro riassuntivo parametri geotecnici Progetto Definitivo

Materiale	Peso di volume γ_n (kN/m³)	N_{SPT} (colpi/pede)	Parametri di resistenza	Parametri di deformabilità
Rilevato	20	medio 65 minimo 25	$c' = 0$ kPa $\phi' = 35^\circ-38^\circ$	$E_{op} = 25$ MPa
Strato 1	19	<10	$c' = 0$ kPa $\phi' = 32^\circ-33^\circ$	$E_{op} = 30$ MPa

essendo:

- γ_n = peso di volume naturale (kN/m³)
- c' = resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci (kPa)
- ϕ' = angolo d'attrito in termini di sforzi efficaci
- E_{op} = modulo elastico "operativo"

Da un punto di vista generale, i risultati delle campagne di indagine eseguite dimostrano la presenza di materiale granulare di caratteristiche medio-buone, con la tendenza ad un miglioramento in funzione della profondità.

Con riferimento alla *falda*, le informazioni disponibili (quote rilevate nei pozzi e letture dei piezometri installati) indicano una soggiacenza di circa 15 m dal p.c.

Pertanto la falda di progetto viene considerata a profondità maggiore di quella di interesse per le opere, tale da non interferire con esse.

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere in oggetto sono costituite da berlinesi provvisionali come di seguito descritte:

TIPO 1

Si tratta di una berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila tirantata con un ordine di tiranti.

I micropali hanno le seguenti caratteristiche: tubo di armatura di diametro 139.7 mm e spessore 10 mm, diametro di perforazione 220÷240 mm, lunghezza di 9m , interasse 0.40 m e iniezione a gravità. I micropali sono collegati in testa mediante un cordolo in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m.

Davanti ai micropali è previsto uno strato di spritz-beton di spessore 10 cm armato con rete elettrosaldata.

I tiranti sono del tipo a trefoli e disposti su 1 ordine, alla quota di -1.50 m da testa trave; essi hanno le seguenti caratteristiche:

numero di trefoli: 3

inclinazione: 15° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

Come trave di ripartizione dei tiranti sono in progetto N° 2 travi HEB 180.

Questa soluzione è applicabile per altezza di scavo non superiori a 4.5.

TIPO 2

Si tratta di una berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila multi-

tirantata.

I micropali hanno le seguenti caratteristiche: tubo di armatura di diametro 139.7 mm e spessore 10 mm, diametro di perforazione 220÷240 mm, lunghezza di 12m, interasse 0.40 m e iniezione a gravità. I micropali sono collegati in testa mediante un cordolo in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m.

Davanti ai micropali è previsto uno strato di spritz-beton di spessore 10 cm armato con rete elettrosaldata.

I tiranti sono del tipo a trefoli e disposti su 2 ordini, alle quote di -1.50 m e -4.00 m da testa trave; essi hanno le seguenti caratteristiche:

1° ordine

numero di trefoli: 3

inclinazione: 15° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

2° ordine

numero di trefoli: 4

inclinazione: 18° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

Come trave di ripartizione dei tiranti sono in progetto N° 2 travi HEB 180.

Questa soluzione è applicabile per altezza di scavo maggiore di 4.5 m e non superiore a 6.5 m.

TIPO 3

Si tratta di una berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila multi-tirantata.

I micropali hanno le seguenti caratteristiche: tubo di armatura di diametro 139.7 mm e spessore 10 mm, diametro di perforazione 220÷240 mm, lunghezza di 15m, interasse 0.40 m e iniezione a gravità. I micropali sono collegati in testa mediante un cordolo in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m.

Davanti ai micropali è previsto uno strato di spritz-beton di spessore 10 cm armato

con rete elettrosaldata.

I tiranti sono del tipo a trefoli e disposti su 3 ordini, alle quote di -1.50 m, -4.00 m e -6.00 m da testa trave; essi hanno le seguenti caratteristiche:

1° ordine

numero di trefoli: 3

inclinazione: 15° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

2° ordine

numero di trefoli: 4

inclinazione: 18° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

3° ordine

numero di trefoli: 5

inclinazione: 20° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

Come trave di ripartizione dei tiranti sono in progetto N° 2 travi HEB 180.

Questa soluzione è applicabile per altezza di scavo maggiore di 6.5 m e non superiore a 8.0 m.

TIPO 4

Si tratta di una berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila multi-tirantata.

I micropali hanno le seguenti caratteristiche: tubo di armatura di diametro 139.7 mm e spessore 10 mm, diametro di perforazione 220÷240 mm, lunghezza di 18m, interasse 0.40 m e iniezione a gravità. I micropali sono collegati in testa mediante un cordolo in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m.

Davanti ai micropali è previsto uno strato di spritz-beton di spessore 10 cm armato con rete elettrosaldata.

I tiranti sono del tipo a trefoli e disposti su 4 ordini, alle quote di -1.50 m, -4.00 m, -6.00 m e -8.00 m da testa trave; essi hanno le seguenti caratteristiche:

1° ordine

numero di trefoli: 3

inclinazione: 15° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

2° ordine

numero di trefoli: 4

inclinazione: 18° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

3° ordine

numero di trefoli: 5

inclinazione: 20° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.40m

4° ordine

numero di trefoli: 5

inclinazione: 25° rispetto all'orizzontale

diametro di perforazione: 160mm

interasse orizzontale: 2.00m

Come trave di ripartizione dei tiranti sono in progetto N° 2 travi HEB 180.

Questa soluzione è applicabile per altezza di scavo maggiore di 8.0 m e non superiore a 10.0 m (max scavo provvisorio presente in progetto).

6. CRITERI DI VERIFICA

6.1 Criteri di verifica delle paratie

Le paratie definitive e provvisorie vengono progettate in accordo a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, con riferimento, in particolare, al paragrafo 6.5.3.1.2 "Paratie".

Le azioni considerate nelle verifiche sono le seguenti:

- Peso proprio del terreno
- Pressione dell'acqua (viene trascurata nelle strutture in esame, data la notevole profondità della falda)
- Sovraccarichi accidentali da traffico (20 kPa)
- Pretensione degli ancoraggi (se presenti) e relative variazioni nelle varie fasi di costruzione

Vengono esaminate sia le condizioni di stato limite ultimo (SLU), che quelle di stato limite di esercizio (SLE).

Le verifiche allo SLU sono da eseguire per le condizioni statiche e per quelle sismiche, secondo le combinazioni elencate nel seguito:

Per condizioni statiche (SLU statico)

- **Combinazione A1+M1+R1**

Tenendo conto del fatto che gli effetti delle azioni, in termini di sollecitazioni risultanti nella paratia e negli ancoraggi (risultati del *programma PARATIE*) vengono moltiplicati, per eseguire le verifiche delle armature dei micropali e degli ancoraggi, per un fattore 1.3, si adottano coefficienti parziali γ_F riferiti alle azioni (set **A1**) come segue, proprio per tenere conto, come detto, del coefficiente moltiplicativo globale γ_E che viene applicato alle sollecitazioni risultanti:

- I carichi permanenti vengono moltiplicati per il rapporto tra il coefficiente parziale γ_G applicabile ed 1.3:

Sfavorevole \rightarrow 1.3/1.3

Favorevole \rightarrow 1.0

- I sovraccarichi accidentali, per lo stesso motivo, vengono anch'essi moltiplicati per il rapporto tra il coefficiente parziale γ_Q applicabile ed 1.3:

Sfavorevole \rightarrow 1.5/1.3

Favorevole \rightarrow 0.0/1.3

L'eventuale pretiro degli ancoraggi viene moltiplicato per un coefficiente parziale γ_F pari a 1.0.

I coefficienti parziali sui parametri geotecnici caratteristici (set **M1**) sono pari ad 1.0.

coefficienti parziali γ_R per il set **R1** sono pari ad 1.0.

- **Combinazione A2+M2+R1**

I carichi permanenti vengono moltiplicati per un coefficiente parziale γ_G (set **A2**) pari a:

Sfavorevole \rightarrow 1.0

Favorevole \rightarrow 1.0

I sovraccarichi accidentali vengono moltiplicati per un coefficiente parziale γ_Q (set **A2**) pari a:

Sfavorevole \rightarrow 1.3

Favorevole \rightarrow 0.0

L'eventuale pretiro degli ancoraggi viene moltiplicato per un coefficiente parziale γ_F pari a 1.0.

I coefficienti parziali sui parametri geotecnici caratteristici γ_M (set **M2**) sono quelli indicati nella tabella 6.2.11 delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, ovvero:

$\tan \varphi'_k$	1.25	tan dell'angolo di resistenza al taglio
c'_k	1.25	coesione efficace
c_{uk}	1.4	coesione non drenata
γ	1.0	peso di volume

I coefficienti parziali γ_R per il set **R2** sono pari ad 1.0.

I risultati di queste analisi vengono utilizzati per eseguire le seguenti verifiche:

- assenza di fenomeni di collasso dell'opera;
- verifica della resistenza strutturale della paratia (armature dei micropali)
- verifica a sfilamento degli ancoraggi e dei micropali inclinati;
- verifica della resistenza strutturale degli ancoraggi.

Si ritiene inoltre utile verificare che, anche in presenza di parametri fattorizzati, la spinta passiva mobilitata a valle conservi dei margini di sicurezza rispetto al valore ultimo fattorizzato).

Per condizioni sismiche (SLU sismico)

Come indicato al punto 7.11.1. delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, le verifiche agli stati limite ultimi delle opere geotecniche in condizioni sismiche devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni (set **A1** ed **A2**) ed impiegando i parametri e le resistenze di progetto sopra esposti (ovvero di cui al paragrafo 6.5.3.1.2 "Paratie" delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*).

I coefficienti di spinta del terreno in condizioni sismiche vengono valutati con le formule di Mononobe (1929) e Okabe (1926), a partire dall'azione sismica stimata in accordo a quanto esposto al par. 3.2.

Le sollecitazioni risultanti dalla combinazione A1+M1+R1 per le condizioni sismiche verranno utilizzate nelle verifiche sismiche dei tiranti di ancoraggio.

Le verifiche di stabilità globale dell'insieme opera-terreno per le sezioni di interesse vanno eseguite con riferimento all'approccio 1 – combinazione 2 (punto 6.5.3.1.2 delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*):

$$A2+M2+R2$$

Le verifiche di esercizio (SLE) sono finalizzate alla valutazione degli spostamenti e della loro compatibilità con la funzionalità delle strutture adiacenti, compresa la sede autostradale.

6.2 **Vita utile dell'opera**

Le Verifiche sismiche (stabilità e liquefazione) sono omesse in quanto l'opera è a carattere provvisoria e si ipotizza una durata dei lavori inferiore ai 2 anni (vedi par. 2.4.1 Doc. Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Qualora, in sede di successive fasi progettuali o in fase di esecuzione dei lavori, la durata dei lavori fosse portata a tempi superiori ai 2 anni il dimensionamento/verifica dell'opera in esame dovrà essere integrata con le opportune verifiche sismiche.

6.3 Criteria di verifica degli ancoraggi

In accordo al punto 6.6.2. delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, le verifiche geotecniche dello stato limite di sfilamento della fondazione vengono eseguite con riferimento alla combinazione **A1+M1+R3**, utilizzando, per il set **R3**, i seguenti valori dei coefficienti parziali γ_R :

$\gamma_R = 1.1$ per gli ancoraggi temporanei

$\gamma_R = 1.2$ per gli ancoraggi permanenti

Il valore di resistenza caratteristica dei tiranti per le verifiche allo sfilamento viene determinato sulla base dei risultati delle prove geotecniche disponibili, applicando i coefficienti correttivi ξ_α di cui alla tabella 6.6.III delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, in funzione del numero di profili di indagine disponibili.

Si verifica inoltre la condizione, richiesta dal punto 6.6.2. delle *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, per la quale è necessario che, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio.

Le verifiche SLU degli ancoraggi in condizioni sismiche si eseguono con riferimento alle sollecitazioni di trazione derivanti dalle verifiche SLU della paratia in condizioni sismiche con il set di coefficienti **M1**.

Le verifiche di resistenza allo snervamento delle armature degli ancoraggi vengono eseguite per le condizioni SLU statiche e sismiche.

Nella definizione della lunghezza libera degli ancoraggi si garantisce che il bulbo si trovi in una zona stabile, andando al di là del cuneo di spinta attiva tracciato a partire dal piede dell'opera.

7. VERIFICHE ESEGUITE

Si descrivono nel seguito le verifiche eseguite, rimandando per i dettagli ai risultati contenuti nelle Relazioni delle singole soluzioni tipologiche.

7.1 Parametri geotecnici utilizzati

Per il terreno in sito che per il materiale da rilevato si utilizzano i seguenti parametri:

	rilevato	terreno in sito
peso di volume naturale	$\gamma_n = 20 \text{ N/m}^3$	$\gamma_n = 19 \text{ N/m}^3$
coesione efficace	$c' = 0.0 \text{ kPa}$	$c' = 0.0 \text{ kPa}$
angolo d'attrito terreno/parete	$\delta = 0.50 \times \phi'$	$\delta = 0.50 \times \phi'$
modulo elastico compressione vergine	$E_{vc} = 25 \text{ MPa}$	$E_{vc} = 30 \text{ MPa}$
modulo elastico scarico/ricarico	$E_{ur} = 25 \text{ MPa}$	$E_{ur} = 30 \text{ MPa}$

Condizioni *M1*

- angolo d'attrito efficace	$\phi' = 35^\circ$	$\phi' = 32^\circ$
- coefficiente di spinta a riposo	$k_0 = 0.4264$	$k_0 = 0.4701$
- coefficiente di spinta attiva	$k_A = 0.235$	$k_A = 0.267$
- coefficiente di spinta passiva	$k_P = 6.199$	$k_P = 5.052$

Condizioni *M2*

- angolo d'attrito efficace	$\phi' = 29^\circ$	$\phi' = 26.6^\circ$
- coefficiente di spinta a riposo	$k_0 = 0.5152$	$k_0 = 0.5522$
- coefficiente di spinta attiva	$k_A = 0.304$	$k_A = 0.336$
- coefficiente di spinta passiva	$k_P = 4.175$	$k_P = 3.633$

La falda viene trascurata, in quanto non interferisce con le opere in oggetto.

7.2 Analisi sforzi-deformazioni

Tutte le analisi vengono eseguite utilizzando il programma PARATIE 6.2 Ceas.

In particolare, per ogni sezione tipologica di riferimento vengono analizzati tutti i casi di verifica, secondo i criteri esposti al par. 6., come segue:

- SLU (A1+M1+R1) statico
- SLU (A2+M2+R2) statico
- SLE

7.3 Verifica dei tubi di armatura dei micropali

La verifica dei tubi di armatura dei micropali, *sia verticali che inclinati*, viene eseguita secondo il criterio valido per *sezioni tubolari compatte (classe 1 o 2) con il metodo plastico* – par. 4.2 – *Costruzioni in Acciaio – N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, adottando per il materiale $f_{tk} = 510$ MPa (tensione caratteristica di rottura) e $f_{yk} = 355$ MPa (tensione caratteristica di snervamento) – acciaio S355 - par. 11.3.4 – *Acciai per Strutture Metalliche e per Strutture Composte - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*.

7.4 Verifica dell'armatura dei tiranti

Si prevede di armare i tiranti mediante trefoli da 0,6'' di acciaio avente tensione caratteristica all'1% di deformazione sotto carico $f_{p(1)k} \leq 1670$ MPa e tensione caratteristica di rottura $f_{ptk} \leq 1860$ MPa – par. 11.3.3 – *Acciaio per Cemento Armato Precompresso – N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*.

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza, da confrontare con la massima azione di progetto, si utilizza la seguente espressione – par. 4.1.2.1.1.3 - *N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*:

$$f_{yd} = f_{p(1)k} / \gamma_s = 1452 \text{ MPa}$$

essendo:

f_{yd} = resistenza di calcolo dell'acciaio (trefoli)

$f_{p(1)k}$ = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio = 1670 MPa

γ_s = coefficiente parziale di sicurezza = 1.15

Per ogni singolo trefolo si ha:

$$R_{yd} = 1452 \times A \times n = 201.8 \text{ kN}$$

dove:

A = area del singolo trefolo = 139 mm²

n = numero dei trefoli

Oltre a verificare che la resistenza dell'armatura sia superiore alla massima azione di progetto, si verifica anche che la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia superiore alla resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio - *par. 6.6 - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008.*

7.5 Verifica delle travi di ripartizione

La verifica delle travi di ripartizione dei tiranti viene eseguita secondo il criterio valido per *sezioni compatte di classe 1 o 2 con il metodo plastico* - *par. 4.2 - Costruzioni in Acciaio - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*, adottando per il materiale $f_{tk} = 510 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica di rottura) e $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$ (tensione caratteristica di snervamento) - acciaio S355 - *par. 11.3.4 - Acciai per Strutture Metalliche e per Strutture Composte - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008.*

7.6 Verifica a sfilamento dei tiranti

La lunghezza del bulbo di fondazione è ottenuta in modo tale che venga rispettata la condizione - *par. 6.6 - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008*:

$$P_{dTIR} \leq R_{adTIR}$$

dove:

$$R_{adTIR} = \frac{R_{akTIR}}{\gamma_{RTIR}}$$

$P_{dTIR} =$	valore massimo di progetto della trazione nell'ancoraggio		
$R_{akTIR} =$	valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio		
$R_{adTIR} =$	valore di progetto della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio		
$\gamma_{RTIR} =$	coefficiente parziale	1.1	tiranti temporanei
		1.2	tiranti definitivi

Il calcolo di R_{akTIR} viene svolto assumendo il valore minimo fra i risultati delle seguenti formule:

$$R_{akTIR} = \frac{\pi \cdot D_{perf} \cdot L_{bulbo} \cdot \alpha \cdot \tau_{medio}}{\xi_{a3}} ; R_{akTIR} = \frac{\pi \cdot D_{perf} \cdot L_{bulbo} \cdot \alpha \cdot \tau_{min}}{\xi_{a4}}$$

in cui:

$D_{perf} =$	di diametro di perforazione
$L_{bulbo} =$	lunghezza del bulbo di ancoraggio

α	coefficiente empirico correlato con la metodologia di esecuzione delle iniezioni del tratto di fondazione
$\tau_{\text{medio}}, \tau_{\text{min}}$	aderenza limite caratteristica bulbo-terreno, da valutare a partire dai risultati delle prove geotecniche
$\xi_{\alpha 3}, \xi_{\alpha 4}$	fattori di correlazione, da stimare in funzione del numero dei profili di indagine disponibili

Come valore di aderenza limite palo-terreno complessiva ($\alpha \times \tau$) si assume:

150 - 180 kPa per iniezione ripetuta in pressione (I.R.S.) – tiranti

Tali valori sono da intendersi come medi o minimi in funzione delle condizioni locali.

8. PARATIE DI MICROPALI - DIMENSIONAMENTO

8.1 Dati di input

Tipo: 1 - berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila tirantata

Caratteristiche:

micropali

tubo di armatura diametro 139.7 mm
spessore 10 mm

perforazione diametro 220 mm

lunghezza 9 m

interasse 0.4 m

iniezione a gravità

tiranti

armatura a trefoli

diametro di perforazione 160 mm

lunghezza 14 m (L_{libera} 6 m, L_{bulbo} 8 m)

interasse 2.4 m

inclinazione 15°

iniezione ripetuta inpressione (I.R.S.)

pretiro 120 kN/m

cordolo 0.50 x 0.70 m

travi di ripartizione

N° 2 HEB 180

Applicabilità:

$H_{scavo} \leq 4.5$ m in presenza di traffico a tergo

Tipo:

2 - berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila multi-tirantata

Caratteristiche:

micropali

tubo di armatura diametro 139.7 mm

	spessore 10 mm
perforazione	diametro 220 mm
lunghezza	12 m
interasse	0.4 m
iniezione	a gravità

tiranti 1° ordine

armatura	a trefoli
diametro di perforazione	160 mm
lunghezza	14 (Llibera 6, Lbulbo 8)
interasse	2.4 m
inclinazione	15°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	120 kN/m

tiranti 2° ordine

armatura	a trefoli
diametro di perforazione	160 mm
lunghezza	16 m (Llibera 6 m, Lbulbo 10 m)
interasse	2.4 m
inclinazione	18°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	192 kN/m

cordolo 0.50 x 0.70 m

travi di ripartizione

N° 2 HEB 180

Applicabilità: 4.5 m ≤ H_{scavo} ≤ 6.5 m in presenza di traffico a tergo

Tipo: 3 - berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila multi-tirantata

Caratteristiche: *micropali*

tubo di armatura	diametro 139.7 mm
	spessore 10 mm

perforazione	diametro 220 mm
lunghezza	15 m
interasse	0.4 m
iniezione	a gravità

tiranti 1° ordine

armatura	a trefoli
diametro di perforazione	160 mm
lunghezza	16 (Llibera 8, Lbulbo 8)
interasse	2.4 m
inclinazione	15°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	192 kN/m

tiranti 2° ordine

armatura	a trefoli
diametro di perforazione	160 mm
lunghezza	18 m (Llibera 6 m, Lbulbo 12 m)
interasse	2.4 m
inclinazione	18°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	264 kN/m

tiranti 3° ordine

armatura	a trefoli
diametro di perforazione	160 mm
lunghezza	20 m (Llibera 6 m, Lbulbo 14 m)
interasse	2.4 m
inclinazione	20°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	360 kN/m

cordolo 0.50 x 0.70 m

travi di ripartizione

N° 2 HEB 180

Applicabilità: $6.5 \text{ m} \leq H_{\text{scavo}} \leq 8.0 \text{ m}$ in presenza di traffico a tergo

Tipo: 4 - berlinese provvisoria di micropali disposti su una sola fila multi-tirantata

Caratteristiche: *micropali*

tubo di armatura	diametro 139.7 mm
	spessore 10 mm

perforazione	diametro 220 mm
--------------	-----------------

lunghezza	18 m
-----------	------

interasse	0.4 m
-----------	-------

iniezione	a gravità
-----------	-----------

tiranti 1° ordine

armatura	a trefoli
----------	-----------

diametro di perforazione	160 mm
--------------------------	--------

lunghezza	19 ($L_{\text{libera}} 10$, $L_{\text{bulbo}} 9$)
-----------	--

interasse	2.4 m
-----------	-------

inclinazione	15°
--------------	-----

iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
-----------	-------------------------------

pretiro	240 kN/m
---------	----------

tiranti 2° ordine

armatura	a trefoli
----------	-----------

diametro di perforazione	160 mm
--------------------------	--------

lunghezza	19 m ($L_{\text{libera}} 8 \text{ m}$, $L_{\text{bulbo}} 11 \text{ m}$)
-----------	--

interasse	2.4 m
-----------	-------

inclinazione	18°
--------------	-----

iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
-----------	-------------------------------

pretiro	288 kN/m
---------	----------

tiranti 3° ordine

armatura	a trefoli
----------	-----------

diametro di perforazione	160 mm
--------------------------	--------

lunghezza	20 m (L _{libera} 8 m, L _{bulbo} 12 m)
interasse	2.4 m
inclinazione	20°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	312 kN/m

tiranti 4° ordine

armatura	a trefoli
diametro di perforazione	160 mm
lunghezza	20 m (L _{libera} 6 m, L _{bulbo} 14 m)
interasse	2.0 m
inclinazione	25°
iniezione	ripetuta inpressione (I.R.S.)
pretiro	360 kN/m

cordolo 0.50 x 0.70 m

travi di ripartizione

N° 2 HEB 180

Applicabilità: $8.0 \text{ m} \leq H_{\text{scavo}} \leq 10.0 \text{ m}$ in presenza di traffico a tergo

8.2 Risultati del programma PARATIE

Sono state analizzate n° 2 sezioni di calcolo rappresentative delle due tipologie di berlinesi.

Si riportano nel seguito i risultati dei calcoli eseguiti con il programma PARATIE (per maggiori dettagli cfr. i tabulati di calcolo contenuti nell'Allegato 1), in termini di diagrammi dello spostamento, del momento flettente e del taglio per le diverse combinazioni esaminate e in funzione delle fasi di calcolo:

TIPO 1

fase 1	condizione geostatica
fase 2	scavo a 2.0 m da testa paratia
fase 3	messa in opera del 1° ordine di tiranti a 1.5 m da testa paratia
fase 4	scavo finale fino a 4.5 m da testa paratia

TIPO 2

fase 1	condizione geostatica
fase 2	scavo a 2.0 m da testa paratia
fase 3	messa in opera del 1° ordine di tiranti a 1.5 m da testa paratia
fase 4	scavo fino a 4.5 m da testa paratia
fase 5	messa in opera del 2° ordine di tiranti a 4.0 m da testa paratia
fase 6	scavo finale fino a -6.5 m da testa paratia

TIPO 3

fase 1	condizione geostatica
fase 2	scavo a 2.0 m da testa paratia
fase 3	messa in opera del 1° ordine di tiranti a 1.5 m da testa paratia
fase 4	scavo fino a 4.5 m da testa paratia
fase 5	messa in opera del 2° ordine di tiranti a 4.0 m da testa paratia
fase 6	scavo fino a 6.5 m da testa paratia
fase 7	messa in opera del 3° ordine di tiranti a 6.0 m da testa paratia
fase 8	scavo finale fino a -8.0 m da testa paratia

TIPO 4

fase 1	condizione geostatica
fase 2	scavo a 2.0 m da testa paratia
fase 3	messa in opera del 1° ordine di tiranti a 1.5 m da testa paratia
fase 4	scavo fino a 4.5 m da testa paratia
fase 5	messa in opera del 2° ordine di tiranti a 4.0 m da testa paratia
fase 6	scavo fino a 6.5 m da testa paratia
fase 7	messa in opera del 3° ordine di tiranti a 6.0 m da testa paratia
fase 8	scavo fino a 8.5 m da testa paratia
fase 9	messa in opera del 4° ordine di tiranti a 8.0 m da testa paratia
fase 10	scavo finale fino a -10.0 m da testa paratia

I principali risultati ottenuti sono i seguenti:

TIPO 1

SLE

- spostamento massimo S_{MAX} 1.64 cm

A1+M1+R1

- momento flettente massimo M_{MAX} 29.3 kNm/m

- taglio massimo T_{MAX} 40.5 kN/m

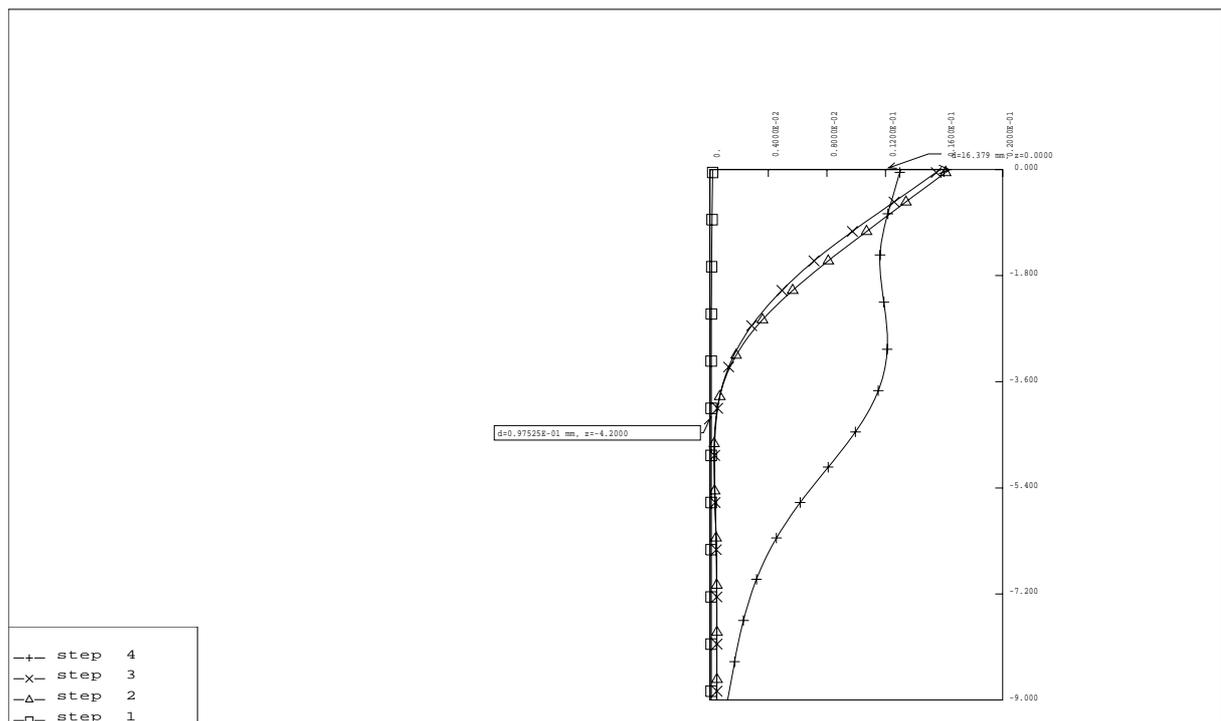
- azione assiale massima tirante 1° ordine N_{MAX} tir1 71 kN/m

A2+M2+R2

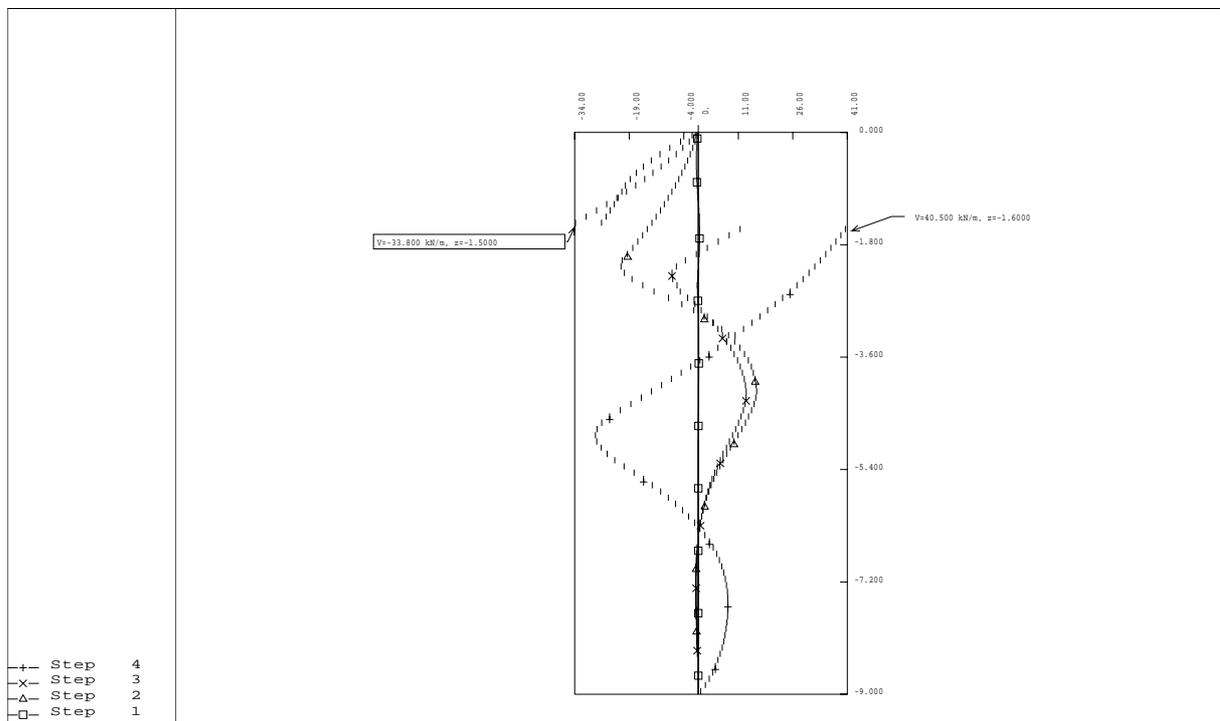
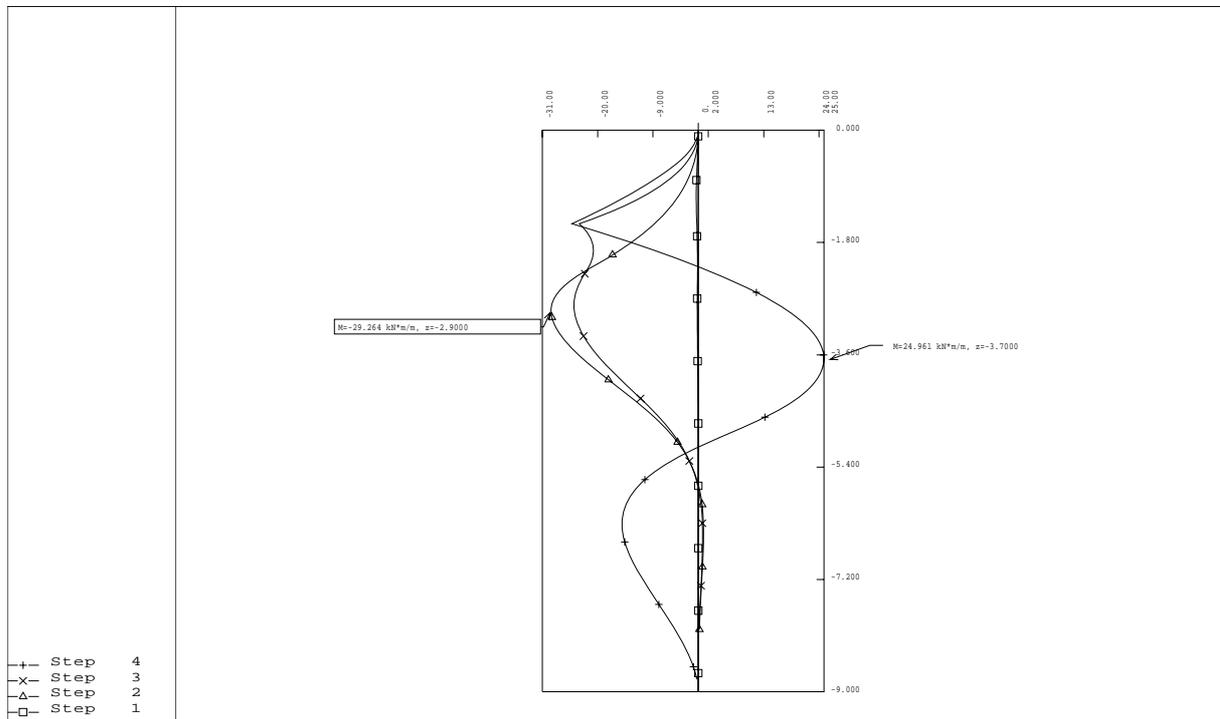
- percentuale di spinta passiva mobilitata K_{pmob} 63%

TIPO 1

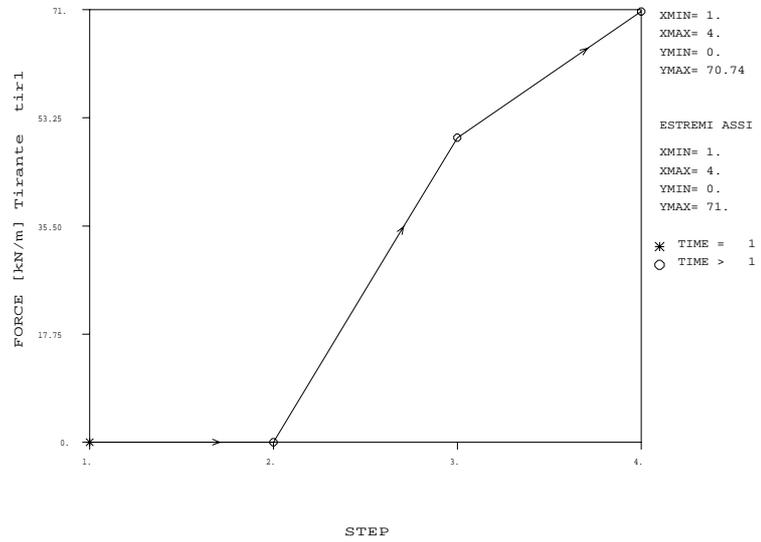
Combinazione SLE



Combinazione A1+M1+R1



Tirante tirl	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	50.
4.	70.74



TIPO 2

SLE

- spostamento massimo S_{MAX} 1.87 cm

A1+M1+R1

- momento flettente massimo M_{MAX} 32.9 kNm/m

- taglio massimo T_{MAX} 61.0 kN/m

- azione assiale massima tirante 1° ordine $N_{MAX\ tir1}$ 68 kN/m

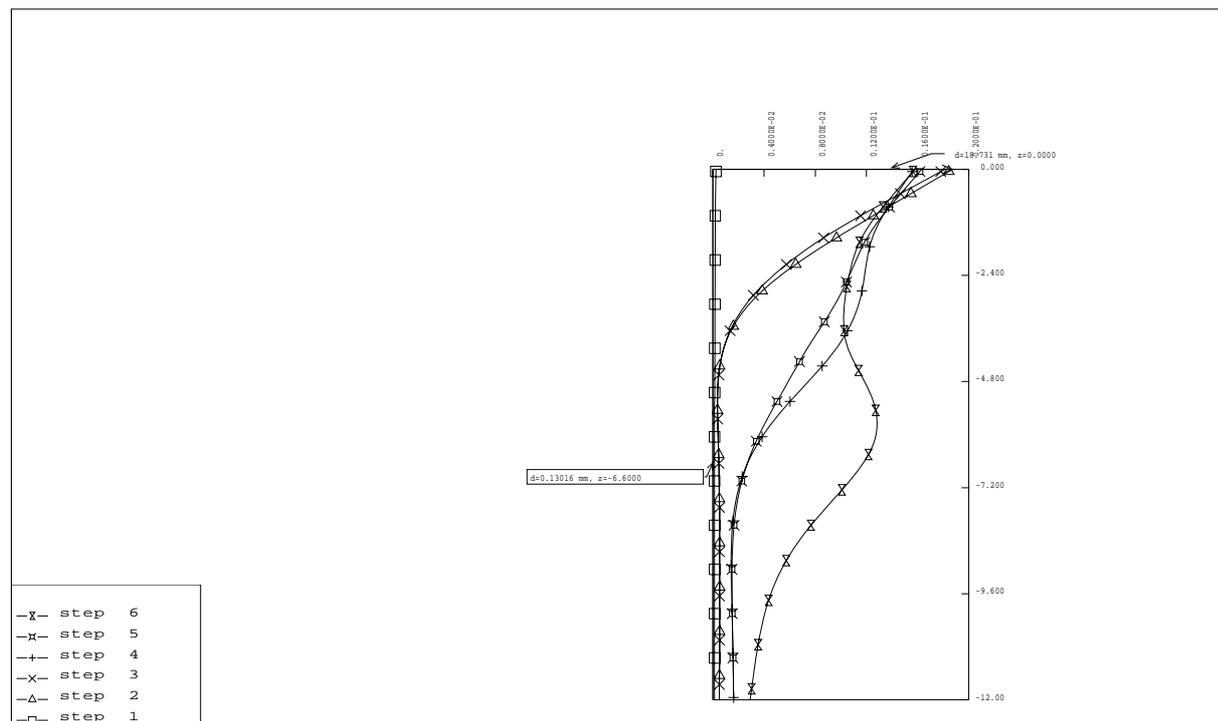
- azione assiale massima tirante 2° ordine $N_{MAX\ tir2}$ 105 kN/m

A2+M2+R2

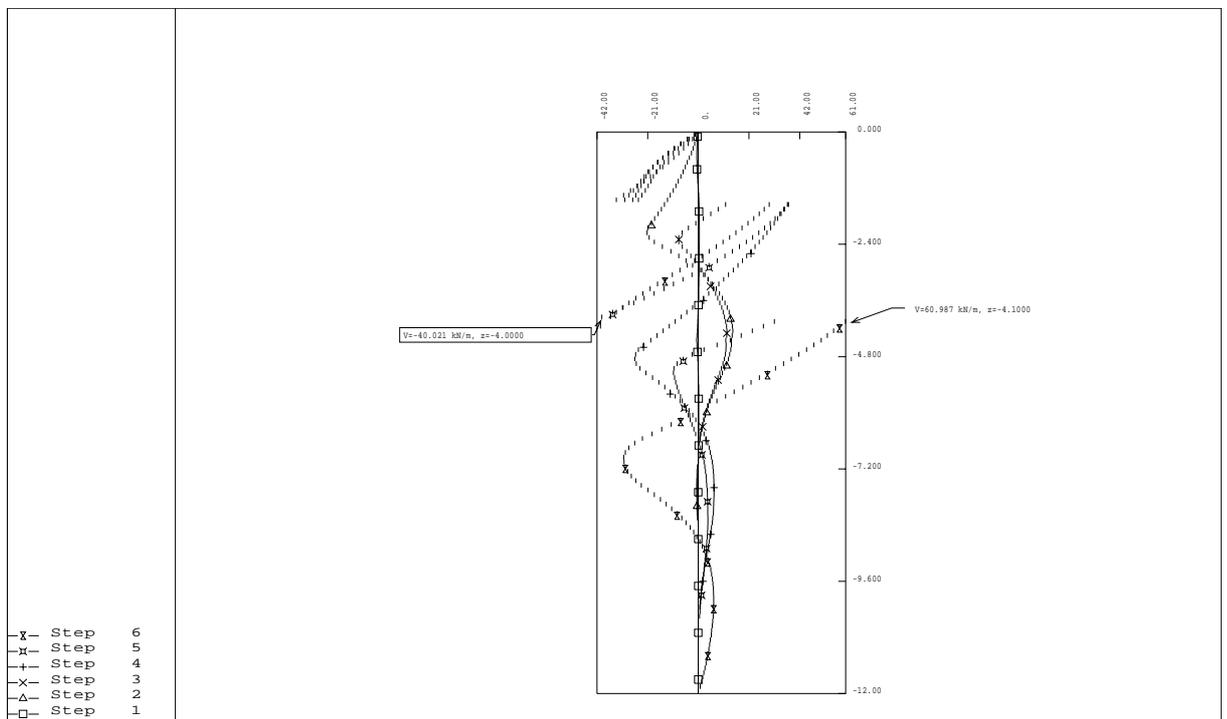
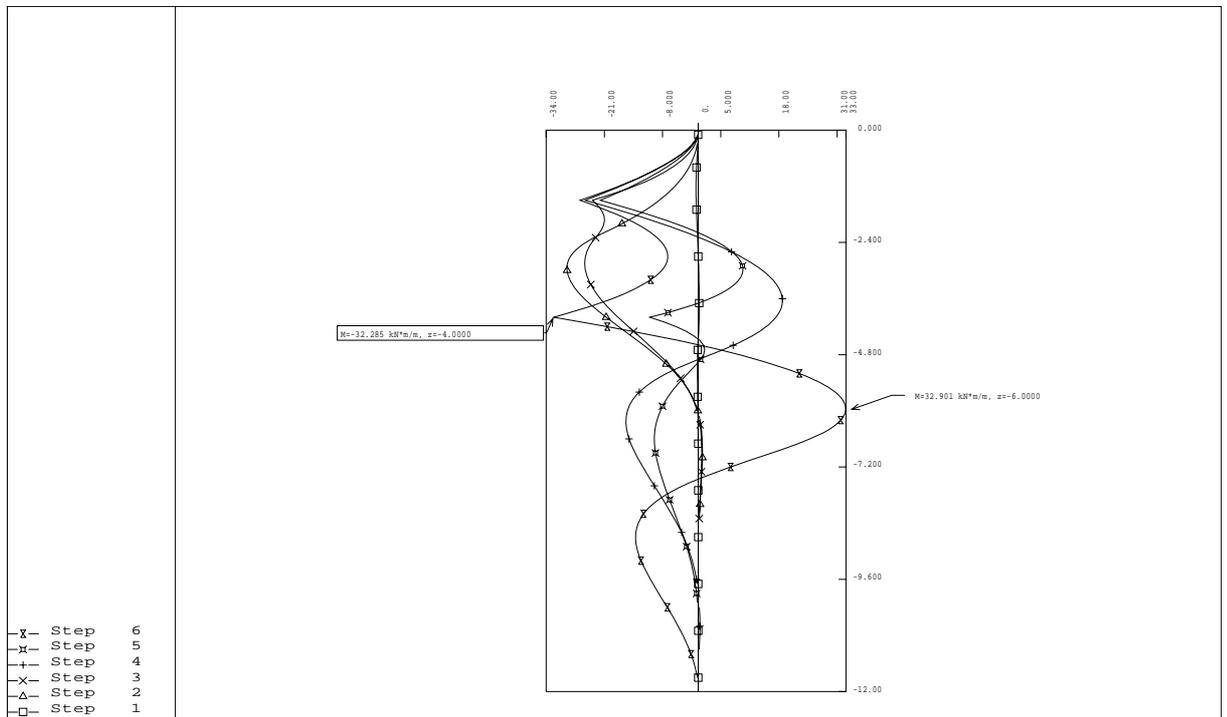
- percentuale di spinta passiva mobilitata K_{pmob} 64%

TIPO 2

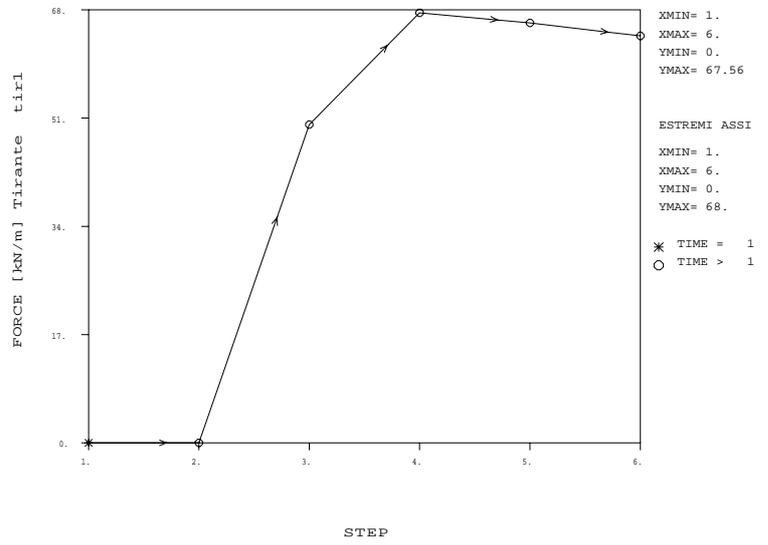
Combinazione SLE



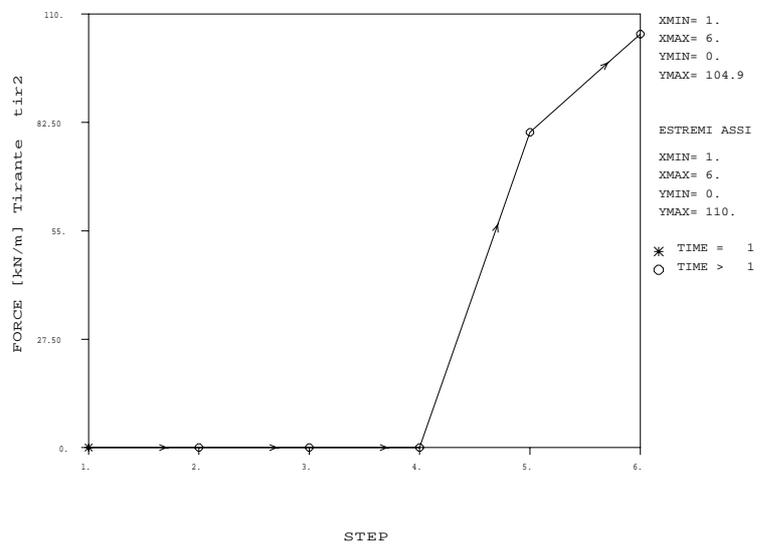
Combinazione A1+M1+R1



Tirante tir1	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	50.
4.	67.56
5.	65.97
6.	63.93



Tirante tir2	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	0.
4.	0.
5.	80.
6.	104.9



TIPO 3

SLE

- spostamento massimo S_{MAX} 1.87 cm

A1+M1+R1

- momento flettente massimo M_{MAX} 43.1 kNm/m

- taglio massimo T_{MAX} 89.6 kN/m

- azione assiale massima tirante 1° ordine $N_{MAX\ tir1}$ 91 kN/m

- azione assiale massima tirante 2° ordine $N_{MAX\ tir2}$ 125 kN/m

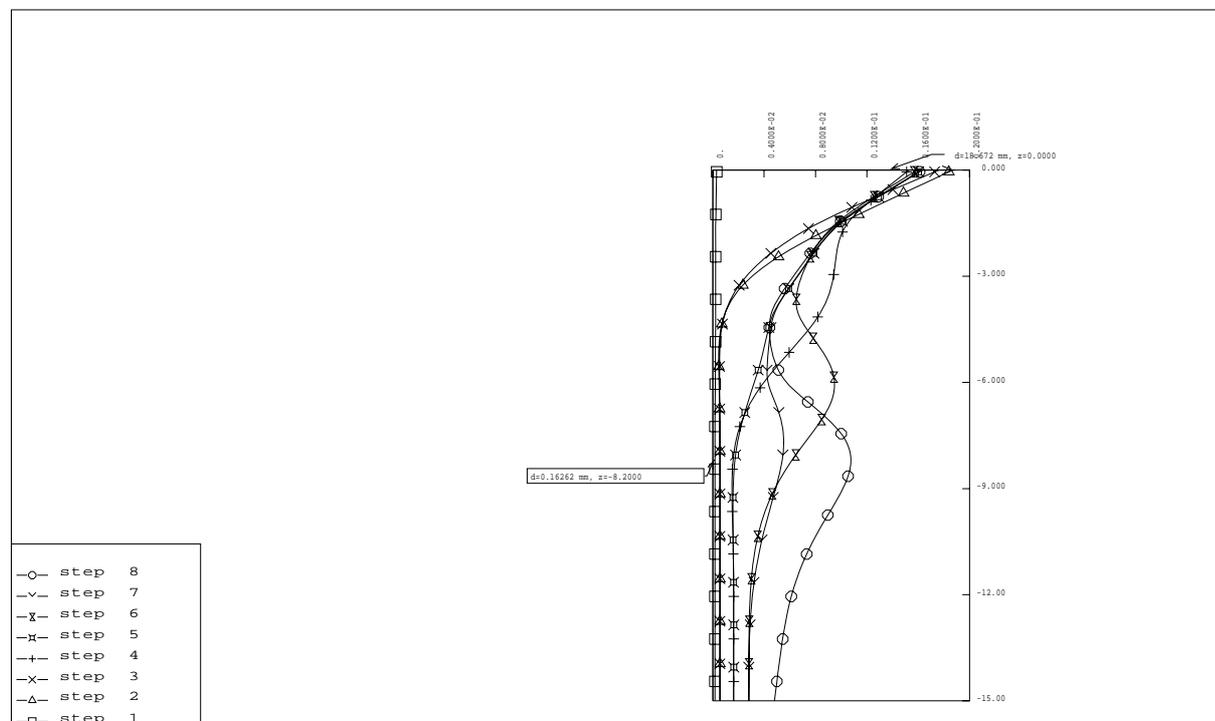
- azione assiale massima tirante 3° ordine $N_{MAX\ tir2}$ 164 kN/m

A2+M2+R2

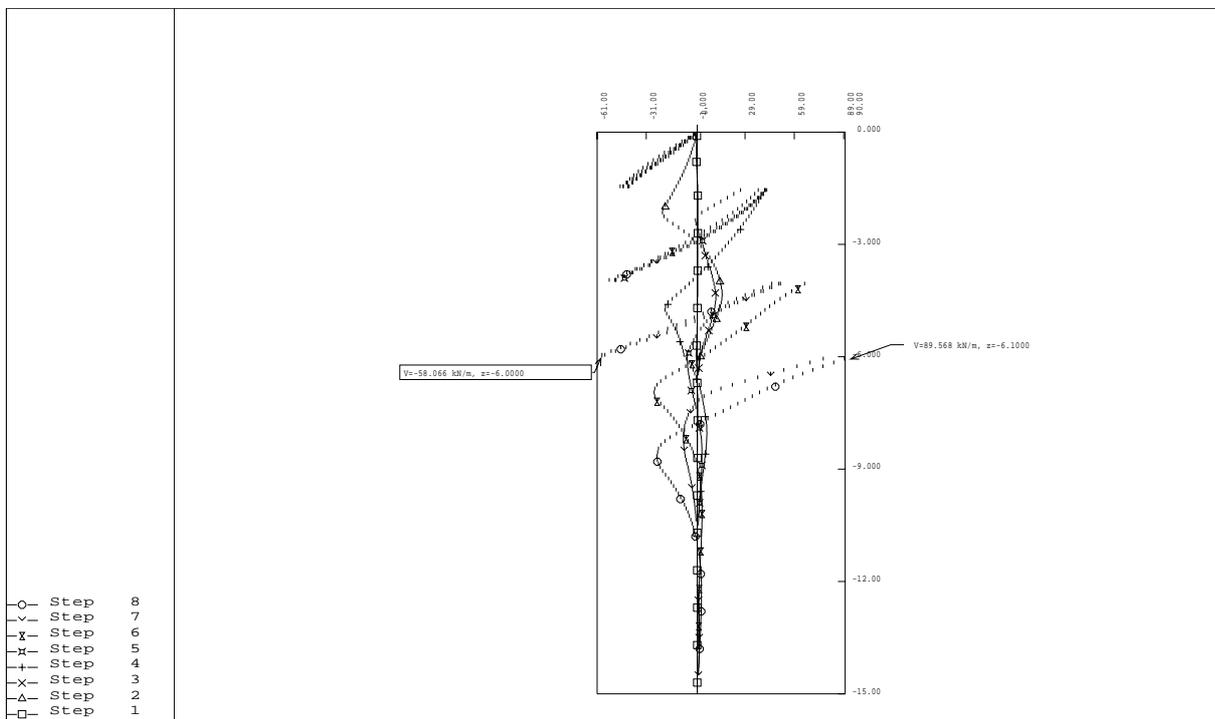
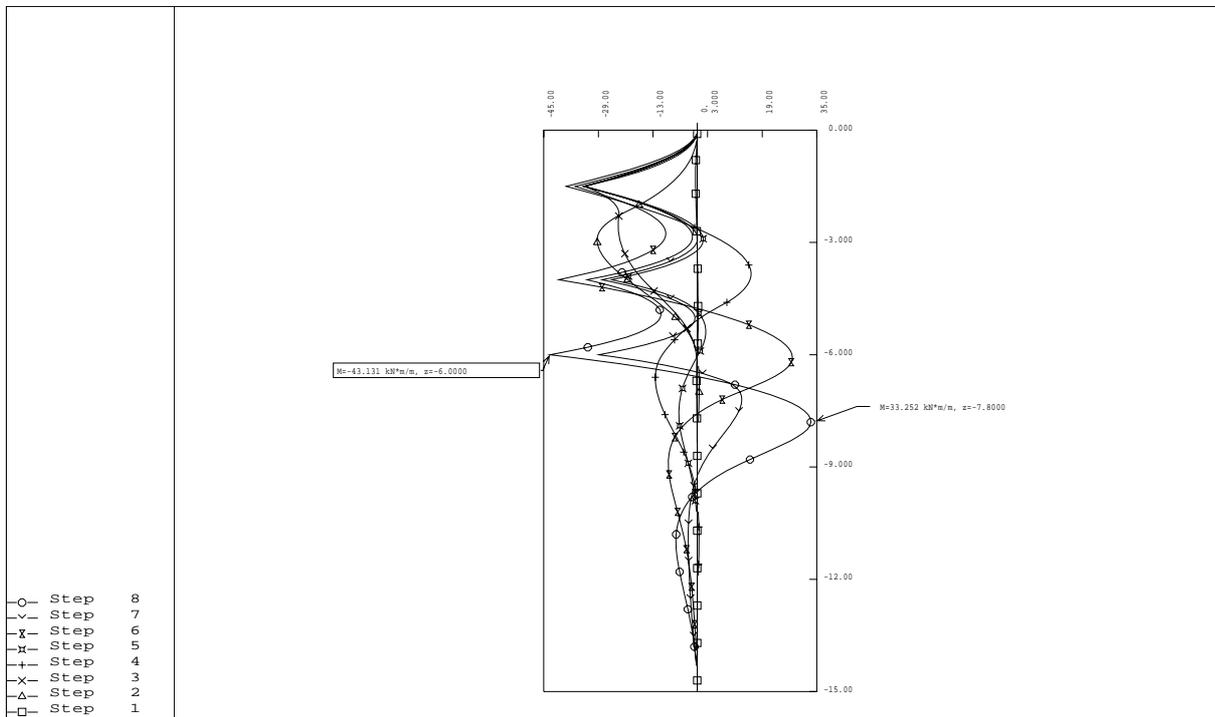
- percentuale di spinta passiva mobilitata K_{pmob} 58%

TIPO 3

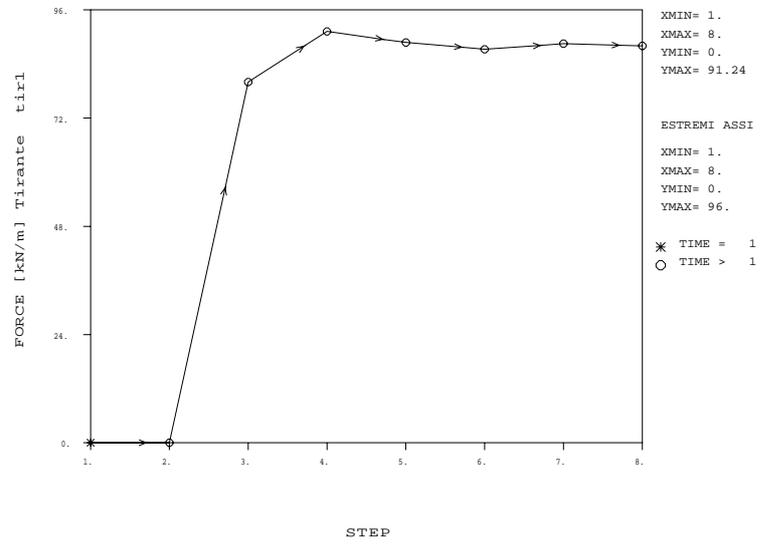
Combinazione SLE



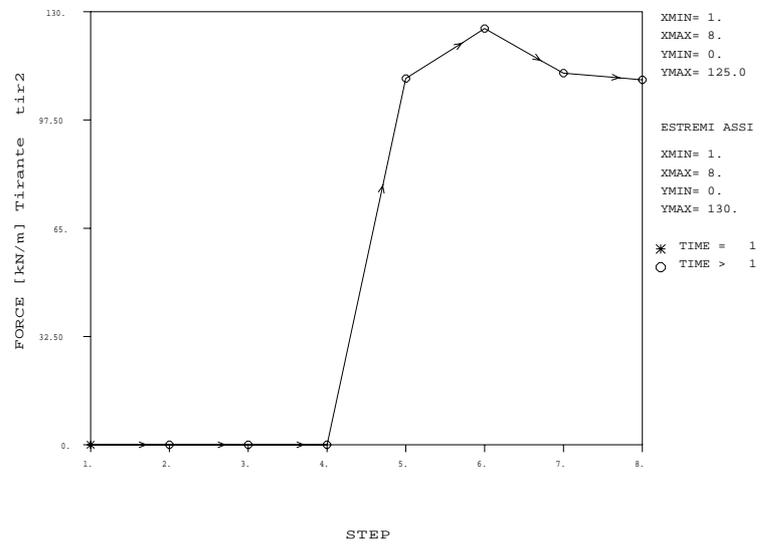
Combinazione A1+M1+R1



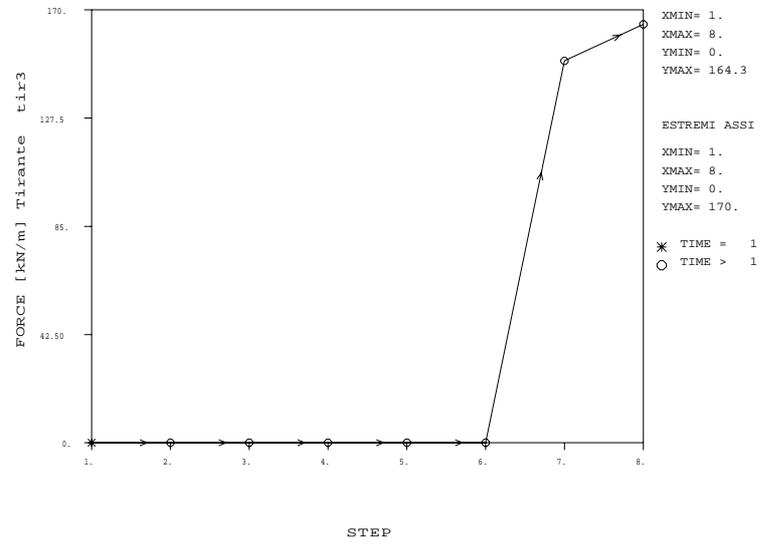
Tirante tir1	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	80.
4.	91.24
5.	88.77
6.	87.28
7.	88.51
8.	88.03



Tirante tir2	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	0.
4.	0.
5.	110.
6.	125.0
7.	111.6
8.	109.6



Tirante tir3	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	0.
4.	0.
5.	0.
6.	0.
7.	150.
8.	164.3

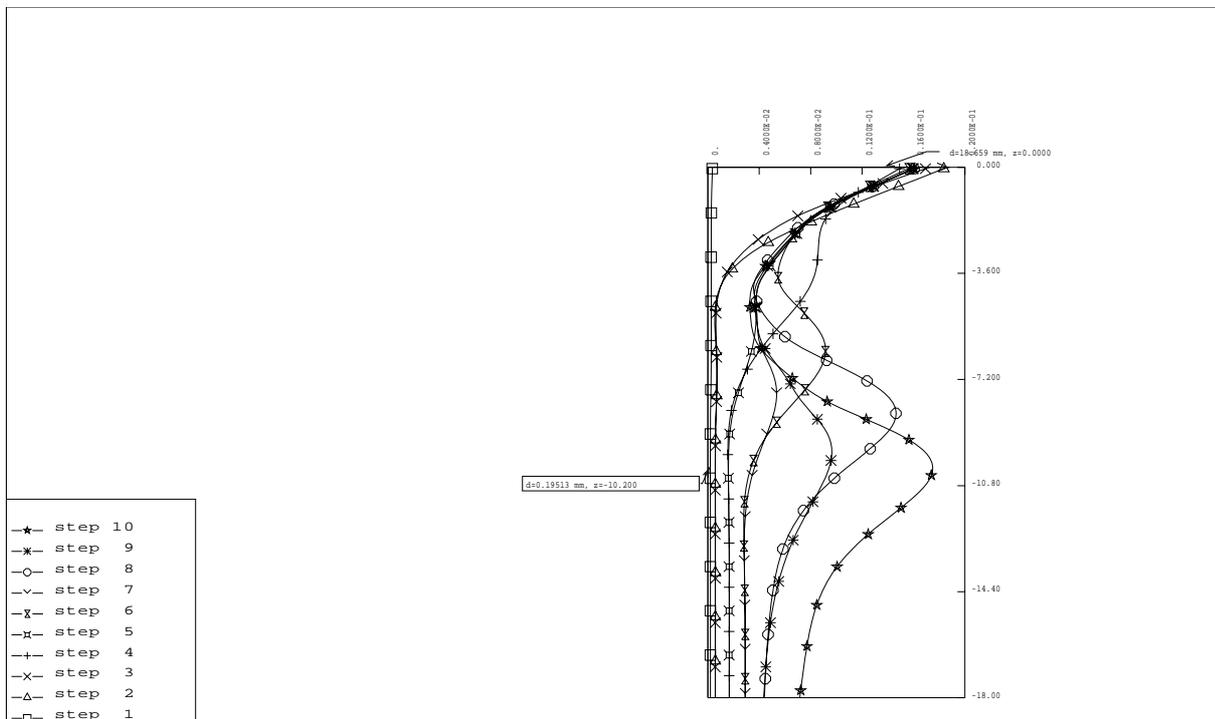


TIPO 4

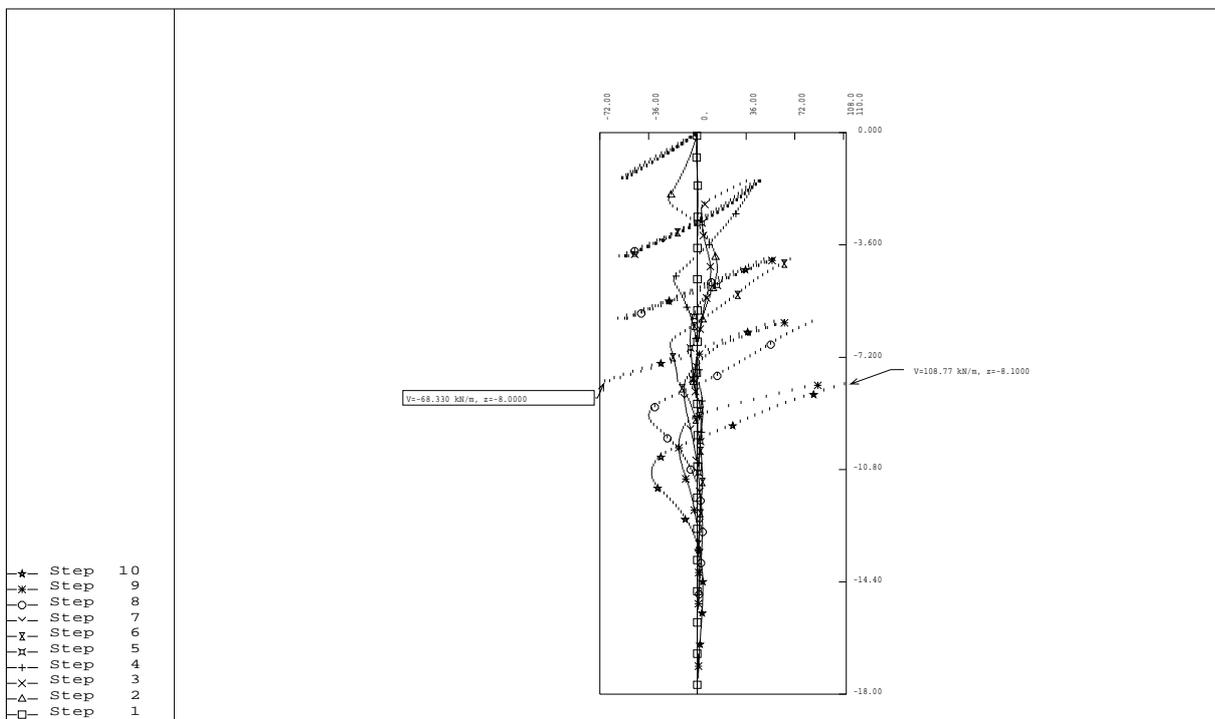
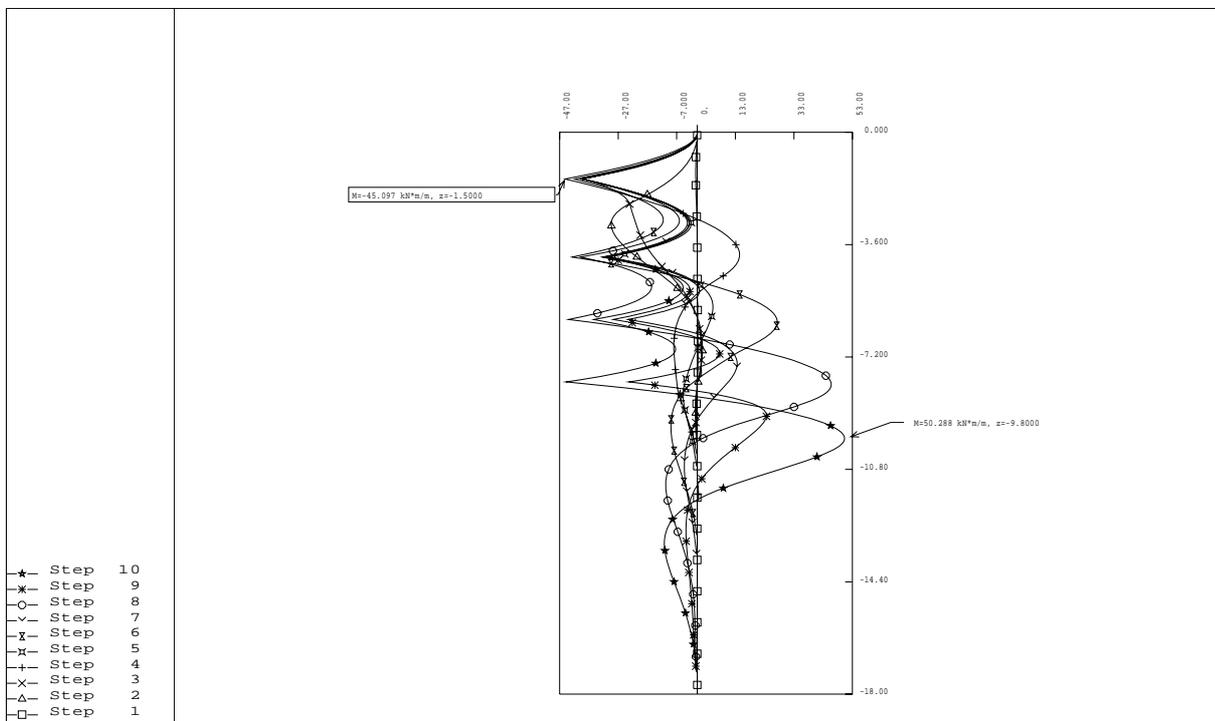
SLE

- spostamento massimo	S_{MAX}	1.87 cm
A1+M1+R1		
- momento flettente massimo	M_{MAX}	50.2 kNm/m
- taglio massimo	T_{MAX}	108.8 kN/m
- azione assiale massima tirante 1° ordine N_{MAX} tir1		108 kN/m
- azione assiale massima tirante 2° ordine N_{MAX} tir2		130 kN/m
- azione assiale massima tirante 3° ordine N_{MAX} tir2		151 kN/m
- azione assiale massima tirante 4° ordine N_{MAX} tir2		204 kN/m
A2+M2+R2		
- percentuale di spinta passiva mobilitata K_{pmob}		61%

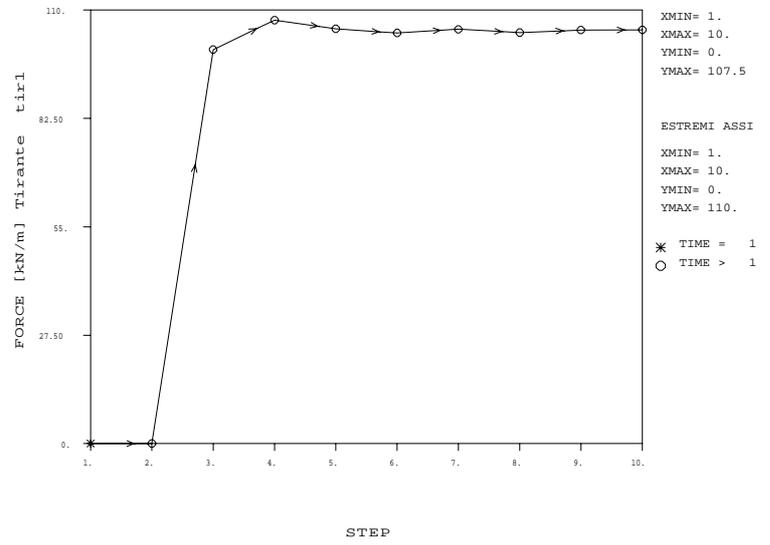
Combinazione SLE



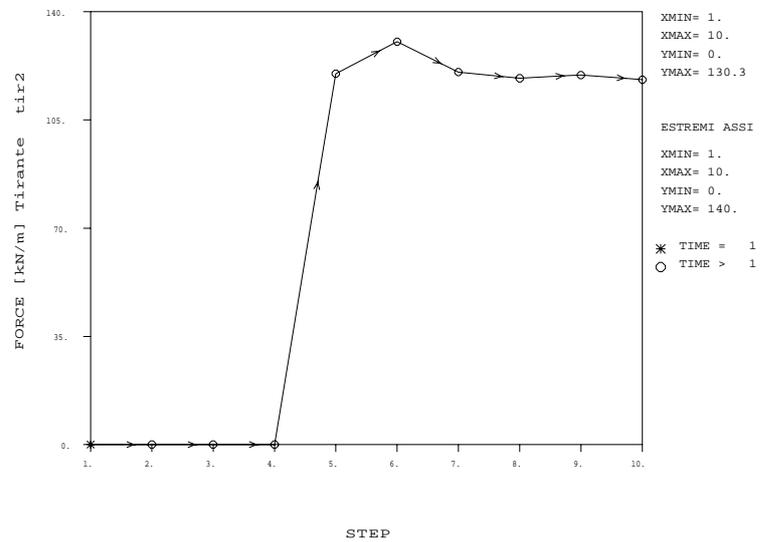
Combinazione A1+M1+R1



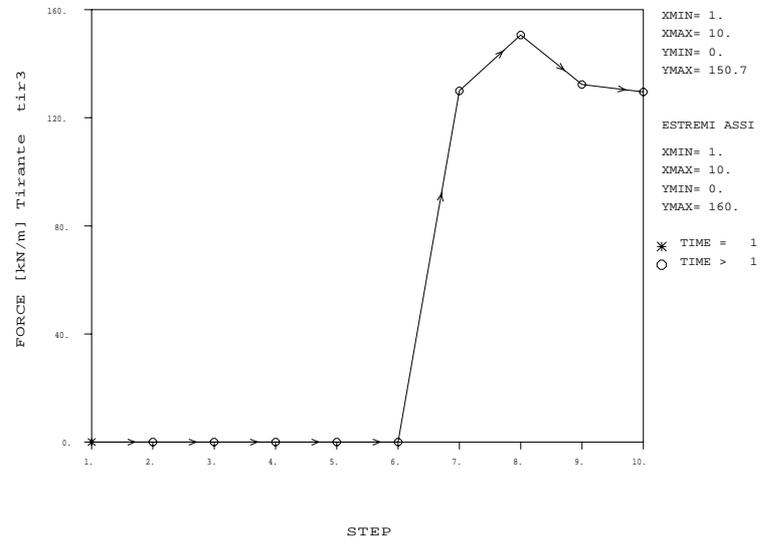
Tirante tir1	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	100.
4.	107.5
5.	105.2
6.	104.2
7.	105.1
8.	104.3
9.	104.9
10.	105.0



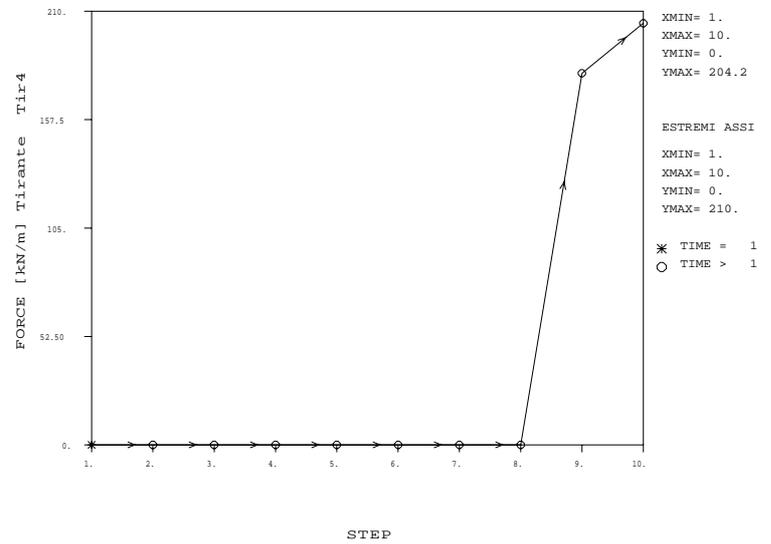
Tirante tir2	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	0.
4.	0.
5.	120.
6.	130.3
7.	120.5
8.	118.5
9.	119.6
10.	118.0



Tirante tir3	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	0.
4.	0.
5.	0.
6.	0.
7.	130.
8.	150.7
9.	132.4
10.	129.6



Tirante Tir4	
STEP	FORCE [kN/m]
1.	0.
2.	0.
3.	0.
4.	0.
5.	0.
6.	0.
7.	0.
8.	0.
9.	180.
10.	204.2



Verifica dei tubi di armatura dei micropali

		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4
Caratteristiche del micropalo	Altezza di scavo H_s (m)	4.5	6.5	8	10
	Lunghezza micropalo (m)	9	12	15	18
	Interasse micropalo (m)	0.4	0.4	0.4	0.4
	Materiale Fe	510	510	510	510
	Tensione di snervamento f_y (MPa)	355	355	355	355
	Diametro esterno micropalo (mm)	139.7	139.7	139.7	139.7
	Spessore micropalo (mm)	10	10	10	10
	Diametro interno micropalo (mm)	119.7	119.7	119.7	119.7
	Area di taglio A_v (mm ²)	4075	4075	4075	4075
	Modulo di resistenza plastico W_{pl} (mm ³)	168554	168554	168554	168554
Sollecitazioni micropalo	Taglio massimo A1+M1+R1 (kN/m)	40.5	61.0	89.6	108.8
	Taglio massimo A2+M2+R1 (kN/m)	-	-	-	-
	Momento massimo A1+M1+R1 (kN·m/m)	29.3	32.9	43.1	50.2
	Momento massimo A2+M2+R1 (kN·m/m)	-	-	-	-
Coefficiente di sicurezza sul materiale γ_{mo}		1.05	1.05	1.05	1.05
Coefficiente di amplificazione dei carichi combinazione A1+M1+R1		1.3	1.3	1.3	1.3
Verifica SLU - combinazione A1+M1+R1	Azione di taglio di progetto V_{sd} (kN)	21	32	47	57
	Taglio plastico $V_{pl,Rd}$ (kN)	795	795	795	795
	ρ	0.9	0.8	0.8	0.7
	Momento di progetto (kN·m)	15	17	22	26
	Momento plastico $M_{pl,Rd}$ (kN·m)	57	57	57	57

8.2.1 Verifica a sfilamento degli ancoraggi

Si fa presente che:

- considerando 1 verticale d'indagine, si è assunto $\xi_{d4} = 1.80$
- come valore di aderenza limite palo-terreno complessiva ($\alpha \times \tau$) si assume:
150 kPa per iniezione ripetuta in pressione (I.R.S.) – ancoraggi

8.2.2 Verifica dell'armatura degli ancoraggi

Con riferimento al criterio della gerarchia delle resistenze definito al Par.6.6.2 delle NTC2008 dev'essere verificata la seguente condizione:

$$R_{p(1)k} > R_{ac}$$

ovvero che la resistenza a snervamento caratteristica dell'ancoraggio $R_{p(1)k}$ sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione R_{ac} .

Per trefoli in acciaio armonico la resistenza caratteristica al limite di snervamento coincide con la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale (si veda Tab 11.3.VII NTC2008), ovvero:

$$f_{p(1)k} = 1670 \text{ N/mm}^2$$

Ogni ordine di tiranti relativo alle opere in oggetto è costituito da n°3 trefoli per cui si ottiene:

$$R_{p(1)k} = n \cdot A_{\text{tirante}} \cdot f_{p(1)k} = 3 \cdot 139 \cdot 1670 = 696 \text{ kN}$$

$$R_{p(1)k} = n \cdot A_{\text{tirante}} \cdot f_{p(1)k} = 4 \cdot 139 \cdot 1670 = 929 \text{ kN}$$

$$R_{p(1)k} = n \cdot A_{\text{tirante}} \cdot f_{p(1)k} = 5 \cdot 139 \cdot 1670 = 1161 \text{ kN}$$

Si ha:

Tipo	Ordine	T _{es,c} (kN/m)	i (m)	n° trefoli	γ _E	P _k (kN)	D _{perf} (m)	α	τ (kPa)	ε _a	γ _R TIR	L _{libera} (m)	L _{bulbo} (m)	R _{ac} (kN)	R _{ak} (kN)	Verifica Sfilamento		Verifica armatura (gerarchia)			
																R _{ad} (kN)	P _d (kN)	R _{yk} (kN)	R _{ac} (kN)		
1	1	71.0	2.4	3	1.3	170.4	0.16	1.5	100	1.8	1.1	6	8	603	335	305	>	222	696	>	603
2	1	68.0	2.4	3	1.3	163.2	0.16	1.5	100	1.8	1.1	6	8	603	335	305	>	212	696	>	603
	2	105.0	2.4	4	1.3	252.0	0.16	1.5	100	1.8	1.1	6	10	754	419	381	>	328	929	>	754
3	1	91.0	2.4	3	1.3	218.4	0.16	1.5	100	1.8	1.1	8	8	603	335	305	>	284	696	>	603
	2	125.0	2.4	4	1.3	300.0	0.16	1.5	100	1.8	1.1	8	12	905	503	457	>	390	929	>	905
	3	164.0	2.4	5	1.3	393.6	0.16	1.5	100	1.8	1.1	6	14	1056	586	533	>	512	1161	>	1056
4	1	108.0	2.4	3	1.3	259.2	0.16	1.5	100	1.8	1.1	10	9	679	377	343	>	337	696	>	679
	2	130.0	2.4	4	1.3	312.0	0.16	1.5	100	1.8	1.1	8	11	829	461	419	>	406	929	>	829
	3	151.0	2.4	5	1.3	362.4	0.16	1.5	105	1.8	1.1	8	12	950	528	480	>	471	1161	>	950
	4	204.0	2.0	5	1.3	408.0	0.16	1.5	105	1.8	1.1	6	14	1108	616	560	>	530	1161	>	1108

8.2.3 Verifica delle travi di ripartizione

TIPO 1

TIPO 1 (H=4.5 m)

		I ordine			
		Interasse tirante (m)	2.4		
		Inclinazione tirante (°)	15		
Trave di ripartizione		Tipo	HEB 180		
		Materiale Fe	510		
		Tensione di snervamento f_y (MPa)	355		
		Larghezza ali b (mm)	180		
		Altezza anima h_w (mm)	180		
		Spessore anima t_w (mm)	8.5		
		Spessore ali t_f (mm)	14		
		Raggio di raccordo tra ala e anima r (mm)	15		
		Area lorda della sezione del profilo A (mm ²)	6530		
		Area di taglio A_v (mm ²)	2029		
	$W_{pl,x}$ (cm ³)	482			
Solicitazioni tirante		Taglio massimo A1+M1+R1 (kN/m)	71		
Solicitazioni trave di ripartizione	SLU - combinazione A1+M1+R1	Taglio di calcolo (kN)	53		
		Momento flettente di calcolo (kN-m)	26		
		Coefficiente di sicurezza sul materiale γ_{mo}	1.05		
		Coefficiente di amplificazione dei carichi combinazione A1+M1+R1	1.3		
Verifica SLU - combinazione A1+M1+R1		Azione di taglio di progetto V_{sd} (kN)	53		
		Taglio plastico $V_{pl,Rd}$ (kN)	396		
		ρ	1		
		Momento di progetto (kN-m)	26		
		Momento plastico $M_{pl,Rd}$ (kN-m)	163		

TIPO 2

TIPO 2 (H=6.5 m)

		I ordine	III ordine		
		Interasse tirante (m)	2.4	2.4	
		Inclinazione tirante (°)	15	18	
Trave di ripartizione		Tipo	HEB 180	HEB 180	
		Materiale Fe	510	510	
		Tensione di snervamento f_y (MPa)	355	355	
		Larghezza ali b (mm)	180	180	
		Altezza anima h_w (mm)	180	180	
		Spessore anima t_w (mm)	8.5	8.5	
		Spessore ali t_f (mm)	14	14	
		Raggio di raccordo tra ala e anima r (mm)	15	15	
		Area lorda della sezione del profilo A (mm ²)	6530	6530	
		Area di taglio A_v (mm ²)	2029	2029	
	$W_{pl,x}$ (cm ³)	482	482		
Solicitazioni tirante		Taglio massimo A1+M1+R1 (kN/m)	68	105	
Solicitazioni trave di ripartizione	SLU - combinazione A1+M1+R1	Taglio di calcolo (kN)	51	78	
		Momento flettente di calcolo (kN-m)	25	37	
		Coefficiente di sicurezza sul materiale γ_{mo}	1.05	1.05	
		Coefficiente di amplificazione dei carichi combinazione A1+M1+R1	1.3	1.3	
Verifica SLU - combinazione A1+M1+R1		Azione di taglio di progetto V_{sd} (kN)	51	78	
		Taglio plastico $V_{pl,Rd}$ (kN)	396	396	
		ρ	1	0	
		Momento di progetto (kN-m)	25	37	
		Momento plastico $M_{pl,Rd}$ (kN-m)	163	163	

TIPO 3

TIPO 3 (H=8.0 m)

		I ordine	III ordine	III ordine		
		Interasse tirante (m)	2.4	2.4	2.4	
		Inclinazione tirante (°)	15	18	20	
Trave di ripartizione		Tipo	HEB 180	HEB 180	HEB 180	
		Materiale Fe	510	510	510	
		Tensione di snervamento f_y (MPa)	355	355	355	
		Larghezza ali b (mm)	180	180	180	
		Altezza anima h_w (mm)	180	180	180	
		Spessore anima t_w (mm)	8.5	8.5	8.5	
		Spessore ali t_f (mm)	14	14	14	
		Raggio di raccordo tra ala e anima r (mm)	15	15	15	
		Area lorda della sezione del profilo A (mm ²)	6530	6530	6530	
		Area di taglio A_v (mm ²)	2029	2029	2029	
		$W_{pl,x}$ (cm ³)	482	482	482	
Sollecitazioni tirante		Taglio massimo A1+M1+R1 (kN/m)	91	125	164	
Sollecitazioni trave di ripartizione	SLU - combinazione A1+M1+R1	Taglio di calcolo (kN)	69	93	120	
		Momento flettente di calcolo (kN·m)	33	45	58	
Coefficiente di sicurezza sul materiale γ_{mo}			1.05	1.05	1.05	
Coefficiente di amplificazione dei carichi combinazione A1+M1+R1			1.3	1.3	1.3	
Verifica SLU - combinazione A1+M1+R1		Azione di taglio di progetto V_{sd} (kN)	69	93	120	
		Taglio plastico $V_{pl,Rd}$ (kN)	396	396	396	
		ρ	0	0	0	
		Momento di progetto (kN·m)	33	45	58	
		Momento plastico $M_{pl,Rd}$ (kN·m)	163	163	163	

TIPO 4

TIPO 4 (H=10 m)

		I ordine	III ordine	III ordine	VI ordine	
		Interasse tirante (m)	2.4	2.4	2.4	2
		Inclinazione tirante (°)	15	18	20	25
Trave di ripartizione		Tipo	HEB 180	HEB 180	HEB 180	HEB 181
		Materiale Fe	510	510	510	511
		Tensione di snervamento f_y (MPa)	355	355	355	235
		Larghezza ali b (mm)	180	180	180	180
		Altezza anima h_w (mm)	180	180	180	180
		Spessore anima t_w (mm)	8.5	8.5	8.5	8.5
		Spessore ali t_f (mm)	14	14	14	14
		Raggio di raccordo tra ala e anima r (mm)	15	15	15	15
		Area lorda della sezione del profilo A (mm ²)	6530	6530	6530	6530
		Area di taglio A_v (mm ²)	2029	2029	2029	2029
		$W_{pl,x}$ (cm ³)	482	482	482	482
Sollecitazioni tirante		Taglio massimo A1+M1+R1 (kN/m)	108	130	151	204
		Taglio massimo - SLU sismica (kN/m)				
Sollecitazioni trave di ripartizione	SLU - combinazione A1+M1+R1	Taglio di calcolo (kN)	81	96	111	120
		Momento flettente di calcolo (kN·m)	39	46	53	48
	SLU sismica	Taglio di calcolo (kN)	0	0	0	0
		Momento flettente di calcolo (kN·m)	0	0	0	0
Coefficiente di sicurezza sul materiale γ_{mo}			1.05	1.05	1.05	1.05
Coefficiente di amplificazione dei carichi combinazione A1+M1+R1			1.3	1.3	1.3	1.3
Verifica SLU - combinazione A1+M1+R1		Azione di taglio di progetto V_{sd} (kN)	81	96	111	120
		Taglio plastico $V_{pl,Rd}$ (kN)	396	396	396	396
		ρ	0	0	0	0
		Momento di progetto (kN·m)	39	46	53	48
		Momento plastico $M_{pl,Rd}$ (kN·m)	163	163	163	163