



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

- PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'Angelo



Titolo elaborato:

MODIFICA TECNICA N. 256

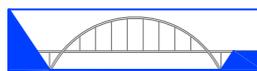
OS120 - Viabilità secondaria 53 - opere di sostegno da km 0+465.40 al km 1+033.02 Relazione di modifica tecnica n. 256

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	P V	MT 256	R T 0 1	6	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:	
		1=1	4 1 3 7	-	
5					
4					
3					
2					
1					
0	Prima emissione		Maggio 2021	F. Bianchi S. Fortino N. Behaman	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Progettisti :



ENSER srl
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Viale Baccarini, 29 - 48018 FAENZA (RA) tel. 0546-663423
Via Zacconi, 16 - 40127 BOLOGNA (BO) tel. 051-245663
Via Andrea Costa, 115 - 47822 SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN) tel. 0541-1832933
ingegneria@enser.it - www.enser.it - P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it



Il Progettista Responsabile
Prof. Ing. Gianfranco Marchi

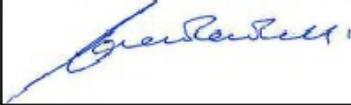


Il Geologo
Dott. Stefano Ferro



Il Coordinatore per la Sicurezza
in fase di esecuzione:
Arch. Francesco Rondelli

Il Coordinatore per la
Esecuzione dei Lavori
arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:
Ing. Sandro Favero

Il Direttore dei Lavori
Ing. Sandro Favero

ANAS S.p.A.

DATA: _____ PROTOCOLLO: _____

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO

L O 4 1 0 C E 1 1 0 1

Dott. Ing. Luigi Mupo



6COMMITTENTE: A N A S S.p.A.

*** * * * ***

CONTRAENTE GENERALE: BOLOGNETTA S.C.p.A.

SS 189 e SS 121

ITINERARIO PALERMO - AGRIGENTO

PA 17/08

Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km 0,0 del lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km 33,6 del lotto 2 - svincolo Manganaro incluso), compresi i raccordi con le attuali S.S. n. 189 e S.S. n. 121

CUP F41B03000230001

Contratto per affidamento a Contraente Generale, stipulato in Roma il 19/10/2009 c/o Notaio Paolo Cerasi rep. n. 7953 racc. n. 4132, registrato in Roma il 27/10/2009.

**Succ. Atto Aggiuntivo n. 1 stipulato in data 02.11.2011 rep. n. 9879 racc. n. 5275,
succ. Atto Aggiuntivo n. 2 stipulato in data 30.05.2013 rep. n. 20888 racc. n. 5938,
succ. Atto Aggiuntivo n. 3 stipulato in data 23.01.2014 rep. n. 21091 racc. n. 6057,
succ. Atto Aggiuntivo n. 4 stipulato in data 12.04.2017 rep. n. 23715 racc. n. 8247
e succ. Atto Aggiuntivo n. 5 stipulato in data 23.10.2018 rep. n. 28127 racc. n. 13982.**

MODIFICA TECNICA N. 256

WBS: OS 120

OGGETTO: Relazione di modifica tecnica relativa a delle NC

DATA: 07-07-2020

Dott. Ing. Fausto Bianchi

**Il Progettista Responsabile
Prof. Ing. Gianfranco Marchi**



INDICE

INDICE	2
1 PREMESSA.....	6
2 ELABORATI ALLEGATI ALLA PRESENTE MODIFICA TECNICA.....	6
3 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO.....	6
4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5 PALO N. 8.....	7
6 PALO N. 18.....	9
7 PALO N. 47.....	10
8 PALO N. 144.....	11
9 NOTA IN MERITO ALLA TAVOLA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI PEIDP035_52_4137.....	12
10 SEZIONE 28_VAR 1.....	15
10.1 Stratigrafia di riferimento, dati di input dei materiali e livelli piezometrici adottati.....	15
10.2 Descrizione delle fasi di calcolo.....	17
10.3 Sintesi dei risultati per gli stati limite di esercizio (SLE).....	20
10.3.1 SLE, Sollecitazioni pali.....	20
10.3.2 SLE, Sollecitazioni tiranti.....	21
10.3.3 Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR).....	21
10.3.3.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali.....	21
10.4 Sintesi delle sollecitazioni sui tiranti (SLU-SLV).....	22
10.5 Verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR).....	23
10.5.1 Pali, verifica a flessione.....	23
10.5.2 Pali, verifica a taglio.....	24
10.6 Verifiche agli SLE di tipo strutturale.....	25
10.7 Verifiche dei tiranti di ancoraggio.....	28
10.7.1 Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio.....	28
10.7.2 Resistenza a trazione dei trefoli.....	32
10.7.3 Sintesi delle verifiche sui tiranti.....	33
10.8 Verifica del cordolo di coronamento dei pali.....	34
10.8.1 Determinazione delle sollecitazioni.....	34
10.8.1.1 Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE).....	35
10.8.1.2 Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV).....	36
10.8.2 Verifica agli SLU: verifica a flessione.....	37
10.8.3 Verifica agli SLU: verifica a taglio.....	39
10.8.4 Verifica agli SLE.....	39

11	SEZIONE 28_VAR 2.....	41
11.1	Stratigrafia di riferimento, dati di input dei materiali e livelli piezometrici adottati	41
11.2	Descrizione delle fasi di calcolo.....	43
11.3	Sintesi dei risultati per gli stati limite di esercizio (SLE)	46
11.3.1	SLE, spostamenti.....	46
11.3.2	SLE, Sollecitazioni pali.....	47
11.3.3	SLE, Sollecitazioni tiranti.....	48
11.3.4	Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR).....	48
11.3.4.1	SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali	48
11.4	Sintesi delle sollecitazioni sui tiranti (SLU-SLV).....	49
11.5	Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi geotecnici (GEO).....	50
11.5.1	SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Convergenza dei modelli	50
11.6	Verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR)	51
11.6.1	Pali, verifica a flessione.....	51
11.6.2	Pali, verifica a taglio	52
11.7	Verifiche agli SLE di tipo strutturale	52
11.8	Verifiche agli SLE in termini di spostamento.....	60
11.9	Verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO).....	61
11.10	Verifiche dei tiranti di ancoraggio.....	61
11.10.1	Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio	61
11.10.2	Resistenza a trazione dei trefoli	65
11.10.3	Sintesi delle verifiche sui tiranti	66
11.11	Verifiche di stabilità globale (GEO_stab)	67
11.12	Verifica del cordolo di coronamento dei pali	69
11.12.1	Determinazione delle sollecitazioni	69
11.12.1.1	Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE).....	70
11.12.1.2	Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV).....	71
11.12.2	Verifica agli SLU: verifica a flessione	72
11.12.3	Verifica agli SLU: verifica a taglio.....	73
11.12.4	Verifica agli SLE	74
12	SEZIONE 30_VAR 1.....	76
12.1	Stratigrafia di riferimento, dati di input dei materiali e livelli piezometrici adottati	76
12.2	Descrizione delle fasi di calcolo.....	78
12.3	Sintesi dei risultati per gli stati limite di esercizio (SLE)	81
12.3.1	SLE, spostamenti.....	81
12.3.2	SLE, Sollecitazioni pali.....	82

12.3.3	SLE, Sollecitazioni tiranti.....	83
12.3.4	Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR).....	83
12.3.4.1	SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali	83
12.4	Sintesi delle sollecitazioni sui tiranti (SLU-SLV).....	84
12.5	Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi geotecnici (GEO).....	85
12.5.1	SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Convergenza dei modelli	85
12.6	Verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR)	86
12.6.1	Pali, verifica a flessione.....	86
12.6.2	Pali, verifica a taglio	87
12.7	Verifiche agli SLE di tipo strutturale	87
12.8	Verifiche agli SLE in termini di spostamento.....	95
12.9	Verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO).....	96
12.10	Verifiche dei tiranti di ancoraggio.....	96
12.10.1	Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio	96
12.10.2	Resistenza a trazione dei trefoli	100
12.10.3	Sintesi delle verifiche sui tiranti	101
12.11	Verifiche di stabilità globale (GEO_stab)	102
12.12	Verifica del cordolo di coronamento dei pali	104
12.12.1	Determinazione delle sollecitazioni	104
12.12.1.1	Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE).....	105
12.12.1.2	Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV).....	106
12.12.2	Verifica agli SLU: verifica a flessione	107
12.12.3	Verifica agli SLU: verifica a taglio.....	109
12.12.4	Verifica agli SLE	109
13	SEZIONE 35_VAR 1.....	111
13.1	Stratigrafia di riferimento, dati di input dei materiali e livelli piezometrici adottati	111
13.2	Descrizione delle fasi di calcolo.....	114
13.3	Sintesi dei risultati per gli stati limite di esercizio (SLE)	117
13.3.1	SLE, spostamenti.....	117
13.3.2	SLE, Sollecitazioni pali.....	118
13.3.3	SLE, Sollecitazioni tiranti.....	119
13.3.4	Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR).....	119
13.3.4.1	SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali	119
13.4	Sintesi delle sollecitazioni sui tiranti (SLU-SLV).....	120
13.5	Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi geotecnici (GEO).....	121
13.5.1	SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Convergenza dei modelli	121

13.6	Verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR)	122
13.6.1	Pali, verifica a flessione.....	122
13.6.2	Pali, verifica a taglio	123
13.7	Verifiche agli SLE di tipo strutturale	123
13.8	Verifiche agli SLE in termini di spostamento.....	130
13.9	Verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO)	131
13.10	Verifiche dei tiranti di ancoraggio.....	131
13.10.1	Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio	131
13.10.2	Resistenza a trazione dei trefoli	135
13.10.3	Sintesi delle verifiche sui tiranti	136
13.11	Verifiche di stabilità globale (GEO_stab)	137
13.12	Verifica del cordolo di coronamento dei pali	139
13.12.1	Determinazione delle sollecitazioni	139
13.12.1.1	Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE).....	140
13.12.1.2	Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV).....	141
13.12.2	Verifica agli SLU: verifica a flessione	142
13.12.3	Verifica agli SLU: verifica a taglio	144
13.12.4	Verifica agli SLE	144

1 PREMESSA

La presente nota tecnica risponde alle seguenti NC:

- Palo n. 8: Vedasi § 5.
La N.C. riguarda la non realizzazione del palo a causa dell'interferenza dell'asta della trivella con una linea elettrica di media tensione denominata E-MT-30.
- Palo n. 18: Vedasi § 6.
la N.C. riguarda la quota di testa palo riscontrata a + 62 cm dalla quota prevista in progetto.
- Palo n. 47: Vedasi § 7
la N.C. riguarda la quota di testa palo riscontrata a + 48 cm dalla quota prevista in progetto.
- Palo n. 144: Vedasi § 8
la N.C. riguarda la quota di testa palo riscontrata a + 97 cm dalla quota prevista in progetto.

Inoltre viene trattata al § 9 una incongruenza rilevata nella tavola di regimazione delle acque superficiali PEIDP035_52_4137 in merito alla cunetta al piede e in testa alla paratia di pali o muro in gabbioni.

2 ELABORATI ALLEGATI ALLA PRESENTE MODIFICA TECNICA

Ref. 1	Intervento locale per la risoluzione della NC relativa alla mancata esecuzione del palo n. 8	PVOS120N024_50_4137
--------	--	---------------------

3 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

Ref. 2	Relazione tecnica e di calcolo	PVOS120RC01_51_4137
--------	--------------------------------	---------------------

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L. 5.11.1971, n° 1086 – "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".

D.M. 14.01.2008 – "Norme tecniche per le costruzioni".

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008"

Eurocodice 8 "Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici", febbraio 1998.

5 PALO N. 8

La N.C. riguarda la non realizzazione del palo n. 8 a causa dell'interferenza dell'asta della trivella con una linea elettrica di media tensione denominata E-MT-30.

Nella relazione di calcolo di cui al Ref. 2 il palo 8 rientra nella tratta A per la quale la sezione di calcolo di riferimento è la 28. Nel § 10 viene verificata una nuova sezione denominata Sez 28_var 1 rappresentativa della reale situazione nell'intorno del palo 8. Questa nuova sezione di calcolo è ottenuta dalla sezione 28 con le seguenti modifiche:

- interasse medio fra i pali di 2.1 m considerando infatti la mancanza del palo 8 l'interasse medio risulta pari a $(1.4+2.8)/2=2.1$ m;
- fondo scavo innalzato di 20 cm in quanto in prossimità del palo 8 le altezze di scavo sono leggermente inferiori a quelle della sezione 28.

Ovviamente i criteri di calcolo e i dati di base (materiali, sismicità,...) sono quelli assunti nella relazione di cui al Ref. 2 alla quale si rimanda per i dettagli.

Dai risultati ottenuti risulta che le verifiche risultano tutte soddisfatte seppur con margini ridotti soprattutto per quanto riguarda le verifiche a fessurazione dei pali, per questo motivo si prevede una parete di rivestimento e rinforzo fra i pali 7 e 9 come illustrato nella figura seguente nell'elaborato grafico Ref. 1.

L'intervento prevede di realizzare nel tratto dal palo 6 al palo 10, il riempimento fra i pannelli prefabbricati esterni e i pali stessi con calcestruzzo strutturale inghisando l'armatura ai pali. L'intervento viene realizzato nel tratto di paratia lato vale da fondo scavo a sommità dei pali.

PIANTA PARETE DI RIVESTIMENTO

SCALA 1:20 - DIM. cm

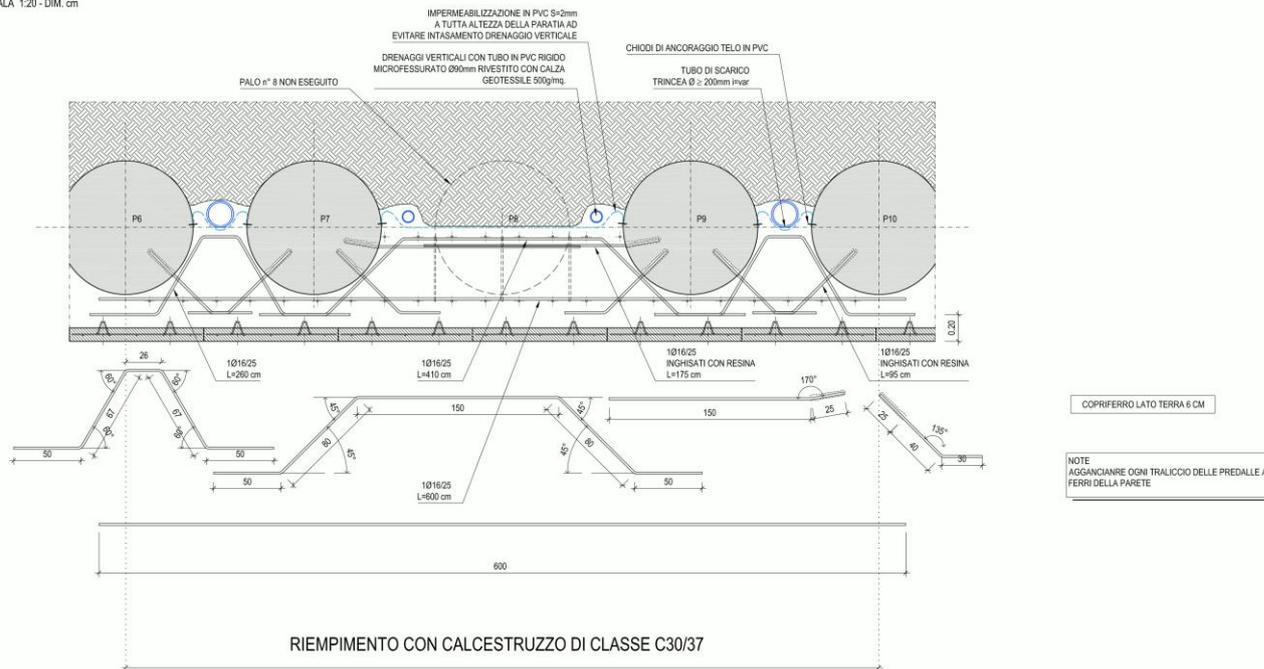


Figura 1: Intervento di rinforzo in prossimità del palo 8

6 PALO N. 18

La N.C. riguarda la quota di testa palo 18 eseguito a + 62 cm dalla quota prevista in progetto.

Nella relazione di calcolo di cui al Ref. 2 il palo 18 rientra nella tratta A per la quale la sezione di calcolo di riferimento è la 28. Nel § 11 viene verificata una nuova sezione denominata Sez. 28_var 2 rappresentativa della reale situazione nell'intorno del palo 18. Questa nuova sezione di calcolo è ottenuta dalla sezione 28 con le seguenti modifiche:

- lunghezza dei pali ridotta di 62 cm;
- fondo scavo innalzato di 10 cm in quanto in prossimità del palo 18 le altezze di scavo sono leggermente inferiori a quelle della sezione 28.

Ovviamente i criteri di calcolo e i dati di base (materiali, sismicità,...) sono quelli assunti nella relazione di cui al Ref. 2 alla quale si rimanda per i dettagli.

Dai risultati ottenuti risulta che le verifiche risultano tutte soddisfatte senza necessità di interventi specifici.

7 PALO N. 47

La N.C. riguarda la quota di testa palo n. 47 riscontrata a + 48 cm dalla quota prevista in progetto. Nella relazione di calcolo di cui al Ref. 2 il palo 47 rientra nella tratta B per la quale la sezione di calcolo di riferimento è la 30. Nel § 12 viene verificata una nuova sezione denominata Sez. 30_var. 1 rappresentativa della reale situazione nell'intorno del palo 47. Questa nuova sezione di calcolo è ottenuta dalla sezione 30 con le seguenti modifiche:

- lunghezza dei pali ridotta di 47 cm;

Ovviamente i criteri di calcolo e i dati di base (materiali, sismicità,...) sono quelli assunti nella relazione di cui al Ref. 2 alla quale si rimanda per i dettagli.

Dai risultati ottenuti risulta che le verifiche risultano tutte soddisfatte senza necessità di interventi specifici.

8 PALO N. 144

La N.C. riguarda la quota di testa palo n. 144 riscontrata a + 97 cm dalla quota prevista in progetto. Nella relazione di calcolo di cui al Ref. 2 il palo 144 rientra nella tratta C per la quale la sezione di calcolo di riferimento è la 35. Nel § 13 viene verificata una nuova sezione denominata Sez. 35_var 1 rappresentativa della reale situazione nell'intorno del palo 144. Questa nuova sezione di calcolo è ottenuta dalla sezione 35 con le seguenti modifiche:

- lunghezza dei pali ridotta di 97 cm;
- fondo scavo innalzato di 57 cm in quanto in prossimità del palo 144 le altezze di scavo sono inferiori a quelle della sezione 35.

Ovviamente i criteri di calcolo e i dati di base (materiali, sismicità,...) sono quelli assunti nella relazione di cui al Ref. 2 alla quale si rimanda per i dettagli.

Dai risultati ottenuti risulta che le verifiche risultano tutte soddisfatte senza necessità di interventi specifici.

9 NOTA IN MERITO ALLA TAVOLA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI PEIDP035_52_4137

In merito alla tavola di regimazione delle acque "PEIDP035_52_4137: Planimetria idraulica - Tav 35", si evidenzia una incongruenza nell'indicazione dei fossi riportati in prossimità dell'opera di sostegno (paratia di muro o muro) a fianco della carreggiata principale direzione Agrigento. Come risulta dallo stralcio planimetrico della Figura 2 la planimetria indica:

- a monte della paratia un mezzotubo in cls;
- embrici sulla scarpata a monte della paratia che erroneamente arrivano fino al fosso rivestito al piede, anziché scarica sul mezzotubo di cui al punto precedente;
- fosso rivestito al piede della paratia per le acque di versante di dimensioni 25X25X25 cm. L'indicazione di questo fosso non è corretta sia perché le acque di versante sono raccolte dalla canaletta semicircolare posta immediatamente a monte della paratia di pali, sia per la sicurezza dei veicoli che transitano sulla carreggiata in direzione di Agrigento in caso di svio.

Come previsto nell'elaborato PVOS120N014_51_4137 di cui la Figura 3 riporta uno stralcio, al piede della paratia deve essere prevista una canaletta alla francese la cui funzione è di raccogliere le acque dei dreni suborizzontali e trincee drenanti e scaricarla nei ptombini previsti lungo il tracciato. L'acqua di piattaforma stradale non viene raccolta dalla cunetta alla francese in quanto la direzione di scorrimento delle acque è verso valle.

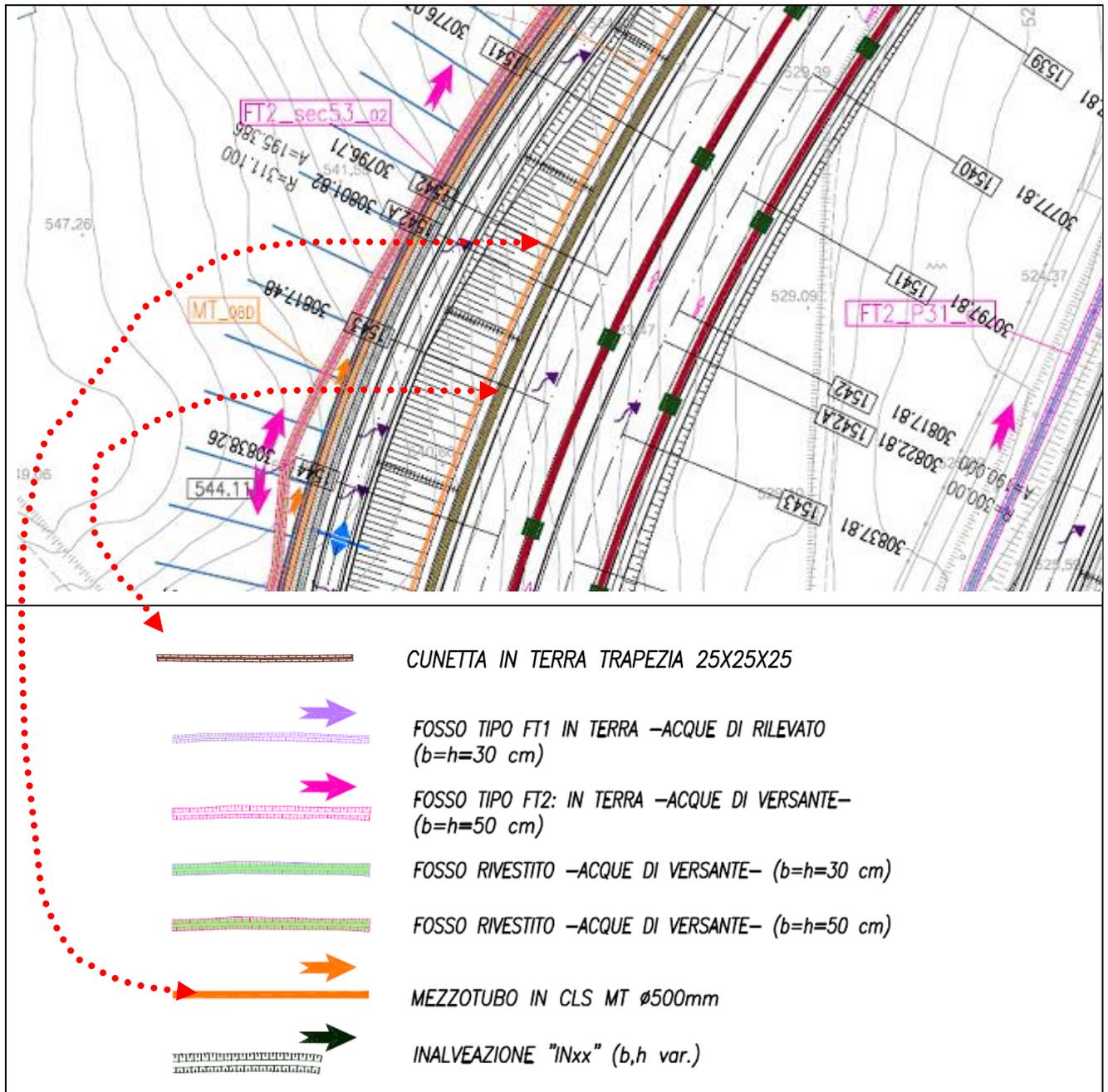


Figura 2: Stralcio della tavola idraulica PEIDP035_52_4137

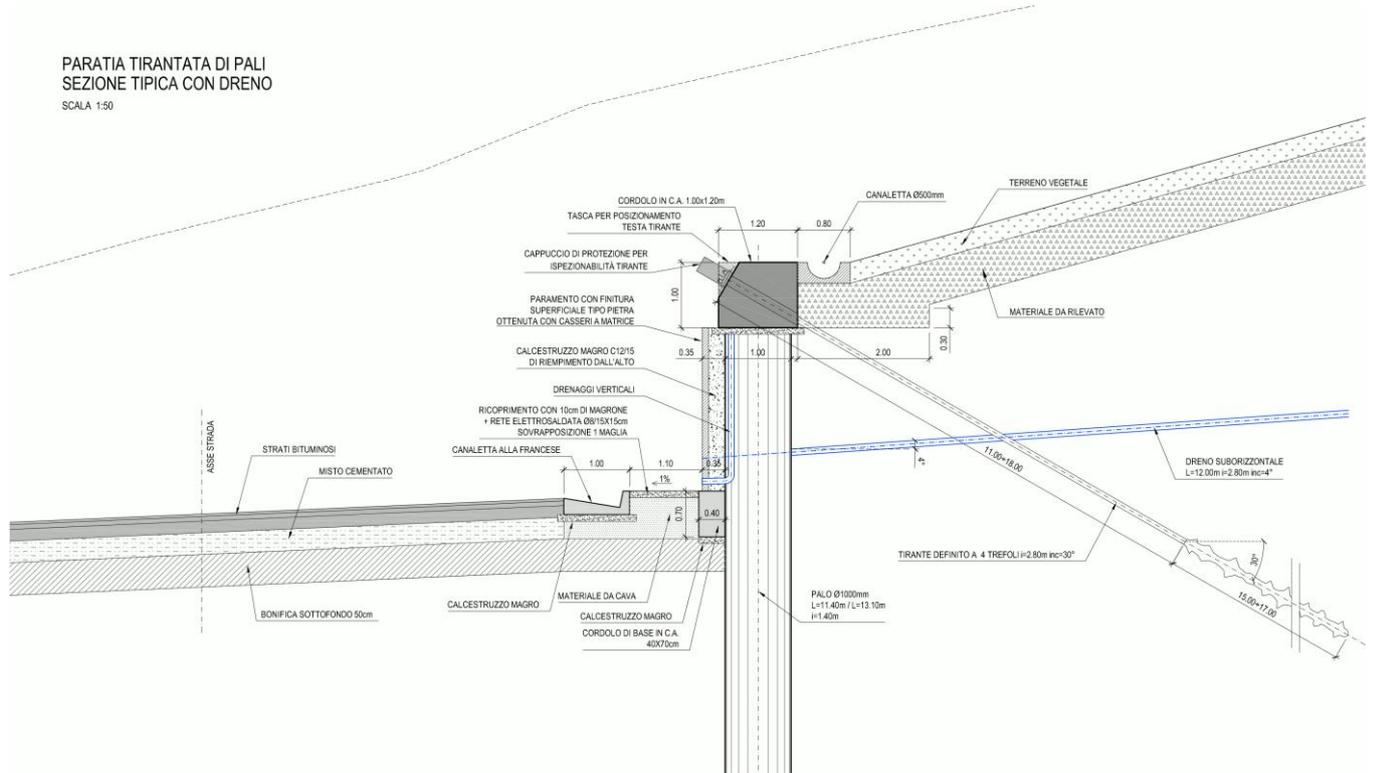


Figura 3: Canalette a monte e valle della paratia

10 SEZIONE 28_VAR 1

Il modello di calcolo Plaxis è riportato nella figura seguente. Il modello è stato aggiornato considerando una riduzione dell'altezza di scavo a pari a 20 cm.

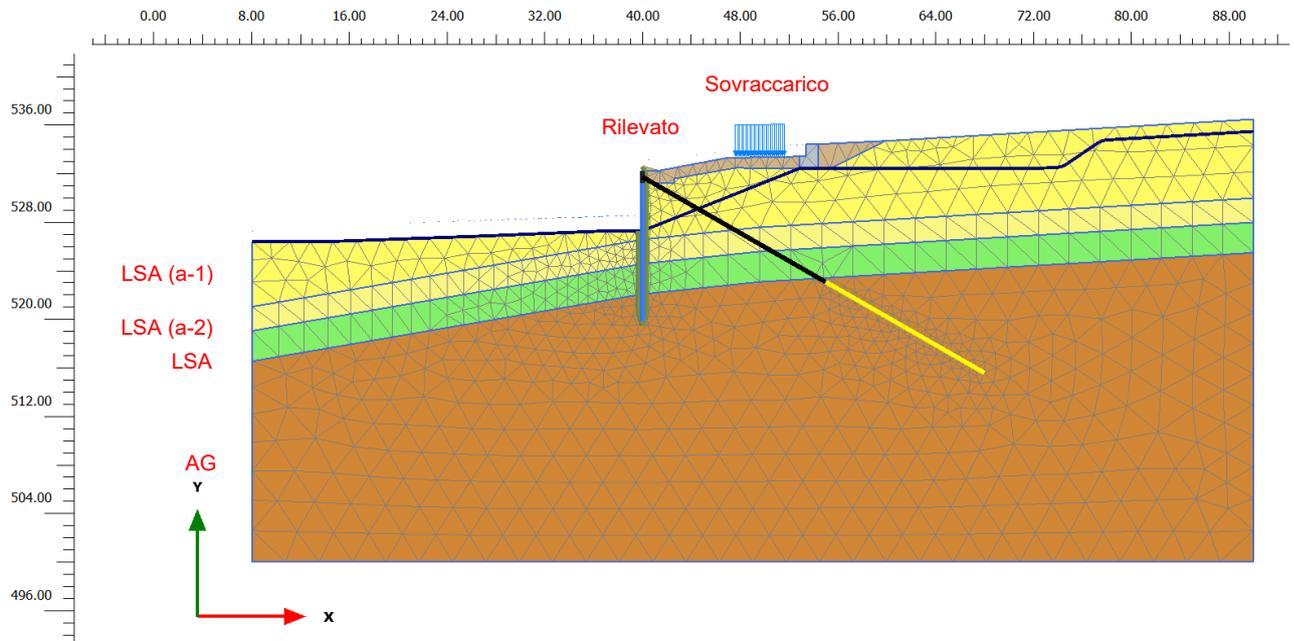


Figura 4: Sezione 28. Modello di calcolo Plaxis

10.1 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO, DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

La stratigrafia di riferimento, i parametri geotecnici di progetto e i livelli piezometrici adottati sono conformi a quanto riportato nella relazione PVOS120RC01_51_4137 "OS120 – Viabilità secondaria 53 – opere di sostegno da km 0+465.4 al km 1+033.02 -Relazione tecnica di calcolo".

In particolare, per la sezione di calcolo 28 si sono considerate per le varie unità stratigrafiche gli spessori riportati nella tabella seguente.

Tabella 1: Stratigrafia di riferimento Sezione 28

Unità	Profondità da p.c.
LSA(a-1)	0.0÷6.5 m
LSA(a-2)	6.5÷8.5 m
LSA	8.5÷11.0 m
AG	>11.0 m

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella tabella seguente. Per il terreno naturale si è considerato un modello costitutivo Hardening-soil e per il rilevato un modello Mohr-Coulomb con comportamento drenato.

Tabella 2: Parametri geotecnici assunti nelle elaborazioni Plaxis.

Material model	Model	Unit	LSA(a-1)	LSA(a-2)	LSA	AG	Rilevato
General							
Material model	Model	-	Hard. soil	Hard. soil	Hard. soil	Hard. soil	Mohr-Coulomb
Type of material behaviour	Type	-	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Drained
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	kN/m ³	20	20	20	20.5	20
Soil unit weight below phreatic level	γ_{sat}	kN/m ³	20	20	20	20.5	20
Initial void ratio	e_{init}	-	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Parameters							
Young's modulus (constant)	E'	MPa					
Secant stiffness in standard drained triaxial test	E_{50}^{ref}	MPa	25	25	25	35	50
Tangent stiffness for primary oedometer loading	E_{oed}^{ref}	MPa	25	25	25	35	
Unloading / reloading stiffness	E_{ur}^{ref}	MPa	75	75	75	105	
Power for stress-level dependency of stiffness	m	-	0.5	0.5	0.5	0.7	
Cohesion	c'	kPa	0	2	5	15	0
Friction angle	ϕ'	°	20	22	24	26	38
Dilatancy angle	Ψ	°	0	0	0	0	0
Poisson's ratio	ν' - ν_{ur}	-	0.3	0.3	0.3	0.3	
K_0 -value for normal consolidation	K_0^{nc}	-	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'
Groundwater							
Permeability in horizontal direction	k_x	m/day	4.32·10 ⁻³	4.32·10 ⁻³	4.32·10 ⁻⁴	4.32·10 ⁻⁴	0.864
Permeability in vertical direction	k_y	m/day	8.64·10 ⁻⁴	8.64·10 ⁻⁴	8.64·10 ⁻⁵	8.64·10 ⁻⁵	0.864
Interfaces-							
Interface strength	—	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Strength reduction factor inter.	R_{inter}	0.5	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Initial							
K_0 determination	—	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Over-consolidation ratio	OCR	1.0	1.0	1.0	3	5	-

La falda si assume quota -1.00 m da p.c. sia in condizione statica che sismica.

Poiché per la realizzazione dell'opera dovranno essere eseguiti scavi di sbancamento e sono previsti drenaggi, il livello di falda in prossimità dell'opera è variabile.

I dati di input della paratia di pali e del cordolo di coronamento, rappresentati nel modello con elemento "Plate", sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 3: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "plate".

Parameter	Name	Unit	
Pali			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	18421514
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	1151345
Unit weight	w	kN/m/m	14.02
Poisson's ratio	ν	-	0.12
Cordolo			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	39404400
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	4728528
Unit weight	w	kN/m/m	30.0

Poisson's ratio	ν	-	0
-----------------	-------	---	---

I dati di input dei tiranti di ancoraggio, rappresentati nel modello con elemento "Anchor" (parte passiva) e "Geogrid" (parte attiva), sono indicati nella seguente tabella.

Tabella 4: Dati di input tiranti di ancoraggio.

Parameter	Name	Unit	
Tiranti - Anchor			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA	KN	108976
Spacing	$L_{spacing}$	m	2.8
Maximum tension force	$F_{max,tens}$	kN	628.32
Tiranti - Geogrid			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA_1	KN/m	38920
Maximum force	N_p	kN/m	224.40

10.2 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale e riproducono in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e condizioni di verifica. La fase di messa in opera degli elementi strutturali viene simulata attivando i relativi elementi strutturali.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

- Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c. (Figura 5)
- Fase 2. Realizzazione della paratia e dei tiranti di ancoraggio, pretensione (300 kN) e completamento opere a tergo (Figura 6);
- Fase 3. Scavo (Figura 7)

Stati limite di esercizio SLE

- Fase 4. SLE-Combinazione caratteristica (rara) (Figura 8)
- Fase 5. SLE-Combinazione frequente
- Fase 6. SLE-Combinazione quasi permanente

Stati limite ultimi STR

- Fase 7. SLU/STR A1+M1+R1
- Fase 8. SLV/STR A1+M1+R1, applicazione del sisma

Stati limite ultimi GEO

- Fase 9. SLU/GEO A2+M2+R1
- Fase 10. SLV/GEO A2+M2+R1, applicazione del sisma.

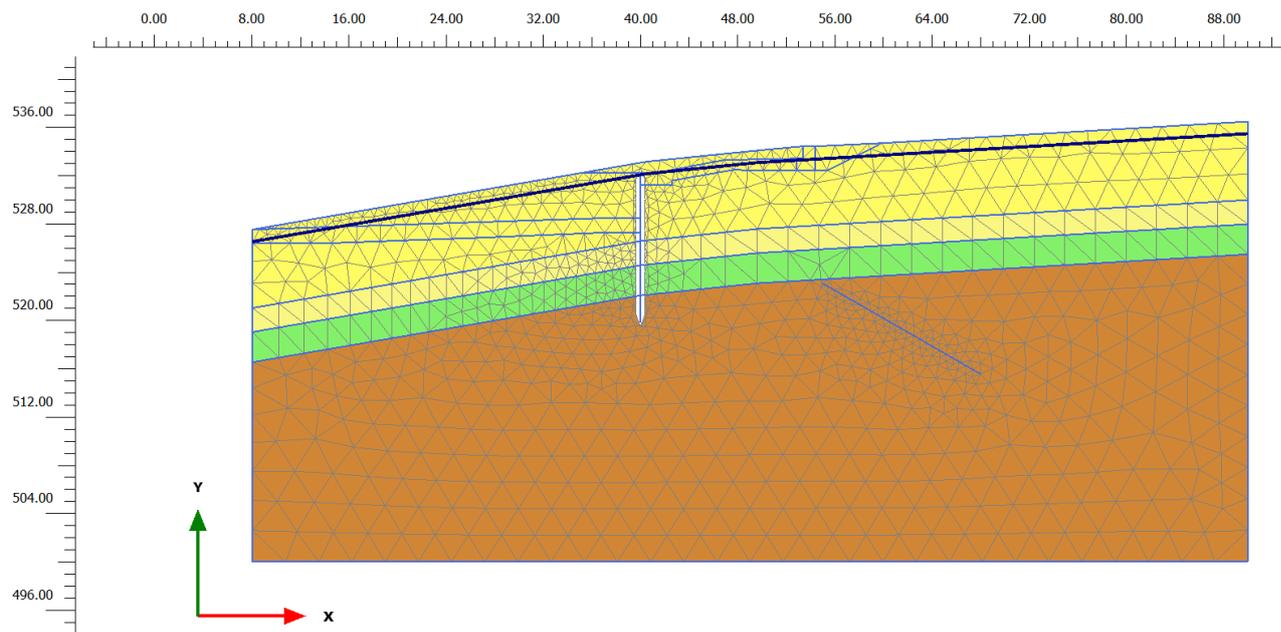


Figura 5: Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c.

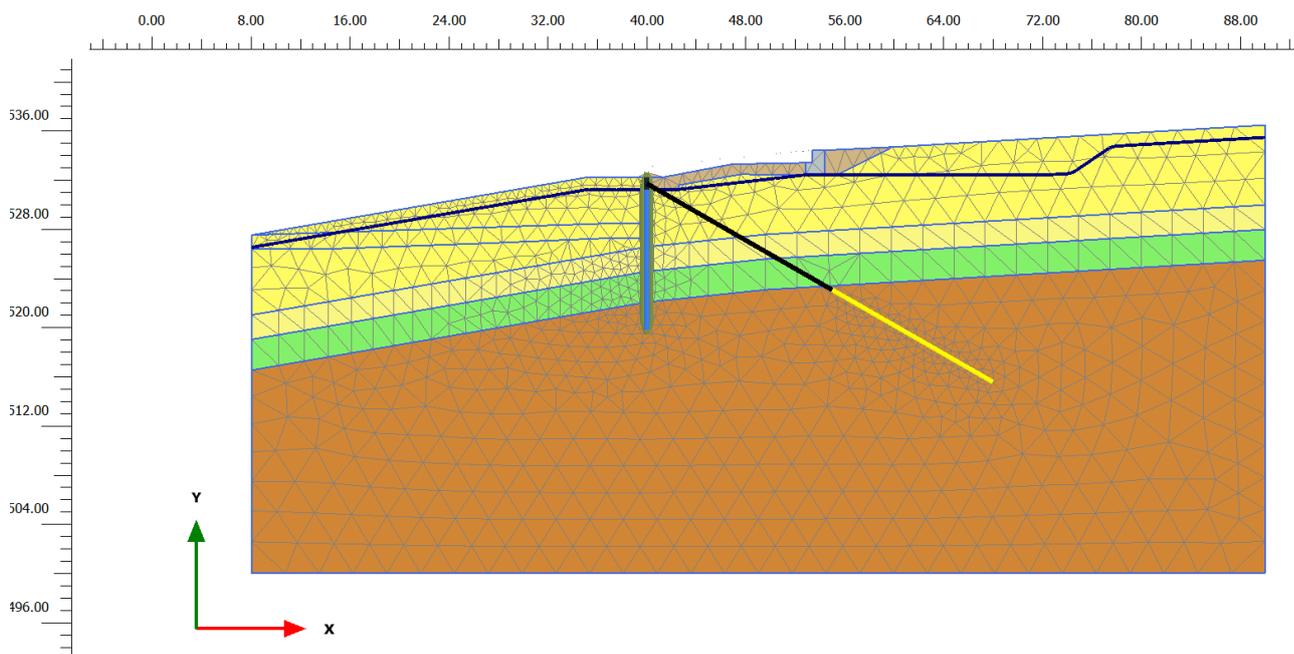


Figura 6: Fase 2. Realizzazione paratia, tiranti di ancoraggio e pretensione e completamento opere a tergo.

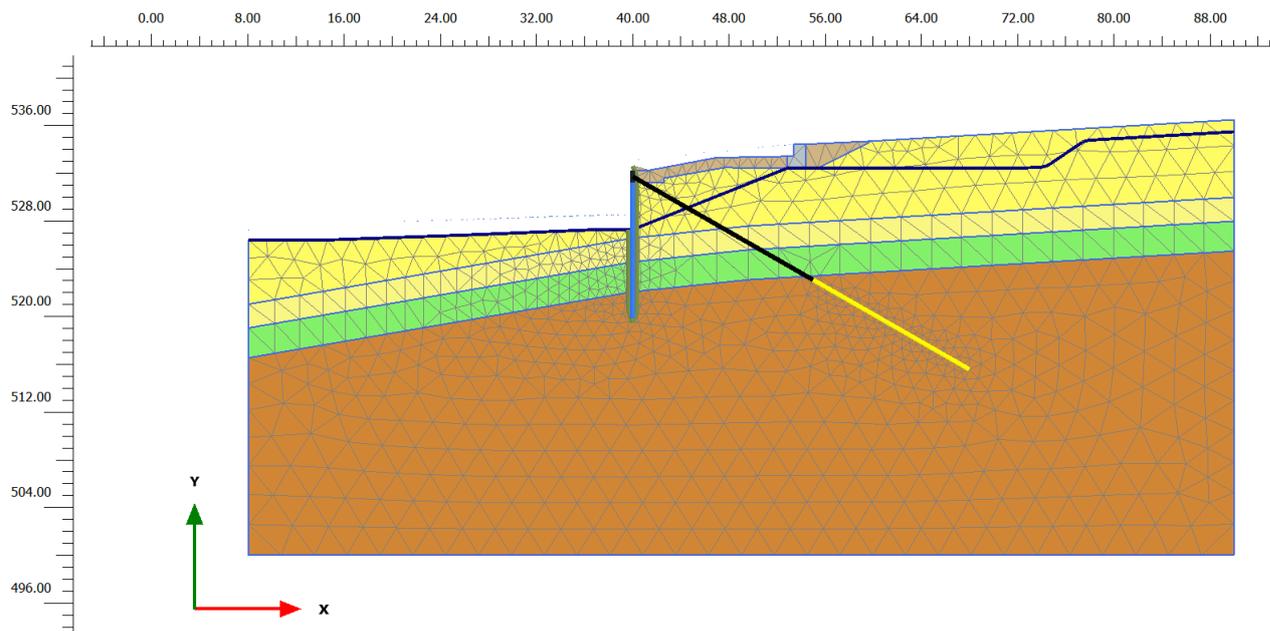


Figura 7: Fase 3. Scavo

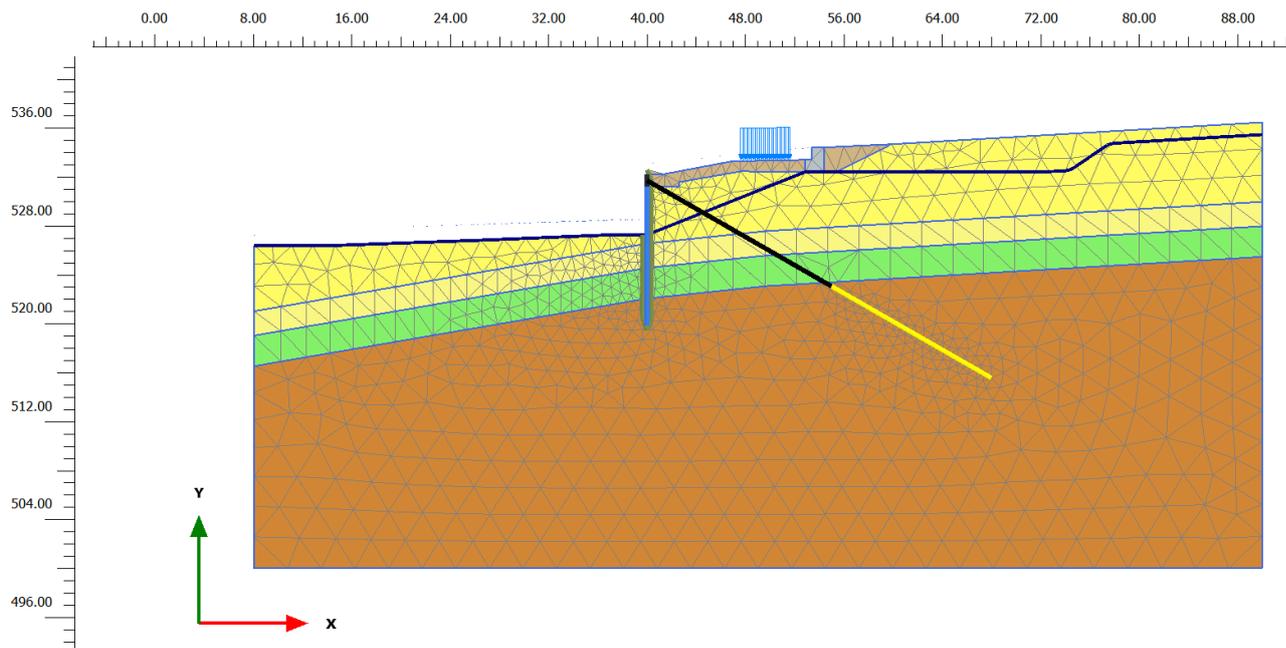


Figura 8: Fase 4. SLE-Combinazione caratteristica (rara)

10.3 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni sugli elementi strutturali.

10.3.1 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sui pali lato valle e lato monte sono diagrammate in funzione della profondità in Figura 9, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 5: SLE-Pali. Sollecitazioni

Sollecitazione Significativa	Palo								
	Comb. Rara			Comb. Frequente			Comb. Quasi Permanente		
	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]
(N _{max} ; M)	11.40	1.93	0.00	11.40	1.22	0.00	11.40	0.87	0.00
(N _{min} ; M)	6.68	-471.79	-196.33	6.68	-459.83	-184.85	6.68	-454.38	-179.57
(N ; M _{max})	9.43	-356.41	179.71	9.31	-356.97	156.14	9.31	-349.39	143.28
(N ; M _{min})	3.61	-351.62	-687.47	3.46	-338.04	-643.10	3.46	-335.23	-619.20

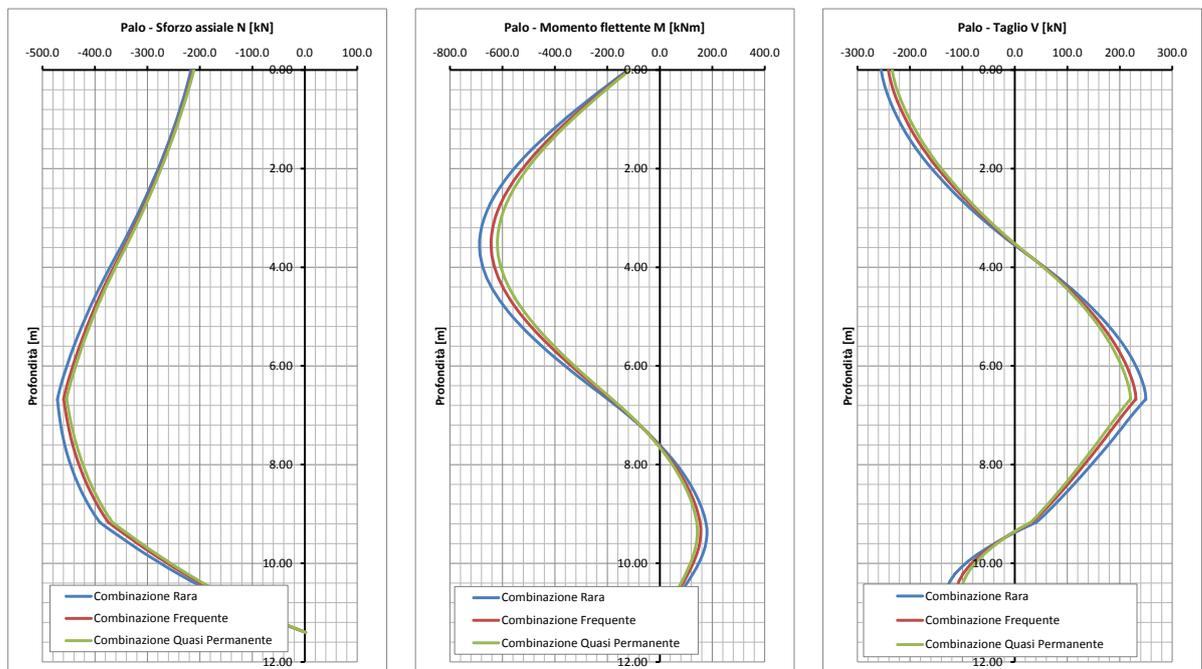


Figura 9: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

10.3.2 SLE, Sollecitazioni tiranti

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agente agli SLE.

Tabella 6: SLE-Tiranti. Sollecitazioni

Combinazione	$N_{Ed,SLE}$ [kN]
Rara	401.5
Frequente	385.9
Quasi permanente	378.3

10.3.3 Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni allo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR).

10.3.3.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali

Tabella 7: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

	Nmax kN	Nmin kN	Mmax kNm	Mmin kNm	Vmax kN	Vmin kN
A1+M1 (STR)	2.8	-617.5	241.1	-908.5	331.0	-335.7
A1+M1 (STR) sism	4.7	-446.3	176.6	-678.9	246.8	-264.2

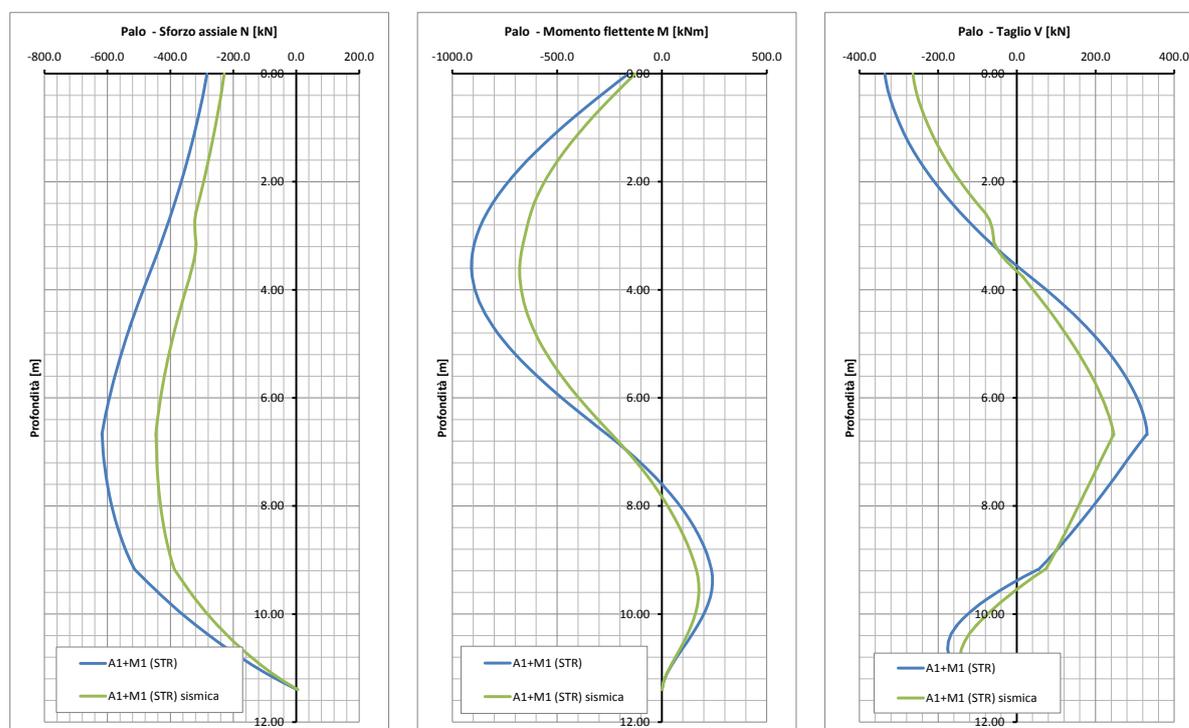


Figura 10: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

10.4 SINTESI DELLE SOLLECITAZIONI SUI TIRANTI (SLU-SLV)

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agenti sui tiranti agli SLU e agli SLV.

Tabella 8: SLU(SLV) A1+M1+R1-Tiranti. Sollecitazioni

	1° ordine
Massima azione agente $N_{Ed,SLU}$ [kN]	527.8
Massima azione agente $N_{Ed,SLV}$ [kN]	428.2

10.5 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera.

10.5.1 Pali, verifica a flessione

Assumendo per i pali $\Phi=1000$ mm una armatura di n. 22 Φ 26 mm si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00	MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.000	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.000	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.500	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	22 Φ 26	(116.8 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	908.50	335.70	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	9.2	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
-----	--

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	908.50	0.05	1645.91	1.812	25.0	---	---	116.8 (23.6)

10.5.2 Pali, verifica a taglio

Con riferimento ad una spirale Φ 12/15 cm, si riporta la verifica a taglio.

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12	mm	
Passo staffe:	15.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	15.1	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt
1	S	335.70	1766.19	1059.09	83.9 71.8	2.500	1.000	4.8

10.6 VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche delle tensioni e di fessurazione in riferimento alle sollecitazioni calcolate.

La verifica a fessurazione in combinazione quasi permanente considerando il copriferro nominale di 6 cm non risulta soddisfatta.

L'annesso all'eurocodice 2 "NA+A2:2014 to 1992-1-1:2004 +A1:2014, UK National Annex to Eurocode 2: Design of concrete structures", riporta quanto segue:

A1) In BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014, Expression (7.11) the cover, c should be taken as c_{nom} . The use of the resulting value of $s_{r,max}$ in BS EN 1992-1-1:2004+A1:2014, Expression (7.8) will then provide an estimation of the crack width at the surface of the concrete. **In some situations, such as structures cast against the ground, c_{nom} will be significantly greater than the cover required for durability. Where there are no appearance requirements it is reasonable to determine the crack width at the cover required for durability and verify that it does not exceed the relevant maximum crack width. This may be done by multiplying the crack width determined at the surface by $(c_{min,dur} + \Delta c_{dev})/c_{nom}$ to give the crack width at the cover required for durability, and verifying that it is not greater than w_{max} . This approach assumes the crack width varies linearly with zero width at the face of the bar.** **A1)**

In particolare l'Annesso in oggetto chiarisce che quando il copriferro è maggiore di quello nominale per motivi costruttivi come ad esempio nel caso di strutture contro terra l'ampiezza della fessurazione deve riferirsi al copriferro necessario alla durabilità ovvero:

$$(c_{min,dur} + \Delta c_{dev}).$$

Ammettendo poi una variazione lineare dall'ampiezza di fessurazione la larghezza di fessurazione può essere calcolata moltiplicando l'ampiezza riferita a c_{nom} per il fattore:

$$\rho = (c_{min,dur} + \Delta c_{dev}) / c_{nom}.$$

Nel caso specifico i pali sono in classe di esposizione XA1 e quindi rientrano in condizioni ambientali aggressive, in base alle istruzioni alle NTC2008 considerato che la vita nominale dell'opera è 50 anni, risulta un copriferro per la durabilità pari a:

$$(c_{min,dur} + \Delta c_{dev}) = 35 + 10 = 45 \text{ mm.}$$

Risulta quindi un coefficiente riduttivo dell'ampiezza di fessurazione pari a:

$$\rho = 45/60 = 0.75.$$

L'apertura delle fessure effettiva per la combinazione 4 in condizioni quasi permanenti risulta pertanto $0.263 \cdot 0.75 = 0.197 < 0.2$.

In ogni caso si prevede anche una parete in c.a. di rivestimento e di rinforzo fra i pali 6-9.

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx
N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	-1.93	0.00
2	471.79	196.33
3	356.41	-179.71
4	351.62	687.47

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx
N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	-1.22	0.00 (0.00)
2	459.83	184.85 (557.52)
3	356.97	-156.14 (-535.92)
4	338.04	643.10 (400.33)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx
N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)	
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
N°Comb.	N	Mx
1	-0.87	0.00 (0.00)
2	454.38	179.57 (562.34)
3	349.39	-143.28 (-552.10)
4	335.23	619.20 (401.24)

**RISULTATI DEL CALCOLO
COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min	Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa]
Yc min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff.	Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff.	Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff.	Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.2	27.2	21.3	5522	116.8	----
2	S	2.47	-50.0	0.00	50.0	-26.8	41.5	21.3	1757	37.2	----
3	S	2.27	50.0	0.00	-50.0	-29.8	-41.5	21.3	2259	47.8	----
4	S	8.71	-50.0	0.00	50.0	-199.2	41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	Esito verifica
e1	Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2	Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt	fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm	Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = $0.6 Ss/Es$
srm	Distanza massima in mm tra le fessure
wk	Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess.	Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
--------	-----	----	----	----	----	----	------	-----	----	---------

1	S	0.00000	0.00000	1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (990.00)	0.00
2	S	-0.00016	0.00019	0.50	0.60	0.000080 (0.000080)	454	0.036 (990.00)	548.24
3	S	-0.00018	0.00017	0.50	0.60	0.000089 (0.000089)	454	0.041 (990.00)	-506.41
4	S	-0.00115	0.00065	0.50	0.60	0.000598 (0.000598)	454	0.271 (990.00)	399.52

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	34.9	21.3	5522	116.8	----
2	S	2.32	-50.0	0.00	50.0	-24.2	41.5	21.3	1757	37.2	----
3	S	1.97	50.0	0.00	-50.0	-22.5	-41.5	21.3	1757	37.2	----
4	S	8.15	-50.0	0.00	50.0	-185.5	41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (0.30)	0.00
2	S	-0.00015	0.00017		0.50	0.60	0.000073 (0.000073)	454	0.033 (0.30)	557.52
3	S	-0.00014	0.00015		0.50	0.60	0.000068 (0.000068)	454	0.031 (0.30)	-535.92
4	S	-0.00107	0.00061		0.50	0.60	0.000557 (0.000557)	454	0.253 (0.30)	400.33

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	27.2	21.3	5522	116.8	----
2	S	2.26	-50.0	0.00	50.0	-23.0	41.5	21.3	1757	37.2	----
3	S	1.80	50.0	0.00	-50.0	-19.2	-41.5	21.3	1757	37.2	----
4	S	7.85	-50.0	0.00	50.0	-177.7	41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.40	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (0.20)	0.00
2	S	-0.00014	0.00017		0.50	0.40	0.000069 (0.000069)	454	0.031 (0.20)	562.34
3	S	-0.00012	0.00014		0.50	0.40	0.000058 (0.000058)	454	0.026 (0.20)	-552.10
4	N	-0.00103	0.00059		0.50	0.40	0.000579 (0.000533)	454	0.263 (0.20)	401.24 1)

1) Apertura fessure maggiore di quella limite

10.7 VERIFICHE DEI TIRANTI DI ANCORAGGIO

10.7.1 Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio

La verifica a sfilamento dei tiranti è soddisfatta se:

$$F_{td} < R_{td}$$

Essendo:

$$R_{td} = R_{tk} / \gamma_R,$$

dove:

F_{td} = trazione di progetto

R_{td} = resistenza a sfilamento progetto

R_{tk} = valore caratteristico della resistenza a sfilamento

In particolare, le verifiche a sfilamento dei tiranti agli stati limite ultimi vengono condotte con riferimento alla combinazione A1+M1+R3.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando il coefficiente parziale γ_R che per i tiranti permanenti vale in accordo alle NTC 2008:

$$\gamma_R = 1.2.$$

La resistenza caratteristica R_k del tirante viene ricavata attraverso correlazioni empiriche che prevedono l'utilizzo di parametri geotecnici o risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{t,k}$ sarà dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{t,cal}$ i fattori di correzione (ξ) riportati nella seguente tabella in funzione del numero di verticali d'indagine. Nel caso in esame, si è assunto cautelativamente un valore del fattore di correzione (ξ_3) pari a 1.80, che considera una sola verticale d'indagine disponibile.

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Tabella 9: Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

La resistenza a sfilamento di progetto " R_{td} " può essere espressa dalla seguente relazione:

$$R_{td} = Q_{ll} / FS$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite

FS = fattore di sicurezza per la portata laterale

Tabella 10: Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	γ_R (R3)	ξ_3 (n° indagini = 1)	FS
Laterale in trazione	1.2	1.8	2.16

La portata laterale limite è calcolata considerando il diametro nominale di perforazione e le tensioni di progetto di adesione laterale limite tirante-terreno $\alpha\tau_{lim}$ riferite al diametro di perforazione, si ottiene quindi:

$$Q_{ll} = \pi D_p \sum_i \alpha\tau_{LIM} h_i$$

La tensione limite di ancoraggio " τ_{LIM} " rappresenta la tensione limite che si viene ad avere fra interfaccia terreno – boiaccia cementizia ed è direttamente dipendente dalla tecnologia con cui verrà eseguito il tirante e dalla natura dei terreni.

In particolare, la tecnologia con cui verranno realizzati i tiranti sarà mediante iniezione di malta cementizia con il metodo I.R.S. (Iniezioni Ripetute Selettive).

Per determinare il valore della " τ_{LIM} " si fa riferimento a quanto indicato da Bustamante e Doix [1985] che richiedono come parametri caratterizzanti il terreno, la pressione limite p_{lim} determinata con il pressimetro di Ménard o il valore (N_{SPT}) determinato da risultati di prove SPT.

Nella Tabella 11 viene determinato il valore di α che rappresenta un coefficiente moltiplicativo che dipende dalle modalità di iniezione e natura dei terreni.

Tabella 11: Coefficiente moltiplicativo α

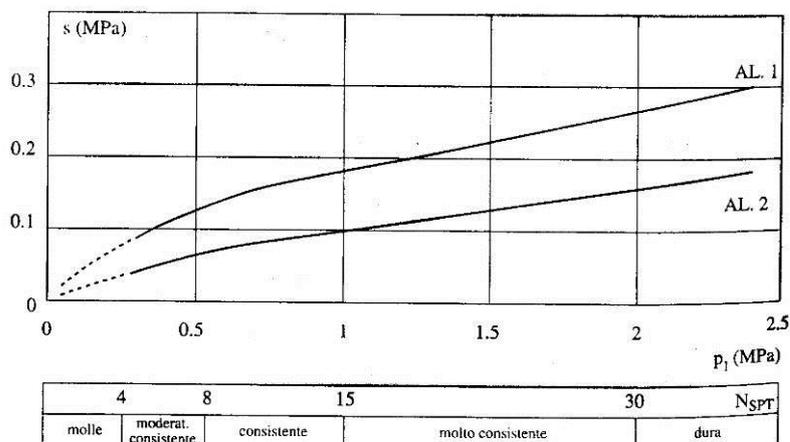
Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	$1,5 V_S$
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	$1,5 V_S$
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	$1,5 V_S$
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_S$
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_S$
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_S$
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: $(1,5 - 2)V_S$; IGU: $1,5 V_S$
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: $2V_S$; IGU: $1,5V_S$
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: $(2,5 - 3)V_S$; IGU: $(1,5-2)V_S$
Marne	1,8	1,1 - 1,2	$(1,5 - 2)V_S$ per strati compatti
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2	$(2 - 6)V_S$ o più per strati fratturati
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	$(1,1-1,5)V_S$ per strati poco fratturati $2V_S$ o più per strati fratturati

Nella Tabella 12 viene invece stabilita la curva a cui fare riferimento per le differenti tipologie di terreno e del tipo di iniezione.

Tabella 12: Curva di riferimento per le diverse tipologie di terreno

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

In particolare, per i terreni attraversati si considera il seguente grafico, in cui è possibile ricavare il valore della resistenza laterale unitaria (tensione tangenziale) "s" detta anche " τ " a seconda delle varie tipologie di terreno.



Una volta determinato il valore della τ il valore della tensione tangenziale che si sviluppa lungo il fusto della fondazione è pari a:

$$\tau_{LIM} = \alpha \cdot \tau$$

con α ricavato secondo quanto riportato nella Tabella 11.

L'adesione laterale limite fondazione-terreno $\alpha\tau_{lim}$ sono riassunte in funzione della natura dei terreni nella seguente tabella, valide per tiranti iniettati in pressione (IRS).

Tabella 13: Valori di adesione laterale limite di riferimento

Unità	$\alpha\tau$ [kPa]
LSA	150
AG	180

Nella seguente tabella per i tiranti di diametro nominale $D = 160$ mm è riportata la portata di progetto R_{td} , considerato che il bulbo ricade interamente nell'Unità AG.

Tabella 14: Capacità portante a sfilamento A1+M1+R3

L _{bulbo} m	Q _{II} kN	R _{td} kN
15.0	1357.2	628.3

Nella tabella seguente sono sintetizzati i tiri sui tiranti (F_{td}) nelle diverse condizioni di progetto da cui risulta che:

$$F_{td} < R_{td}$$

Tabella 15: Carichi assiali sui tiranti

	F_{td} (kN)
SLU-SLV	
A1+M1+R3 - SLU	527.8
A1+M1+R3 - SLV	428.2
SLE	
Pretensione iniziale	300.00
Rara	401.5
Frequente	385.9
Quasi permanente	378.3

10.7.2 Resistenza a trazione dei trefoli

La resistenza a trazione dei trefoli componenti il tirante di ancoraggio è stata ottenuta mediante la seguente formulazione:

- Resistenza caratteristica a trazione dei trefoli:

$$P_{t,k} = F_{p(1)k} = n_{\text{trefoli}} \cdot A_{\text{trefolo}} \cdot f_{p(1)k}$$

dove:

n_{trefoli} rappresenta il numero di trefoli del tirante;

A_{trefolo} rappresenta l'area del singolo trefolo;

$f_{p(1)k}$ rappresenta la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale.

- Resistenza di progetto a trazione dei trefoli:

$$P_{t,d} = \frac{P_{t,k}}{\gamma_s}$$

con γ_s assunto pari a 1.15 (in accordo al § 4.1.2.1.1.3 del D.M. 14/01/2008).

10.7.3 Sintesi delle verifiche sui tiranti

Si è verificato il soddisfacimento della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d rappresenta la massima sollecitazione di trazione agente nel tirante, determinata agli SLU/SLV

R_d rappresenta la resistenza di progetto del tirante determinata come la minima tra la resistenza di progetto a sfilamento del bulbo e la resistenza di progetto a trazione dell'armatura ovvero: $R_d = R_{d,min} = \min(F_{td}, P_{td})$.

Il D.M. 14/01/2008 prescrive inoltre, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, che si debba verificare che "la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio", ovvero:

$$P_{t,k} \geq R_{t,k}$$

Nel prospetto seguente si riassumono le verifiche effettuate.

1° ORDINE

Caratteristiche tirante

n_{trefoli}	=	4
A_{trefolo}	=	139 mm ²
E	=	196000 MPa
interasse	=	2.8 m
EA	=	108976 kN
EA/i	=	38920.0 kN/m

$N_{\text{pret} \times \text{trefolo}}$	=	75 kN
N_{pret}	=	300 kN

Sollecitazioni di calcolo

$N_{\text{PLX, SLU}}$	=	405.96 kN
$N_{\text{PLX, SLV}}$	=	428.20 kN
$N_{\text{Ed, SLU}}$	=	527.75 kN
$N_{\text{Ed, SLV}}$	=	428.20 kN

Resistenza a sfilamento bulbo

τ_{LSA}	=	0.083 MPa
τ_{AG}	=	0.10 MPa
α	=	1.8 -
ϕ_{perf}	=	0.16 m
ξ	=	1.8 -
L_{U3}	=	0.0 m
L_{U4}	=	15.0 m
Q_{II}	=	1357.2 kN
R_{tk}	=	754.0
γ_R	=	1.2
R_{td}	=	628.3 kN

Resistenza tirante

f_{ptk}	=	1860 MPa
$f_{p(1)k}$	=	1670 MPa
γ_s	=	1.15
P_{tk}	=	928.5 kN
P_{td}	=	807.4 kN

Verifica di resistenza

E_d	=	527.75 kN
R_d	=	628.32 kN
$E_d \leq R_d$		ok

Verifica gerarchia

$$P_{tk} \geq R_{tk} \quad \text{ok}$$

10.8 VERIFICA DEL CORDOLO DI CORONAMENTO DEI PALI

10.8.1 Determinazione delle sollecitazioni

Di seguito si sintetizza il calcolo condotto per la determinazione delle sollecitazioni (SLE e SLU) agenti sul cordolo di collegamento dei pali:

- sulla base dei risultati riportati al paragrafo 10.3.2, per gli SLE, e al paragrafo 10.4, per gli SLU-SLV, è stato definito il carico massimo (N_{Ed}) nei tiranti nelle diverse combinazioni;
- il carico q uniformemente distribuito e le due componenti verticali e orizzontali risultano pertanto:

$$q = \frac{N_{Ed}}{i};$$

$$q_h = q_x = q \cdot \cos \alpha ;$$

$$q_v = q_y = q \cdot \sin \alpha ;$$

dove

α angolo di inclinazione del tirante pari a 30° ;

i interasse tra i tiranti.

Il carico $q_v=q_y$ è incrementato con il peso proprio del cordolo amplificato per il coefficiente $\gamma_{A1} = 1.3$ per la combinazione A1-M1, $\gamma_{A1} = 1.0$ per la combinazione SLV. Per gli SLE il carico $q_v=q_y$ è stato incrementato solamente del peso proprio del cordolo.

10.8.1.1 Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE)

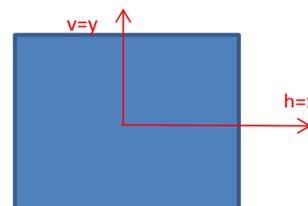
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite di Esercizio (SLE).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	401.55	kN
N_{ED,SLE_freq}	=	385.87	kN
N_{ED,SLE_qp}	=	378.32	kN
$N_{ED,SLU}$	=	527.75	kN
$N_{ED,SLV}$	=	428.20	kN
i	=	2.8	m
α	=	30	°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20	m
H	=	1.00	m



Condizioni SLE-rara

q_{SLE}	=	143.41	kPa
$q_{h,SLE}$	=	124.20	kPa
$q_{v,SLE}$	=	101.70	kPa
$M_{y,ED}$	=	97.37	kNm
$M_{x,ED}$	=	79.74	kNm
$V_{x,ED}$	=	173.87	KN
$V_{y,ED}$	=	142.39	KN

Condizioni SLE-frequente

q_{SLE}	=	137.81	kPa
$q_{h,SLE}$	=	119.35	kPa
$q_{v,SLE}$	=	98.91	kPa
$M_{y,ED}$	=	93.57	kNm
$M_{x,ED}$	=	77.54	kNm
$V_{x,ED}$	=	167.09	KN
$V_{y,ED}$	=	138.47	KN

Condizioni SLE-quasi permanente

q_{SLE}	=	135.11	kPa
$q_{h,SLE}$	=	117.01	kPa
$q_{v,SLE}$	=	97.56	kPa
$M_{y,ED}$	=	91.74	kNm
$M_{x,ED}$	=	76.48	kNm
$V_{x,ED}$	=	163.82	KN
$V_{y,ED}$	=	136.58	KN

10.8.1.2 Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV)

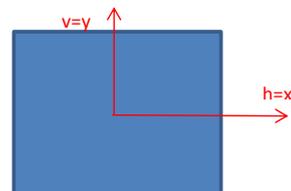
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite Ultimo (SLU-SLV).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	401.55	kN
N_{ED,SLE_freq}	=	385.87	kN
N_{ED,SLE_qp}	=	378.32	kN
$N_{ED,SLU}$	=	527.75	kN
$N_{ED,SLV}$	=	428.20	kN
i	=	2.8	m
α	=	30	°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20	m
H	=	1.00	m



Condizioni SLU

q_{SLU}	=	188.48	kPa		
$q_{h,SLU}$	=	163.23	kPa	$M_{y,ED}$	= 127.97 kNm
$q_{v,SLU}$	=	133.24	kPa	$M_{x,ED}$	= 104.46 kNm
				$V_{x,ED}$	= 228.52 KN
				$V_{y,ED}$	= 186.54 KN

Condizioni SLV

q_{SLV}	=	152.93	kPa		
$q_{h,SLV}$	=	132.44	kPa	$M_{y,ED}$	= 103.83 kNm
$q_{v,SLV}$	=	106.46	kPa	$M_{x,ED}$	= 83.47 kNm
				$V_{x,ED}$	= 185.42 KN
				$V_{y,ED}$	= 149.05 KN

Condizioni SLE-rara

10.8.2 Verifica agli SLU: verifica a flessione

Si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-53.8	6.2	16
2	-53.8	93.8	16
3	53.8	93.8	16
4	53.8	6.2	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	2	1	3	16
3	1	4	3	16
4	3	4	3	16

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm

Passo staffe e legature: 20.0 cm

Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:

N°Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra
1	1	2	7	13
2	11	5	3	4

N° Legature: 1

Diam. Legature: 10

Indicazione Barre Longitudinali di estremità delle legature:

N°Legat.	Barra 1	Barra 2
1	9	15

Coordinate Barre generate di risvolto per staffe e legature:

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
7	26.9	93.8
13	26.9	6.2
11	-26.9	6.2
5	-26.9	93.8
9	-53.8	50.0
15	53.8	50.0

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	104.46	127.97	186.54	228.52
2	0.00	83.47	103.83	149.05	185.42

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	20.3 cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm ²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	104.46	127.97	0.00	475.87	584.16	4.56	26.1(19.6)
2	N	0.00	83.47	103.83	0.00	470.84	590.24	5.67	26.1(19.5)

10.8.3 Verifica agli SLU: verifica a taglio

Si riporta di seguito la verifica a taglio.

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	12 mm
Diam. Legature:	10 mm
Passo staffe e legature:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	290.40	1517.29	1997.83	115.1	60.0	2.500	1.000	2.9	19.7(0.0)
2	S	234.97	1509.92	2016.57	116.6	58.9	2.500	1.000	2.3	19.6(0.0)

10.8.4 Verifica agli SLE

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	79.74	97.34

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	77.54 (271.92)	93.57 (328.13)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	76.48 (272.73)	91.74 (327.15)

RISULTATI DEL CALCOLO

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.54	60.0	100.0	-107.1	-53.8	6.2	925	6.0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.46	60.0	100.0	-103.5	-53.8	6.2	925	6.0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00056	0	0.500	16.0	54	0.00031 (0.00031)	601	0.187 (0.40)	271.92	328.13

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.42	60.0	100.0	-101.8	-53.8	6.2	925	6.0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00055	0	0.500	16.0	54	0.00031 (0.00031)	601	0.183 (0.30)	272.73	327.15

11 SEZIONE 28_VAR 2

Il modello di calcolo Plaxis è riportato nella figura seguente. Il modello è stato aggiornato considerando una riduzione dell'altezza di scavo a pari a 10 cm.

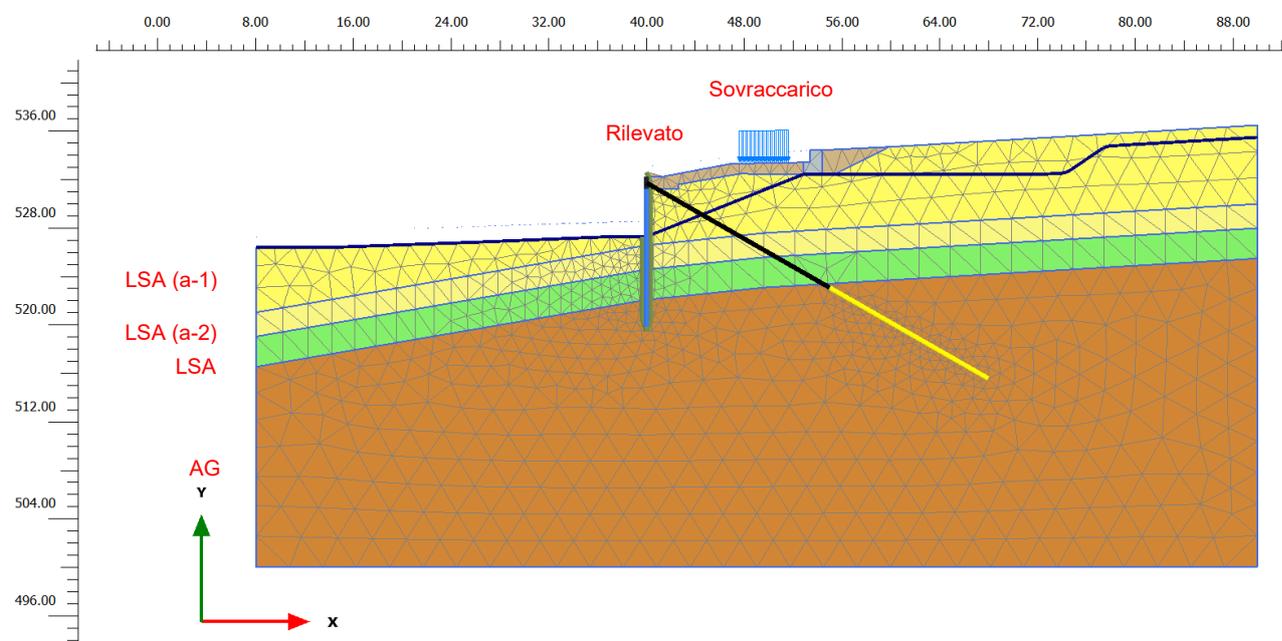


Figura 11: Sezione 28. Modello di calcolo Plaxis

11.1 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO, DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

La stratigrafia di riferimento, i parametri geotecnici di progetto e i livelli piezometrici adottati sono conformi a quanto riportato nella relazione PVOS120RC01_51_4137 "OS120 – Viabilità secondaria 53 – opere di sostegno da km 0+465.4 al km 1+033.02 -Relazione tecnica di calcolo".

In particolare, per la sezione di calcolo 28 si sono considerate per le varie unità stratigrafiche gli spessori riportati nella tabella seguente.

Tabella 16: Stratigrafia di riferimento Sezione 28

Unità	Profondità da p.c.
LSA(a-1)	0.0÷6.5 m
LSA(a-2)	6.5÷8.5 m
LSA	8.5÷11.0 m
AG	>11.0 m

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella tabella seguente. Per il terreno naturale si è considerato un modello costitutivo Hardening-soil e per il rilevato un modello Mohr-Coulomb con comportamento drenato.

Tabella 17: Parametri geotecnici assunti nelle elaborazioni Plaxis.

Material model	Model	Unit	LSA(a-1)	LSA(a-2)	LSA	AG	Rilevato
General							
Material model	Model	-	Hard. soil	Hard. soil	Hard. soil	Hard. soil	Mohr-Coulomb
Type of material behaviour	Type	-	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Drained
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	kN/m ³	20	20	20	20.5	20
Soil unit weight below phreatic level	γ_{sat}	kN/m ³	20	20	20	20.5	20
Initial void ratio	e_{init}	-	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Parameters							
Young's modulus (constant)	E'	MPa					
Secant stiffness in standard drained triaxial test	E_{50}^{ref}	MPa	25	25	25	35	50
Tangent stiffness for primary oedometer loading	E_{oed}^{ref}	MPa	25	25	25	35	
Unloading / reloading stiffness	E_{ur}^{ref}	MPa	75	75	75	105	
Power for stress-level dependency of stiffness	m	-	0.5	0.5	0.5	0.7	
Cohesion	c'	kPa	0	2	5	15	0
Friction angle	ϕ'	°	20	22	24	26	38
Dilatancy angle	Ψ	°	0	0	0	0	0
Poisson's ratio	$\nu - \nu_{ur}$	-	0.3	0.3	0.3	0.3	
K_0 -value for normal consolidation	K_0^{nc}	-	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'	1-sen ϕ'
Groundwater							
Permeability in horizontal direction	k_x	m/day	4.32·10 ⁻³	4.32·10 ⁻³	4.32·10 ⁻⁴	4.32·10 ⁻⁴	0.864
Permeability in vertical direction	k_y	m/day	8.64·10 ⁻⁴	8.64·10 ⁻⁴	8.64·10 ⁻⁵	8.64·10 ⁻⁵	0.864
Interfaces-							
Interface strength	—	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Strength reduction factor inter.	R_{inter}	0.5	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Initial							
K_0 determination	—	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Over-consolidation ratio	OCR	1.0	1.0	1.0	3	5	-

La falda si assume quota -1.00 m da p.c.sia in condizione statica che sismica.

Poiché per la realizzazione dell'opera dovranno essere eseguiti scavi di sbancamento e sono previsti drenaggi, il livello di falda in prossimità dell'opera è variabile.

I dati di input della paratia di pali e del cordolo di coronamento, rappresentati nel modello con elemento "Plate", sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 18: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "plate".

Parameter	Name	Unit	
Pali			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	18421514
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	1151345
Unit weight	w	kN/m/m	14.02
Poisson's ratio	ν	-	0.12
Cordolo			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	39404400
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	4728528
Unit weight	w	kN/m/m	30.0

Poisson's ratio	v	-	0
-----------------	---	---	---

I dati di input dei tiranti di ancoraggio, rappresentati nel modello con elemento "Anchor" (parte passiva) e "Geogrid" (parte attiva), sono indicati nella seguente tabella.

Tabella 19: Dati di input tiranti di ancoraggio.

Parameter	Name	Unit	
Tiranti - Anchor			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA	KN	108976
Spacing	L _{spacing}	m	2.8
Maximum tension force	F _{max,tens}	kN	628.32
Tiranti - Geogrid			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA ₁	KN/m	38920
Maximum force	N _p	kN/m	224.40

11.2 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale e riproducono in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e condizioni di verifica. La fase di messa in opera degli elementi strutturali viene simulata attivando i relativi elementi strutturali.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

Fase 11. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c. (Figura 5)

Fase 12. Realizzazione della paratia e dei tiranti di ancoraggio, pretensione (300 kN) e completamento opere a tergo (Figura 6);

Fase 13. Scavo (Figura 7)

Stati limite di esercizio SLE

Fase 14. SLE-Combinazione caratteristica (rara) (Figura 8)

Fase 15. SLE-Combinazione frequente

Fase 16. SLE-Combinazione quasi permanente

Stati limite ultimi STR

Fase 17. SLU/STR A1+M1+R1

Fase 18. SLV/STR A1+M1+R1, applicazione del sisma

Stati limite ultimi GEO

Fase 19. SLU/GEO A2+M2+R1

Fase 20. SLV/GEO A2+M2+R1, applicazione del sisma.

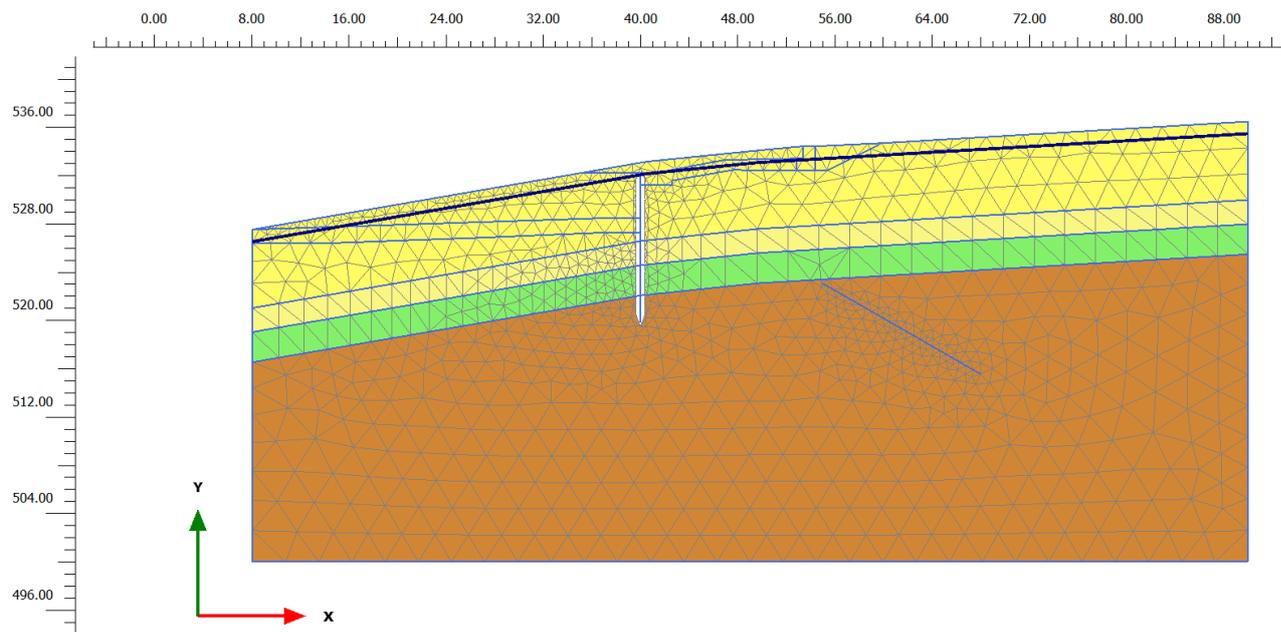


Figura 12: Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c.

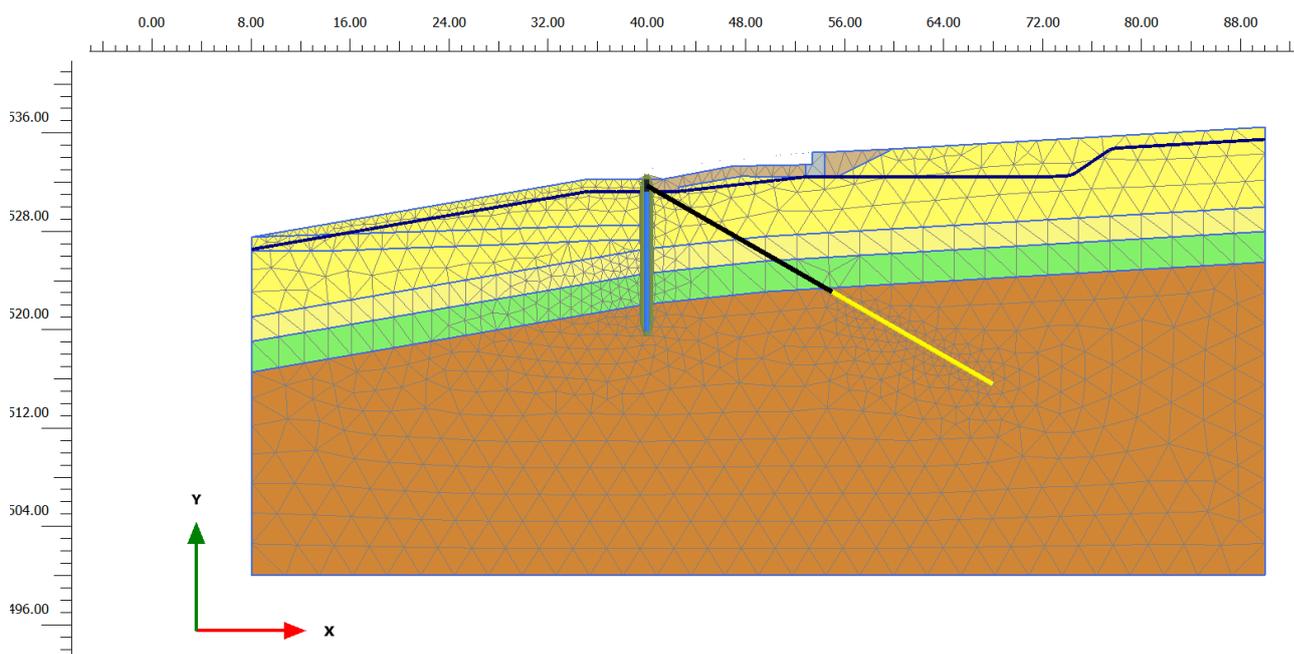


Figura 13: Fase 2. Realizzazione paratia, tiranti di ancoraggio e pretensione e completamento opere a tergo.

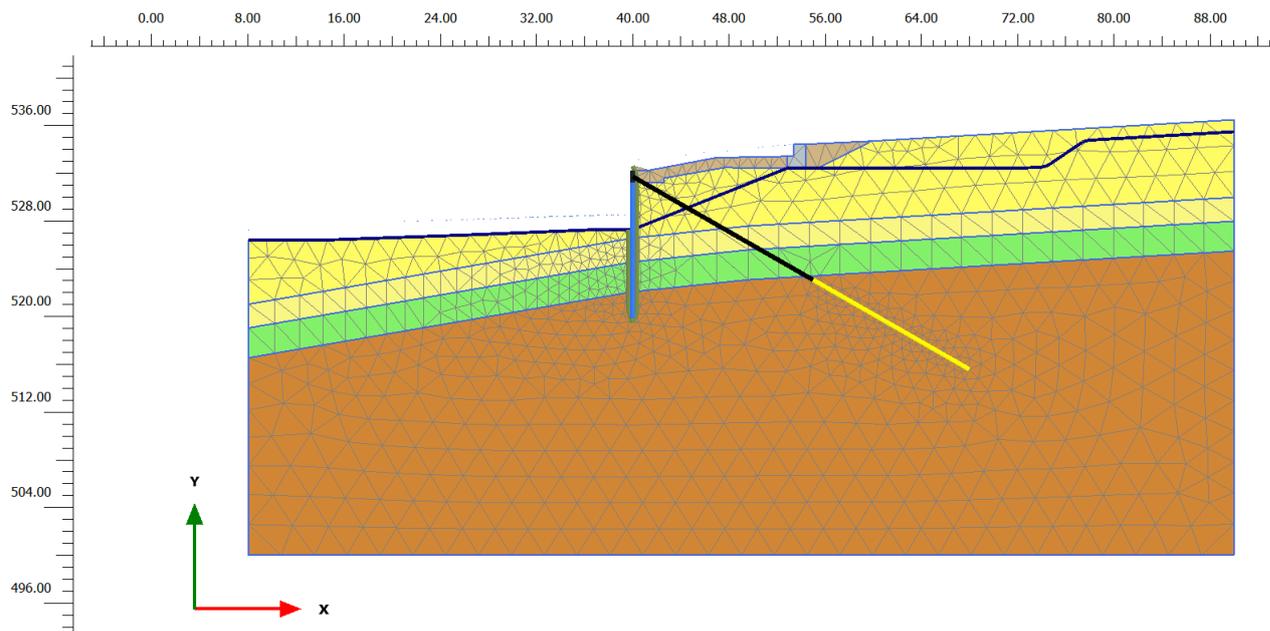


Figura 14: Fase 3. Scavo

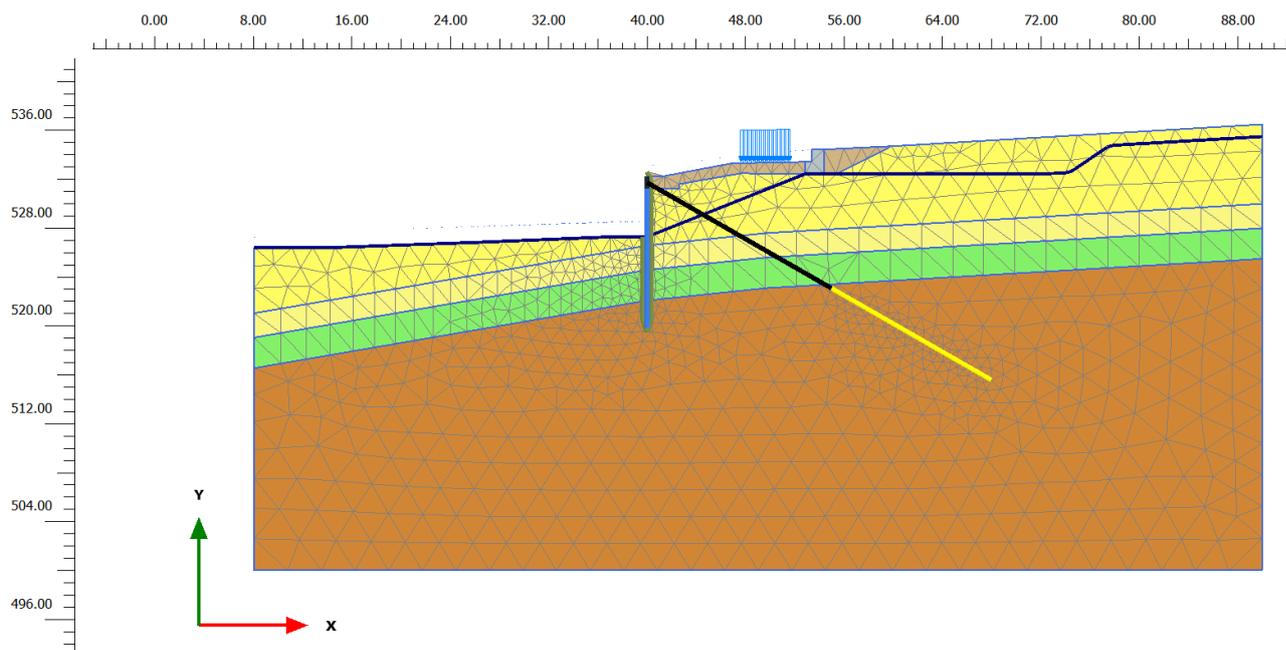


Figura 15: Fase 4. SLE-Combinazione caratteristica (rara)

11.3 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di:

- spostamenti;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

11.3.1 SLE, spostamenti

Di seguito si riportano le mappe degli spostamenti orizzontali per gli SLE.

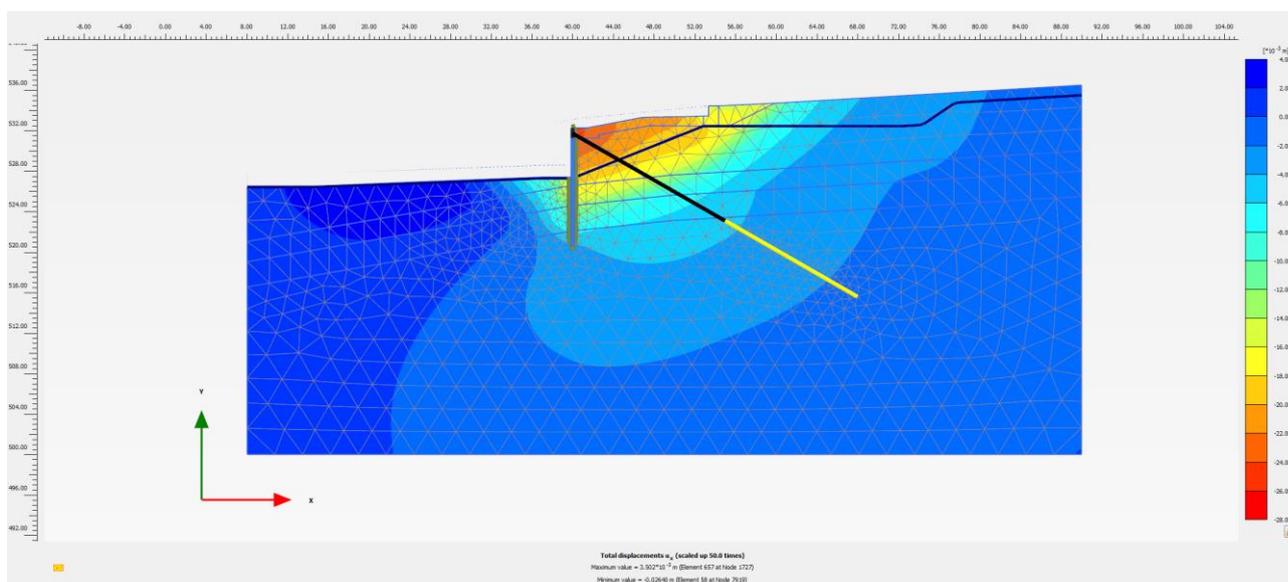


Figura 16: SLE-Combinazione caratteristica (rara).

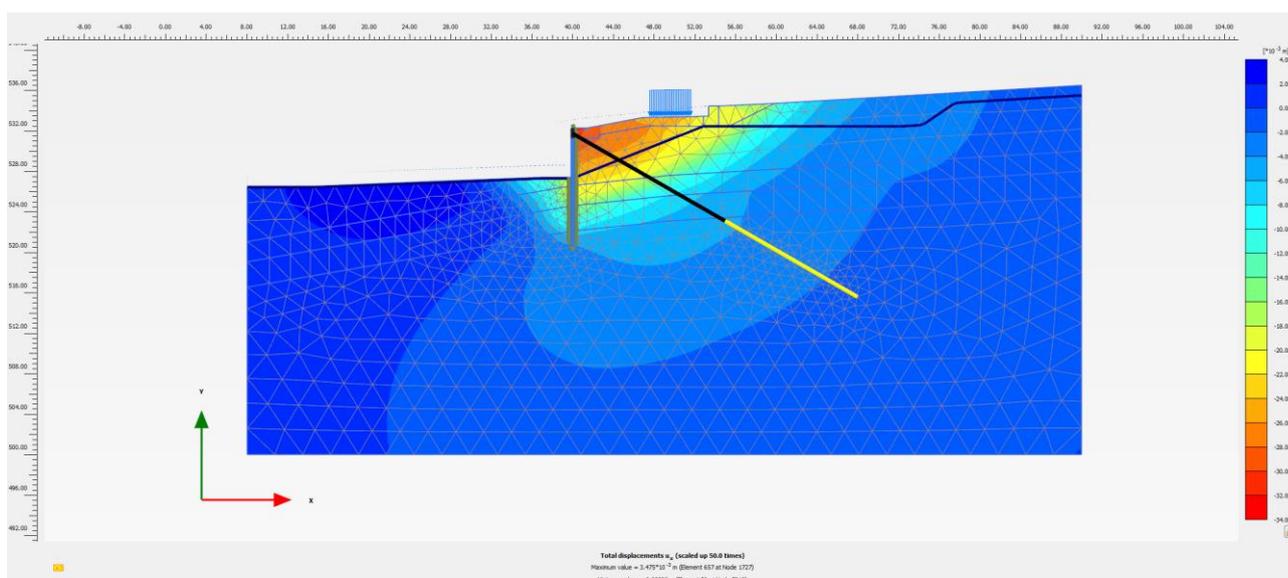


Figura 17: SLE-Combinazione frequente.

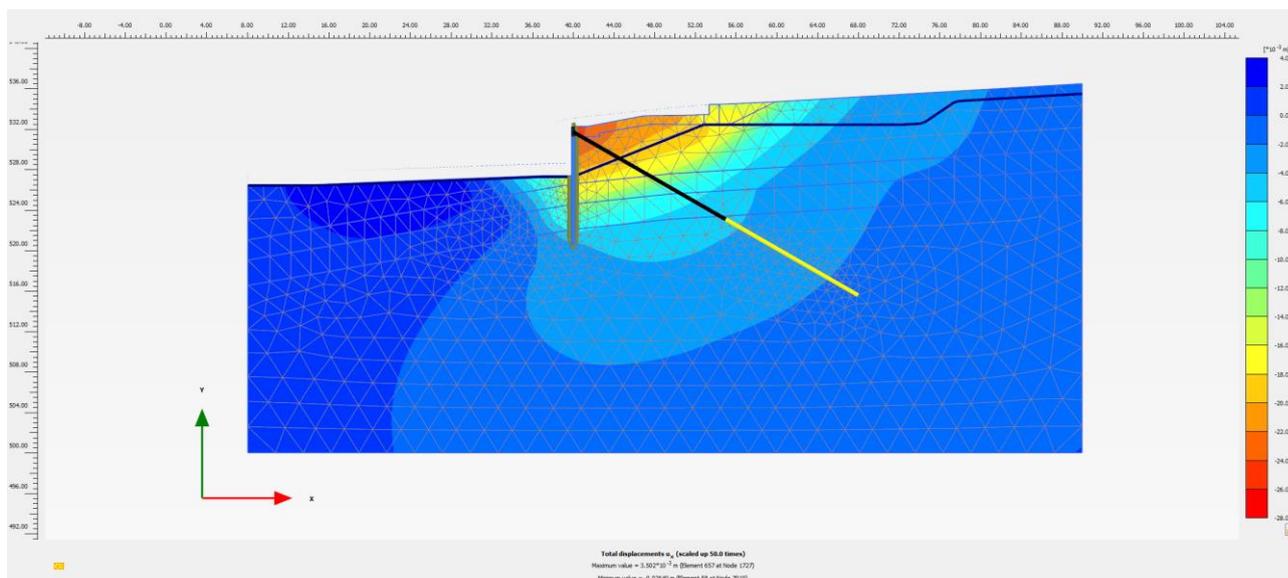


Figura 18: SLE-Combinazione quasi permanente.

11.3.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sui pali lato valle e lato monte sono diagrammate in funzione della profondità in Figura 9, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 20: SLE-Pali. Sollecitazioni

Sollecitazione Significativa	Palo								
	Comb. Rara			Comb. Frequente			Comb. Quasi Permanente		
	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]
(N_{max} ; M)	10.74	1.49	0.00	10.74	1.40	0.00	10.74	1.37	0.00
(N_{min} ; M)	6.68	-349.59	-231.29	6.68	-339.76	-214.99	6.68	-333.14	-203.75
(N ; M_{max})	9.53	-184.88	33.53	9.53	-186.27	30.23	9.53	-186.39	28.95
(N ; M_{min})	3.71	-264.02	-519.28	3.71	-258.71	-488.40	3.71	-255.49	-469.35

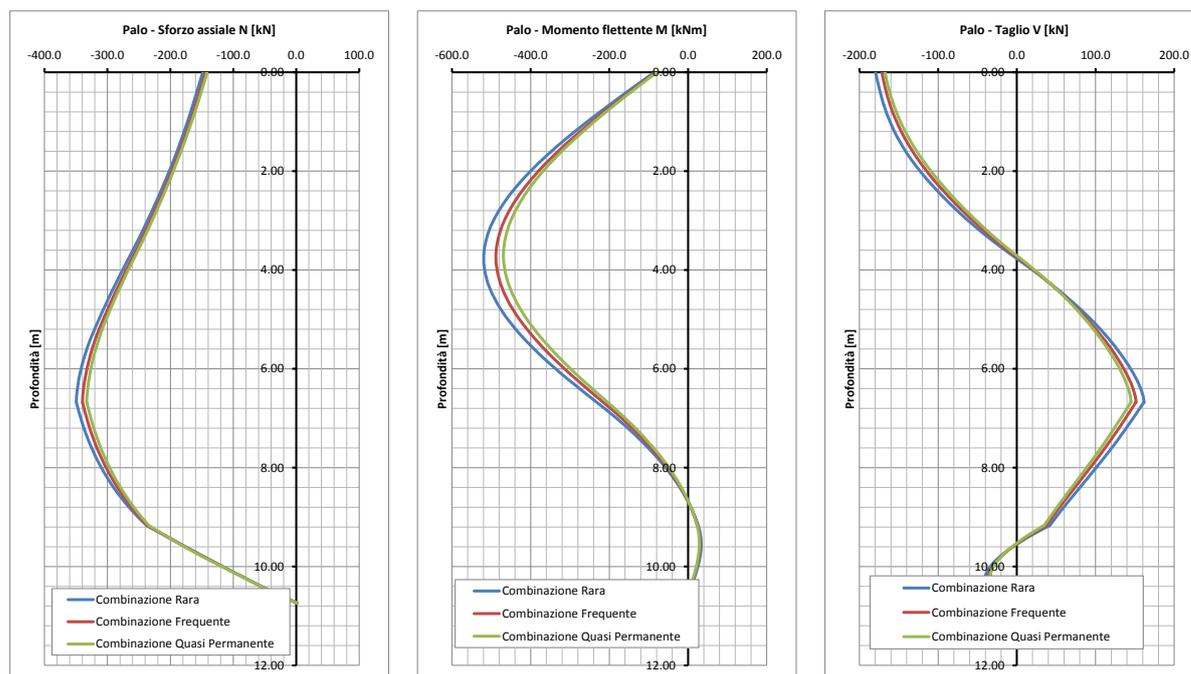


Figura 19: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

11.3.3 SLE, Sollecitazioni tiranti

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agente agli SLE.

Tabella 21: SLE-Tiranti. Sollecitazioni

Combinazione	$N_{Ed,SLE}$ [kN]
Rara	420.7
Frequente	402.7
Quasi permanente	392.6

11.3.4 Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni allo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR).

11.3.4.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali

Tabella 22: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

	Nmax kN	Nmin kN	Mmax kNm	Mmin kNm	Vmax kN	Vmin kN
A1+M1 (STR)	2.0	-457.9	44.7	-686.5	214.1	-236.4
A1+M1 (STR) sism	1.0	-326.5	15.5	-518.4	155.6	-190.1

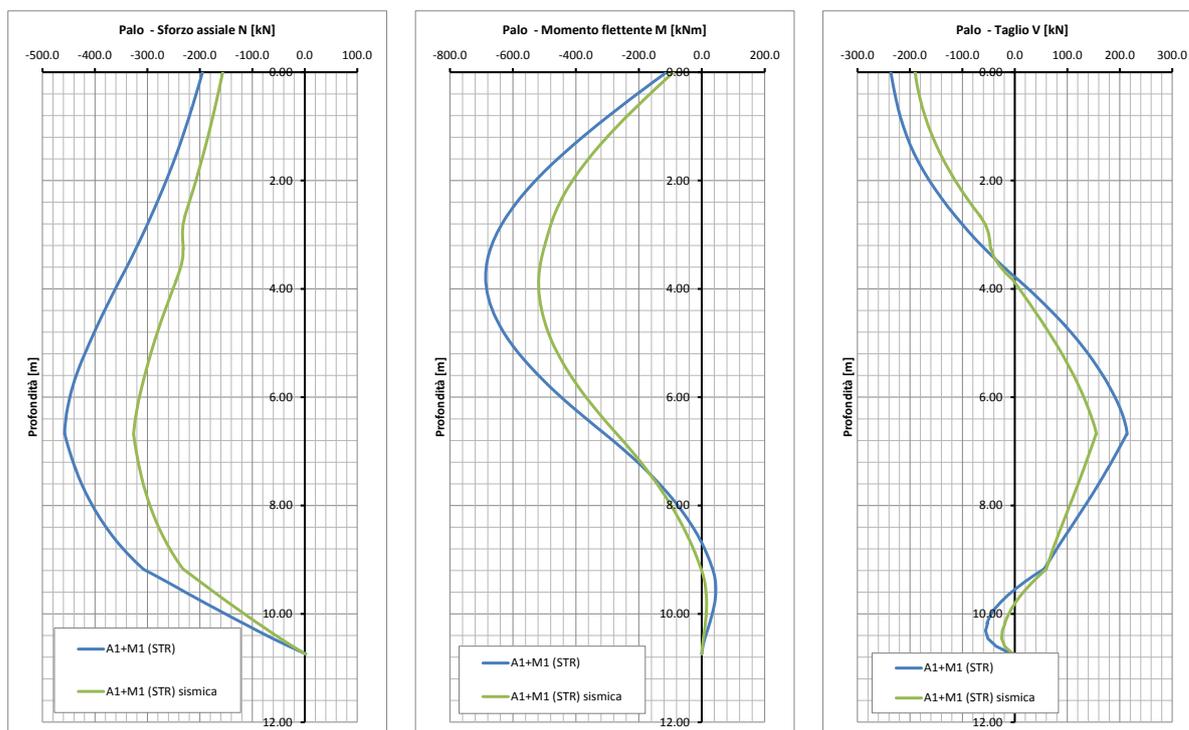


Figura 20: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

11.4 SINTESI DELLE SOLLECITAZIONI SUI TIRANTI (SLU-SLV)

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agenti sui tiranti agli SLU e agli SLV.

Tabella 23: SLU(SLV) A1+M1+R1-Tiranti. Sollecitazioni

	1° ordine
Massima azione agente $N_{Ed,SLU}$ [kN]	553.8
Massima azione agente $N_{Ed,SLV}$ [kN]	455.0

11.5 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi di tipo geotecnico GEO.

11.5.1 SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Convergenza dei modelli

Con i parametri del terreno ridotti con i coefficienti parziali M2 si è avuto la convergenza dei modelli Plaxis a conferma del soddisfacimento delle verifiche nei confronti della rotazione dell'opera. Nelle figure seguenti si riporta il campo di spostamenti al termine della fase di calcolo.

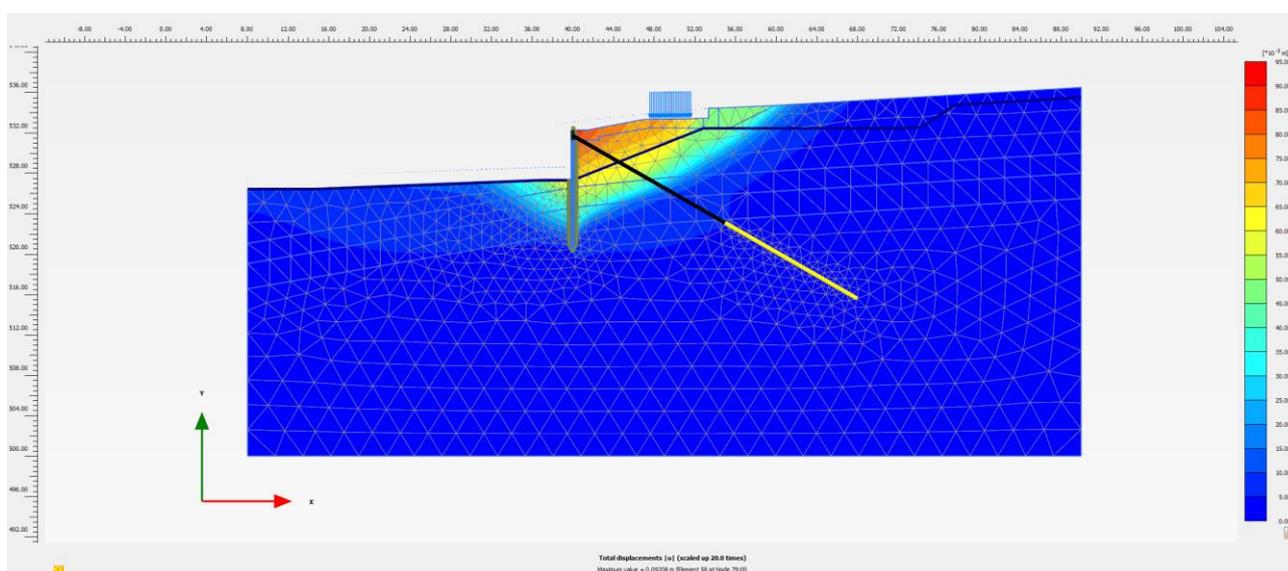


Figura 21: SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 - Combinazione fondamentale, campo di spostamenti

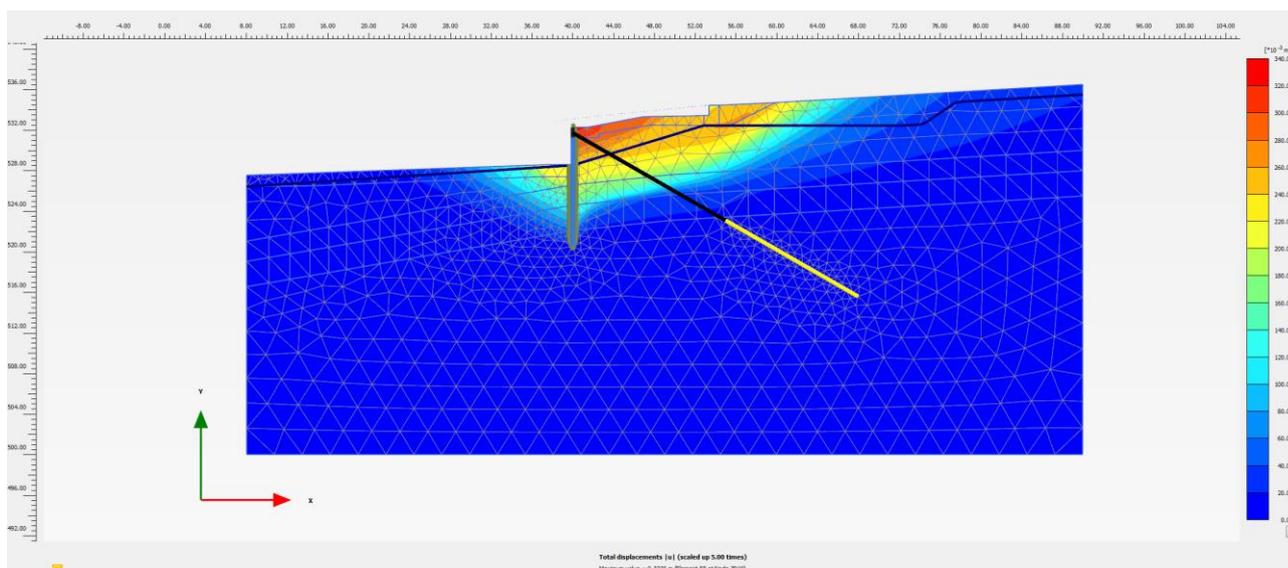


Figura 22: SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Combinazione sismica, campo di spostamenti

11.6 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera.

11.6.1 Pali, verifica a flessione

Assumendo per i pali $\Phi=1000$ mm una armatura di n. 22 Φ 26 mm si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	22 Φ 26	(116.8 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
Vy	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	686.50	236.40	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	9.2	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata									
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)									
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)									
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico									
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000									
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.									
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm ²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)									
N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	686.50	0.05	1645.91	2.398	25.0	---	---	116.8 (23.6)

11.6.2 Pali, verifica a taglio

Con riferimento ad una spirale Φ 12/15 cm, si riporta la verifica a taglio.

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12	mm	
Passo staffe:	15.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	15.1	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	AST
1	S	236.40	1766.19	1059.09	83.9 71.8	2.500	1.000	3.4

11.7 VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche delle tensioni e di fessurazione in riferimento alle sollecitazioni

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	22Ø26	(116.8 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	cm

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	1.49	0.00
2	349.59	-231.29
3	184.88	33.53
4	264.02	-519.28

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-1.40	0.00 (0.00)
2	339.76	-214.99 (-470.22)
3	186.27	30.23 (2099.14)
4	258.71	-488.40 (-399.18)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-1.37	0.00 (0.00)
2	333.14	-203.75 (-474.62)
3	186.39	28.95 (2654.23)
4	255.49	-469.35 (-400.03)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	50.0	0.00	-50.0	0.0	-41.5	0.0	0	0.0	----
2	S	2.93	50.0	0.00	-50.0	-46.8	-41.5	21.3	2259	47.8	----
3	S	0.46	-50.0	0.00	50.0	-0.5	41.5	21.3	251	5.3	----
4	S	6.58	50.0	0.00	-50.0	-150.6	-41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		----	----	----	----	----	0.00
2	S	-0.00028	0.00022		0.50	0.60	0.000140 (0.000140)	454 0.064 (990.00)		-464.80
3	S	-0.00001	0.00003		0.50	0.60	0.000001 (0.000001)	454 0.001 (990.00)		1408.92
4	S	-0.00087	0.00049		0.50	0.60	0.000452 (0.000452)	454 0.205 (990.00)		-397.97

COMBINAZIONE RARA N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.002	0.0000001
2	0.0	-50.0	0.002	0.0000001

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)

N°Barra	Deformazione unitaria nella barra			
	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	0.02	0.0000001
2	11.7	-39.8	0.02	0.0000001
3	22.4	-34.9	0.02	0.0000001
4	31.4	-27.2	0.02	0.0000001
5	37.7	-17.2	0.02	0.0000001
6	41.1	-5.9	0.02	0.0000001
7	41.1	5.9	0.02	0.0000001
8	37.7	17.2	0.02	0.0000001
9	31.4	27.2	0.02	0.0000001
10	22.4	34.9	0.02	0.0000001
11	11.7	39.8	0.02	0.0000001
12	0.0	41.5	0.02	0.0000001
13	-11.7	39.8	0.02	0.0000001
14	-22.4	34.9	0.02	0.0000001
15	-31.4	27.2	0.02	0.0000001
16	-37.7	17.2	0.02	0.0000001
17	-41.1	5.9	0.02	0.0000001
18	-41.1	-5.9	0.02	0.0000001
19	-37.7	-17.2	0.02	0.0000001
20	-31.4	-27.2	0.02	0.0000001
21	-22.4	-34.9	0.02	0.0000001
22	-11.7	-39.8	0.02	0.0000001

COMBINAZIONE RARA N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0002762
2	0.0	-50.0	2.935	0.0002201

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	35.58	0.0001779
2	11.7	-39.8	33.91	0.0001696
3	22.4	-34.9	29.04	0.0001452
4	31.4	-27.2	21.37	0.0001068
5	37.7	-17.2	11.50	0.0000575
6	41.1	-5.9	0.25	0.0000013
7	41.1	5.9	-11.47	-0.0000574
8	37.7	17.2	-22.72	-0.0001136
9	31.4	27.2	-32.59	-0.0001629
10	22.4	34.9	-40.27	-0.0002013
11	11.7	39.8	-45.14	-0.0002257
12	0.0	41.5	-46.81	-0.0002340
13	-11.7	39.8	-45.14	-0.0002257
14	-22.4	34.9	-40.27	-0.0002013
15	-31.4	27.2	-32.59	-0.0001629
16	-37.7	17.2	-22.72	-0.0001136
17	-41.1	5.9	-11.47	-0.0000574
18	-41.1	-5.9	0.25	0.0000013
19	-37.7	-17.2	11.50	0.0000575
20	-31.4	-27.2	21.37	0.0001068
21	-22.4	-34.9	29.04	0.0001452
22	-11.7	-39.8	33.91	0.0001696

COMBINAZIONE RARA N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000059
2	0.0	50.0	0.459	0.0000344

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
---------	----	----	----	-----

1	0.0	-41.5	-0.50	-0.0000025
2	11.7	-39.8	-0.36	-0.0000018
3	22.4	-34.9	0.04	0.0000002
4	31.4	-27.2	0.66	0.0000033
5	37.7	-17.2	1.46	0.0000073
6	41.1	-5.9	2.38	0.0000119
7	41.1	5.9	3.33	0.0000166
8	37.7	17.2	4.24	0.0000212
9	31.4	27.2	5.04	0.0000252
10	22.4	34.9	5.67	0.0000283
11	11.7	39.8	6.06	0.0000303
12	0.0	41.5	6.20	0.0000310
13	-11.7	39.8	6.06	0.0000303
14	-22.4	34.9	5.67	0.0000283
15	-31.4	27.2	5.04	0.0000252
16	-37.7	17.2	4.24	0.0000212
17	-41.1	5.9	3.33	0.0000166
18	-41.1	-5.9	2.38	0.0000119
19	-37.7	-17.2	1.46	0.0000073
20	-31.4	-27.2	0.66	0.0000033
21	-22.4	-34.9	0.04	0.0000002
22	-11.7	-39.8	-0.36	-0.0000018

COMBINAZIONE RARA N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0008690
2	0.0	-50.0	6.581	0.0004936

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	75.56	0.0003778
2	11.7	-39.8	70.97	0.0003549
3	22.4	-34.9	57.60	0.0002880
4	31.4	-27.2	36.52	0.0001826
5	37.7	-17.2	9.44	0.0000472
6	41.1	-5.9	-21.44	-0.0001072
7	41.1	5.9	-53.63	-0.0002682
8	37.7	17.2	-84.52	-0.0004226
9	31.4	27.2	-111.60	-0.0005580
10	22.4	34.9	-132.68	-0.0006634
11	11.7	39.8	-146.05	-0.0007302
12	0.0	41.5	-150.63	-0.0007532
13	-11.7	39.8	-146.05	-0.0007302
14	-22.4	34.9	-132.68	-0.0006634
15	-31.4	27.2	-111.60	-0.0005580
16	-37.7	17.2	-84.52	-0.0004226
17	-41.1	5.9	-53.63	-0.0002682
18	-41.1	-5.9	-21.44	-0.0001072
19	-37.7	-17.2	9.44	0.0000472
20	-31.4	-27.2	36.52	0.0001826
21	-22.4	-34.9	57.60	0.0002880
22	-11.7	-39.8	70.97	0.0003549

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	34.9	21.3	5522	116.8	----
2	S	2.73	50.0	0.00	-50.0	-42.3	-41.5	21.3	2259	47.8	----
3	S	0.43	-50.0	0.00	50.0	-0.1	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	6.19	50.0	0.00	-50.0	-140.7	-41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (0.30)	0.00

2	S	-0.00025	0.00020	0.50	0.60	0.000127 (0.000127)	454	0.058 (0.30)	-470.22
3	S	-0.00025	0.00020	----	----	----	----	----	2099.14
4	S	-0.00081	0.00046	0.50	0.60	0.000422 (0.000422)	454	0.192 (0.30)	-399.18

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
 Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
 Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
 Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
 Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000006
2	0.0	50.0	0.000	-0.0000006

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
 Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
 Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.12	-0.0000006
2	11.7	-39.8	-0.12	-0.0000006
3	22.4	-34.9	-0.12	-0.0000006
4	31.4	-27.2	-0.12	-0.0000006
5	37.7	-17.2	-0.12	-0.0000006
6	41.1	-5.9	-0.12	-0.0000006
7	41.1	5.9	-0.12	-0.0000006
8	37.7	17.2	-0.12	-0.0000006
9	31.4	27.2	-0.12	-0.0000006
10	22.4	34.9	-0.12	-0.0000006
11	11.7	39.8	-0.12	-0.0000006
12	0.0	41.5	-0.12	-0.0000006
13	-11.7	39.8	-0.12	-0.0000006
14	-22.4	34.9	-0.12	-0.0000006
15	-31.4	27.2	-0.12	-0.0000006
16	-37.7	17.2	-0.12	-0.0000006
17	-41.1	5.9	-0.12	-0.0000006
18	-41.1	-5.9	-0.12	-0.0000006
19	-37.7	-17.2	-0.12	-0.0000006
20	-31.4	-27.2	-0.12	-0.0000006
21	-22.4	-34.9	-0.12	-0.0000006
22	-11.7	-39.8	-0.12	-0.0000006

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0002502
2	0.0	-50.0	2.726	0.0002045

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	33.17	0.0001658
2	11.7	-39.8	31.64	0.0001582
3	22.4	-34.9	27.18	0.0001359
4	31.4	-27.2	20.14	0.0001007
5	37.7	-17.2	11.11	0.0000555
6	41.1	-5.9	0.80	0.0000040
7	41.1	5.9	-9.94	-0.0000497
8	37.7	17.2	-20.25	-0.0001012
9	31.4	27.2	-29.29	-0.0001464
10	22.4	34.9	-36.32	-0.0001816

11	11.7	39.8	-40.78	-0.0002039
12	0.0	41.5	-42.31	-0.0002116
13	-11.7	39.8	-40.78	-0.0002039
14	-22.4	34.9	-36.32	-0.0001816
15	-31.4	27.2	-29.29	-0.0001464
16	-37.7	17.2	-20.25	-0.0001012
17	-41.1	5.9	-9.94	-0.0000497
18	-41.1	-5.9	0.80	0.0000040
19	-37.7	-17.2	11.11	0.0000555
20	-31.4	-27.2	20.14	0.0001007
21	-22.4	-34.9	27.18	0.0001359
22	-11.7	-39.8	31.64	0.0001582

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000034
2	0.0	50.0	0.431	0.0000323

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.06	-0.0000003
2	11.7	-39.8	0.06	0.0000003
3	22.4	-34.9	0.41	0.0000020
4	31.4	-27.2	0.96	0.0000048
5	37.7	-17.2	1.67	0.0000083
6	41.1	-5.9	2.48	0.0000124
7	41.1	5.9	3.32	0.0000166
8	37.7	17.2	4.13	0.0000206
9	31.4	27.2	4.84	0.0000242
10	22.4	34.9	5.39	0.0000270
11	11.7	39.8	5.74	0.0000287
12	0.0	41.5	5.86	0.0000293
13	-11.7	39.8	5.74	0.0000287
14	-22.4	34.9	5.39	0.0000270
15	-31.4	27.2	4.84	0.0000242
16	-37.7	17.2	4.13	0.0000206
17	-41.1	5.9	3.32	0.0000166
18	-41.1	-5.9	2.48	0.0000124
19	-37.7	-17.2	1.67	0.0000083
20	-31.4	-27.2	0.96	0.0000048
21	-22.4	-34.9	0.41	0.0000020
22	-11.7	-39.8	0.06	0.0000003

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0008121
2	0.0	-50.0	6.191	0.0004644

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	71.17	0.0003559
2	11.7	-39.8	66.88	0.0003344
3	22.4	-34.9	54.35	0.0002718
4	31.4	-27.2	34.61	0.0001730
5	37.7	-17.2	9.24	0.0000462
6	41.1	-5.9	-19.69	-0.0000985
7	41.1	5.9	-49.85	-0.0002492
8	37.7	17.2	-78.78	-0.0003939
9	31.4	27.2	-104.15	-0.0005207
10	22.4	34.9	-123.90	-0.0006195
11	11.7	39.8	-136.42	-0.0006821
12	0.0	41.5	-140.71	-0.0007036
13	-11.7	39.8	-136.42	-0.0006821

14	-22.4	34.9	-123.90	-0.0006195
15	-31.4	27.2	-104.15	-0.0005207
16	-37.7	17.2	-78.78	-0.0003939
17	-41.1	5.9	-49.85	-0.0002492
18	-41.1	-5.9	-19.69	-0.0000985
19	-37.7	-17.2	9.24	0.0000462
20	-31.4	-27.2	34.61	0.0001730
21	-22.4	-34.9	54.35	0.0002718
22	-11.7	-39.8	66.88	0.0003344

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	27.2	21.3	5522	116.8	----
2	S	2.58	50.0	0.00	-50.0	-39.2	-41.5	21.3	2259	47.8	----
3	S	0.42	-50.0	0.00	50.0	0.1	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	5.95	50.0	0.00	-50.0	-134.6	-41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.40	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (0.20)	0.00
2	S	-0.00023	0.00019		0.50	0.40	0.000118 (0.000118)	454	0.053 (0.20)	-474.62
3	S	-0.00023	0.00019		----	----	----	----	----	2654.23
4	S	-0.00078	0.00045		0.50	0.40	0.000404 (0.000404)	454	0.183 (0.20)	-400.03

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000006
2	0.0	50.0	0.000	-0.0000006

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.12	-0.0000006
2	11.7	-39.8	-0.12	-0.0000006
3	22.4	-34.9	-0.12	-0.0000006
4	31.4	-27.2	-0.12	-0.0000006
5	37.7	-17.2	-0.12	-0.0000006
6	41.1	-5.9	-0.12	-0.0000006
7	41.1	5.9	-0.12	-0.0000006
8	37.7	17.2	-0.12	-0.0000006
9	31.4	27.2	-0.12	-0.0000006
10	22.4	34.9	-0.12	-0.0000006
11	11.7	39.8	-0.12	-0.0000006
12	0.0	41.5	-0.12	-0.0000006
13	-11.7	39.8	-0.12	-0.0000006
14	-22.4	34.9	-0.12	-0.0000006
15	-31.4	27.2	-0.12	-0.0000006
16	-37.7	17.2	-0.12	-0.0000006
17	-41.1	5.9	-0.12	-0.0000006
18	-41.1	-5.9	-0.12	-0.0000006
19	-37.7	-17.2	-0.12	-0.0000006
20	-31.4	-27.2	-0.12	-0.0000006
21	-22.4	-34.9	-0.12	-0.0000006

22 -11.7 -39.8 -0.12 -0.0000006

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0002322
2	0.0	-50.0	2.583	0.0001937

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	31.50	0.0001575
2	11.7	-39.8	30.07	0.0001503
3	22.4	-34.9	25.89	0.0001294
4	31.4	-27.2	19.30	0.0000965
5	37.7	-17.2	10.83	0.0000542
6	41.1	-5.9	1.18	0.0000059
7	41.1	5.9	-8.89	-0.0000444
8	37.7	17.2	-18.54	-0.0000927
9	31.4	27.2	-27.01	-0.0001350
10	22.4	34.9	-33.60	-0.0001680
11	11.7	39.8	-37.78	-0.0001889
12	0.0	41.5	-39.21	-0.0001960
13	-11.7	39.8	-37.78	-0.0001889
14	-22.4	34.9	-33.60	-0.0001680
15	-31.4	27.2	-27.01	-0.0001350
16	-37.7	17.2	-18.54	-0.0000927
17	-41.1	5.9	-8.89	-0.0000444
18	-41.1	-5.9	1.18	0.0000059
19	-37.7	-17.2	10.83	0.0000542
20	-31.4	-27.2	19.30	0.0000965
21	-22.4	-34.9	25.89	0.0001294
22	-11.7	-39.8	30.07	0.0001503

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000025
2	0.0	50.0	0.420	0.0000315

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	0.08	0.0000004
2	11.7	-39.8	0.20	0.0000010
3	22.4	-34.9	0.53	0.0000026
4	31.4	-27.2	1.06	0.0000053
5	37.7	-17.2	1.73	0.0000087
6	41.1	-5.9	2.50	0.0000125
7	41.1	5.9	3.31	0.0000165
8	37.7	17.2	4.08	0.0000204
9	31.4	27.2	4.75	0.0000238
10	22.4	34.9	5.28	0.0000264
11	11.7	39.8	5.61	0.0000281
12	0.0	41.5	5.73	0.0000286
13	-11.7	39.8	5.61	0.0000281
14	-22.4	34.9	5.28	0.0000264
15	-31.4	27.2	4.75	0.0000238
16	-37.7	17.2	4.08	0.0000204
17	-41.1	5.9	3.31	0.0000165
18	-41.1	-5.9	2.50	0.0000125
19	-37.7	-17.2	1.73	0.0000087
20	-31.4	-27.2	1.06	0.0000053
21	-22.4	-34.9	0.53	0.0000026
22	-11.7	-39.8	0.20	0.0000010

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0007769
2	0.0	-50.0	5.951	0.0004463

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	68.47	0.0003423
2	11.7	-39.8	64.36	0.0003218
3	22.4	-34.9	52.35	0.0002618
4	31.4	-27.2	33.43	0.0001671
5	37.7	-17.2	9.12	0.0000456
6	41.1	-5.9	-18.61	-0.0000931
7	41.1	5.9	-47.51	-0.0002375
8	37.7	17.2	-75.24	-0.0003762
9	31.4	27.2	-99.55	-0.0004977
10	22.4	34.9	-118.47	-0.0005924
11	11.7	39.8	-130.48	-0.0006524
12	0.0	41.5	-134.59	-0.0006730
13	-11.7	39.8	-130.48	-0.0006524
14	-22.4	34.9	-118.47	-0.0005924
15	-31.4	27.2	-99.55	-0.0004977
16	-37.7	17.2	-75.24	-0.0003762
17	-41.1	5.9	-47.51	-0.0002375
18	-41.1	-5.9	-18.61	-0.0000931
19	-37.7	-17.2	9.12	0.0000456
20	-31.4	-27.2	33.43	0.0001671
21	-22.4	-34.9	52.35	0.0002618
22	-11.7	-39.8	64.36	0.0003218

11.8 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTO

Gli spostamenti orizzontali ottenuti in combinazioni SLE quasi permanente sono indicati in Figura 18 da cui risulta uno spostamento orizzontale di circa 2.6 cm compatibile con la funzionalità dell'opera.

11.9 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)

Con i parametri del terreno ridotti con i coefficienti parziali M2 si è avuto la convergenza dei modelli Plaxis a conferma del soddisfacimento delle verifiche nei confronti della rotazione dell'opera (vedasi il paragrafo 11.5.1).

11.10 VERIFICHE DEI TIRANTI DI ANCORAGGIO

11.10.1 Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio

La verifica a sfilamento dei tiranti è soddisfatta se:

$$F_{td} < R_{td}$$

Essendo:

$$R_{td} = R_{tk} / \gamma_R,$$

dove:

F_{td} = trazione di progetto

R_{td} = resistenza a sfilamento progetto

R_{tk} = valore caratteristico della resistenza a sfilamento

In particolare, le verifiche a sfilamento dei tiranti agli stati limite ultimi vengono condotte con riferimento alla combinazione A1+M1+R3.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando il coefficiente parziale γ_R che per i tiranti permanenti vale in accordo alle NTC 2008:

$$\gamma_R = 1.2.$$

La resistenza caratteristica R_k del tirante viene ricavata attraverso correlazioni empiriche che prevedono l'utilizzo di parametri geotecnici o risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{t,k}$ sarà dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{t,cal}$ i fattori di correzione (ξ) riportati nella seguente tabella in funzione del numero di verticali d'indagine. Nel caso in esame, si è assunto cautelativamente un valore del fattore di correzione (ξ_3) pari a 1.80, che considera una sola verticale d'indagine disponibile.

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Tabella 24: Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

La resistenza a sfilamento di progetto " R_{td} " può essere espressa dalla seguente relazione:

$$R_{td} = Q_{ll} / FS$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite

FS = fattore di sicurezza per la portata laterale

Tabella 25: Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	γ_R (R3)	ξ_3 (n° indagini = 1)	FS
Laterale in trazione	1.2	1.8	2.16

La portata laterale limite è calcolata considerando il diametro nominale di perforazione e le tensioni di progetto di adesione laterale limite tirante-terreno $\alpha\tau_{lim}$ riferite al diametro di perforazione, si ottiene quindi:

$$Q_{ll} = \pi D_p \sum_i \alpha\tau_{LIM} h_i$$

La tensione limite di ancoraggio " τ_{LIM} " rappresenta la tensione limite che si viene ad avere fra interfaccia terreno – boiaccia cementizia ed è direttamente dipendente dalla tecnologia con cui verrà eseguito il tirante e dalla natura dei terreni.

In particolare, la tecnologia con cui verranno realizzati i tiranti sarà mediante iniezione di malta cementizia con il metodo I.R.S. (Iniezioni Ripetute Selettive).

Per determinare il valore della " τ_{LIM} " si fa riferimento a quanto indicato da Bustamante e Doix [1985] che richiedono come parametri caratterizzanti il terreno, la pressione limite p_{lim} determinata con il pressimetro di Ménard o il valore (N_{SPT}) determinato da risultati di prove SPT.

Nella Tabella 11 viene determinato il valore di α che rappresenta un coefficiente moltiplicativo che dipende dalle modalità di iniezione e natura dei terreni.

Tabella 26: Coefficiente moltiplicativo α

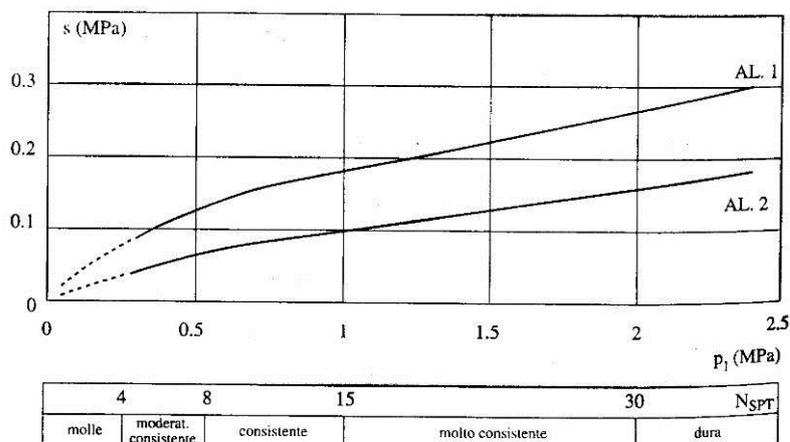
Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	1,5 V_S
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	1,5 V_S
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	1,5 V_S
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_S
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_S
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_S
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: (1,5 - 2) V_S ; IGU: 1,5 V_S
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: 2 V_S ; IGU: 1,5 V_S
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: (2,5 - 3) V_S ; IGU: (1,5-2) V_S
Marne	1,8	1,1 - 1,2	(1,5 - 2) V_S per strati compatti
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2	(2 - 6) V_S o più per strati fratturati
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(1,1-1,5) V_S per strati poco fratturati 2 V_S o più per strati fratturati

Nella Tabella 12 viene invece stabilita la curva a cui fare riferimento per le differenti tipologie di terreno e del tipo di iniezione.

Tabella 27: Curva di riferimento per le diverse tipologie di terreno

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

In particolare, per i terreni attraversati si considera il seguente grafico, in cui è possibile ricavare il valore della resistenza laterale unitaria (tensione tangenziale) "s" detta anche " τ " a seconda delle varie tipologie di terreno.



Una volta determinato il valore della τ il valore della tensione tangenziale che si sviluppa lungo il fusto della fondazione è pari a:

$$\tau_{LIM} = \alpha \cdot \tau$$

con α ricavato secondo quanto riportato nella Tabella 11.

L'adesione laterale limite fondazione-terreno $\alpha\tau_{lim}$ sono riassunte in funzione della natura dei terreni nella seguente tabella, valide per tiranti iniettati in pressione (IRS).

Tabella 28: Valori di adesione laterale limite di riferimento

Unità	$\alpha\tau$ [kPa]
LSA	150
AG	180

Nella seguente tabella per i tiranti di diametro nominale $D = 160$ mm è riportata la portata di progetto R_{td} , considerato che il bulbo ricade interamente nell'Unità AG.

Tabella 29: Capacità portante a sfilamento A1+M1+R3

L _{bulbo} m	Q _{II} kN	R _{td} kN
15.0	1357.2	628.3

Nella tabella seguente sono sintetizzati i tiri sui tiranti (F_{td}) nelle diverse condizioni di progetto da cui risulta che:

$$F_{td} < R_{td}$$

Tabella 30: Carichi assiali sui tiranti

	F_{td} (kN)
SLU-SLV	
A1+M1+R3 - SLU	553.8
A1+M1+R3 - SLV	455.0
SLE	
Pretensione iniziale	300.00
Rara	420.7
Frequente	402.7
Quasi permanente	392.6

11.10.2 Resistenza a trazione dei trefoli

La resistenza a trazione dei trefoli componenti il tirante di ancoraggio è stata ottenuta mediante la seguente formulazione:

- Resistenza caratteristica a trazione dei trefoli:

$$P_{t,k} = F_{p(1)k} = n_{\text{trefoli}} \cdot A_{\text{trefolo}} \cdot f_{p(1)k}$$

dove:

n_{trefoli} rappresenta il numero di trefoli del tirante;

A_{trefolo} rappresenta l'area del singolo trefolo;

$f_{p(1)k}$ rappresenta la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale.

- Resistenza di progetto a trazione dei trefoli:

$$P_{t,d} = \frac{P_{t,k}}{\gamma_s}$$

con γ_s assunto pari a 1.15 (in accordo al § 4.1.2.1.1.3 del D.M. 14/01/2008).

11.10.3 Sintesi delle verifiche sui tiranti

Si è verificato il soddisfacimento della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d rappresenta la massima sollecitazione di trazione agente nel tirante, determinata agli SLU/SLV

R_d rappresenta la resistenza di progetto del tirante determinata come la minima tra la resistenza di progetto a sfilamento del bulbo e la resistenza di progetto a trazione dell'armatura ovvero: $R_d = R_{d,min} = \min(F_{td}, P_{td})$.

Il D.M. 14/01/2008 prescrive inoltre, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, che si debba verificare che "la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio", ovvero:

$$P_{t,k} \geq R_{t,k}$$

Nel prospetto seguente si riassumono le verifiche effettuate.

1° ORDINE

Caratteristiche tirante

n_{trefoli}	=	4
A_{trefolo}	=	139 mm ²
E	=	196000 MPa
interasse	=	2.8 m
EA	=	108976 kN
EA/i	=	38920.0 kN/m

$N_{\text{pret} \times \text{trefolo}}$	=	75 kN
N_{pret}	=	300 kN

Sollecitazioni di calcolo

$N_{\text{PLX, SLU}}$	=	426.02 kN
$N_{\text{PLX, SLV}}$	=	454.98 kN
$N_{\text{Ed, SLU}}$	=	553.82 kN
$N_{\text{Ed, SLV}}$	=	454.98 kN

Resistenza a sfilamento bulbo

τ_{LSA}	=	0.083 MPa
τ_{AG}	=	0.10 MPa
α	=	1.8 -
ϕ_{perf}	=	0.16 m
ξ	=	1.8 -
L_{U3}	=	0.0 m
L_{U4}	=	15.0 m
Q_{II}	=	1357.2 kN
R_{tk}	=	754.0
γ_R	=	1.2
R_{td}	=	628.3 kN

Resistenza tirante

f_{ptk}	=	1860 MPa
$f_{p(1)k}$	=	1670 MPa
γ_s	=	1.15
P_{tk}	=	928.5 kN
P_{td}	=	807.4 kN

Verifica di resistenza

E_d	=	553.82 kN
R_d	=	628.32 kN
$E_d \leq R_d$		ok

Verifica gerarchia

$$P_{tk} \geq R_{tk} \quad \text{ok}$$

11.11 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE (GEO_STAB)

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo l'approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2007, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 31: Coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità globale con il metodo all'equilibrio limite.

		F.S.		F.S. richiesto γ_R	
SLU/GEO_stab (A ₂ +M ₂ +R ₂)	Combinazione fondamentale	2.183	≥	1.1	Figura 23
SLV/GEO_stab (A ₂ =1+M ₂ +R ₂)	$k_h=0.036, k_v=0.018$	2.480		1.1	Figura 24
	$k_h=0.036, k_v=-0.018$	2.483		1.1	Figura 25

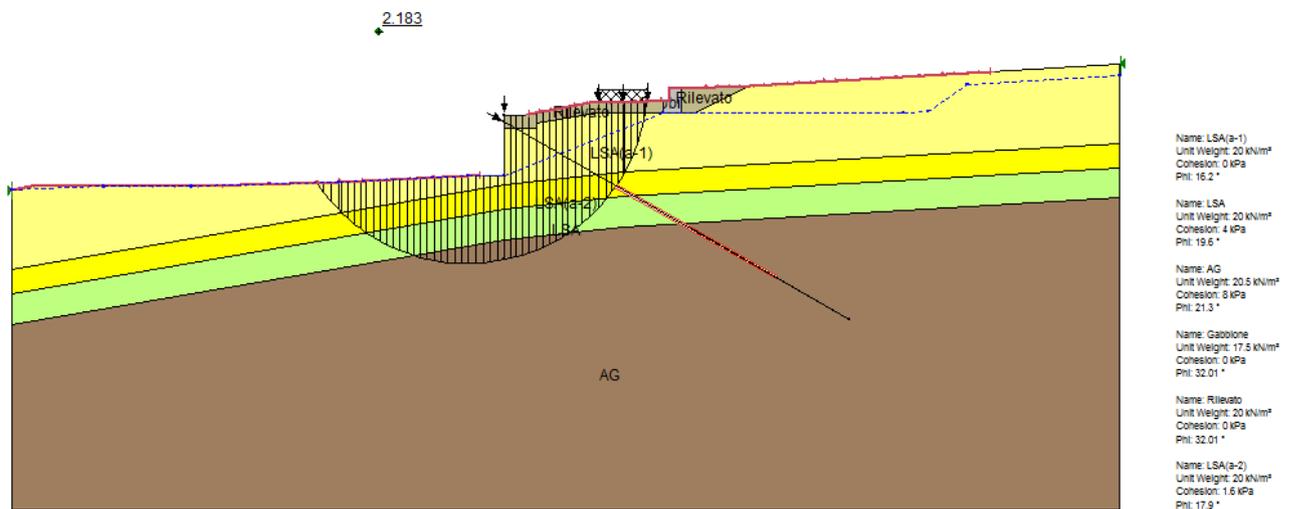


Figura 23: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

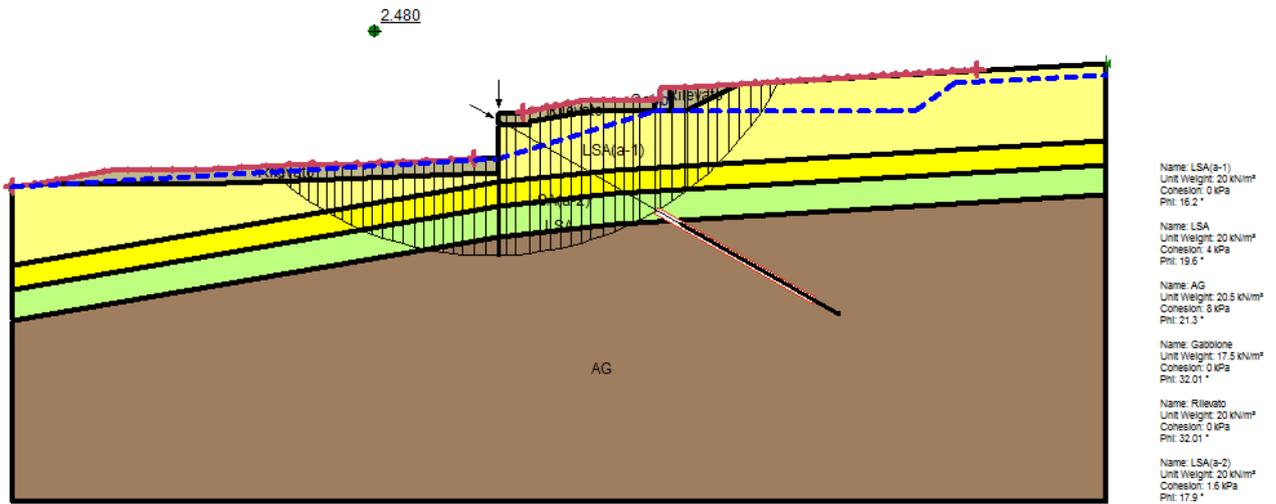


Figura 24: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica ($k_v > 0$)- Superficie di scorrimento critica

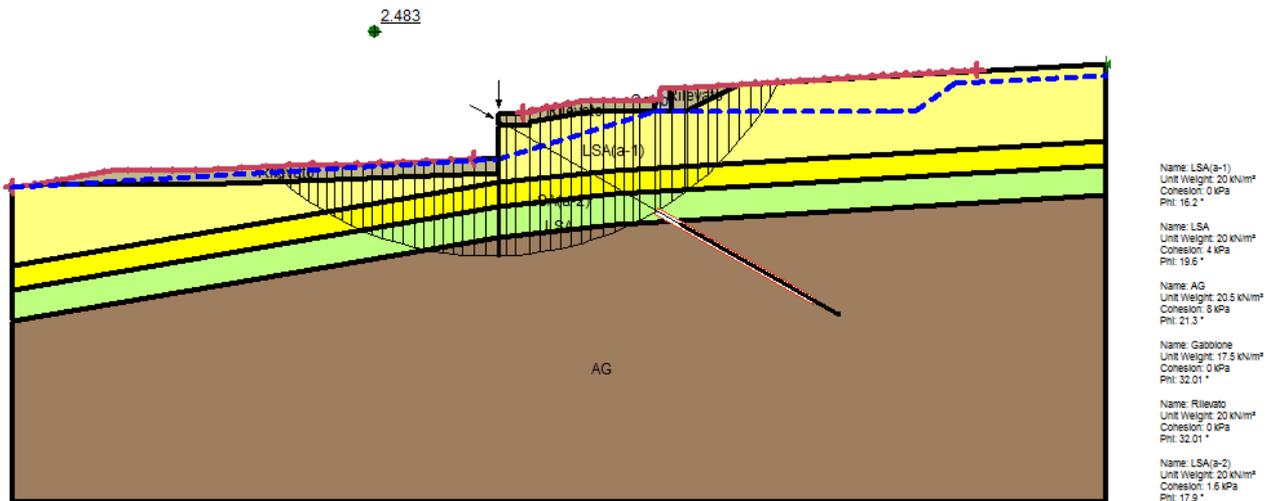


Figura 25: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica ($k_v < 0$) - Superficie di scorrimento critica

11.12 VERIFICA DEL CORDOLO DI CORONAMENTO DEI PALI

11.12.1 Determinazione delle sollecitazioni

Di seguito si sintetizza il calcolo condotto per la determinazione delle sollecitazioni (SLE e SLU) agenti sul cordolo di collegamento dei pali:

- sulla base dei risultati riportati al paragrafo 10.3.2, per gli SLE, e al paragrafo 10.4, per gli SLU-SLV, è stato definito il carico massimo (N_{Ed}) nei tiranti nelle diverse combinazioni;
- il carico q uniformemente distribuito e le due componenti verticali e orizzontali risultano pertanto:

$$q = \frac{N_{Ed}}{i};$$

$$q_h = q_x = q \cdot \cos\alpha;$$

$$q_v = q_y = q \cdot \sin\alpha;$$

dove

α angolo di inclinazione del tirante pari a 30° ;

i interasse tra i tiranti.

Il carico $q_v=q_y$ è incrementato con il peso proprio del cordolo amplificato per il coefficiente $\gamma_{A1} = 1.3$ per la combinazione A1-M1, $\gamma_{A1} = 1.0$ per la combinazione SLV. Per gli SLE il carico $q_v=q_y$ è stato incrementato solamente del peso proprio del cordolo.

11.12.1.1 Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE)

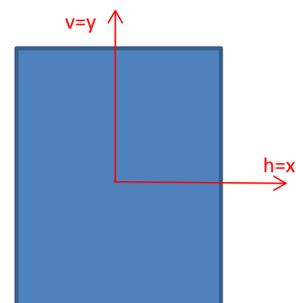
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite di Esercizio (SLE).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	420.65	kN
N_{ED,SLE_freq}	=	402.72	kN
N_{ED,SLE_qp}	=	392.65	kN
$N_{ED,SLU}$	=	553.82	kN
$N_{ED,SLV}$	=	454.984	kN
i	=	2.8	m
α	=	30	°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20	m
H	=	1.00	m



Condizioni SLE-rara

q_{SLE}	=	150.23	kPa	$M_{y,ED}$	=	102.00	kNm	$V_{x,ED}$	=	182.15	KN
$q_{h,SLE}$	=	130.11	kPa	$M_{x,ED}$	=	82.41	kNm	$V_{y,ED}$	=	147.16	KN
$q_{v,SLE}$	=	105.12	kPa								

Condizioni SLE-frequente

q_{SLE}	=	143.83	kPa	$M_{y,ED}$	=	97.65	kNm	$V_{x,ED}$	=	174.38	KN
$q_{h,SLE}$	=	124.56	kPa	$M_{x,ED}$	=	79.90	kNm	$V_{y,ED}$	=	142.68	KN
$q_{v,SLE}$	=	101.91	kPa								

Condizioni SLE-quasi permanente

q_{SLE}	=	140.23	kPa	$M_{y,ED}$	=	95.21	kNm	$V_{x,ED}$	=	170.02	KN
$q_{h,SLE}$	=	121.44	kPa	$M_{x,ED}$	=	78.49	kNm	$V_{y,ED}$	=	140.16	KN
$q_{v,SLE}$	=	100.12	kPa								

11.12.1.2 Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV)

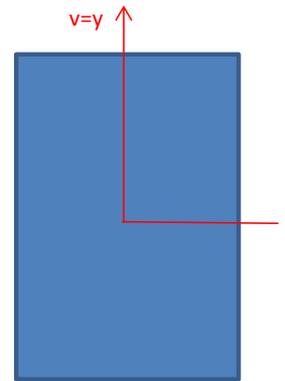
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite Ultimo (SLU-SLV).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	420.65 kN
N_{ED,SLE_freq}	=	402.72 kN
N_{ED,SLE_qp}	=	392.65 kN
$N_{ED,SLU}$	=	553.82 kN
$N_{ED,SLV}$	=	454.984 kN
i	=	2.8 m
α	=	30 °

Dimensioni cordolo

B	=	1.20 m
H	=	1.00 m



Condizioni SLU

q_{SLU}	=	197.79 kPa	$M_{y,ED}$	=	134.29 kNm	$V_{x,ED}$	=	239.81 KN
$q_{h,SLU}$	=	171.29 kPa	$M_{x,ED}$	=	108.11 kNm	$V_{y,ED}$	=	193.06 KN
$q_{v,SLU}$	=	137.90 kPa						

Condizioni SLV

q_{SLV}	=	162.49 kPa	$M_{y,ED}$	=	110.33 kNm	$V_{x,ED}$	=	197.01 KN
$q_{h,SLV}$	=	140.72 kPa	$M_{x,ED}$	=	87.22 kNm	$V_{y,ED}$	=	155.75 KN
$q_{v,SLV}$	=	111.25 kPa						

11.12.2 Verifica agli SLU: verifica a flessione

Si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:		360.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-53.8	6.2	20
2	-53.8	93.8	20
3	53.8	93.8	20
4	53.8	6.2	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	20
2	2	1	3	20
3	1	4	3	20
4	3	4	3	20

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
 Passo staffe: 20.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx	My	Vy	Vx
N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	108.11	134.29	193.06	251.74
2	0.00	87.22	110.30	155.75	194.01

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.9 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
As Tesa	Area armature trave [cm ²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	108.11	134.29	0.00	693.29	870.03	6.45	40.8(19.8)
2	N	0.00	87.22	110.30	0.00	690.92	872.97	7.92	40.8(19.8)

11.12.3 Verifica agli SLU: verifica a taglio

Si riporta di seguito la verifica a taglio.

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.

L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	312.08	1719.25	1127.04	113.2	69.1	2.500	1.000	3.1	11.3(0.0)
2	S	246.01	1721.35	1129.90	113.5	69.0	2.500	1.000	2.5	11.3(0.0)

11.12.4 Verifica agli SLE

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	82.44	102.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	79.90 (279.49)	97.65 (341.58)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	78.49 (280.55)	95.21 (340.31)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.9 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.07	60.0	100.0	-74.8	-53.8	6.2	1177	9.4

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.99	60.0	100.0	-72.1	-53.8	6.2	1176	9.4

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver.	Esito della verifica
e1	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$ [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e _{sm} - e _{cm}	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr\ max*(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00039	0	0.500	20.0	52	0.00022 (0.00022)	601	0.130 (0.40)	279.49	341.58

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.95	60.0	100.0	-70.5	-53.8	6.2	1176	9.4

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00038	0	0.500	20.0	52	0.00021 (0.00021)	601	0.127 (0.30)	280.55	340.31

12 SEZIONE 30_VAR 1

Il modello di calcolo Plaxis è riportato nella figura seguente.

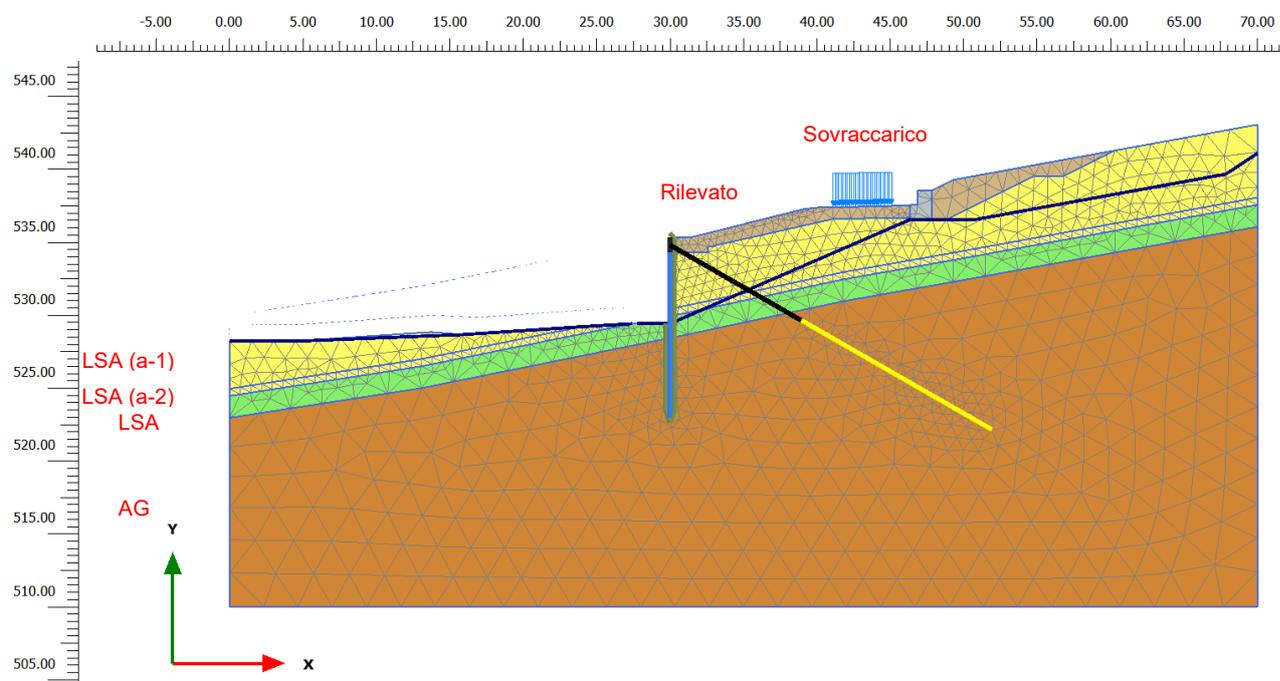


Figura 26: Sezione 30. Modello di calcolo Plaxis

12.1 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO, DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

La stratigrafia di riferimento, i parametri geotecnici di progetto e i livelli piezometrici adottati sono conformi a quanto riportato nella relazione PVOS120RC01_51_4137 "OS120 – Viabilità secondaria 53 – opere di sostegno da km 0+465.4 al km 1+033.02 -Relazione tecnica di calcolo".

In particolare, per la sezione di calcolo 30 si sono considerate per le varie unità stratigrafiche gli spessori riportati nella tabella seguente.

Tabella 32: Stratigrafia di riferimento Sezione 30

Unità	Profondità da p.c.
LSA(a-1)	0.0÷5.0 m
LSA(a-2)	5.0÷5.5 m
LSA	5.5÷7.0 m
AG	>7.0 m

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella tabella seguente. Per il terreno naturale si è considerato un modello costitutivo Hardening-soil e per il rilevato un modello Mohr-Coulomb con comportamento drenato.

Tabella 33: Parametri geotecnici assunti nelle elaborazioni Plaxis.

Material model	Model	Unit	LSA(a-1)	LSA(a-2)	LSA	AG	Rilevato
General							
Material model	Model	-	Hard. soil	Hard. soil	Hard. soil	Hard. soil	Mohr-Coulomb
Type of material behaviour	Type	-	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Drained
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	kN/m ³	20	20	20	20.5	20
Soil unit weight below phreatic level	γ_{sat}	kN/m ³	20	20	20	20.5	20
Initial void ratio	e_{init}	-	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Parameters							
Young's modulus (constant)	E'	MPa					
Secant stiffness in standard drained triaxial test	E_{sg}^{ref}	MPa	25	25	25	35	50
Tangent stiffness for primary oedometer loading	E_{oed}^{ref}	MPa	25	25	25	35	
Unloading / reloading stiffness	E_{ur}^{ref}	MPa	75	75	75	105	
Power for stress-level dependency of stiffness	m	-	0.5	0.5	0.5	0.7	
Cohesion	c'	kPa	0	2	5	15	0
Friction angle	ϕ'	°	20	22	24	26	38
Dilatancy angle	Ψ	°	0	0	0	0	0
Poisson's ratio	ν'_{vir}	-	0.3	0.3	0.3	0.3	
K_0 -value for normal consolidation	k_0^{nc}	-	$1 - \sin\phi'$	$1 - \sin\phi'$	$1 - \sin\phi'$	$1 - \sin\phi'$	$1 - \sin\phi'$
Groundwater							
Permeability in horizontal direction	k_x	m/day	$4.32 \cdot 10^{-3}$	$4.32 \cdot 10^{-3}$	$4.32 \cdot 10^{-4}$	$4.32 \cdot 10^{-4}$	0.864
Permeability in vertical direction	k_y	m/day	$8.64 \cdot 10^{-4}$	$8.64 \cdot 10^{-4}$	$8.64 \cdot 10^{-5}$	$8.64 \cdot 10^{-5}$	0.864
Interfaces-							
Interface strength	—	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Strength reduction factor inter.	R_{inter}	0.5	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Initial							
K_0 determination	—	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Over-consolidation ratio	OCR	1.0	1.0	1.0	3	5	-

La falda si assume quota -1.00 m da p.c.sia in condizione statica che sismica.

Poiché per la realizzazione dell'opera dovranno essere eseguiti scavi di sbancamento e sono previsti drenaggi, il livello di falda in prossimità dell'opera è variabile.

I dati di input della paratia di pali e del cordolo di coronamento, rappresentati nel modello con elemento "Plate", sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 34: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "plate".

Parameter	Name	Unit	
Pali			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	18421514
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	1151345
Unit weight	w	kN/m/m	14.02
Poisson's ratio	v	-	0.12
Cordolo			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	39404400
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	4728528
Unit weight	w	kN/m/m	30.0
Poisson's ratio	v	-	0

I dati di input dei tiranti di ancoraggio, rappresentati nel modello con elemento "Anchor" (parte passiva) e "Geogrid" (parte attiva), sono indicati nella seguente tabella.

Tabella 35: Dati di input tiranti di ancoraggio.

Parameter	Name	Unit	
Tiranti - Anchor			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA	KN	108976
Spacing	L _{spacing}	m	2.8
Maximum tension force	F _{max,tens}	kN	628.32
Tiranti - Geogrid			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA ₁	KN/m	38920
Maximum force	N _p	kN/m	224.40

12.2 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale e riproducono in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e condizioni di verifica. La fase di messa in opera degli elementi strutturali viene simulata attivando i relativi elementi strutturali.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c. (Figura 27)

Fase 2. Realizzazione della paratia, dei tiranti di ancoraggio, pretensione (300 kN) e completamento opere a tergo (Figura 28)

Fase 3. Scavo (Figura 29)

Stati limite di esercizio SLE

Fase 4. SLE-Combinazione caratteristica (rara) (Figura 30)

Fase 5. SLE-Combinazione frequente

Fase 6. SLE-Combinazione quasi permanente

Stati limite ultimi STR

Fase 7. SLU/STR A1+M1+R1

Fase 8. SLV/STR A1+M1+R1, applicazione del sisma

Stati limite ultimi GEO

Fase 9. SLU/GEO A2+M2+R1

Fase 10. SLV/GEO A2+M2+R1, applicazione del sisma.

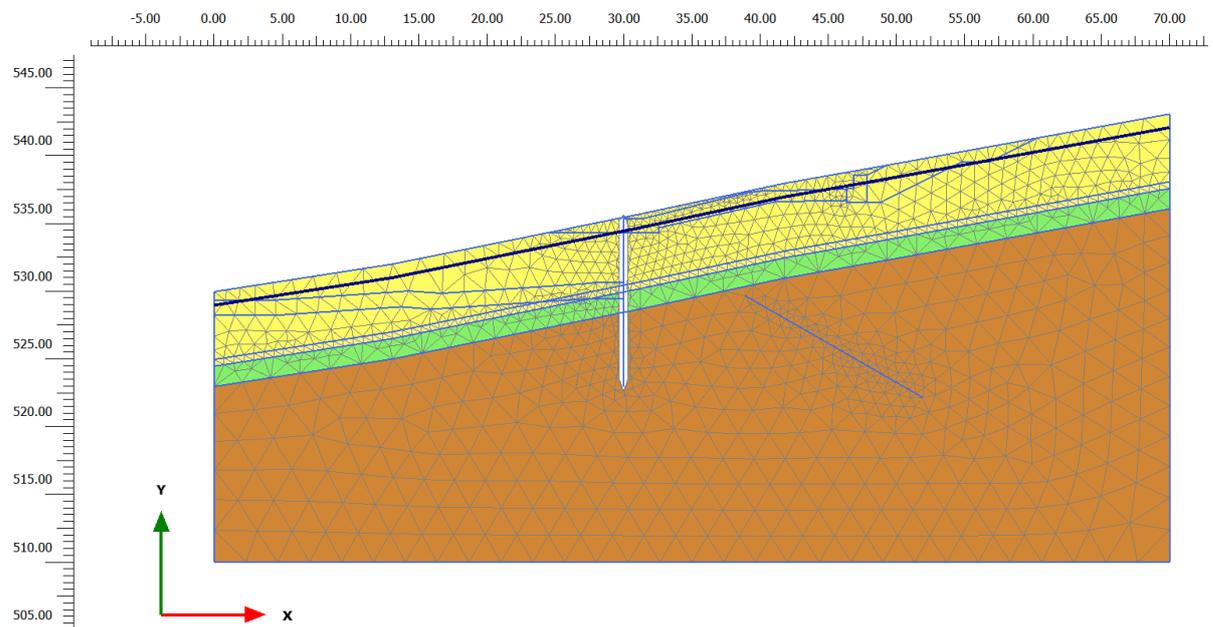


Figura 27: Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c.

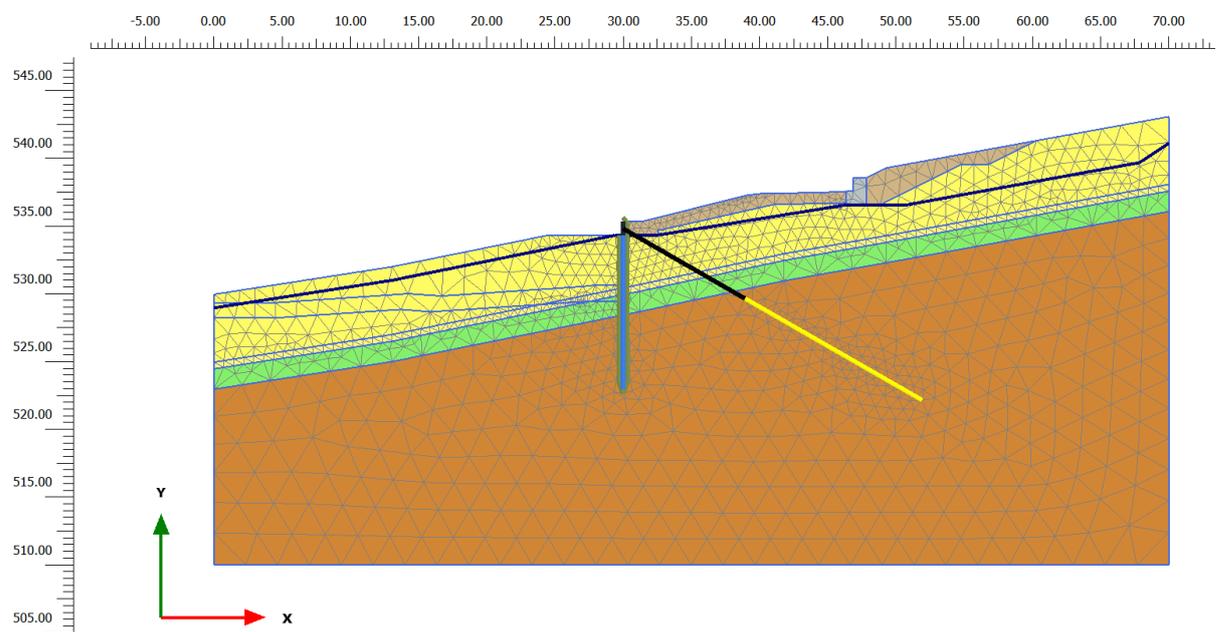


Figura 28: Fase 2. Realizzazione della paratia, dei tiranti di ancoraggio, pretensione (300 kN) e completamento opere a tergo

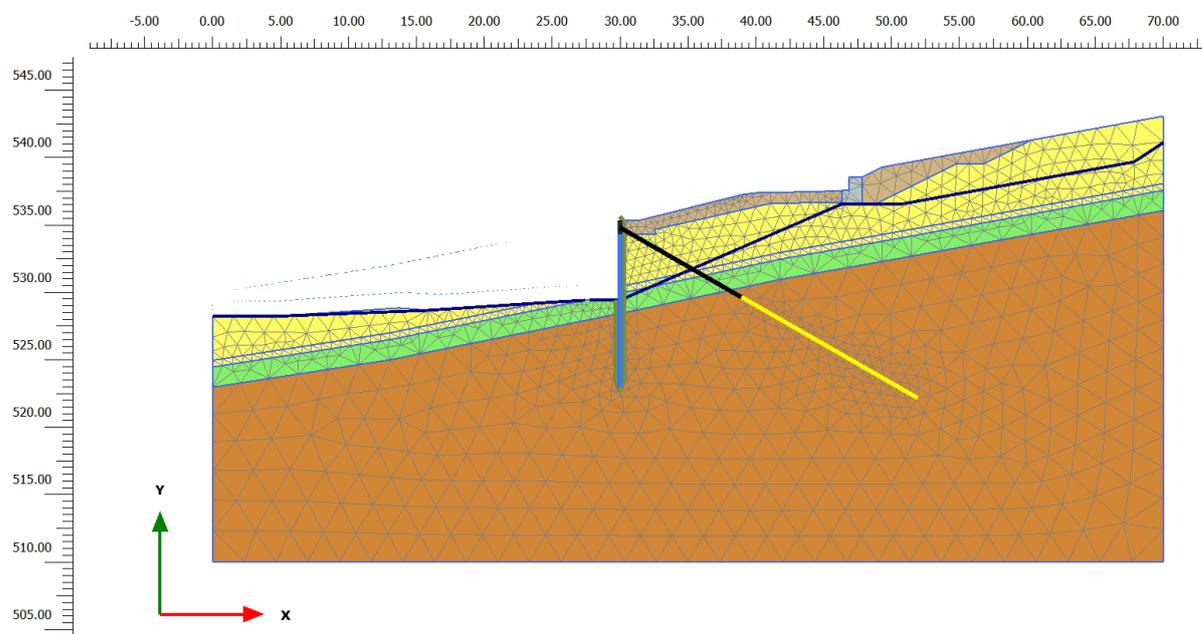


Figura 29: Fase 3. Scavo

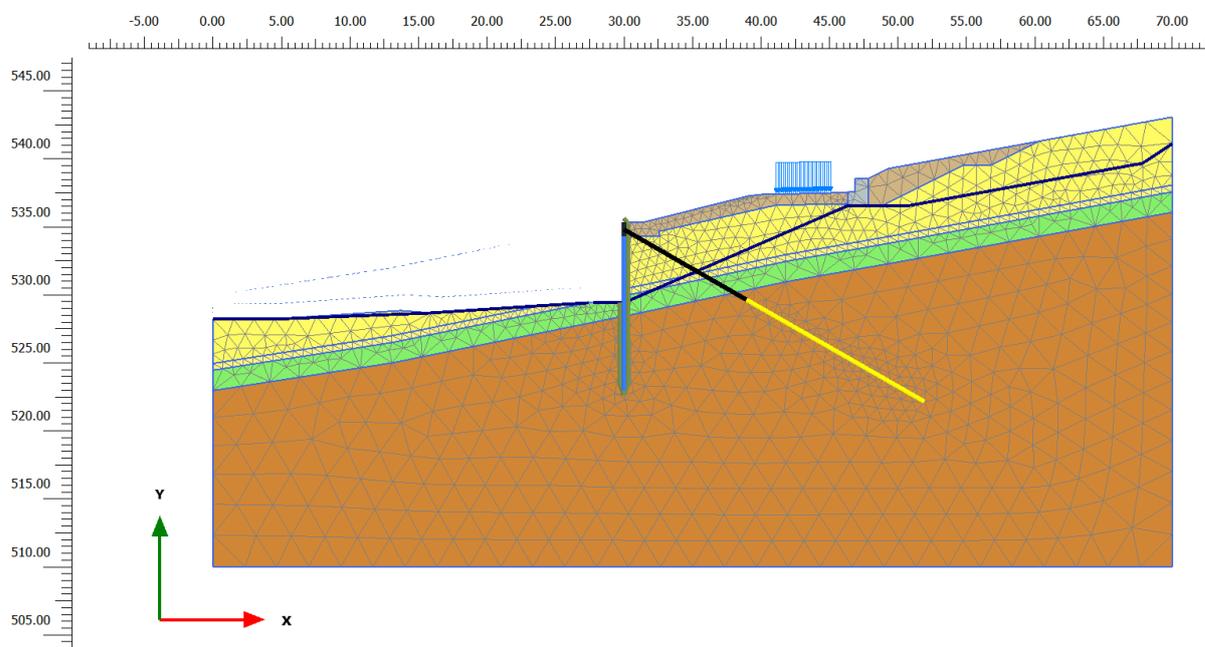


Figura 30: Fase 4 . SLE-Combinazione caratteristica (rara)

12.3 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di:

- spostamenti;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

12.3.1 SLE, spostamenti

Di seguito si riportano le mappe degli spostamenti orizzontali per gli SLE.

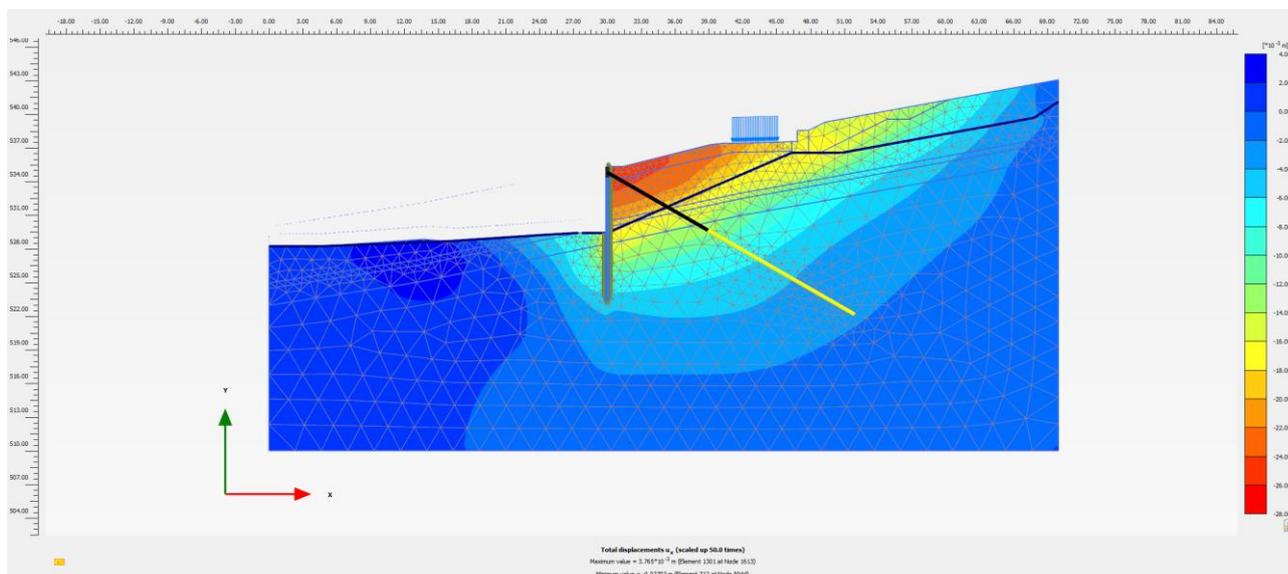


Figura 31: SLE-Combinazione caratteristica (rara).

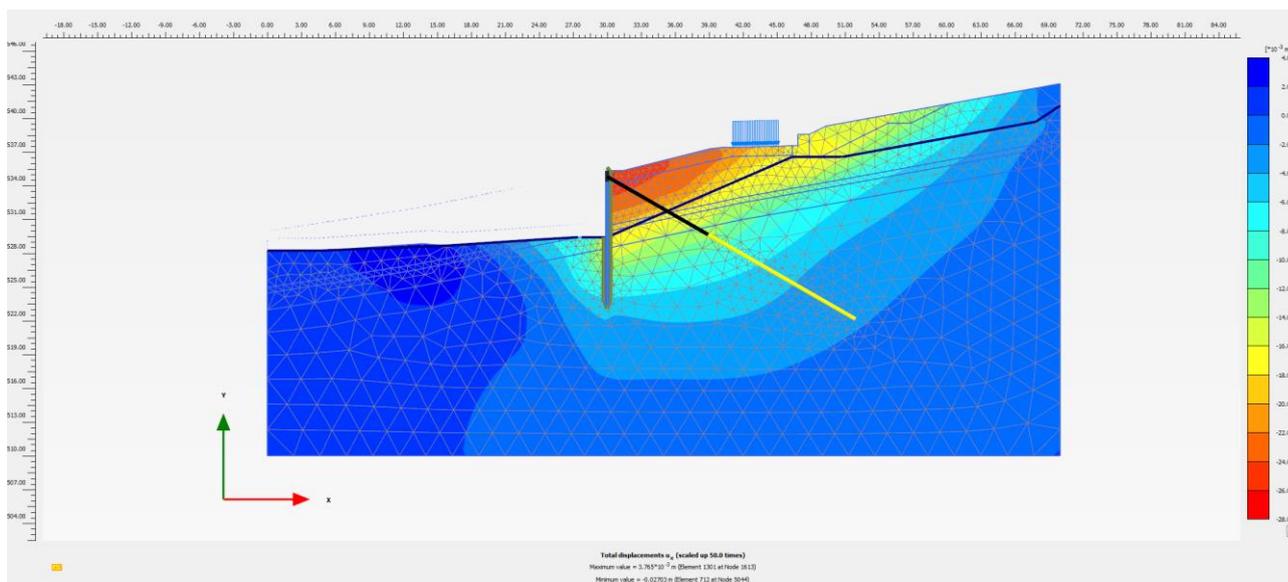


Figura 32: SLE-Combinazione frequente.

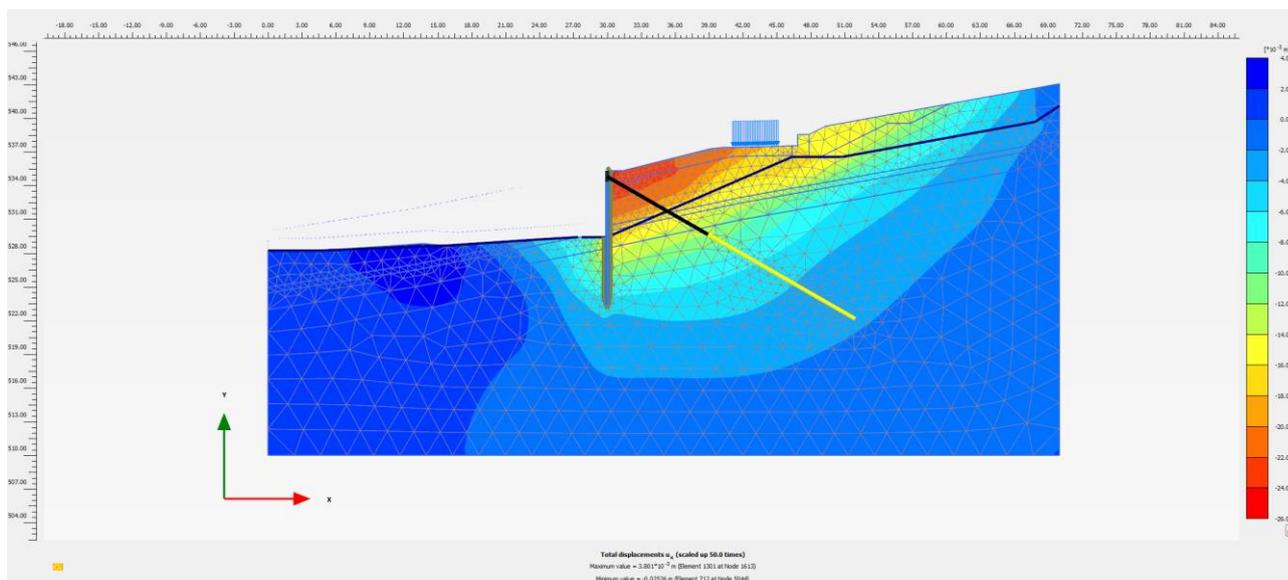


Figura 33: SLE-Combinazione quasi permanente.

12.3.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sui pali lato valle e lato monte sono diagrammate in funzione della profondità in Figura 9, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 36: SLE-Pali. Sollecitazioni

Sollecitazione Significativa	Palo								
	Comb. Rara			Comb. Frequente			Comb. Quasi Permanente		
	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]
(N _{max} ; M)	10.96	0.63	0.00	10.96	0.76	0.00	10.96	0.90	0.00
(N _{min} ; M)	5.90	-339.19	-255.53	5.90	-334.94	-246.60	5.90	-333.33	-238.98
(N ; M _{max})	9.85	-155.60	6.99	9.85	-152.80	6.79	9.85	-151.85	7.77
(N ; M _{min})	3.62	-255.52	-445.04	3.62	-252.96	-433.16	3.54	-249.08	-425.18

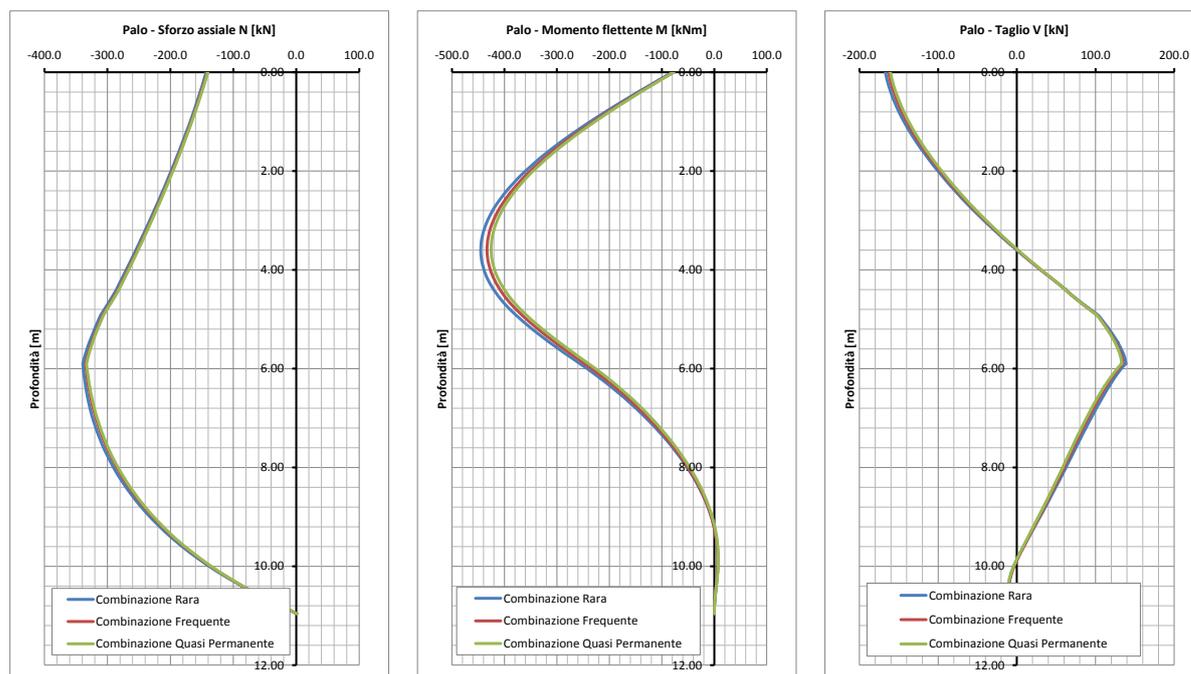


Figura 34: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

12.3.3 SLE, Sollecitazioni tiranti

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agente agli SLE.

Tabella 37: SLE-Tiranti. Sollecitazioni

Combinazione	$N_{Ed,SLE}$ [kN]
Rara	395.2
Frequente	387.3
Quasi permanente	382.4

12.3.4 Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni allo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR).

12.3.4.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali

Tabella 38: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

	Nmax kN	Nmin kN	Mmax kNm	Mmin kNm	Vmax kN	Vmin kN
A1+M1 (STR)	0.8	-442.6	9.3	-583.3	182.1	-218.9
A1+M1 (STR) sism	1.5	-358.8	22.8	-524.7	167.2	-227.5

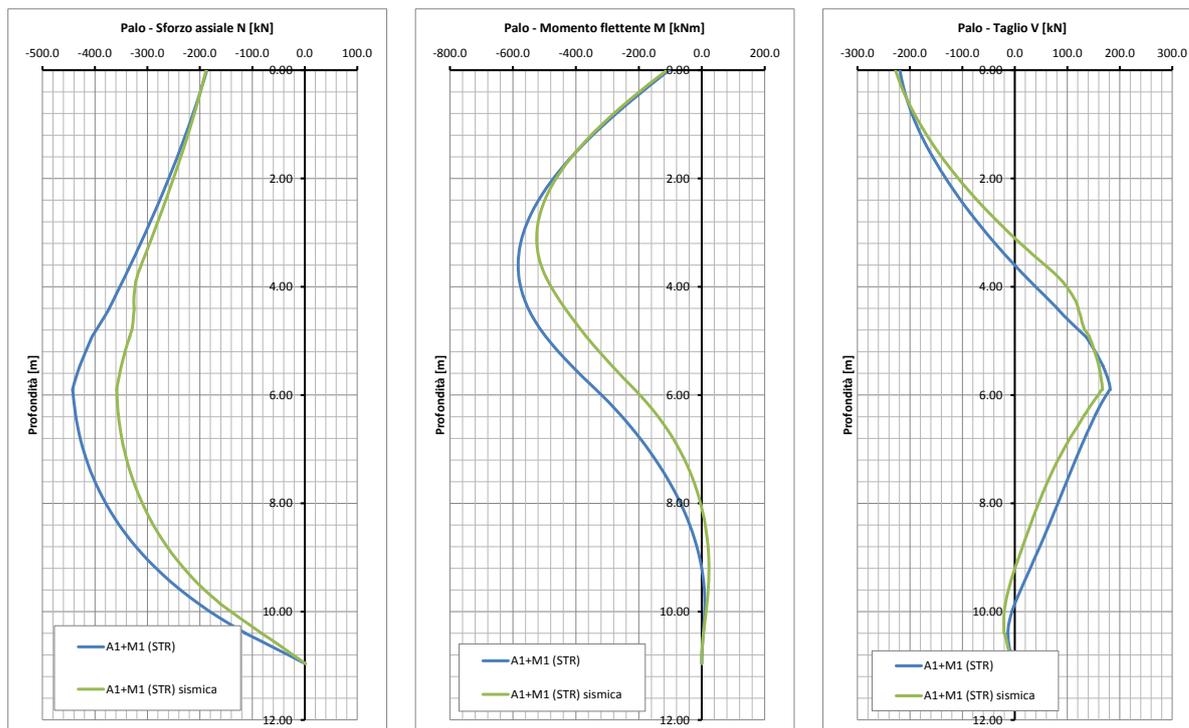


Figura 35: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

12.4 SINTESI DELLE SOLLECITAZIONI SUI TIRANTI (SLU-SLV)

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agenti sui tiranti agli SLU e agli SLV.

Tabella 39: SLU(SLV) A1+M1+R1-Tiranti. Sollecitazioni

	1° ordine
Massima azione agente $N_{Ed,SLU}$ [kN]	517.2
Massima azione agente $N_{Ed,SLV}$ [kN]	562.9

12.5 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi di tipo geotecnico GEO.

12.5.1 SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Convergenza dei modelli

Con i parametri del terreno ridotti con i coefficienti parziali M2 si è avuto la convergenza dei modelli Plaxis a conferma del soddisfacimento delle verifiche nei confronti della rotazione dell'opera. Nelle figure seguenti si riporta il campo di spostamenti al termine della fase di calcolo.

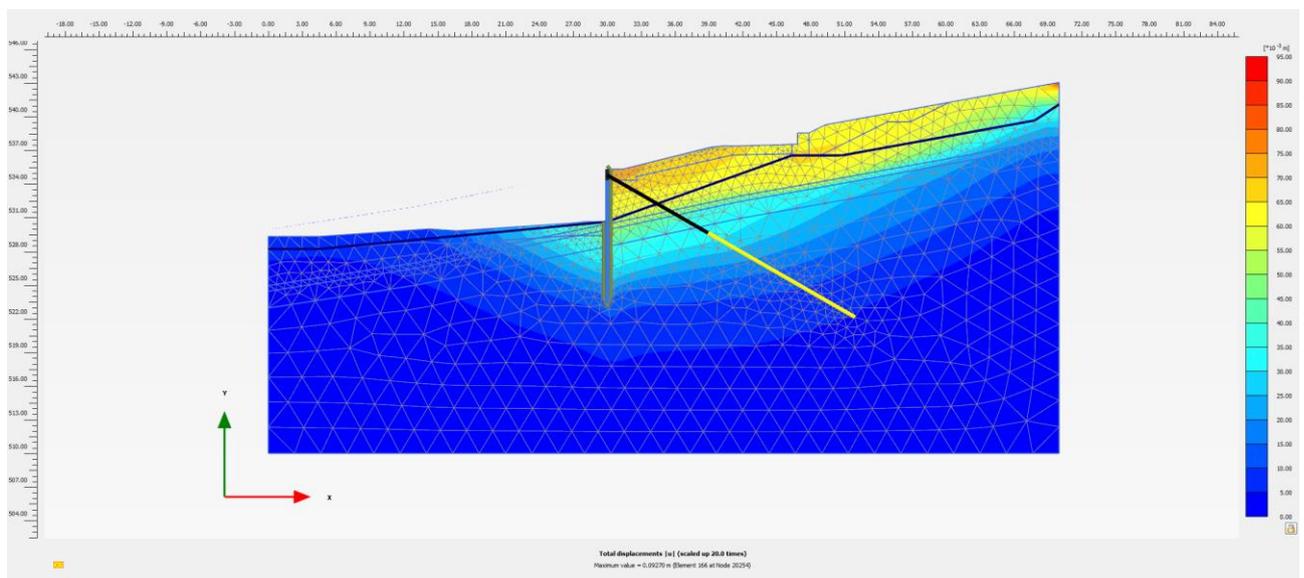


Figura 36: SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 - Combinazione fondamentale, campo di spostamenti

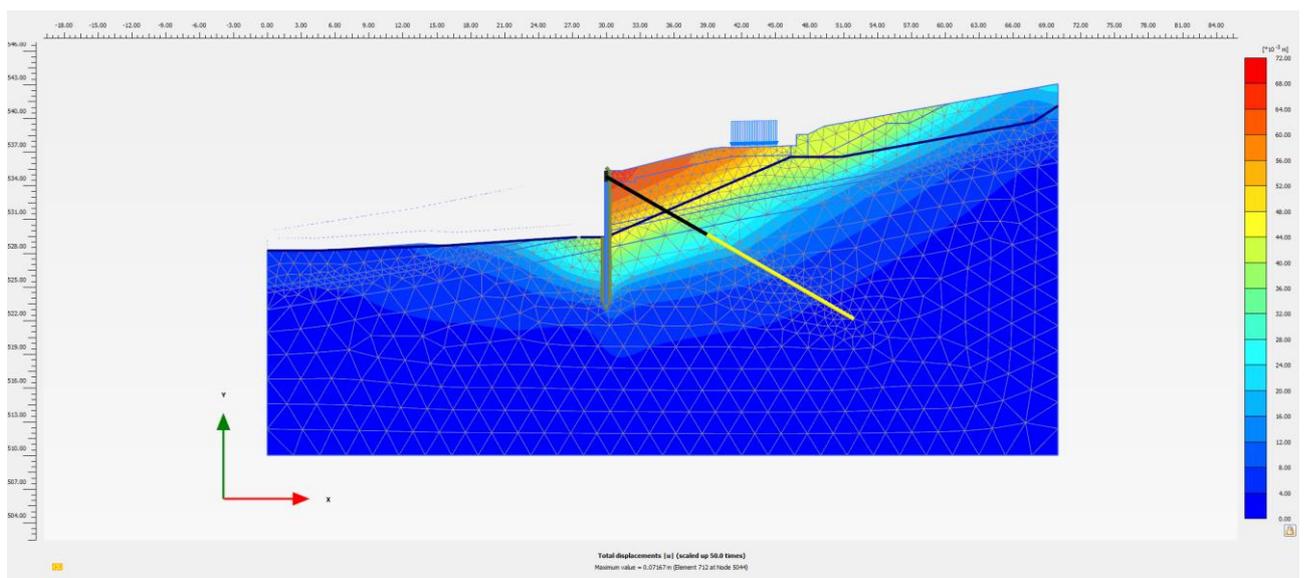


Figura 37: SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Combinazione sismica, campo di spostamenti

12.6 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera.

12.6.1 Pali, verifica a flessione

Assumendo per i pali $\Phi=1000$ mm una armatura di n. 22 Φ 26 mm si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00	MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.890	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.000	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.000	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.500	MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	22 Φ 26	(116.8 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)			
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione			
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale			
MT	Momento torcente [kN m]			
N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	442.60	583.30	227.50	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	9.2	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm ²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	442.60	583.30	442.72	1763.17	3.023	22.7	---	---	116.8 (23.6)

12.6.2 Pali, verifica a taglio

Con riferimento ad una spirale Φ 12/15 cm, si riporta la verifica a taglio.

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12	mm	
Passo staffe:	15.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	15.1	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	ASt
1	S	227.50	1847.10	1033.63	87.1 70.1	2.500	1.033	3.3

12.7 VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche delle tensioni e di fessurazione in riferimento alle sollecitazioni

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-0.63	0.00
2	339.19	-255.53
3	155.60	6.99
4	255.52	-445.04

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)

con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-0.76	0.00 (0.00)
2	334.94	-246.60 (-453.17)
3	152.80	6.79 (0.00)
4	252.96	-433.16 (-402.32)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-0.90	0.00 (0.00)
2	333.33	-238.98 (-455.89)
3	151.85	7.77 (0.00)
4	249.08	-425.18 (-402.43)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	39.8	21.3	5522	116.8	----
2	S	3.25	50.0	0.00	-50.0	-55.6	-41.5	21.3	2259	47.8	----
3	S	0.22	-50.0	0.11	50.0	1.8	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	5.64	50.0	0.00	-50.0	-126.4	-41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (990.00)	0.00
2	S	-0.00033	0.00024		0.50	0.60	0.000167 (0.000167)	454	0.076 (990.00)	-450.90
3	S	0.00001	0.00002		----	----	----	----	----	0.00
4	S	-0.00073	0.00042		0.50	0.60	0.000379 (0.000379)	454	0.172 (990.00)	-401.75

COMBINAZIONE RARA N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000003

2 0.0 50.0 0.000 -0.0000003

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
 Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
 Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.05	-0.0000003
2	11.7	-39.8	-0.05	-0.0000003
3	22.4	-34.9	-0.05	-0.0000003
4	31.4	-27.2	-0.05	-0.0000003
5	37.7	-17.2	-0.05	-0.0000003
6	41.1	-5.9	-0.05	-0.0000003
7	41.1	5.9	-0.05	-0.0000003
8	37.7	17.2	-0.05	-0.0000003
9	31.4	27.2	-0.05	-0.0000003
10	22.4	34.9	-0.05	-0.0000003
11	11.7	39.8	-0.05	-0.0000003
12	0.0	41.5	-0.05	-0.0000003
13	-11.7	39.8	-0.05	-0.0000003
14	-22.4	34.9	-0.05	-0.0000003
15	-31.4	27.2	-0.05	-0.0000003
16	-37.7	17.2	-0.05	-0.0000003
17	-41.1	5.9	-0.05	-0.0000003
18	-41.1	-5.9	-0.05	-0.0000003
19	-37.7	-17.2	-0.05	-0.0000003
20	-31.4	-27.2	-0.05	-0.0000003
21	-22.4	-34.9	-0.05	-0.0000003
22	-11.7	-39.8	-0.05	-0.0000003

COMBINAZIONE RARA N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0003264
2	0.0	-50.0	3.246	0.0002435

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	39.00	0.0001950
2	11.7	-39.8	37.09	0.0001854
3	22.4	-34.9	31.50	0.0001575
4	31.4	-27.2	22.68	0.0001134
5	37.7	-17.2	11.35	0.0000568
6	41.1	-5.9	-1.56	-0.0000078
7	41.1	5.9	-15.03	-0.0000751
8	37.7	17.2	-27.95	-0.0001397
9	31.4	27.2	-39.27	-0.0001964
10	22.4	34.9	-48.09	-0.0002404
11	11.7	39.8	-53.68	-0.0002684
12	0.0	41.5	-55.60	-0.0002780
13	-11.7	39.8	-53.68	-0.0002684
14	-22.4	34.9	-48.09	-0.0002404
15	-31.4	27.2	-39.27	-0.0001964
16	-37.7	17.2	-27.95	-0.0001397
17	-41.1	5.9	-15.03	-0.0000751
18	-41.1	-5.9	-1.56	-0.0000078
19	-37.7	-17.2	11.35	0.0000568
20	-31.4	-27.2	22.68	0.0001134
21	-22.4	-34.9	31.50	0.0001575
22	-11.7	-39.8	37.09	0.0001854

COMBINAZIONE RARA N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.108	0.0000081
2	0.0	50.0	0.216	0.0000162

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	1.75	0.0000088
2	11.7	-39.8	1.78	0.0000089
3	22.4	-34.9	1.86	0.0000093
4	31.4	-27.2	1.99	0.0000099
5	37.7	-17.2	2.15	0.0000107
6	41.1	-5.9	2.33	0.0000117
7	41.1	5.9	2.53	0.0000126
8	37.7	17.2	2.71	0.0000136
9	31.4	27.2	2.87	0.0000144
10	22.4	34.9	3.00	0.0000150
11	11.7	39.8	3.08	0.0000154
12	0.0	41.5	3.11	0.0000155
13	-11.7	39.8	3.08	0.0000154
14	-22.4	34.9	3.00	0.0000150
15	-31.4	27.2	2.87	0.0000144
16	-37.7	17.2	2.71	0.0000136
17	-41.1	5.9	2.53	0.0000126
18	-41.1	-5.9	2.33	0.0000117
19	-37.7	-17.2	2.15	0.0000107
20	-31.4	-27.2	1.99	0.0000099
21	-22.4	-34.9	1.86	0.0000093
22	-11.7	-39.8	1.78	0.0000089

COMBINAZIONE RARA N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0007300
2	0.0	-50.0	5.645	0.0004233

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	65.06	0.0003253
2	11.7	-39.8	61.18	0.0003059
3	22.4	-34.9	49.87	0.0002493
4	31.4	-27.2	32.02	0.0001601
5	37.7	-17.2	9.10	0.0000455
6	41.1	-5.9	-17.04	-0.0000852
7	41.1	5.9	-44.29	-0.0002215
8	37.7	17.2	-70.44	-0.0003522
9	31.4	27.2	-93.36	-0.0004668
10	22.4	34.9	-111.20	-0.0005560
11	11.7	39.8	-122.52	-0.0006126
12	0.0	41.5	-126.40	-0.0006320
13	-11.7	39.8	-122.52	-0.0006126
14	-22.4	34.9	-111.20	-0.0005560
15	-31.4	27.2	-93.36	-0.0004668
16	-37.7	17.2	-70.44	-0.0003522
17	-41.1	5.9	-44.29	-0.0002215
18	-41.1	-5.9	-17.04	-0.0000852
19	-37.7	-17.2	9.10	0.0000455
20	-31.4	-27.2	32.02	0.0001601
21	-22.4	-34.9	49.87	0.0002493
22	-11.7	-39.8	61.18	0.0003059

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	27.2	21.3	5522	116.8	----
2	S	3.13	50.0	0.00	-50.0	-53.0	-41.5	21.3	2259	47.8	----

3	S	0.21	-50.0	0.11	50.0	1.7	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	5.49	50.0	0.00	-50.0	-122.6	-41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (0.30)	0.00
2	S	-0.00031	0.00023		0.50	0.60	0.000159 (0.000159)	454	0.072 (0.30)	-453.17
3	S	0.00001	0.00002		----	----	----	----	----	0.00
4	S	-0.00071	0.00041		0.50	0.60	0.000368 (0.000368)	454	0.167 (0.30)	-402.32

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
 Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
 Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
 Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
 Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000003
2	0.0	50.0	0.000	-0.0000003

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
 Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
 Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.07	-0.0000003
2	11.7	-39.8	-0.07	-0.0000003
3	22.4	-34.9	-0.07	-0.0000003
4	31.4	-27.2	-0.07	-0.0000003
5	37.7	-17.2	-0.07	-0.0000003
6	41.1	-5.9	-0.07	-0.0000003
7	41.1	5.9	-0.07	-0.0000003
8	37.7	17.2	-0.07	-0.0000003
9	31.4	27.2	-0.07	-0.0000003
10	22.4	34.9	-0.07	-0.0000003
11	11.7	39.8	-0.07	-0.0000003
12	0.0	41.5	-0.07	-0.0000003
13	-11.7	39.8	-0.07	-0.0000003
14	-22.4	34.9	-0.07	-0.0000003
15	-31.4	27.2	-0.07	-0.0000003
16	-37.7	17.2	-0.07	-0.0000003
17	-41.1	5.9	-0.07	-0.0000003
18	-41.1	-5.9	-0.07	-0.0000003
19	-37.7	-17.2	-0.07	-0.0000003
20	-31.4	-27.2	-0.07	-0.0000003
21	-22.4	-34.9	-0.07	-0.0000003
22	-11.7	-39.8	-0.07	-0.0000003

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0003115
2	0.0	-50.0	3.132	0.0002349

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	37.69	0.0001885
2	11.7	-39.8	35.86	0.0001793

3	22.4	-34.9	30.49	0.0001525
4	31.4	-27.2	22.04	0.0001102
5	37.7	-17.2	11.18	0.0000559
6	41.1	-5.9	-1.21	-0.0000060
7	41.1	5.9	-14.12	-0.0000706
8	37.7	17.2	-26.50	-0.0001325
9	31.4	27.2	-37.36	-0.0001868
10	22.4	34.9	-45.82	-0.0002291
11	11.7	39.8	-51.18	-0.0002559
12	0.0	41.5	-53.02	-0.0002651
13	-11.7	39.8	-51.18	-0.0002559
14	-22.4	34.9	-45.82	-0.0002291
15	-31.4	27.2	-37.36	-0.0001868
16	-37.7	17.2	-26.50	-0.0001325
17	-41.1	5.9	-14.12	-0.0000706
18	-41.1	-5.9	-1.21	-0.0000060
19	-37.7	-17.2	11.18	0.0000559
20	-31.4	-27.2	22.04	0.0001102
21	-22.4	-34.9	30.49	0.0001525
22	-11.7	-39.8	35.86	0.0001793

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.106	0.0000080
2	0.0	50.0	0.212	0.0000159

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	1.73	0.0000086
2	11.7	-39.8	1.75	0.0000088
3	22.4	-34.9	1.83	0.0000092
4	31.4	-27.2	1.95	0.0000098
5	37.7	-17.2	2.11	0.0000106
6	41.1	-5.9	2.29	0.0000115
7	41.1	5.9	2.48	0.0000124
8	37.7	17.2	2.66	0.0000133
9	31.4	27.2	2.82	0.0000141
10	22.4	34.9	2.94	0.0000147
11	11.7	39.8	3.02	0.0000151
12	0.0	41.5	3.04	0.0000152
13	-11.7	39.8	3.02	0.0000151
14	-22.4	34.9	2.94	0.0000147
15	-31.4	27.2	2.82	0.0000141
16	-37.7	17.2	2.66	0.0000133
17	-41.1	5.9	2.48	0.0000124
18	-41.1	-5.9	2.29	0.0000115
19	-37.7	-17.2	2.11	0.0000106
20	-31.4	-27.2	1.95	0.0000098
21	-22.4	-34.9	1.83	0.0000092
22	-11.7	-39.8	1.75	0.0000088

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0007084
2	0.0	-50.0	5.495	0.0004121

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	63.37	0.0003168
2	11.7	-39.8	59.60	0.0002980
3	22.4	-34.9	48.61	0.0002430
4	31.4	-27.2	31.27	0.0001564
5	37.7	-17.2	9.00	0.0000450

6	41.1	-5.9	-16.40	-0.0000820
7	41.1	5.9	-42.87	-0.0002143
8	37.7	17.2	-68.27	-0.0003413
9	31.4	27.2	-90.53	-0.0004527
10	22.4	34.9	-107.87	-0.0005393
11	11.7	39.8	-118.87	-0.0005943
12	0.0	41.5	-122.63	-0.0006132
13	-11.7	39.8	-118.87	-0.0005943
14	-22.4	34.9	-107.87	-0.0005393
15	-31.4	27.2	-90.53	-0.0004527
16	-37.7	17.2	-68.27	-0.0003413
17	-41.1	5.9	-42.87	-0.0002143
18	-41.1	-5.9	-16.40	-0.0000820
19	-37.7	-17.2	9.00	0.0000450
20	-31.4	-27.2	31.27	0.0001564
21	-22.4	-34.9	48.61	0.0002430
22	-11.7	-39.8	59.60	0.0002980

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	-50.0	0.00	50.0	-0.1	34.9	21.3	5522	116.8	----
2	S	3.03	50.0	0.00	-50.0	-50.7	-41.5	21.3	2259	47.8	----
3	S	0.22	-50.0	0.10	50.0	1.6	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	5.39	50.0	0.00	-50.0	-120.3	-41.5	21.3	2259	47.8	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.40	0.000000 (0.000000)	663	0.000 (0.20)	0.00
2	S	-0.00030	0.00023		0.50	0.40	0.000152 (0.000152)	454	0.069 (0.20)	-455.89
3	S	0.00001	0.00002		----	----	----	----	----	0.00
4	S	-0.00069	0.00040		0.50	0.40	0.000361 (0.000361)	454	0.164 (0.20)	-402.43

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000004
2	0.0	50.0	0.000	-0.0000004

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.08	-0.0000004
2	11.7	-39.8	-0.08	-0.0000004
3	22.4	-34.9	-0.08	-0.0000004
4	31.4	-27.2	-0.08	-0.0000004
5	37.7	-17.2	-0.08	-0.0000004
6	41.1	-5.9	-0.08	-0.0000004
7	41.1	5.9	-0.08	-0.0000004
8	37.7	17.2	-0.08	-0.0000004
9	31.4	27.2	-0.08	-0.0000004
10	22.4	34.9	-0.08	-0.0000004
11	11.7	39.8	-0.08	-0.0000004
12	0.0	41.5	-0.08	-0.0000004
13	-11.7	39.8	-0.08	-0.0000004

14	-22.4	34.9	-0.08	-0.0000004
15	-31.4	27.2	-0.08	-0.0000004
16	-37.7	17.2	-0.08	-0.0000004
17	-41.1	5.9	-0.08	-0.0000004
18	-41.1	-5.9	-0.08	-0.0000004
19	-37.7	-17.2	-0.08	-0.0000004
20	-31.4	-27.2	-0.08	-0.0000004
21	-22.4	-34.9	-0.08	-0.0000004
22	-11.7	-39.8	-0.08	-0.0000004

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0002979
2	0.0	-50.0	3.035	0.0002276

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	36.59	0.0001829
2	11.7	-39.8	34.82	0.0001741
3	22.4	-34.9	29.66	0.0001483
4	31.4	-27.2	21.53	0.0001077
5	37.7	-17.2	11.09	0.0000554
6	41.1	-5.9	-0.82	-0.0000041
7	41.1	5.9	-13.24	-0.0000662
8	37.7	17.2	-25.15	-0.0001258
9	31.4	27.2	-35.60	-0.0001780
10	22.4	34.9	-43.73	-0.0002186
11	11.7	39.8	-48.89	-0.0002444
12	0.0	41.5	-50.65	-0.0002533
13	-11.7	39.8	-48.89	-0.0002444
14	-22.4	34.9	-43.73	-0.0002186
15	-31.4	27.2	-35.60	-0.0001780
16	-37.7	17.2	-25.15	-0.0001258
17	-41.1	5.9	-13.24	-0.0000662
18	-41.1	-5.9	-0.82	-0.0000041
19	-37.7	-17.2	11.09	0.0000554
20	-31.4	-27.2	21.53	0.0001077
21	-22.4	-34.9	29.66	0.0001483
22	-11.7	-39.8	34.82	0.0001741

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.098	0.0000073
2	0.0	50.0	0.219	0.0000164

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	1.62	0.0000081
2	11.7	-39.8	1.65	0.0000082
3	22.4	-34.9	1.74	0.0000087
4	31.4	-27.2	1.88	0.0000094
5	37.7	-17.2	2.06	0.0000103
6	41.1	-5.9	2.26	0.0000113
7	41.1	5.9	2.48	0.0000124
8	37.7	17.2	2.68	0.0000134
9	31.4	27.2	2.86	0.0000143
10	22.4	34.9	3.01	0.0000150
11	11.7	39.8	3.09	0.0000155
12	0.0	41.5	3.12	0.0000156
13	-11.7	39.8	3.09	0.0000155
14	-22.4	34.9	3.01	0.0000150
15	-31.4	27.2	2.86	0.0000143
16	-37.7	17.2	2.68	0.0000134

17	-41.1	5.9	2.48	0.0000124
18	-41.1	-5.9	2.26	0.0000113
19	-37.7	-17.2	2.06	0.0000103
20	-31.4	-27.2	1.88	0.0000094
21	-22.4	-34.9	1.74	0.0000087
22	-11.7	-39.8	1.65	0.0000082

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0006950
2	0.0	-50.0	5.393	0.0004045

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	62.21	0.0003110
2	11.7	-39.8	58.51	0.0002926
3	22.4	-34.9	47.72	0.0002386
4	31.4	-27.2	30.71	0.0001536
5	37.7	-17.2	8.86	0.0000443
6	41.1	-5.9	-16.06	-0.0000803
7	41.1	5.9	-42.03	-0.0002102
8	37.7	17.2	-66.95	-0.0003348
9	31.4	27.2	-88.81	-0.0004440
10	22.4	34.9	-105.81	-0.0005291
11	11.7	39.8	-116.60	-0.0005830
12	0.0	41.5	-120.30	-0.0006015
13	-11.7	39.8	-116.60	-0.0005830
14	-22.4	34.9	-105.81	-0.0005291
15	-31.4	27.2	-88.81	-0.0004440
16	-37.7	17.2	-66.95	-0.0003348
17	-41.1	5.9	-42.03	-0.0002102
18	-41.1	-5.9	-16.06	-0.0000803
19	-37.7	-17.2	8.86	0.0000443
20	-31.4	-27.2	30.71	0.0001536
21	-22.4	-34.9	47.72	0.0002386
22	-11.7	-39.8	58.51	0.0002926

12.8 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTO

Gli spostamenti orizzontali ottenuti in combinazioni SLE quasi permanente sono indicati in Figura 18 da cui risulta uno spostamento orizzontale di circa 2.4 cm compatibile con la funzionalità dell'opera.

12.9 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)

Con i parametri del terreno ridotti con i coefficienti parziali M2 si è avuto la convergenza dei modelli Plaxis a conferma del soddisfacimento delle verifiche nei confronti della rotazione dell'opera (vedasi il paragrafo 11.5.1).

12.10 VERIFICHE DEI TIRANTI DI ANCORAGGIO

12.10.1 Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio

La verifica a sfilamento dei tiranti è soddisfatta se:

$$F_{td} < R_{td}$$

Essendo:

$$R_{td} = R_{tk} / \gamma_R,$$

dove:

F_{td} = trazione di progetto

R_{td} = resistenza a sfilamento progetto

R_{tk} = valore caratteristico della resistenza a sfilamento

In particolare, le verifiche a sfilamento dei tiranti agli stati limite ultimi vengono condotte con riferimento alla combinazione A1+M1+R3.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando il coefficiente parziale γ_R che per i tiranti permanenti vale in accordo alle NTC 2008:

$$\gamma_R = 1.2.$$

La resistenza caratteristica R_k del tirante viene ricavata attraverso correlazioni empiriche che prevedono l'utilizzo di parametri geotecnici o risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{t,k}$ sarà dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{t,cal}$ i fattori di correzione (ξ) riportati nella seguente tabella in funzione del numero di verticali d'indagine. Nel caso in esame, si è assunto cautelativamente un valore del fattore di correzione (ξ_3) pari a 1.80, che considera una sola verticale d'indagine disponibile.

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Tabella 40: Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

La resistenza a sfilamento di progetto " R_{td} " può essere espressa dalla seguente relazione:

$$R_{td} = Q_{ll} / FS$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite

FS = fattore di sicurezza per la portata laterale

Tabella 41: Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	γ_R (R3)	ξ_3 (n° indagini = 1)	FS
Laterale in trazione	1.2	1.8	2.16

La portata laterale limite è calcolata considerando il diametro nominale di perforazione e le tensioni di progetto di adesione laterale limite tirante-terreno $\alpha\tau_{lim}$ riferite al diametro di perforazione, si ottiene quindi:

$$Q_{ll} = \pi D_p \sum_i \alpha\tau_{LIM} h_i$$

La tensione limite di ancoraggio " τ_{LIM} " rappresenta la tensione limite che si viene ad avere fra interfaccia terreno – boiaccia cementizia ed è direttamente dipendente dalla tecnologia con cui verrà eseguito il tirante e dalla natura dei terreni.

In particolare, la tecnologia con cui verranno realizzati i tiranti sarà mediante iniezione di malta cementizia con il metodo I.R.S. (Iniezioni Ripetute Selettive).

Per determinare il valore della " τ_{LIM} " si fa riferimento a quanto indicato da Bustamante e Doix [1985] che richiedono come parametri caratterizzanti il terreno, la pressione limite p_{lim} determinata con il pressimetro di Ménard o il valore (N_{SPT}) determinato da risultati di prove SPT.

Nella Tabella 11 viene determinato il valore di α che rappresenta un coefficiente moltiplicativo che dipende dalle modalità di iniezione e natura dei terreni.

Tabella 42: Coefficiente moltiplicativo α

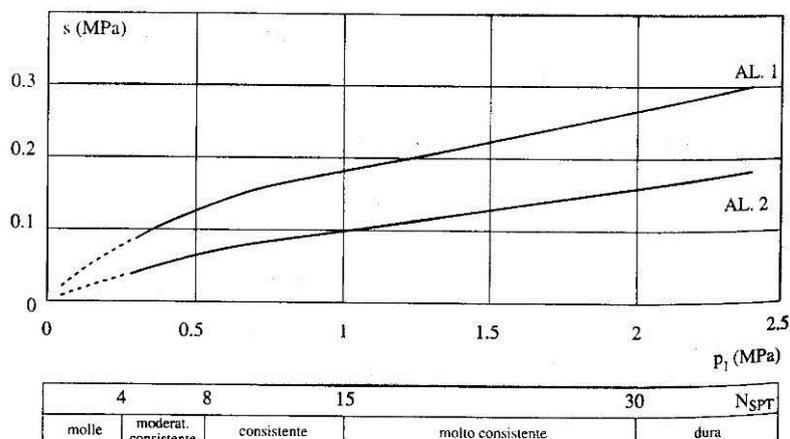
Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	$1,5 V_S$
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	$1,5 V_S$
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	$1,5 V_S$
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_S$
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_S$
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	$1,5 V_S$
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: $(1,5 - 2)V_S$; IGU: $1,5 V_S$
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: $2V_S$; IGU: $1,5V_S$
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: $(2,5 - 3)V_S$; IGU: $(1,5-2)V_S$
Marne	1,8	1,1 - 1,2	$(1,5 - 2)V_S$ per strati compatti
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2	$(2 - 6)V_S$ o più per strati fratturati
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	$(1,1-1,5)V_S$ per strati poco fratturati $2V_S$ o più per strati fratturati

Nella Tabella 12 viene invece stabilita la curva a cui fare riferimento per le differenti tipologie di terreno e del tipo di iniezione.

Tabella 43: Curva di riferimento per le diverse tipologie di terreno

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

In particolare, per i terreni attraversati si considera il seguente grafico, in cui è possibile ricavare il valore della resistenza laterale unitaria (tensione tangenziale) "s" detta anche " τ " a seconda delle varie tipologie di terreno.



Una volta determinato il valore della τ il valore della tensione tangenziale che si sviluppa lungo il fusto della fondazione è pari a:

$$\tau_{LIM} = \alpha \cdot \tau$$

con α ricavato secondo quanto riportato nella Tabella 11.

L'adesione laterale limite fondazione-terreno $\alpha\tau_{lim}$ sono riassunte in funzione della natura dei terreni nella seguente tabella, valide per tiranti iniettati in pressione (IRS).

Tabella 44: Valori di adesione laterale limite di riferimento

Unità	$\alpha\tau$ [kPa]
LSA	150
AG	180

Nella seguente tabella per i tiranti di diametro nominale $D = 160$ mm è riportata la portata di progetto R_{td} , considerato che il bulbo ricade interamente nell'Unità AG.

Tabella 45: Capacità portante a sfilamento A1+M1+R3

L_{bulbo} m	Q_{II} kN	R_{td} kN
15.0	1357.2	628.3

Nella tabella seguente sono sintetizzati i tiri sui tiranti (F_{td}) nelle diverse condizioni di progetto da cui risulta che:

$$F_{td} < R_{td}$$

Tabella 46: Carichi assiali sui tiranti

	F_{td} (kN)
SLU-SLV	
A1+M1+R3 - SLU	517.2
A1+M1+R3 - SLV	562.9
SLE	
Pretensione iniziale	300.00
Rara	395.2
Frequente	387.3
Quasi permanente	382.4

12.10.2 Resistenza a trazione dei trefoli

La resistenza a trazione dei trefoli componenti il tirante di ancoraggio è stata ottenuta mediante la seguente formulazione:

- Resistenza caratteristica a trazione dei trefoli:

$$P_{t,k} = F_{p(1)k} = n_{\text{trefoli}} \cdot A_{\text{trefolo}} \cdot f_{p(1)k}$$

dove:

n_{trefoli} rappresenta il numero di trefoli del tirante;

A_{trefolo} rappresenta l'area del singolo trefolo;

$f_{p(1)k}$ rappresenta la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale.

- Resistenza di progetto a trazione dei trefoli:

$$P_{t,d} = \frac{P_{t,k}}{\gamma_s}$$

con γ_s assunto pari a 1.15 (in accordo al § 4.1.2.1.1.3 del D.M. 14/01/2008).

12.10.3 Sintesi delle verifiche sui tiranti

Si è verificato il soddisfacimento della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d rappresenta la massima sollecitazione di trazione agente nel tirante, determinata agli SLU/SLV

R_d rappresenta la resistenza di progetto del tirante determinata come la minima tra la resistenza di progetto a sfilamento del bulbo e la resistenza di progetto a trazione dell'armatura ovvero: $R_d = R_{d,min} = \min(F_{td}, P_{td})$.

Il D.M. 14/01/2008 prescrive inoltre, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, che si debba verificare che "la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio", ovvero:

$$P_{t,k} \geq R_{t,k}$$

Nel prospetto seguente si riassumono le verifiche effettuate.

1° ORDINE

Caratteristiche tirante

n_{trefoli}	=	4
A_{trefolo}	=	139 mm ²
E	=	196000 MPa
interasse	=	2.8 m
EA	=	108976 kN
EA/i	=	38920.0 kN/m

$N_{\text{pret} \times \text{trefolo}}$	=	75 kN
N_{pret}	=	300 kN

Sollecitazioni di calcolo

$N_{\text{PLX, SLU}}$	=	397.81 kN
$N_{\text{PLX, SLV}}$	=	562.93 kN
$N_{\text{Ed, SLU}}$	=	517.15 kN
$N_{\text{Ed, SLV}}$	=	562.93 kN

Resistenza a sfilamento bulbo

τ_{LSA}	=	0.083 MPa
τ_{AG}	=	0.10 MPa
α	=	1.8 -
ϕ_{perf}	=	0.16 m
ξ	=	1.8 -
L_{U3}	=	0.0 m
L_{U4}	=	15.0 m
Q_{II}	=	1357.2 kN
R_{tk}	=	754.0
γ_R	=	1.2
R_{td}	=	628.3 kN

Resistenza tirante

f_{ptk}	=	1860 MPa
$f_{p(1)k}$	=	1670 MPa
γ_s	=	1.15
P_{tk}	=	928.5 kN
P_{td}	=	807.4 kN

Verifica di resistenza

E_d	=	562.93 kN
R_d	=	628.32 kN
$E_d \leq R_d$	=	ok

Verifica gerarchia

$P_{tk} \geq R_{tk}$	=	ok
----------------------	---	----

12.11 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE (GEO_STAB)

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo l'approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2007, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 47: Coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità globale con il metodo all'equilibrio limite.

		F.S.		F.S. richiesto γ_R	
SLU/GEO_stab (A2+M2+R2)	Combinazione fondamentale	1.242	≥	1.1	Figura 23
SLV/GEO_stab (A2=1+M2+R2)	$k_h=0.036, k_v=0.018$	1.225		1.1	Figura 24
	$k_h=0.036, k_v=-0.018$	1.203		1.1	Figura 25

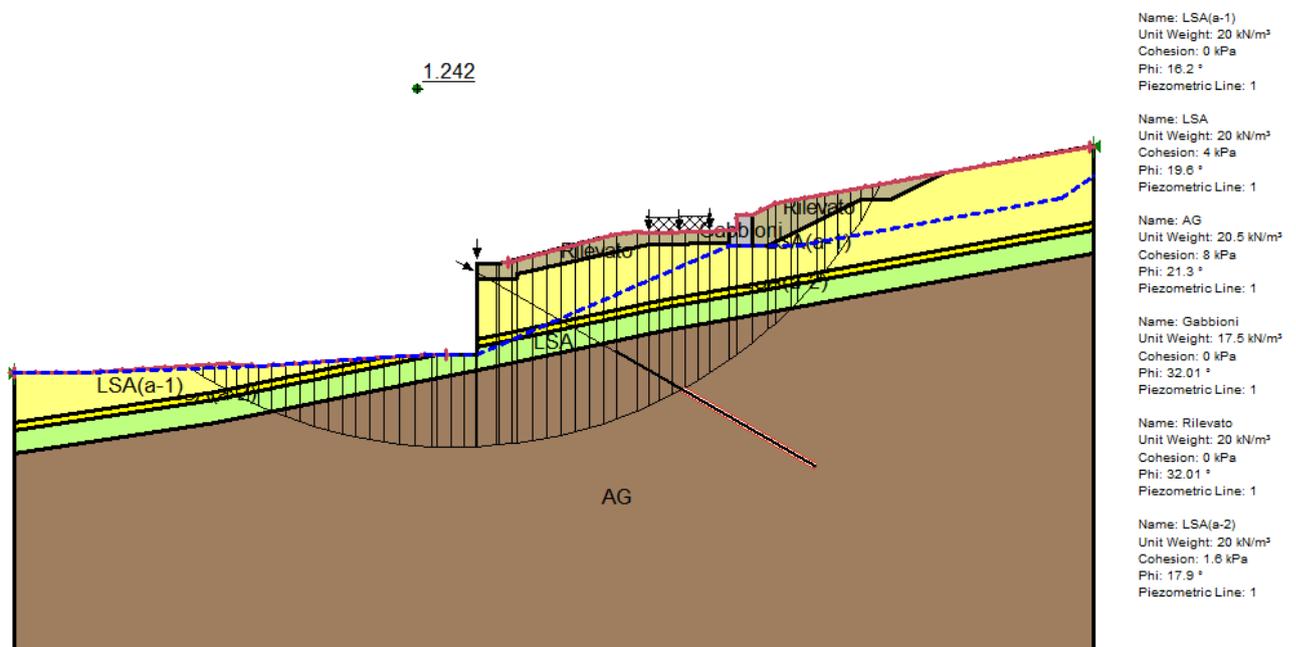


Figura 38: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

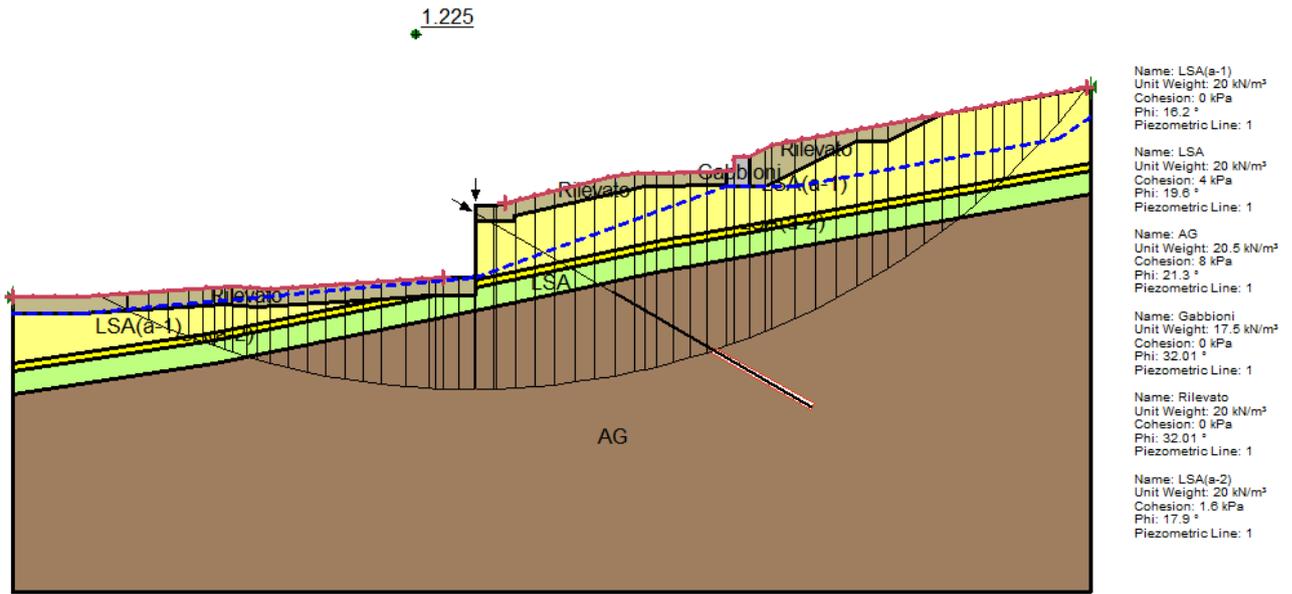


Figura 39: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica (kv>0)- Superficie di scorrimento critica

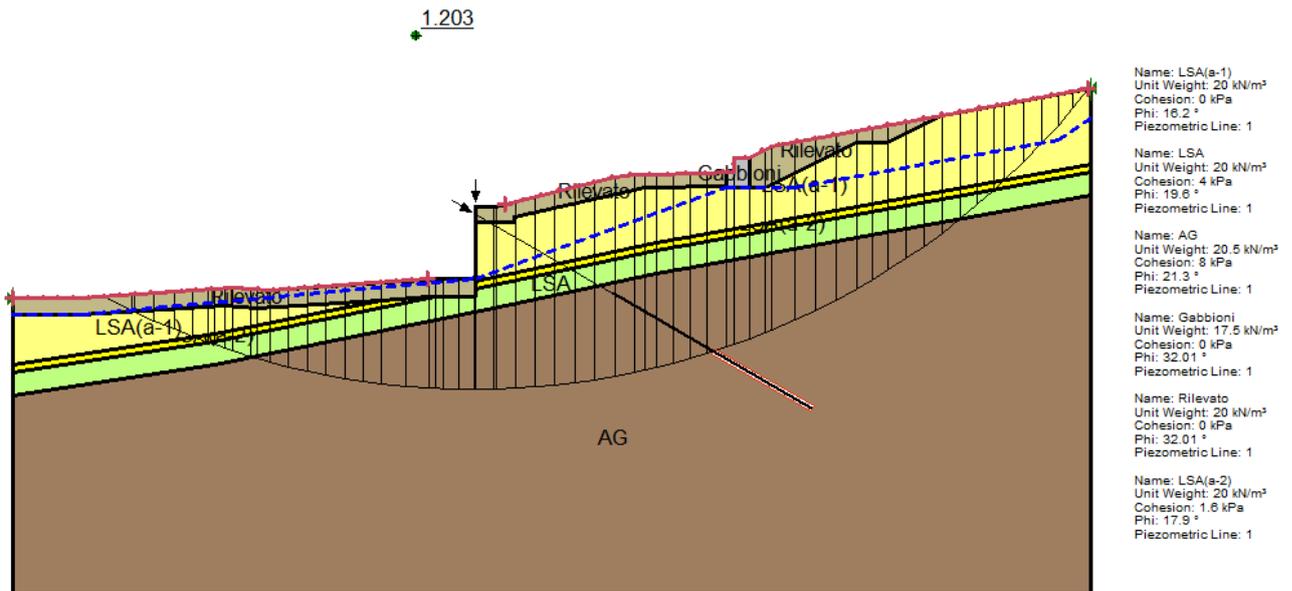


Figura 40: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica (kv<0)- - Superficie di scorrimento critica

12.12 VERIFICA DEL CORDOLO DI CORONAMENTO DEI PALI

12.12.1 Determinazione delle sollecitazioni

Di seguito si sintetizza il calcolo condotto per la determinazione delle sollecitazioni (SLE e SLU) agenti sul cordolo di collegamento dei pali:

- sulla base dei risultati riportati al paragrafo 10.3.2, per gli SLE, e al paragrafo 10.4, per gli SLU-SLV, è stato definito il carico massimo (N_{Ed}) nei tiranti nelle diverse combinazioni;
- il carico q uniformemente distribuito e le due componenti verticali e orizzontali risultano pertanto:

$$q = \frac{N_{Ed}}{i};$$

$$q_h = q_x = q \cdot \cos\alpha;$$

$$q_v = q_y = q \cdot \sin\alpha;$$

dove

α angolo di inclinazione del tirante pari a 30° ;

i interasse tra i tiranti.

Il carico $q_v=q_y$ è incrementato con il peso proprio del cordolo amplificato per il coefficiente $\gamma_{A1} = 1.3$ per la combinazione A1-M1, $\gamma_{A1} = 1.0$ per la combinazione SLV. Per gli SLE il carico $q_v=q_y$ è stato incrementato solamente del peso proprio del cordolo.

12.12.1.1 Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE)

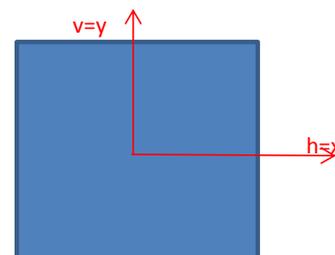
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite di Esercizio (SLE).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	395.18 kN
N_{ED,SLE_freq}	=	387.28 kN
N_{ED,SLE_qp}	=	383.38 kN
$N_{ED,SLU}$	=	517.15 kN
$N_{ED,SLV}$	=	562.93 kN
i	=	2.8 m
α	=	30°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20 m
H	=	1.00 m



Condizioni SLE-rara

q_{SLE}	=	141.13 kPa	$M_{y,ED}$	=	95.83 kNm	$V_{x,ED}$	=	171.12 KN
$q_{h,SLE}$	=	122.23 kPa	$M_{x,ED}$	=	78.84 kNm	$V_{y,ED}$	=	140.79 KN
$q_{v,SLE}$	=	100.57 kPa						

Condizioni SLE-frequente

q_{SLE}	=	138.31 kPa	$M_{y,ED}$	=	93.91 kNm	$V_{x,ED}$	=	167.70 KN
$q_{h,SLE}$	=	119.78 kPa	$M_{x,ED}$	=	77.74 kNm	$V_{y,ED}$	=	138.82 KN
$q_{v,SLE}$	=	99.16 kPa						

Condizioni SLE-quasi permanente

q_{SLE}	=	136.92 kPa	$M_{y,ED}$	=	92.96 kNm	$V_{x,ED}$	=	166.01 KN
$q_{h,SLE}$	=	118.58 kPa	$M_{x,ED}$	=	77.19 kNm	$V_{y,ED}$	=	137.84 KN
$q_{v,SLE}$	=	98.46 kPa						

12.12.1.2 Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV)

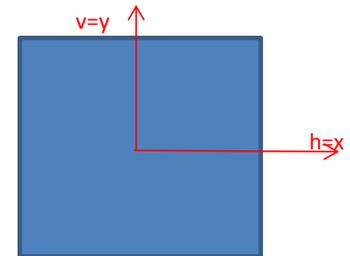
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite Ultimo (SLU-SLV).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	395.18 kN
N_{ED,SLE_freq}	=	387.28 kN
N_{ED,SLE_qp}	=	383.38 kN
$N_{ED,SLU}$	=	517.15 kN
$N_{ED,SLV}$	=	562.93 kN
i	=	2.8 m
α	=	30°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20 m
H	=	1.00 m



Condizioni SLU

q_{SLU}	=	184.70 kPa	$M_{y,ED}$	=	125.40 kNm	$V_{x,ED}$	=	223.93 KN
$q_{h,SLU}$	=	159.95 kPa	$M_{x,ED}$	=	102.98 kNm	$V_{y,ED}$	=	183.89 KN
$q_{v,SLU}$	=	131.35 kPa						

Condizioni SLV

q_{SLV}	=	201.05 kPa	$M_{y,ED}$	=	136.50 kNm	$V_{x,ED}$	=	243.76 KN
$q_{h,SLV}$	=	174.11 kPa	$M_{x,ED}$	=	102.33 kNm	$V_{y,ED}$	=	182.73 KN
$q_{v,SLV}$	=	130.52 kPa						

12.12.2 Verifica agli SLU: verifica a flessione

Si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-53.8	6.2	16
2	-53.8	93.8	16
3	53.8	93.8	16
4	53.8	6.2	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	2	1	3	16
3	1	4	3	16
4	3	4	3	16

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm

Passo staffe e legature: 20.0 cm

Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:

N°Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra
1	1	2	7	13
2	11	5	3	4

N° Legature: 1

Diam. Legature: 10

Indicazione Barre Longitudinali di estremità delle legature:

N°Legat.	Barra 1	Barra 2
1	9	15

Coordinate Barre generate di risvolto per staffe e legature:

N°Barra	X[cm]	Y[cm]
7	26.9	93.8
13	26.9	6.2
11	-26.9	6.2
5	-26.9	93.8
9	-53.8	50.0
15	53.8	50.0

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	102.98	125.40	183.89	223.93
2	0.00	102.33	136.50	182.73	243.76

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	20.3 cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.2 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	102.98	125.40	0.00	480.21	579.20	4.64	26.1(19.6)
2	N	0.00	102.33	136.50	0.00	457.47	605.01	4.45	26.1(19.5)

12.12.3 Verifica agli SLU: verifica a taglio

Si riporta di seguito la verifica a taglio.

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
 Diam. Legature: 10 mm
 Passo staffe e legature: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	284.19	1508.70	1988.62	114.2	60.1	2.500	1.000	2.8	19.8(0.0)
2	S	302.53	1543.17	2045.51	119.5	58.7	2.500	1.000	2.9	19.4(0.0)

12.12.4 Verifica agli SLE

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.51	60.0	100.0	-105.6	-53.8	6.2	925	6.0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.49	60.0	100.0	-104.9	-53.8	6.2	925	6.0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_c \text{ eff}$ [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
$e_{sm} - e_{cm}$	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \text{ max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	$e_{sm} - e_{cm}$	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00057	0	0.500	16.0	54	0.00031 (0.00031)	601	0.189 (0.40)	269.02	331.62

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.45	60.0	100.0	-102.9	-53.8	6.2	925	6.0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	$e_{sm} - e_{cm}$	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00056	0	0.500	16.0	54	0.00031 (0.00031)	601	0.185 (0.30)	272.19	327.80

13 SEZIONE 35_VAR 1

Il modello di calcolo Plaxis è riportato nella figura seguente. Il modello è stato aggiornato considerando una riduzione dell'altezza di scavo a pari a 60 cm.

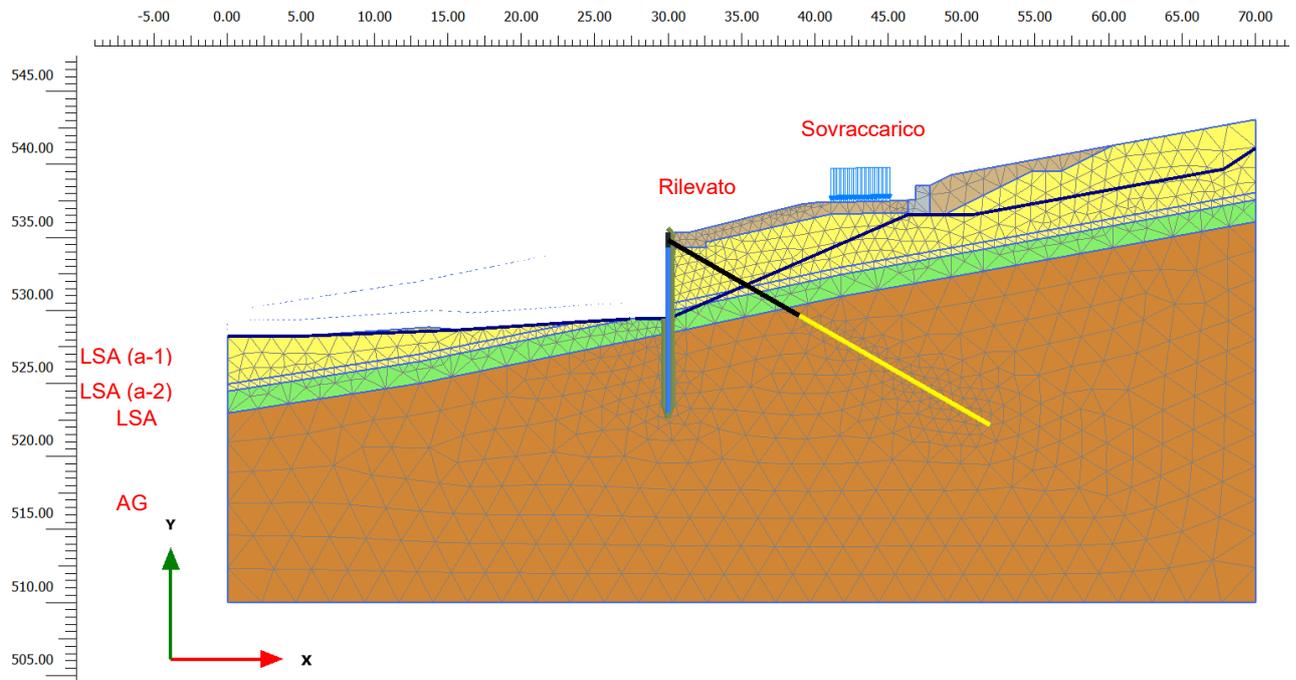


Figura 41: Sezione 35. Modello di calcolo Plaxis

13.1 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO, DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

La stratigrafia di riferimento, i parametri geotecnici di progetto e i livelli piezometrici adottati sono conformi a quanto riportato nella relazione PVOS120RC01_51_4137 "OS120 – Viabilità secondaria 53 – opere di sostegno da km 0+465.4 al km 1+033.02 -Relazione tecnica di calcolo".

In particolare, per la sezione di calcolo 35 si sono considerate per le varie unità stratigrafiche gli spessori riportati nella tabella seguente.

Tabella 48: Stratigrafia di riferimento Sezione 35A

Unità	Profondità da p.c.
LSA(a-1)	0.0÷8.0 m
AG	>8.0 m

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella tabella seguente. Per il terreno naturale si è considerato un modello costitutivo Hardening-soil e per il rilevato un modello Mohr-Coulomb con comportamento drenato.

Tabella 49: Parametri geotecnici assunti nelle elaborazioni Plaxis.

Material model	Model	Unit	LSA(a-1)	AG	Rilevato
General					
Material model	Model	-	Hard. soil	Hard. soil	Mohr-Coulomb
Type of material behaviour	Type	-	Undrained A	Undrained A	Drained
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	kN/m ³	20	20.5	20
Soil unit weight below phreatic level	γ_{sat}	kN/m ³	20	20.5	20
Initial void ratio	e_{init}	-	0.6	0.5	0.5
Parameters					
Young's modulus (constant)	E'	MPa			
Secant stiffness in standard drained triaxial test	E_{50}^{ref}	MPa	25	35	50
Tangent stiffness for primary oedometer loading	E_{oed}^{ref}	MPa	25	35	
Unloading / reloading stiffness	E_{ur}^{ref}	MPa	75	105	
Power for stress-level dependency of stiffness	m	-	0.5	0.7	
Cohesion	c'	kPa	0	15	0
Friction angle	φ'	°	20	26	38
Dilatancy angle	Ψ	°	0	0	0
Poisson's ratio	$\nu' \cdot \nu_{ur}$	-	0.3	0.3	
K_0 -value for normal consolidation	k_0^{nc}	-	$1 - \text{sen}\varphi'$	$1 - \text{sen}\varphi'$	$1 - \text{sen}\varphi'$
Groundwater					
Permeability in horizontal direction	k_x	m/day	$4.32 \cdot 10^{-3}$	$4.32 \cdot 10^{-4}$	0.864
Permeability in vertical direction	k_y	m/day	$8.64 \cdot 10^{-4}$	$8.64 \cdot 10^{-5}$	0.864
Interfaces-					
Interface strength	—	Manual	Manual	Manual	Manual
Strength reduction factor inter.	R_{inter}	0.5	0.67	0.67	0.67
Initial					
K_0 determination	—	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Over-consolidation ratio	OCR	1.0	1.0	5	-

La falda si assume quota -1.00 m da p.c.sia in condizione statica che sismica.

Poiché per la realizzazione dell'opera dovranno essere eseguiti scavi di sbancamento e sono previsti drenaggi, il livello di falda in prossimità dell'opera è variabile.

I dati di input della paratia di pali e del cordolo di coronamento, rappresentati nel modello con elemento "Plate", sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 50: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "plate".

Parameter	Name	Unit	
Pali			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	18421514
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	1151345
Unit weight	w	kN/m/m	14.02
Poisson's ratio	v	-	0
Cordolo			
Type of behaviour			Elastic; Isotropic
Normal stiffness	EA	kN/m	39404400
Flexural rigidity	EI	kNm ² /m	4728528
Unit weight	w	kN/m/m	30.0
Poisson's ratio	v	-	0

I dati di input dei tiranti di ancoraggio, rappresentati nel modello con elemento "Anchor" (parte passiva) e "Geogrid" (parte attiva), sono indicati nella seguente tabella.

Tabella 51: Dati di input tiranti di ancoraggio.

Parameter	Name	Unit	
Tiranti - Anchor			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA	KN	108976
Spacing	L _{spacing}	m	2.8
Maximum tension force	F _{max,tens}	kN	628.32
Tiranti - Geogrid			
Type of behaviour			Elastoplastic
Normal stiffness	EA ₁	KN/m	38920
Maximum force	N _p	kN/m	224.40

13.2 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale e riproducono in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e condizioni di verifica. La fase di messa in opera degli elementi strutturali viene simulata attivando i relativi elementi strutturali.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c. (Figura 42)

Fase 2. Realizzazione della paratia e dei tiranti di ancoraggio, pretensione (300 kN) e completamento opere a tergo (Figura 43)

Fase 3. Scavo (Figura 44)

Stati limite di esercizio SLE

Fase 4. SLE-Combinazione caratteristica (rara) (Figura 45)

Fase 5. SLE-Combinazione frequente

Fase 6. SLE-Combinazione quasi permanente

Stati limite ultimi STR

Fase 7. SLU/STR A1+M1+R1

Fase 8. SLV/STR A1+M1+R1, applicazione del sisma

Stati limite ultimi GEO

Fase 9. SLU/GEO A2+M2+R1

Fase 10. SLV/GEO A2+M2+R1, applicazione del sisma.

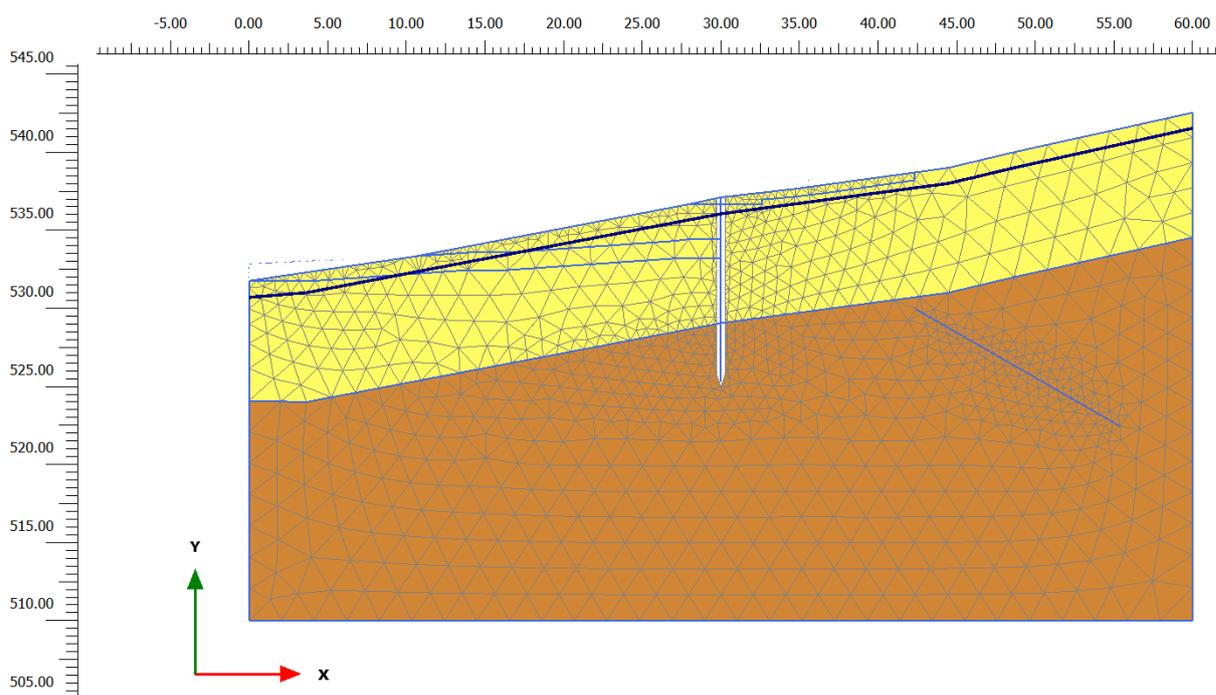


Figura 42: Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -1.0 m da p.c.

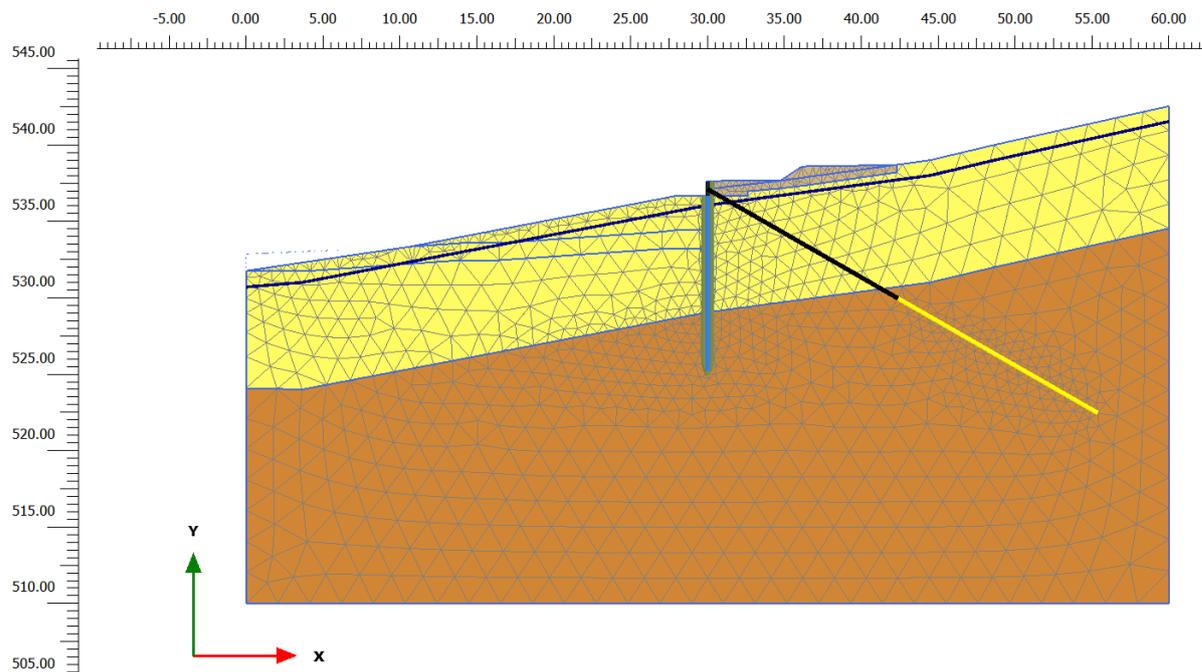


Figura 43: Fase 2. Realizzazione della paratia e dei tiranti di ancoraggio, pretensione (300 kN) e completamento opere a tergo

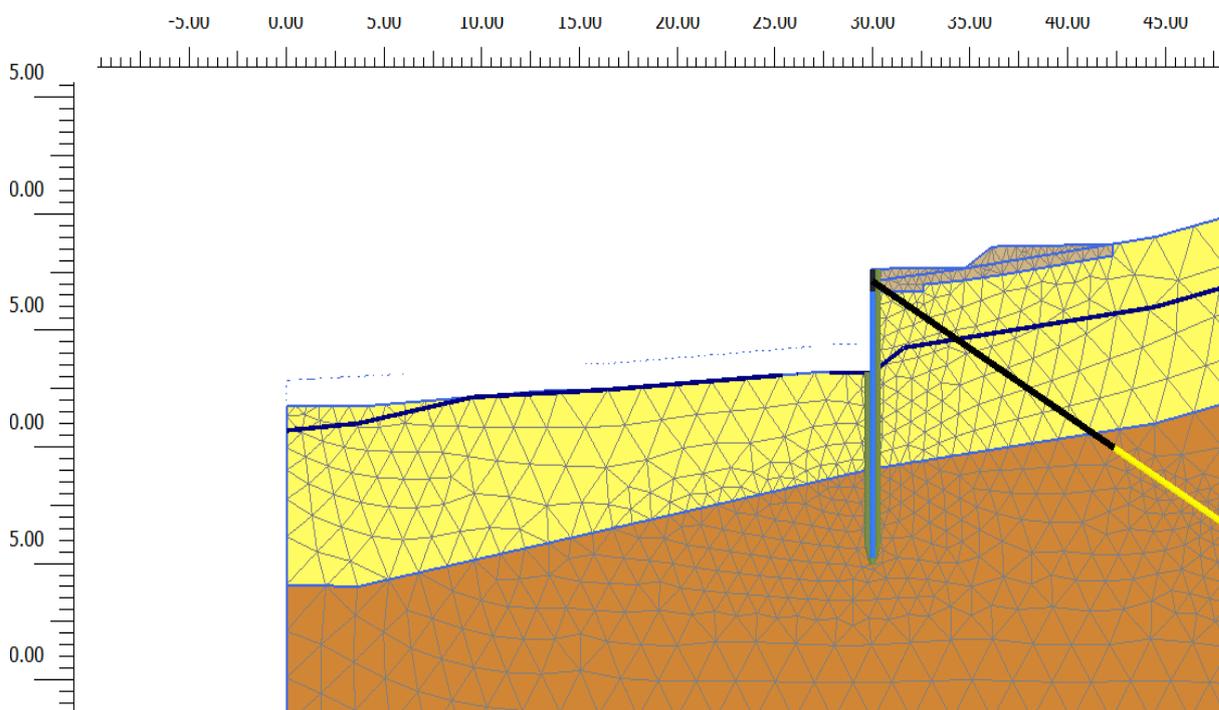


Figura 44: Fase 3. Scavo

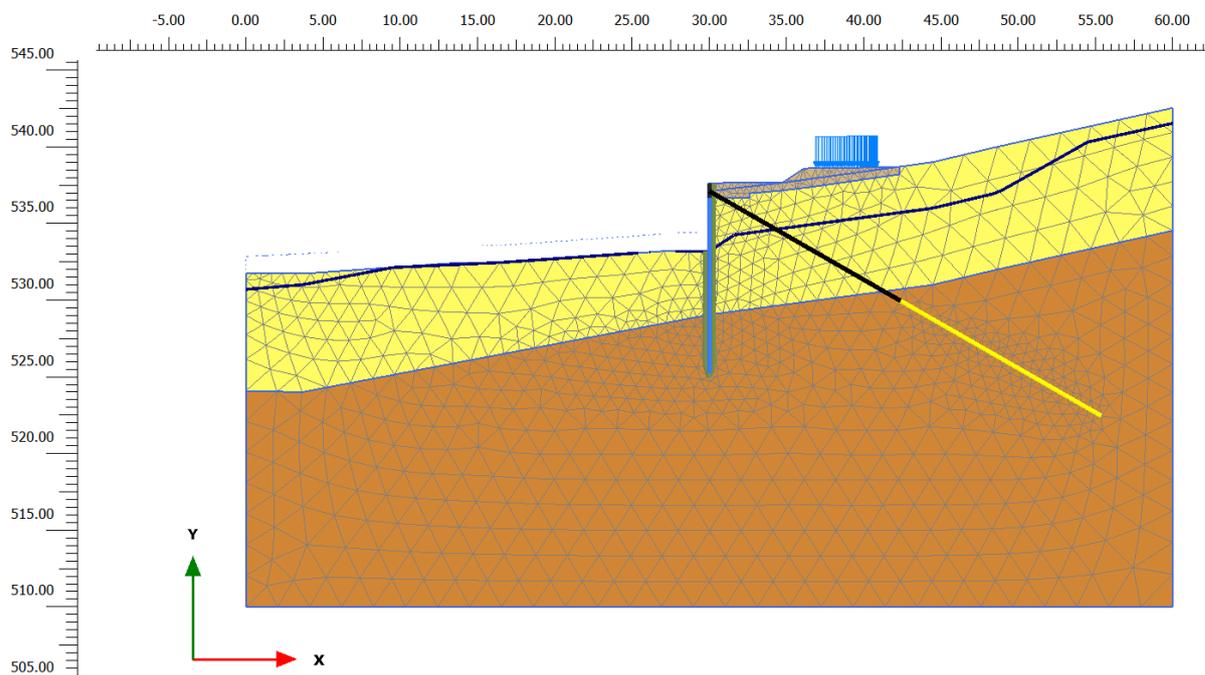


Figura 45: Fase 4. SLE-Combinazione caratteristica (rara)

13.3 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di:

- spostamenti;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

13.3.1 SLE, spostamenti

Di seguito si riportano le mappe degli spostamenti orizzontali per gli SLE.

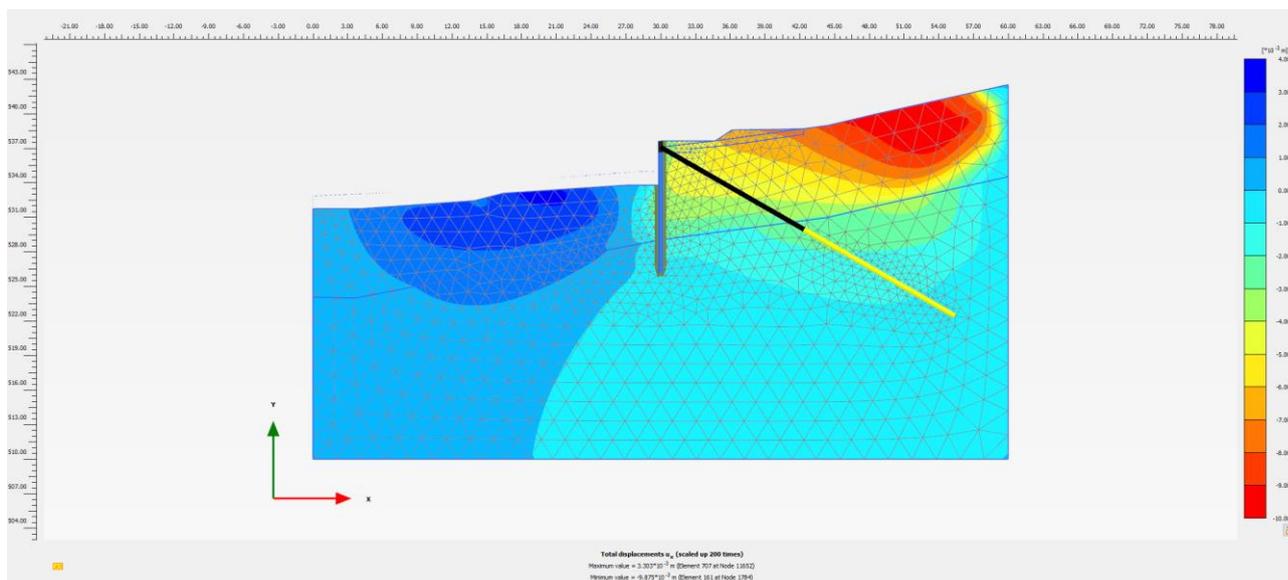


Figura 46: SLE-Combinazione caratteristica (rara).

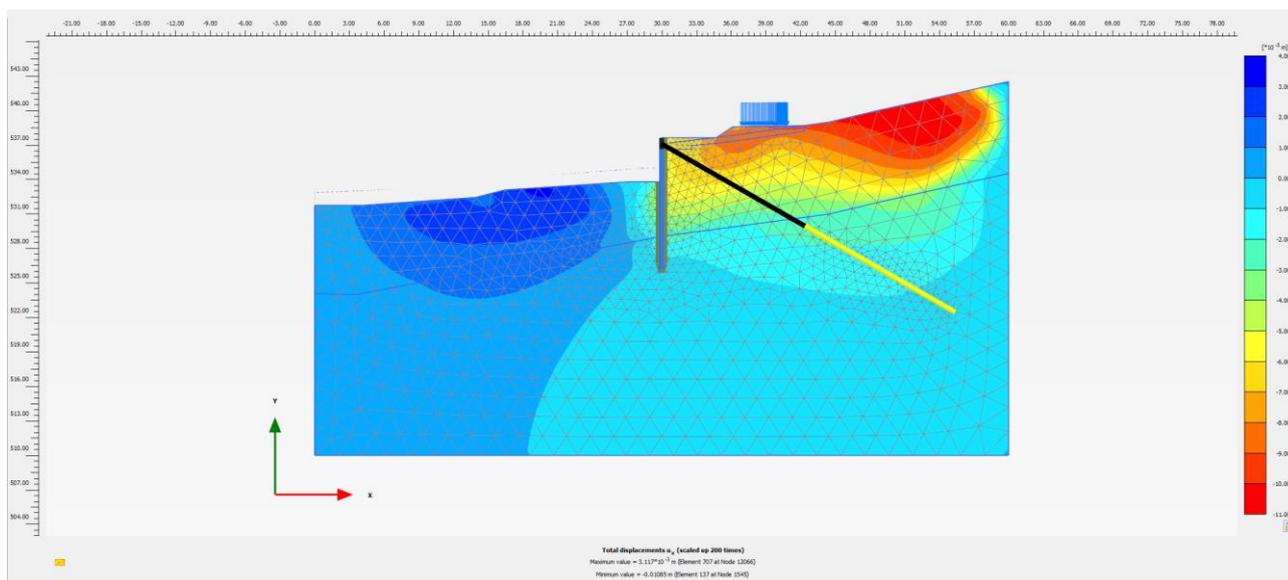


Figura 47: SLE-Combinazione frequente.

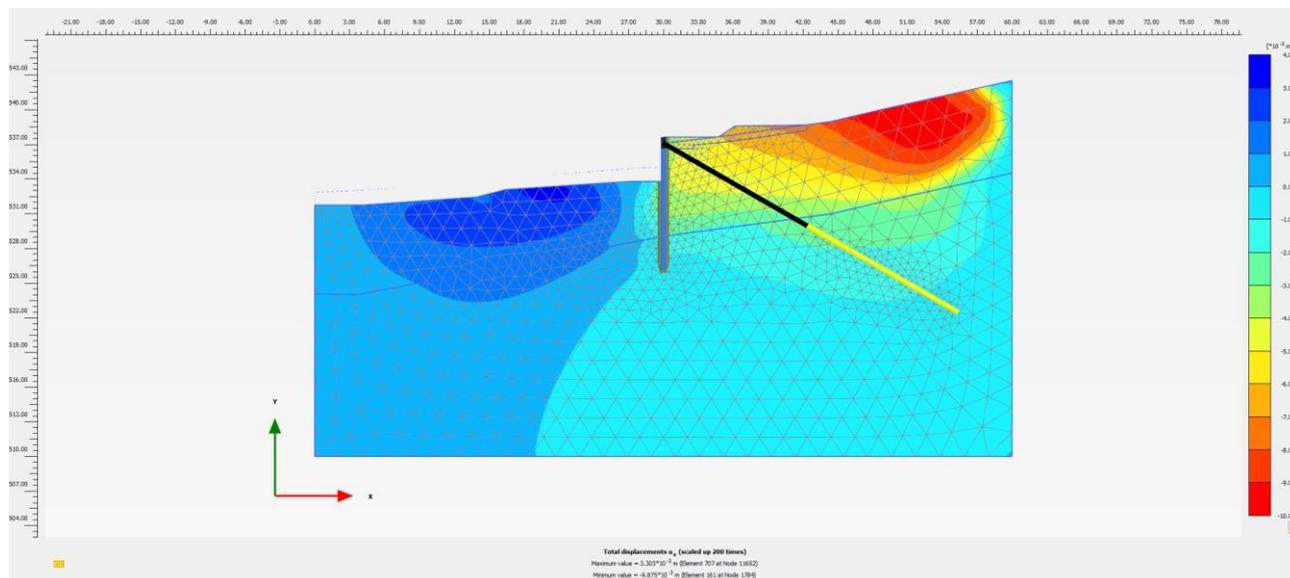


Figura 48: SLE-Combinazione quasi permanente.

13.3.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sui pali lato valle e lato monte sono diagrammate in funzione della profondità in Figura 9, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 52: SLE-Pali. Sollecitazioni

Sollecitazione Significativa	Palo								
	Comb. Rara			Comb. Frequente			Comb. Quasi Permanente		
	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]	Prof. [m]	Sforzo assiale N [kN]	Momento flettente M [kNm]
(N _{max} ; M)	10.47	0.89	0.00	10.47	0.89	0.00	10.47	0.90	0.00
(N _{min} ; M)	6.50	-294.01	-65.10	6.39	-284.11	-77.80	6.28	-280.30	-87.25
(N ; M _{max})	8.47	-214.50	35.20	8.59	-196.73	22.70	8.71	-184.29	18.26
(N ; M _{min})	2.84	-222.76	-281.94	2.84	-219.60	-269.39	2.84	-218.74	-265.52

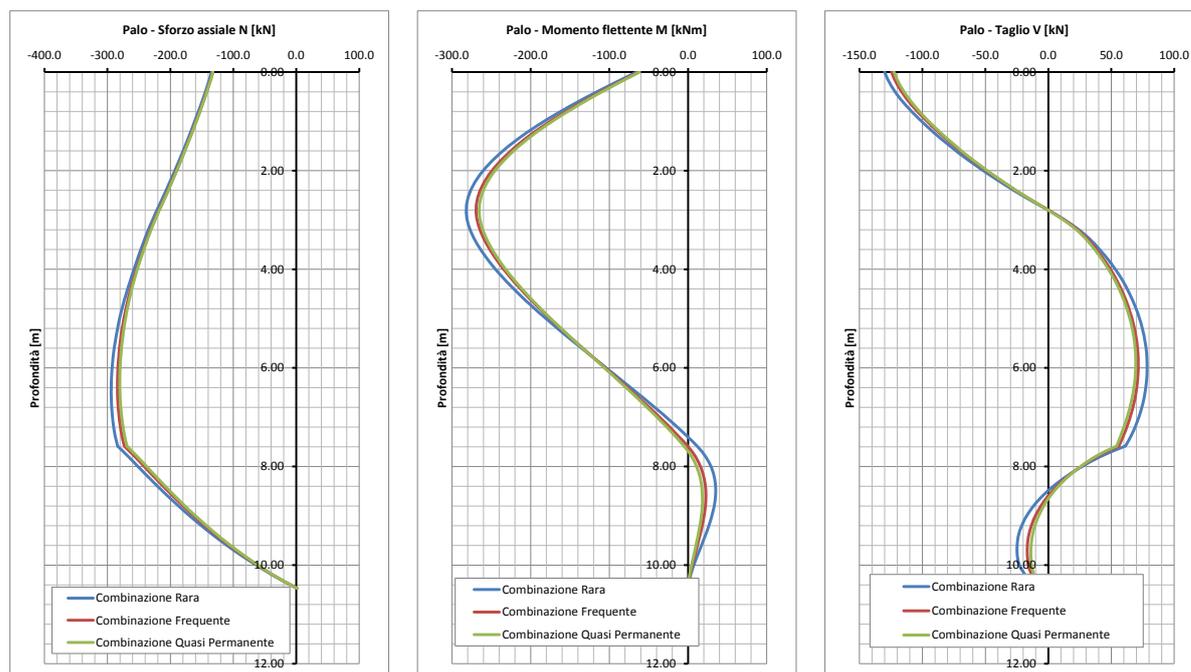


Figura 49: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

13.3.3 SLE, Sollecitazioni tiranti

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agente agli SLE.

Tabella 53: SLE-Tiranti. Sollecitazioni

Combinazione	$N_{Ed,SLE}$ [kN]
Rara	336.7
Frequente	326.6
Quasi permanente	322.6

13.3.4 Sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi strutturali (STR)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni allo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR).

13.3.4.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali

Tabella 54: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

	Nmax kN	Nmin kN	Mmax kNm	Mmin kNm	Vmax kN	Vmin kN
A1+M1 (STR)	1.2	-385.5	50.3	-370.9	104.5	-170.9
A1+M1 (STR) sism	2.4	-300.5	37.9	-365.8	139.2	-151.9

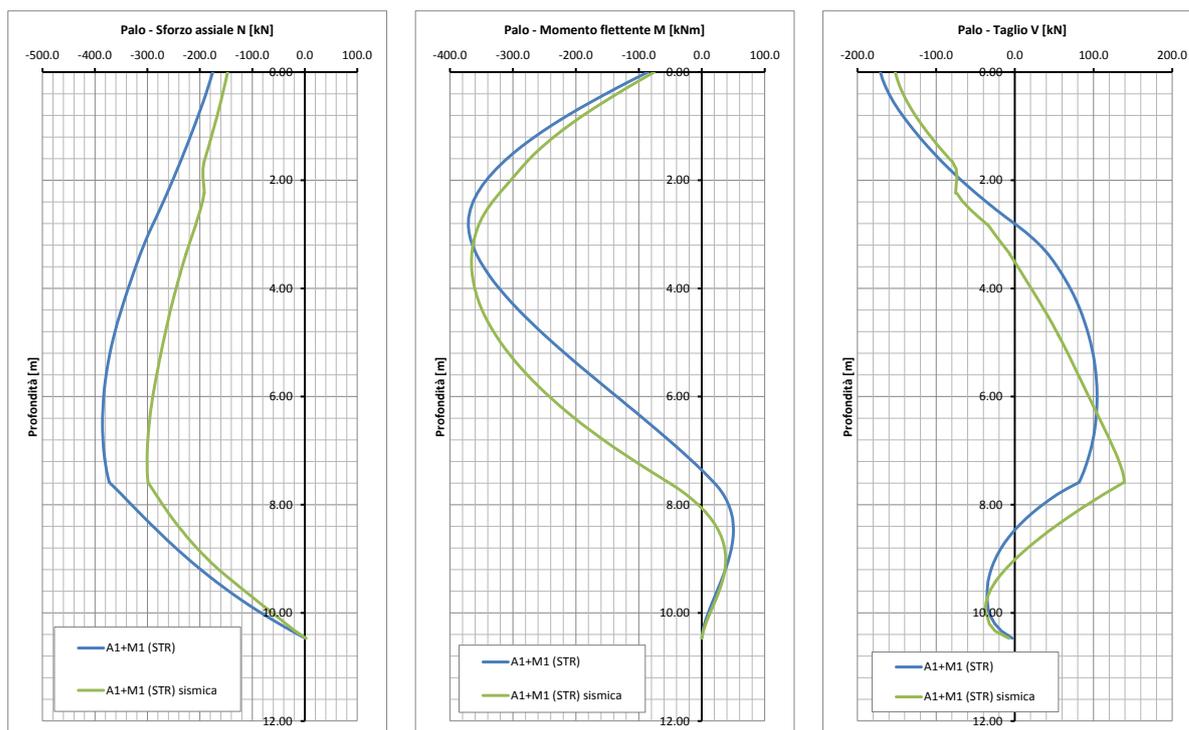


Figura 50: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

13.4 SINTESI DELLE SOLLECITAZIONI SUI TIRANTI (SLU-SLV)

Nella seguente tabella si riassume la massima azione di progetto agenti sui tiranti agli SLU e agli SLV.

Tabella 55: SLU(SLV) A1+M1+R1-Tiranti. Sollecitazioni

	1° ordine
Massima azione agente $N_{Ed,SLU}$ [kN]	441.4
Massima azione agente $N_{Ed,SLV}$ [kN]	391.6

13.5 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi di tipo geotecnico GEO.

13.5.1 SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Convergenza dei modelli

Con i parametri del terreno ridotti con i coefficienti parziali M2 si è avuto la convergenza dei modelli Plaxis a conferma del soddisfacimento delle verifiche nei confronti della rotazione dell'opera. Nelle figure seguenti si riporta il campo di spostamenti al termine della fase di calcolo.

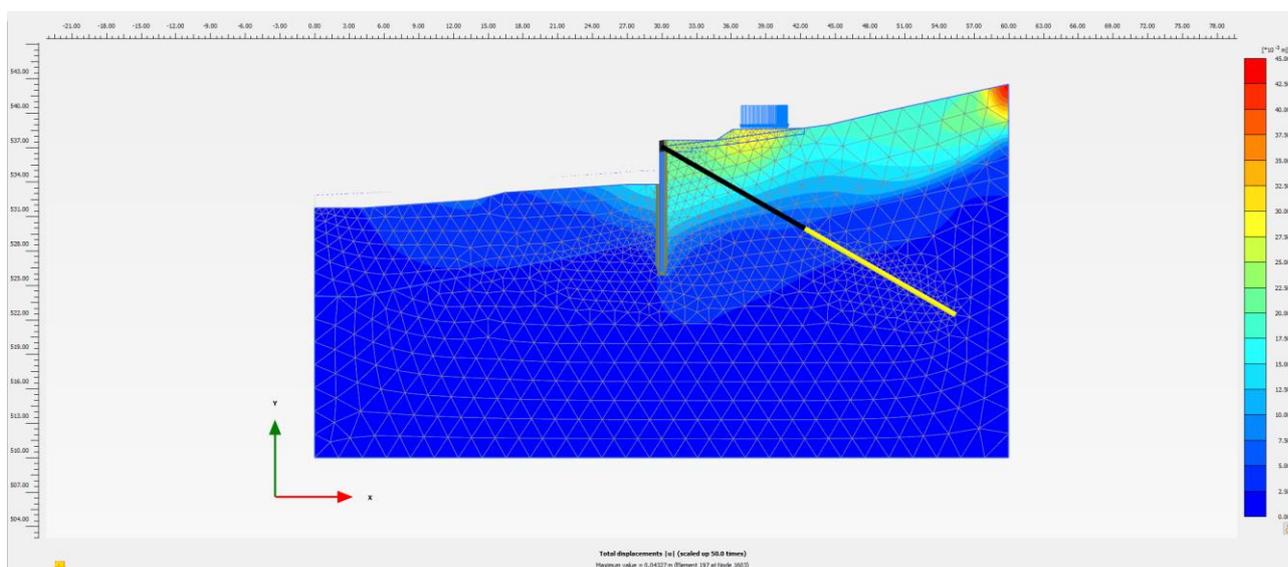


Figura 51: SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 - Combinazione fondamentale, campo di spostamenti

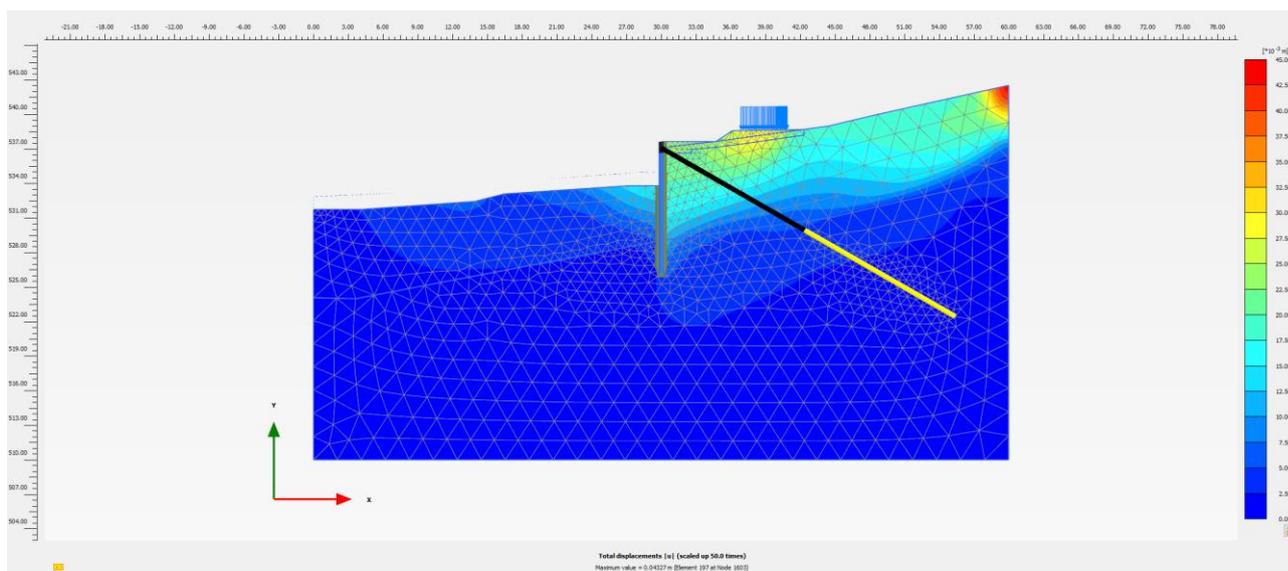


Figura 52: SLU(SLV)/GEO A2+M2+R1 – Combinazione sismica, campo di spostamenti

13.6 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera.

13.6.1 Pali, verifica a flessione

Assumendo per i pali $\Phi=1000$ mm una armatura di n. 14 Φ 26 mm si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00	MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500	MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020	
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.890	MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.000	MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.000	MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.500	MPa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	200000.0	MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50	
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	14 Φ 26	(74.3 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
VY	Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
MT	Momento torcente [kN m]

N°Comb.	N	Mx	Vy	MT
1	0.00	370.90	170.90	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	15.9	cm
Interferro massimo barre longitudinali:	0.0	cm [deve essere < 0.0]
Copriferro netto minimo staffe:	6.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
N Ult	Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx rd	Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
Yn	Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
As Tot.	Area complessiva armature long. pilastro [cm ²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

N°Comb	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
1	S	0.00	370.90	0.27	1104.62	2.978	29.3	---	---	74.3 (23.6)

13.6.2 Pali, verifica a taglio

Con riferimento ad una spirale Φ 12/15 cm, si riporta la verifica a taglio.

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12	mm	
Passo staffe:	15.0	cm	[Passo massimo di normativa = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	15.1	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 cm ² /m]

VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata
Ved	Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vrd	Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC]
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC]
bw z	Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	Ast
1	S	170.90	1754.42	1095.89	80.6 74.3	2.500	1.000	2.4

13.7 VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche delle tensioni e di fessurazione in riferimento alle sollecitazioni

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-0.89	0.00
2	294.01	-65.10
3	214.50	35.20
4	222.76	-281.94

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx	Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-0.89	0.00 (0.00)
2	284.11	-77.80 (-649.74)
3	196.73	22.70 (0.00)
4	219.60	-269.39 (-379.73)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

N°Comb.	N	Mx
1	-0.90	0.00 (0.00)
2	280.30	-87.25 (-585.30)
3	184.29	18.26 (0.00)
4	218.74	-265.52 (-380.21)

RISULTATI DEL CALCOLO

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	50.0	0.00	-50.0	-0.1	-41.5	21.3	5495	74.3	----
2	S	0.93	50.0	0.00	-50.0	-3.2	-41.5	21.3	1177	15.9	----
3	S	0.54	-50.0	0.00	50.0	-0.2	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	4.45	50.0	0.00	-50.0	-110.1	-41.5	21.3	2747	37.2	----

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	898	0.000 (990.00)	0.00
2	S	-0.00002	0.00007		0.50	0.60	0.000010 (0.000010)	572	0.005 (990.00)	-829.49
3	S	-0.00002	0.00007		----	----	----	----	----	1675.10
4	S	-0.00063	0.00033		0.50	0.60	0.000330 (0.000330)	572	0.189 (990.00)	-378.34

COMBINAZIONE RARA N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.000006

2 0.0 -50.0 0.000 -0.0000006

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
 Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
 Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.12	-0.0000006
2	18.0	-37.4	-0.12	-0.0000006
3	32.4	-25.9	-0.12	-0.0000006
4	40.5	-9.2	-0.12	-0.0000006
5	40.5	9.2	-0.12	-0.0000006
6	32.4	25.9	-0.12	-0.0000006
7	18.0	37.4	-0.12	-0.0000006
8	0.0	41.5	-0.12	-0.0000006
9	-18.0	37.4	-0.12	-0.0000006
10	-32.4	25.9	-0.12	-0.0000006
11	-40.5	9.2	-0.12	-0.0000006
12	-40.5	-9.2	-0.12	-0.0000006
13	-32.4	-25.9	-0.12	-0.0000006
14	-18.0	-37.4	-0.12	-0.0000006

COMBINAZIONE RARA N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0000240
2	0.0	-50.0	0.929	0.0000697

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	12.34	0.0000617
2	18.0	-37.4	11.57	0.0000579
3	32.4	-25.9	9.41	0.0000471
4	40.5	-9.2	6.30	0.0000315
5	40.5	9.2	2.84	0.0000142
6	32.4	25.9	-0.28	-0.0000014
7	18.0	37.4	-2.43	-0.0000122
8	0.0	41.5	-3.20	-0.0000160
9	-18.0	37.4	-2.43	-0.0000122
10	-32.4	25.9	-0.28	-0.0000014
11	-40.5	9.2	2.84	0.0000142
12	-40.5	-9.2	6.30	0.0000315
13	-32.4	-25.9	9.41	0.0000471
14	-18.0	-37.4	11.57	0.0000579

COMBINAZIONE RARA N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.000	-0.0000050
2	0.0	50.0	0.543	0.0000407

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.23	-0.0000011
2	18.0	-37.4	0.15	0.0000007
3	32.4	-25.9	1.20	0.0000060
4	40.5	-9.2	2.72	0.0000136
5	40.5	9.2	4.41	0.0000221
6	32.4	25.9	5.93	0.0000297
7	18.0	37.4	6.98	0.0000349

8	0.0	41.5	7.36	0.0000368
9	-18.0	37.4	6.98	0.0000349
10	-32.4	25.9	5.93	0.0000297
11	-40.5	9.2	4.41	0.0000221
12	-40.5	-9.2	2.72	0.0000136
13	-32.4	-25.9	1.20	0.0000060
14	-18.0	-37.4	0.15	0.0000007

COMBINAZIONE RARA N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0006326
2	0.0	-50.0	4.453	0.0003340

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	50.36	0.0002518
2	18.0	-37.4	42.42	0.0002121
3	32.4	-25.9	20.16	0.0001008
4	40.5	-9.2	-12.01	-0.0000600
5	40.5	9.2	-47.71	-0.0002386
6	32.4	25.9	-79.88	-0.0003994
7	18.0	37.4	-102.14	-0.0005107
8	0.0	41.5	-110.08	-0.0005504
9	-18.0	37.4	-102.14	-0.0005107
10	-32.4	25.9	-79.88	-0.0003994
11	-40.5	9.2	-47.71	-0.0002386
12	-40.5	-9.2	-12.01	-0.0000600
13	-32.4	-25.9	20.16	0.0001008
14	-18.0	-37.4	42.42	0.0002121

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	50.0	0.00	-50.0	-0.1	-41.5	21.3	5495	74.3	---
2	S	1.10	50.0	0.00	-50.0	-6.9	-41.5	21.3	1177	15.9	---
3	S	0.41	-50.0	0.03	50.0	0.9	41.5	0.0	0	0.0	---
4	S	4.25	50.0	0.00	-50.0	-104.2	-41.5	21.3	2747	37.2	---

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.60	0.000000 (0.000000)	898	0.000 (0.30)	0.00
2	S	-0.00005	0.00008		0.50	0.60	0.000021 (0.000021)	572	0.012 (0.30)	-649.74
3	S	0.00000	0.00003		---	---	---	---	---	0.00
4	S	-0.00060	0.00032		0.50	0.60	0.000313 (0.000313)	572	0.179 (0.30)	-379.73

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0000006
2	0.0	-50.0	0.000	-0.0000006

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)

N°Barra	Deformazione unitaria nella barra			
	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.12	-0.0000006
2	18.0	-37.4	-0.12	-0.0000006
3	32.4	-25.9	-0.12	-0.0000006
4	40.5	-9.2	-0.12	-0.0000006
5	40.5	9.2	-0.12	-0.0000006
6	32.4	25.9	-0.12	-0.0000006
7	18.0	37.4	-0.12	-0.0000006
8	0.0	41.5	-0.12	-0.0000006
9	-18.0	37.4	-0.12	-0.0000006
10	-32.4	25.9	-0.12	-0.0000006
11	-40.5	9.2	-0.12	-0.0000006
12	-40.5	-9.2	-0.12	-0.0000006
13	-32.4	-25.9	-0.12	-0.0000006
14	-18.0	-37.4	-0.12	-0.0000006

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0000452
2	0.0	-50.0	1.097	0.0000823

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	14.29	0.0000714
2	18.0	-37.4	13.24	0.0000662
3	32.4	-25.9	10.31	0.0000515
4	40.5	-9.2	6.07	0.0000303
5	40.5	9.2	1.36	0.0000068
6	32.4	25.9	-2.88	-0.0000144
7	18.0	37.4	-5.82	-0.0000291
8	0.0	41.5	-6.87	-0.0000343
9	-18.0	37.4	-5.82	-0.0000291
10	-32.4	25.9	-2.88	-0.0000144
11	-40.5	9.2	1.36	0.0000068
12	-40.5	-9.2	6.07	0.0000303
13	-32.4	-25.9	10.31	0.0000515
14	-18.0	-37.4	13.24	0.0000662

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.026	0.0000019
2	0.0	50.0	0.413	0.0000310

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	0.88	0.0000044
2	18.0	-37.4	1.12	0.0000056
3	32.4	-25.9	1.79	0.0000089
4	40.5	-9.2	2.75	0.0000138
5	40.5	9.2	3.83	0.0000191
6	32.4	25.9	4.79	0.0000240
7	18.0	37.4	5.46	0.0000273
8	0.0	41.5	5.70	0.0000285
9	-18.0	37.4	5.46	0.0000273
10	-32.4	25.9	4.79	0.0000240
11	-40.5	9.2	3.83	0.0000191
12	-40.5	-9.2	2.75	0.0000138
13	-32.4	-25.9	1.79	0.0000089
14	-18.0	-37.4	1.12	0.0000056

COMBINAZIONE FREQUENTE N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0005990
2	0.0	-50.0	4.252	0.0003189

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	48.17	0.0002408
2	18.0	-37.4	40.63	0.0002031
3	32.4	-25.9	19.49	0.0000974
4	40.5	-9.2	-11.06	-0.0000553
5	40.5	9.2	-44.97	-0.0002248
6	32.4	25.9	-75.52	-0.0003776
7	18.0	37.4	-96.66	-0.0004833
8	0.0	41.5	-104.20	-0.0005210
9	-18.0	37.4	-96.66	-0.0004833
10	-32.4	25.9	-75.52	-0.0003776
11	-40.5	9.2	-44.97	-0.0002248
12	-40.5	-9.2	-11.06	-0.0000553
13	-32.4	-25.9	19.49	0.0000974
14	-18.0	-37.4	40.63	0.0002031

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

N°Comb	Ver	Sc max	Yc max	Sc min	Yc min	Sf min	Ys min	Dw Eff.	Ac Eff.	As Eff.	D barre
1	S	0.00	50.0	0.00	-50.0	-0.1	-41.5	21.3	5495	74.3	----
2	S	1.24	50.0	0.00	-50.0	-10.1	-41.5	21.3	1962	26.5	----
3	S	0.36	-50.0	0.05	50.0	1.1	41.5	0.0	0	0.0	----
4	S	4.19	50.0	0.00	-50.0	-102.4	-41.5	21.3	2747	37.2	----

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	e1	e2	e3	K2	Kt	e sm	srm	wk	M Fess.
1	S	0.00000	0.00000		1.00	0.40	0.000000 (0.000000)	898	0.000 (0.20)	0.00
2	S	-0.00006	0.00009		0.50	0.40	0.000030 (0.000030)	572	0.017 (0.20)	-585.30
3	S	0.00000	0.00003		----	----	----	----	----	0.00
4	S	-0.00059	0.00031		0.50	0.40	0.000307 (0.000307)	572	0.176 (0.20)	-380.21

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 1 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert. numero assegnato ai singoli vertici del conglomerato
 Xc Ascissa [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
 Yc Ordinata [cm] del vertice nel sistema generale X, Y, O
 Sc Tensione [Mpa] nel vertice (positiva se di compress.)
 Epc Deformazione unitaria nel vertice

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0000006
2	0.0	-50.0	0.000	-0.0000006

Barre di armatura:

N°Barra numero assegnato alle singole barre
 Xf Ascissa [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Yf Ordinata [cm] della barra nel sistema generale X, Y, O
 Sf Tensione [Mpa] nella barra (positiva se di compress.)
 Epf Deformazione unitaria nella barra

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	-0.12	-0.0000006
2	18.0	-37.4	-0.12	-0.0000006
3	32.4	-25.9	-0.12	-0.0000006
4	40.5	-9.2	-0.12	-0.0000006

5	40.5	9.2	-0.12	-0.0000006
6	32.4	25.9	-0.12	-0.0000006
7	18.0	37.4	-0.12	-0.0000006
8	0.0	41.5	-0.12	-0.0000006
9	-18.0	37.4	-0.12	-0.0000006
10	-32.4	25.9	-0.12	-0.0000006
11	-40.5	9.2	-0.12	-0.0000006
12	-40.5	-9.2	-0.12	-0.0000006
13	-32.4	-25.9	-0.12	-0.0000006
14	-18.0	-37.4	-0.12	-0.0000006

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 2 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0000641
2	0.0	-50.0	1.239	0.0000929

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	15.92	0.0000796
2	18.0	-37.4	14.63	0.0000731
3	32.4	-25.9	11.01	0.0000551
4	40.5	-9.2	5.79	0.0000289
5	40.5	9.2	-0.01	-0.0000001
6	32.4	25.9	-5.24	-0.0000262
7	18.0	37.4	-8.86	-0.0000443
8	0.0	41.5	-10.15	-0.0000507
9	-18.0	37.4	-8.86	-0.0000443
10	-32.4	25.9	-5.24	-0.0000262
11	-40.5	9.2	-0.01	-0.0000001
12	-40.5	-9.2	5.79	0.0000289
13	-32.4	-25.9	11.01	0.0000551
14	-18.0	-37.4	14.63	0.0000731

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 3 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	-50.0	0.050	0.0000037
2	0.0	50.0	0.361	0.0000271

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	1.15	0.0000057
2	18.0	-37.4	1.34	0.0000067
3	32.4	-25.9	1.87	0.0000094
4	40.5	-9.2	2.65	0.0000133
5	40.5	9.2	3.51	0.0000176
6	32.4	25.9	4.29	0.0000214
7	18.0	37.4	4.83	0.0000241
8	0.0	41.5	5.02	0.0000251
9	-18.0	37.4	4.83	0.0000241
10	-32.4	25.9	4.29	0.0000214
11	-40.5	9.2	3.51	0.0000176
12	-40.5	-9.2	2.65	0.0000133
13	-32.4	-25.9	1.87	0.0000094
14	-18.0	-37.4	1.34	0.0000067

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE N. 4 : TENSIONI E DEFORMAZIONI PUNTUALI

Vertici Conglomerato:

N°Vert.	Xc	Yc	Sc	Epc
1	0.0	50.0	0.000	-0.0005886
2	0.0	-50.0	4.189	0.0003142

Barre di armatura:

N°Barra	Xf	Yf	Sf	Epf
1	0.0	-41.5	47.49	0.0002375
2	18.0	-37.4	40.07	0.0002004
3	32.4	-25.9	19.28	0.0000964
4	40.5	-9.2	-10.76	-0.0000538
5	40.5	9.2	-44.11	-0.0002206
6	32.4	25.9	-74.16	-0.0003708
7	18.0	37.4	-94.95	-0.0004747
8	0.0	41.5	-102.37	-0.0005119
9	-18.0	37.4	-94.95	-0.0004747
10	-32.4	25.9	-74.16	-0.0003708
11	-40.5	9.2	-44.11	-0.0002206
12	-40.5	-9.2	-10.76	-0.0000538
13	-32.4	-25.9	19.28	0.0000964
14	-18.0	-37.4	40.07	0.0002004

13.8 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTO

Gli spostamenti orizzontali ottenuti in combinazioni SLE quasi permanente sono indicati in Figura 18 da cui risulta uno spostamento orizzontale di circa 1.0 cm compatibile con la funzionalità dell'opera.

13.9 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)

Con i parametri del terreno ridotti con i coefficienti parziali M2 si è avuto la convergenza dei modelli Plaxis a conferma del soddisfacimento delle verifiche nei confronti della rotazione dell'opera (vedasi il paragrafo 11.5.1).

13.10 VERIFICHE DEI TIRANTI DI ANCORAGGIO

13.10.1 Resistenza a sfilamento del bulbo di ancoraggio

La verifica a sfilamento dei tiranti è soddisfatta se:

$$F_{td} < R_{td}$$

Essendo:

$$R_{td} = R_{tk} / \gamma_R,$$

dove:

F_{td} = trazione di progetto

R_{td} = resistenza a sfilamento progetto

R_{tk} = valore caratteristico della resistenza a sfilamento

In particolare, le verifiche a sfilamento dei tiranti agli stati limite ultimi vengono condotte con riferimento alla combinazione A1+M1+R3.

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando il coefficiente parziale γ_R che per i tiranti permanenti vale in accordo alle NTC 2008:

$$\gamma_R = 1.2.$$

La resistenza caratteristica R_k del tirante viene ricavata attraverso correlazioni empiriche che prevedono l'utilizzo di parametri geotecnici o risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza $R_{t,k}$ sarà dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate $R_{t,cal}$ i fattori di correzione (ξ) riportati nella seguente tabella in funzione del numero di verticali d'indagine. Nel caso in esame, si è assunto cautelativamente un valore del fattore di correzione (ξ_3) pari a 1.80, che considera una sola verticale d'indagine disponibile.

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Tabella 56: Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

La resistenza a sfilamento di progetto " R_{td} " può essere espressa dalla seguente relazione:

$$R_{td} = Q_{ll} / FS$$

dove:

Q_{ll} = portata laterale limite

FS = fattore di sicurezza per la portata laterale

Tabella 57: Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza	γ_R (R3)	ξ_3 (n° indagini = 1)	FS
Laterale in trazione	1.2	1.8	2.16

La portata laterale limite è calcolata considerando il diametro nominale di perforazione e le tensioni di progetto di adesione laterale limite tirante-terreno $\alpha\tau_{lim}$ riferite al diametro di perforazione, si ottiene quindi:

$$Q_{ll} = \pi D_p \sum_i \alpha\tau_{LIM} h_i$$

La tensione limite di ancoraggio " τ_{LIM} " rappresenta la tensione limite che si viene ad avere fra interfaccia terreno – boiaccia cementizia ed è direttamente dipendente dalla tecnologia con cui verrà eseguito il tirante e dalla natura dei terreni.

In particolare, la tecnologia con cui verranno realizzati i tiranti sarà mediante iniezione di malta cementizia con il metodo I.R.S. (Iniezioni Ripetute Selettive).

Per determinare il valore della " τ_{LIM} " si fa riferimento a quanto indicato da Bustamante e Doix [1985] che richiedono come parametri caratterizzanti il terreno, la pressione limite p_{lim} determinata con il pressimetro di Ménard o il valore (N_{SPT}) determinato da risultati di prove SPT.

Nella Tabella 11 viene determinato il valore di α che rappresenta un coefficiente moltiplicativo che dipende dalle modalità di iniezione e natura dei terreni.

Tabella 58: Coefficiente moltiplicativo α

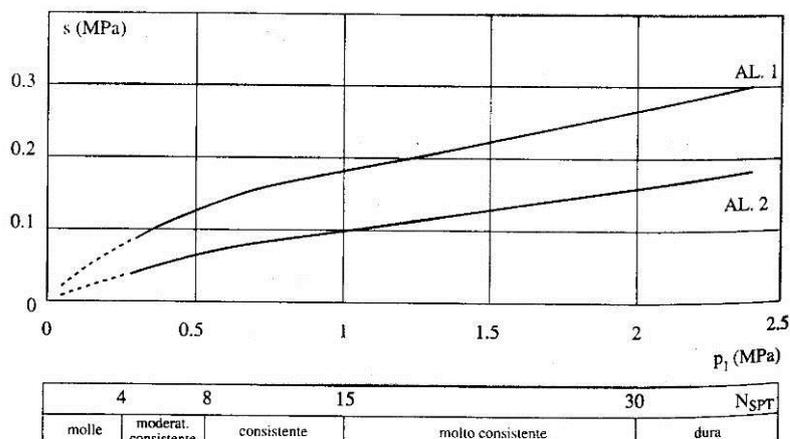
Terreno	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata
	IRS	IGU	
Ghiaia	1,8	1,3 - 1,4	1,5 V_S
Ghiaia sabbiosa	1,6 - 1,8	1,2 - 1,4	1,5 V_S
Sabbia ghiaiosa	1,5 - 1,6	1,2 - 1,3	1,5 V_S
Sabbia grossa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_S
Sabbia media	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_S
Sabbia fine	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	1,5 V_S
Sabbia limosa	1,4 - 1,5	1,1 - 1,2	IRS: (1,5 - 2) V_S ; IGU: 1,5 V_S
Limo	1,4 - 1,6	1,1 - 1,2	IRS: 2 V_S ; IGU: 1,5 V_S
Argilla	1,8 - 2,0	1,2	IRS: (2,5 - 3) V_S ; IGU: (1,5-2) V_S
Marne	1,8	1,1 - 1,2	(1,5 - 2) V_S per strati compatti
Calcari marnosi	1,8	1,1 - 1,2	(2 - 6) V_S o più per strati fratturati
Calcari alterati o fratturati	1,8	1,1 - 1,2	
Roccia alterata e/o fratturata	1,2	1,1	(1,1-1,5) V_S per strati poco fratturati 2 V_S o più per strati fratturati

Nella Tabella 12 viene invece stabilita la curva a cui fare riferimento per le differenti tipologie di terreno e del tipo di iniezione.

Tabella 59: Curva di riferimento per le diverse tipologie di terreno

Terreno	Tipo di iniezione	
	IRS	IGU
Da ghiaia a sabbia limosa	SG1	SG2
Limo e argilla	AL1	AL2
Marna, calcare marnoso, calcare tenero fratturato	MC1	MC2
Roccia alterata e/o fratturata	$\geq R1$	$\geq R2$

In particolare, per i terreni attraversati si considera il seguente grafico, in cui è possibile ricavare il valore della resistenza laterale unitaria (tensione tangenziale) "s" detta anche " τ " a seconda delle varie tipologie di terreno.



Una volta determinato il valore della τ il valore della tensione tangenziale che si sviluppa lungo il fusto della fondazione è pari a:

$$\tau_{LIM} = \alpha \cdot \tau$$

con α ricavato secondo quanto riportato nella Tabella 11.

L'adesione laterale limite fondazione-terreno $\alpha\tau_{lim}$ sono riassunte in funzione della natura dei terreni nella seguente tabella, valide per tiranti iniettati in pressione (IRS).

Tabella 60: Valori di adesione laterale limite di riferimento

Unità	$\alpha\tau$ [kPa]
LSA	150
AG	180

Nella seguente tabella per i tiranti di diametro nominale $D = 160$ mm è riportata la portata di progetto R_{td} , considerato che il bulbo ricade interamente nell'Unità AG.

Tabella 61: Capacità portante a sfilamento A1+M1+R3

L_{bulbo} m	Q_{II} kN	R_{td} kN
15.0	1357.2	628.3

Nella tabella seguente sono sintetizzati i tiri sui tiranti (F_{td}) nelle diverse condizioni di progetto da cui risulta che:

$$F_{td} < R_{td}$$

Tabella 62: Carichi assiali sui tiranti

	F_{td} (kN)
SLU-SLV	
A1+M1+R3 - SLU	441.4
A1+M1+R3 - SLV	391.6
SLE	
Pretensione iniziale	300.00
Rara	336.7
Frequente	326.6
Quasi permanente	322.6

13.10.2 Resistenza a trazione dei trefoli

La resistenza a trazione dei trefoli componenti il tirante di ancoraggio è stata ottenuta mediante la seguente formulazione:

- Resistenza caratteristica a trazione dei trefoli:

$$P_{t,k} = F_{p(1)k} = n_{\text{trefoli}} \cdot A_{\text{trefolo}} \cdot f_{p(1)k}$$

dove:

n_{trefoli} rappresenta il numero di trefoli del tirante;

A_{trefolo} rappresenta l'area del singolo trefolo;

$f_{p(1)k}$ rappresenta la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale.

- Resistenza di progetto a trazione dei trefoli:

$$P_{t,d} = \frac{P_{t,k}}{\gamma_s}$$

con γ_s assunto pari a 1.15 (in accordo al § 4.1.2.1.1.3 del D.M. 14/01/2008).

13.10.3 Sintesi delle verifiche sui tiranti

Si è verificato il soddisfacimento della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d rappresenta la massima sollecitazione di trazione agente nel tirante, determinata agli SLU/SLV

R_d rappresenta la resistenza di progetto del tirante determinata come la minima tra la resistenza di progetto a sfilamento del bulbo e la resistenza di progetto a trazione dell'armatura ovvero: $R_d = R_{d,min} = \min(F_{td}, P_{td})$.

Il D.M. 14/01/2008 prescrive inoltre, nel rispetto della gerarchia delle resistenze, che si debba verificare che "la resistenza caratteristica al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio", ovvero:

$$P_{tk} \geq R_{tk}$$

Nel prospetto seguente si riassumono le verifiche effettuate.

1° ORDINE								
<u>Caratteristiche tirante</u>				<u>Sollecitazioni di calcolo</u>				
n_{trefoli}	=	4	$N_{\text{pret} \times \text{trefolo}}$	=	75 kN	$N_{\text{PLX, SLU}}$	=	339.55 kN
A_{trefolo}	=	139 mm ²	N_{pret}	=	300 kN	$N_{\text{PLX, SLV}}$	=	391.57 kN
E	=	196000 MPa						
interasse	=	2.8 m				$N_{\text{Ed, SLU}}$	=	441.41 kN
EA	=	108976 kN				$N_{\text{Ed, SLV}}$	=	391.57 kN
EA/i	=	38920.0 kN/m						
<u>Resistenza a sfilamento bulbo</u>				<u>Resistenza tirante</u>				
τ_{LSA}	=	0.083 MPa	f_{ptk}	=	1860 MPa	E_d	=	441.41 kN
τ_{AG}	=	0.10 MPa	$f_{\text{p}(1)k}$	=	1670 MPa	R_d	=	628.32 kN
α	=	1.8 -	γ_s	=	1.15	$E_d \leq R_d$	ok	
ϕ_{perf}	=	0.16 m	P_{tk}	=	928.5 kN			
ξ	=	1.8 -				<u>Verifica gerarchia</u>		
L_{U3}	=	0.0 m						
L_{U4}	=	15.0 m				$P_{\text{tk}} \geq R_{\text{tk}}$	ok	
Q_{II}	=	1357.2 kN						
R_{tk}	=	754.0						
γ_R	=	1.2						
R_{td}	=	628.3 kN	P_{td}	=	807.4 kN			

13.11 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE (GEO_STAB)

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo l'approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2007, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 63: Coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità globale con il metodo all'equilibrio limite.

		F.S.		F.S. richiesto Y _R	
SLU/GEO_stab (A ₂ +M ₂ +R ₂)	Combinazione fondamentale	1.499	≥	1.1	Figura 23
SLV/GEO_stab (A ₂ =1+M ₂ +R ₂)	k _h =0.036, k _v =0.018	1.477		1.1	Figura 24
	k _h =0.036, k _v =-0.018	1.450		1.1	Figura 25

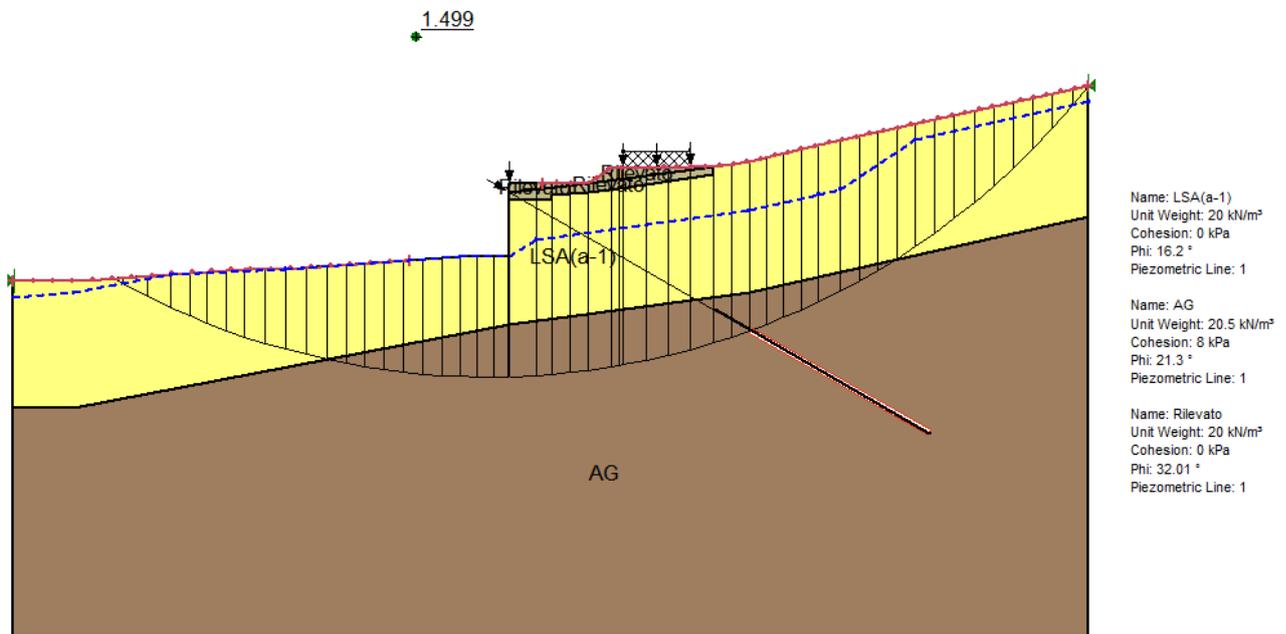


Figura 53: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

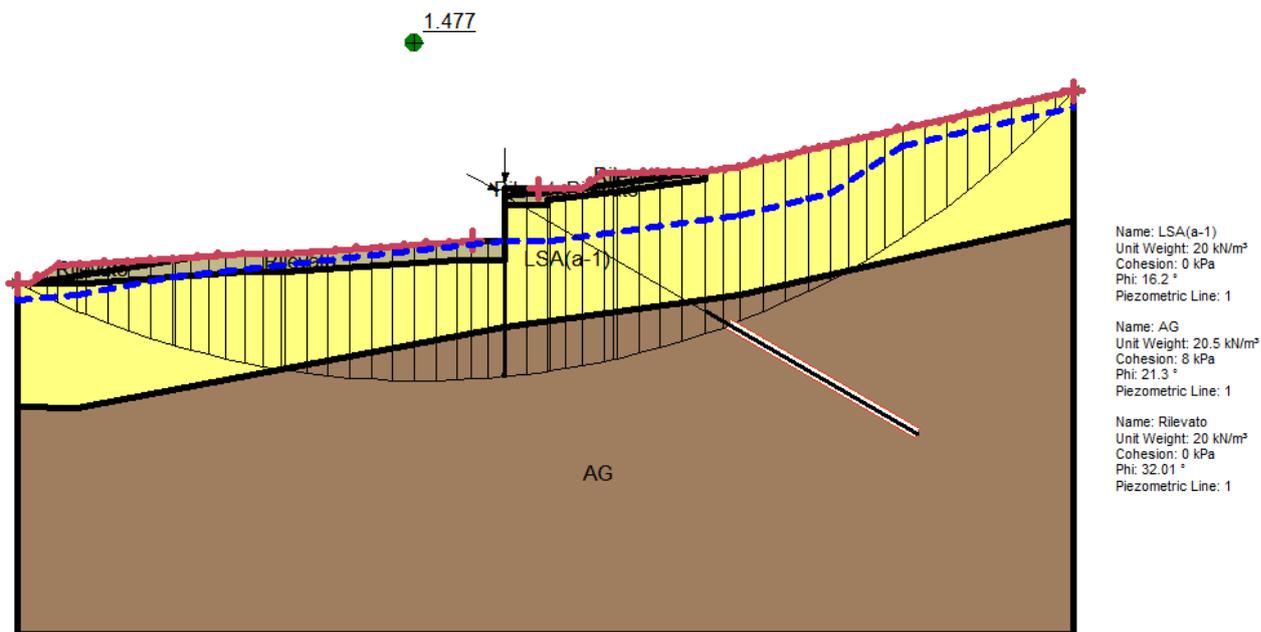


Figura 54: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica ($k_v > 0$)- Superficie di scorrimento critica

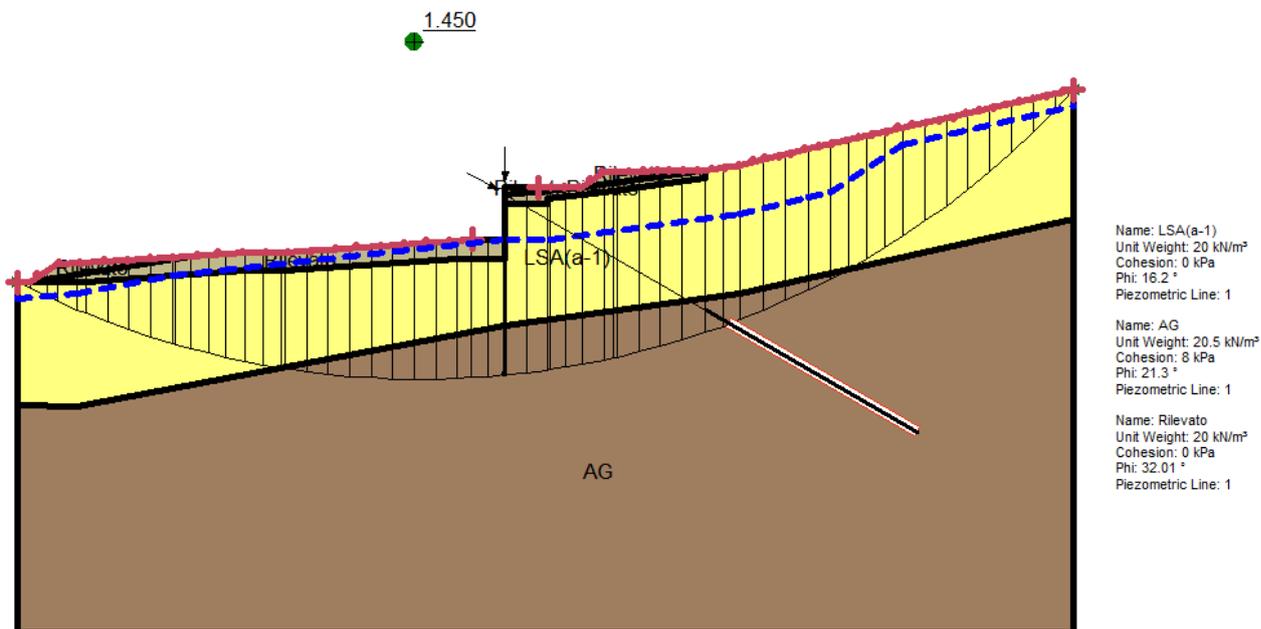


Figura 55: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica ($k_v < 0$)- - Superficie di scorrimento critica

13.12 VERIFICA DEL CORDOLO DI CORONAMENTO DEI PALI

13.12.1 Determinazione delle sollecitazioni

Di seguito si sintetizza il calcolo condotto per la determinazione delle sollecitazioni (SLE e SLU) agenti sul cordolo di collegamento dei pali:

- sulla base dei risultati riportati al paragrafo 10.3.2, per gli SLE, e al paragrafo 10.4, per gli SLU-SLV, è stato definito il carico massimo (N_{Ed}) nei tiranti nelle diverse combinazioni;
- il carico q uniformemente distribuito e le due componenti verticali e orizzontali risultano pertanto:

$$q = \frac{N_{Ed}}{i};$$

$$q_h = q_x = q \cdot \cos\alpha;$$

$$q_v = q_y = q \cdot \sin\alpha;$$

dove

α angolo di inclinazione del tirante pari a 30° ;

i interasse tra i tiranti.

Il carico $q_v=q_y$ è incrementato con il peso proprio del cordolo amplificato per il coefficiente $\gamma_{A1} = 1.3$ per la combinazione A1-M1, $\gamma_{A1} = 1.0$ per la combinazione SLV. Per gli SLE il carico $q_v=q_y$ è stato incrementato solamente del peso proprio del cordolo.

13.12.1.1 Sollecitazioni per gli stati limite di esercizio (SLE)

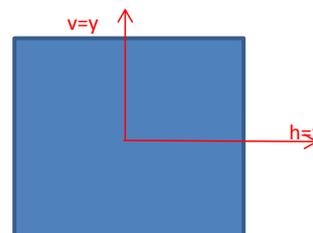
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite di Esercizio (SLE).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	336.73	kN
N_{ED,SLE_freq}	=	326.62	kN
N_{ED,SLE_qp}	=	322.59	kN
$N_{ED,SLU}$	=	441.41	kN
$N_{ED,SLV}$	=	391.57	kN
i	=	2.8	m
α	=	30	°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20	m
H	=	1.00	m



Condizioni SLE-rara

q_{SLE}	=	120.26	kPa
$q_{h,SLE}$	=	104.15	kPa
$q_{v,SLE}$	=	90.13	kPa
$M_{y,ED}$	=	81.65	kNm
$M_{x,ED}$	=	70.66	kNm
$V_{x,ED}$	=	145.81	KN
$V_{y,ED}$	=	126.18	KN

Condizioni SLE-frequente

q_{SLE}	=	116.65	kPa
$q_{h,SLE}$	=	101.02	kPa
$q_{v,SLE}$	=	88.32	kPa
$M_{y,ED}$	=	79.20	kNm
$M_{x,ED}$	=	69.25	kNm
$V_{x,ED}$	=	141.43	KN
$V_{y,ED}$	=	123.65	KN

Condizioni SLE-quasi permanente

q_{SLE}	=	115.21	kPa
$q_{h,SLE}$	=	99.78	kPa
$q_{v,SLE}$	=	87.61	kPa
$M_{y,ED}$	=	78.22	kNm
$M_{x,ED}$	=	68.68	kNm
$V_{x,ED}$	=	139.69	KN
$V_{y,ED}$	=	122.65	KN

13.12.1.2 Sollecitazioni per gli stati limite ultimo (SLU-SLV)

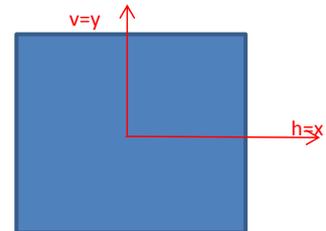
Di seguito si riporta una sintesi delle sollecitazioni agenti nel cordolo per lo Stato Limite Ultimo (SLU-SLV).

Sollecitazione tirante

N_{ED,SLE_rara}	=	336.73	kN
N_{ED,SLE_freq}	=	326.62	kN
N_{ED,SLE_qp}	=	322.59	kN
$N_{ED,SLU}$	=	441.41	kN
$N_{ED,SLV}$	=	391.57	kN
i	=	2.8	m
α	=	30	°

Dimensioni cordolo

B	=	1.20	m
H	=	1.00	m



Condizioni SLU

q_{SLU}	=	157.65	kPa		
$q_{h,SLU}$	=	136.53	kPa	$M_{y,ED}$	= 107.04 kNm
$q_{v,SLU}$	=	117.82	kPa	$M_{x,ED}$	= 92.37 kNm
				$V_{x,ED}$	= 191.14 KN
				$V_{y,ED}$	= 164.95 KN

Condizioni SLV

q_{SLV}	=	139.85	kPa		
$q_{h,SLV}$	=	121.11	kPa	$M_{y,ED}$	= 94.95 kNm
$q_{v,SLV}$	=	99.92	kPa	$M_{x,ED}$	= 78.34 kNm
				$V_{x,ED}$	= 169.55 KN
				$V_{y,ED}$	= 139.89 KN

13.12.2 Verifica agli SLU: verifica a flessione

Si riporta di seguito la verifica a flessione.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:		360.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C25/30	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-54.0	6.0	16
2	-54.0	94.0	16
3	54.0	94.0	16
4	54.0	6.0	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	2	3	3	16
2	2	1	3	16
3	1	4	3	16
4	3	4	3	16

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm

Passo staffe e legature: 20.0 cm

Indicazione Barre Longitudinali di risvolto per ogni staffa:

N° Staffa	Barra	Barra	Barra	Barra
1	1	2	7	13
2	11	5	3	4

N° Legature: 1

Diam. Legature: 10

Indicazione Barre Longitudinali di estremità delle legature:

N° Legat.	Barra 1	Barra 2
1	9	15

Coordinate Barre generate di risvolto per staffe e legature:

N° Barra	X[cm]	Y[cm]
7	27.0	94.0
13	27.0	6.0
11	-27.0	6.0
5	-27.0	94.0
9	-54.0	50.0
15	54.0	50.0

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	92.37	107.04	164.95	191.14
2	0.00	78.34	94.95	139.89	169.55

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2 cm
Interfero netto minimo barre longitudinali:	20.4 cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N° Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	92.37	107.04	0.00	488.97	569.34	5.31	26.1(19.6)
2	N	0.00	78.34	94.95	0.00	481.09	579.04	6.12	26.1(19.6)

13.12.3 Verifica agli SLU: verifica a taglio

Si riporta di seguito la verifica a taglio.

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	12 mm
Diam. Legature:	10 mm
Passo staffe e legature:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 33.0 cm]
Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proiettata sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	246.61	1482.86	1965.40	112.1	60.2	2.500	1.000	2.5	19.9(0.0)
2	S	215.59	1510.36	1991.20	114.3	60.1	2.500	1.000	2.1	19.8(0.0)

13.12.4 Verifica agli SLE

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	70.66	81.65

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	69.25 (279.37)	79.20 (319.51)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	68.68 (279.94)	78.22 (318.82)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.19	60.0	100.0	-92.3	-54.0	6.0	907	6.0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.13	60.0	100.0	-90.0	-54.0	6.0	907	6.0

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm} Esito della verifica
e1	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 \cdot S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00049	0	0.500	16.0	52	0.00027 (0.00027)	586	0.158 (0.40)	279.37	319.51

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.11	60.0	100.0	-89.1	-54.0	6.0	907	6.0

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00048	0	0.500	16.0	52	0.00027 (0.00027)	586	0.157 (0.30)	279.94	318.82