



PROVINCIA DI RAVENNA

SETTORE LAVORI PUBBLICI

Servizio Infrastrutture viarie e programmazione

RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. N. 302 BRISIGHELLESE - 2° Lotto CUP J74E05000010003

PROGETTO ESECUTIVO

| | |
|---|---|
| Presidente: Sig. Michele De Pascale | Consigliere delegato Strade - Trasporti - Pianificazione Territoriale: Arch. Nicola Pasi |
| Dirigente responsabile del Settore: Ing. Paolo Nobile | Responsabile del Servizio: Ing. Chiara Bentini |

| | | |
|---|---------------------------|---------------------------------------|
| RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: | Ing. Chiara Bentini | _____ |
| | | <i>Documento firmato digitalmente</i> |
| PROGETTISTA ARCHITETTONICO E STRUTTURALE: | Ing. Gianfranco Marchi | _____ |
| | | <i>Firmato</i> |
| COORDINATORE SICUREZZA PROGETTAZIONE: | Ing. Giancarlo Guadagnini | _____ |
| | | <i>Firmato</i> |

ELABORAZIONE GRAFICA DEL PROGETTO:



enser

ENSER SRL
C.F./P.IVA/Registro Imprese RA
02058800398

SEDE PRINCIPALE
Viale A. Baccarini, 29/2
48018 Faenza (RA)
Tel. (+39) 0546 663423

WEB: www.enser.it E-MAIL: ingegneria@enser.it
www.enser.fr P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

| | | | | | |
|------|-------------|-----------|-------------|-----------|------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0 | EMISSIONE | A. Boschi | L. Samori | G. Marchi | 30/03/2020 |
| Rev. | Descrizione | Redatto | Controllato | Approvato | Data |

TITOLO ELABORATO:

RETTIFICA STRADALE TRATTO S.P. N. 302

Relazione di calcolo delle strutture

| | | | | |
|----------------|------------|------------|--------|------------|
| Elaborato num: | Revisione: | Data: | Scala: | Nome file: |
| 09b | 000 | 30/03/2020 | - | - |



PROVINCIA DI RAVENNA
RAZIONALIZZAZIONE E MESSA IN SICUREZZA CON
ELIMINAZIONE PUNTI CRITICI LUNGO LA EX S.S. 302
BRISIGHELLESE (2° LOTTO)



Elaborato 6.B
INTERVENTO DI RETTIFICA STRADALE
Relazione di calcolo delle strutture

| | |
|--------|-------------------|
| Codice | S15070-PE-RE09b-0 |
|--------|-------------------|

| Rev. | Data | Redatto | Controllato | Approvato |
|------|------------|-----------|-------------|-----------|
| 0 | 28-10-2019 | A. Boschi | L. Samori | G. Marchi |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |



Sede Principale:
Viale A. Baccarini,
29/2
48018 FAENZA (RA)
Tel. (+39) 0546
663423
Fax (+39) 0546
663428

Sede di Bologna:
Via E. Zacconi, 16
40127 BOLOGNA
(BO)
Tel. (+39) 051 245663
Fax (+39) 0546
663428

Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115
47822 SANTARCANGELO
DI ROMAGNA (RN)
Tel. (+39) 0546 663423

Succursale di Parigi:
1 Rue de Stockholm
75008 – PARIS
N° SIRET 82140581800021
TVA Intr. FR75821405818



INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | PREMESSA | 4 |
| 2. | ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE, DI CUI AL PARAGRAFO B.2.2 DELL'ALLEGATO B ALLA DGR 1373 DEL 2011 | 5 |
| 2.1. | CONTESTO EDILIZIO, CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE CON INDICAZIONE DELLE PROBLEMATICHE RISCONTRATE E DELLE SOLUZIONI IPOTIZZATE | 5 |
| | 2.1.1. Contesto edilizio | 5 |
| | 2.1.2. Caratteristiche geologiche, morfologiche ed idrogeologiche | 5 |
| | 2.1.3. Problematiche riscontrate e soluzioni ipotizzate | 10 |
| 2.2. | DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE | 10 |
| 2.3. | NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI TECNICI | 11 |
| | 2.3.1. Normativa | 11 |
| | 2.3.2. Riferimenti tecnici | 11 |
| 2.4. | DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO CHE CONCORRONO ALLA DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA E DELLE AZIONI CONSIDERATE SULLA COSTRUZIONE | 11 |
| 2.5. | DESCRIZIONE DEI MATERIALI PER USO STRUTTURALE | 12 |
| 2.6. | ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE | 12 |
| 2.7. | INDICAZIONE DELLE PRINCIPALI COMBINAZIONI IN RELAZIONE AGLI SLU E SLE | 15 |
| | 2.7.1. COMBINAZIONI STATICHE FONDAMENTALI AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) | 15 |
| | 2.7.2. COMBINAZIONI STATICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) | 16 |
| | 2.7.3. COMBINAZIONI SISMICHE FONDAMENTALI AGLI STATI LIMITE ULTIMI (STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA - SLV) | 16 |
| 2.8. | METODO DI ANALISI | 17 |
| | 2.8.1. Verifiche strutturali delle sezioni in c.a. | 17 |
| | 2.8.2. Verifiche strutturali delle sezioni carpenteria metallica (micropali) | 17 |
| | 2.8.3. Verifiche di capacità portante dei tiranti passivi (micropali) | 17 |
| | 2.8.4. Verifiche di stabilità globale | 17 |
| 2.9. | CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE INDAGATI | 18 |
| 2.10. | CONFIGURAZIONI DEFORMATE, CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE DELLE STRUTTURE DEFINITIVE OGGETTO DI CALCOLO | 18 |
| | 2.10.1. Sezione di calcolo | 18 |
| | 2.10.2. Fasi di calcolo | 18 |
| | 2.10.3. Risultati delle elaborazioni | 21 |
| 2.11. | SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA | 50 |
| 2.12. | GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI | 51 |
| 2.13. | CARATTERISTICHE ED AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO | 51 |
| 2.14. | STRUTTURE GEOTECNICHE DI FONDAZIONE | 52 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3. | NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 53 |
| 3.1. | NORMATIVA | 53 |
| 3.2. | RIFERIMENTI TECNICI | 53 |
| 4. | CARATTERISTICHE MATERIALI | 54 |
| 4.1. | CALCESTRUZZO PER OPERE IN CEMENTO ARMATO | 54 |
| 4.2. | ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO | 55 |
| 5. | CRITERI GENERALI VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE | 56 |
| 5.1. | VERIFICHE STRUTTURALI DELLE SEZIONI IN C.A. | 56 |
| 5.2. | VERIFICHE STRUTTURALI DELLE SEZIONI IN CARPENTERIA METALLICA (MICROPALI) | 56 |
| 5.3. | VERIFICHE GEOTECNICHE DI CAPACITÀ PORTANTE DEI TIRANTI PASSIVI (MICROPALI) | 56 |
| 5.4. | VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITÀ GLOBALE | 56 |
| 6. | SEZIONI DI CALCOLO, STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO E PARAMETRI GEOTECNICI | 58 |
| 6.1. | SEZIONI DI CALCOLO | 58 |
| 6.2. | STRATIGRAFIA E LIVELLO PIEZOMETRICO DI RIFERIMENTO PARAMETRI | 58 |
| 6.3. | PARAMETRI GEOTECNICI | 58 |
| 7. | DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE E GEOTECNICO | 60 |
| 7.1. | COMBINAZIONI DI CARICO | 60 |
| 7.2. | DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO | 60 |
| 7.3. | DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI | 60 |
| 7.4. | FASI DI CALCOLO | 61 |
| 7.5. | RISULTATI DEL CALCOLO | 61 |
| 7.6. | Verifiche strutturali delle sezioni carpenteria metallica (micropali) | 61 |
| 7.7. | Verifiche strutturali della sezione in c. a. (Parete) | 64 |
| | 7.7.1. Armatura Prevista | 64 |
| | 7.7.2. SLU, SLE | 64 |
| | 7.7.3. SLV | 67 |
| 7.8. | Verifiche a punzonamento dei cordoli | 70 |
| | 7.8.1. Micropalo E1 | 71 |
| | 7.8.2. Micropalo E2 | 72 |
| 7.9. | SLE – SPOSTAMENTI | 73 |
| 7.10. | VERIFICHE GEOTECNICHE DI CAPACITÀ PORTANTE DEI TIRANTI PASSIVI (MICROPALI INCLINATI) | 73 |
| | 7.10.1. Azioni di calcolo | 73 |
| | 7.10.2. Lunghezza della fondazione: | 73 |
| | 7.10.3. Parametri geotecnici | 73 |
| | 7.10.4. Resistenza di progetto a trazione del tirante. | 74 |
| | 7.10.5. Verifica della fondazione dei tiranti | 74 |
| 7.11. | VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITÀ GLOBALE | 75 |

1. PREMESSA

La presente relazione è relativa alle verifiche strutturali e geotecniche delle opere previste nel progetto di rettifica stradale lungo la ex S.S. n° 302 Brisighellese, tra il Km 77+480 e il Km 78+000, in località S. Eufemia (Comune di Brisighella).

Tale intervento risponde all'esigenza di eliminare alcuni punti critici lungo la strada in oggetto e rientrano nell'ambito degli interventi di: *"Razionalizzazione e messa in sicurezza con eliminazione punti critici lungo la ex s.s. n. 302 nel tratto compreso fra Brisighella e il confine provinciale (2° lotto)"*.

In particolare, l'intervento prevede l'arretramento verso monte di circa 2.50÷5.00 m, nel tratto a partire dall'incrocio con via Purocielo fino a circa una distanza di 60 m, per rimanere quasi costante di circa 1.80 m fino a raccordarsi con la curva di accesso al ponte sul F. Lamone, dell'attuale tracciato a partire da dopo il Ponte sul Rio Purocielo, e la realizzazione di una curva di raggio più ampio, rispetto all'attuale, che permette un miglior inserimento sul ponte Lamone.

Di seguito si riporta l'ubicazione planimetrica dell'area di intervento.

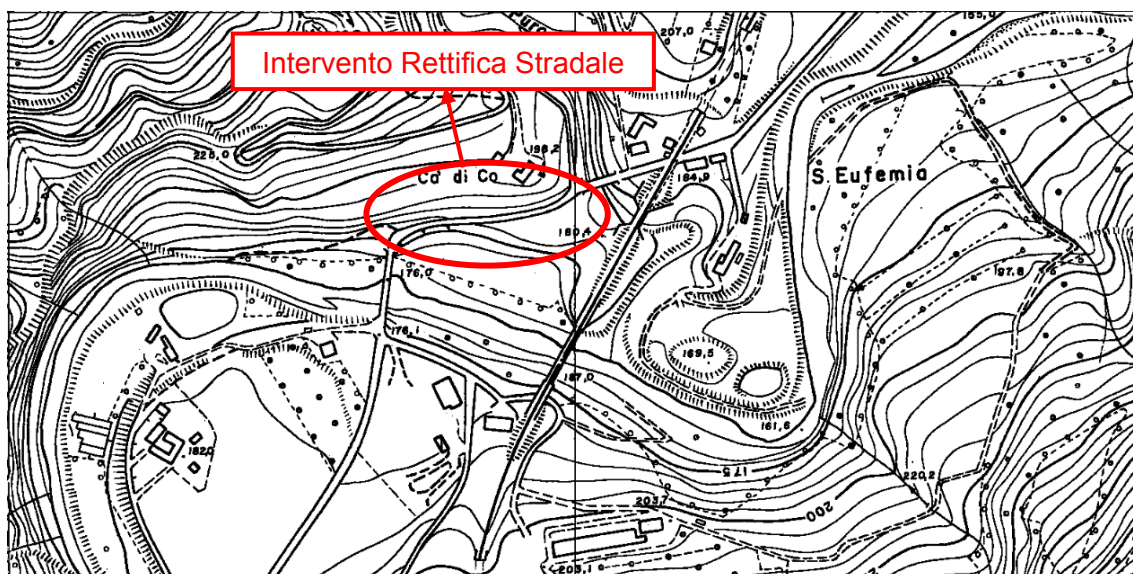


Figura 1-1: Ubicazione planimetrica dell'area in oggetto.

Nel presente documento verranno trattate in particolare le seguenti tematiche:

- illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale, di cui al paragrafo B.2.2 dell'Allegato B alla DGR 1373 del 2011;
- descrizione dei programmi di calcolo utilizzati;
- riepilogo della caratterizzazione geotecnica dell'area in esame, della stratigrafia e dei parametri geotecnici di riferimento necessari per il calcolo delle opere;
- individuazione delle sezioni di calcolo e di verifica;
- riepilogo sollecitazioni e deformazioni per le diverse sezioni di calcolo;
- dimensionamento geotecnico e strutturale delle opere.

2. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE, DI CUI AL PARAGRAFO B.2.2 DELL'ALLEGATO B ALLA DGR 1373 DEL 2011

Nel seguito del paragrafo vengono riportati i contenuti di cui al paragrafo B.2.2 dell'Allegato B alla DGR 1373 del 2011, di interesse per le opere in esame.

2.1. CONTESTO EDILIZIO, CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, MORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE CON INDICAZIONE DELLE PROBLEMATICHE RISCOSETRATE E DELLE SOLUZIONI IPOTIZZATE

2.1.1. Contesto edilizio

La berlinese, oggetto della presente relazione, è situata in località S. Eufemia nel comune di Brisighella (RA). Il tratto di strada interessato dalle opere di protezione è ubicato fuori dal centro abitato come indicato in Figura 2-1.

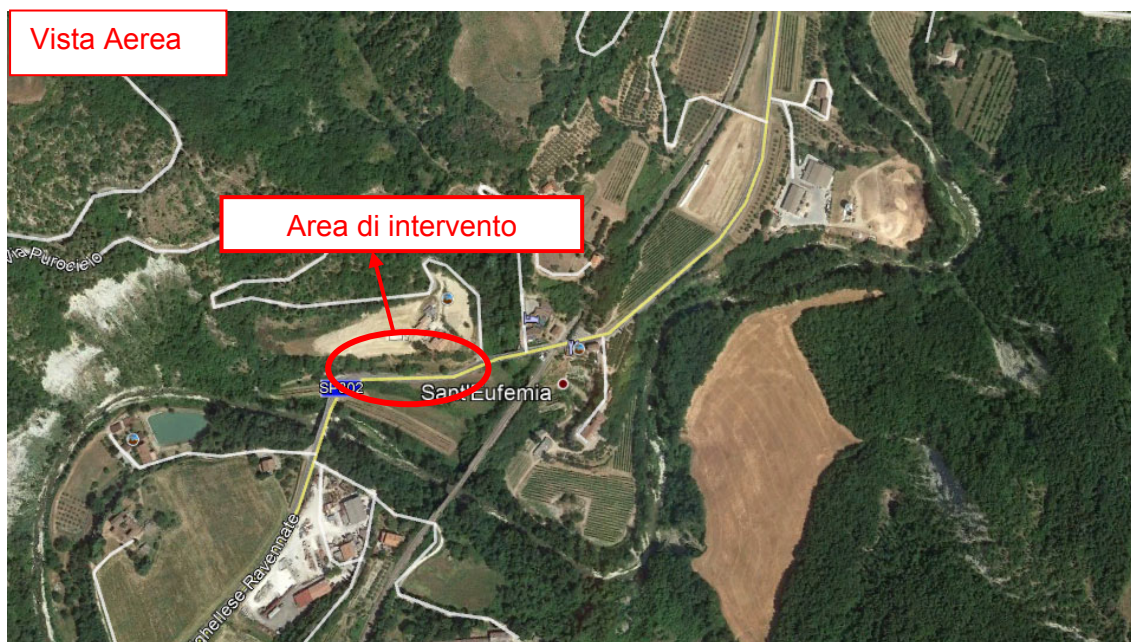


Figura 2-1: Vista aerea dell'area di intervento.

2.1.2. Caratteristiche geologiche, morfologiche ed idrogeologiche

L'area oggetto di studio è ubicata nel versante romagnolo dell'Appennino settentrionale.

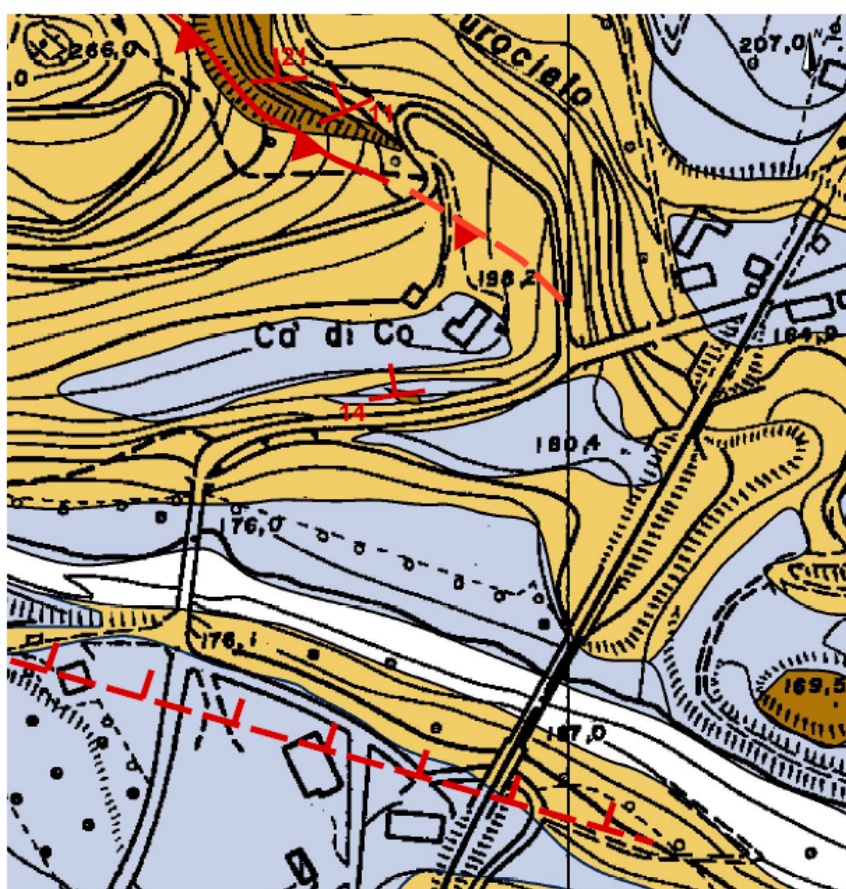
La catena dell'Appennino settentrionale, si è formata su un basamento carbonatico di età mesozoica, attraverso la sovrapposizione di sedimenti per la maggior parte di origine erosiva.

La formazione della catena appenninica può essere distinta in due cicli sedimentari principali; il primo ciclo, che si conclude con le deposizioni evaporitiche del Messiniano è caratterizzato da materiali pelitici e torbiditici (Formazione Marnoso-Arenacea).

Il secondo ciclo, ad Appennino ormai emerso, ha visto deposizioni clastiche appenniniche in forma di conoidi sommersi e, durante una fase di subsidenza, l'accumulo di materiali tipici del fondo di lagune e bacini.


Con il riemergere di alcune zone si sono create discontinuità e lacune nelle successioni sedimentarie dovute al fatto che nelle zone ancora sommerse è continuata la deposizione torbiditica. Infine, al termine del Pliocene la sedimentazione ha nuovamente carattere sabbioso e pelitico.


L'area in esame si colloca dal punto di vista geologico, all'interno del dominio della Formazione Marnoso Arenacea (FMA), membro di Civitella, Figura 2-2.




(CTR - Elementi 254013 "S. Eufemia" e 254014 "La Strada")

LEGENDA GEOLOGICA


 Alluvioni attuali


 Alluvioni terrazzate


 **FMA.** Alternanza arenaria.mama con rapporto arenite-pelite compreso tra 1:1,2 e 1:2,5. Le arenarie sono gradate in strati sottili e medi raramente spessi, con flute casts e groove casts evidenti. Vi si intercalano arenarie marnose e marne sabbiose. Abbondanti emipelagiti sottili e medie. *SERRAVALLIANO sup.-TORTONIANO.*

Unità non affiorante
Unità affiorante

SIMBOLOGIA

 Confine stratigrafico

 Strati diritti e verticali

 Faglia indiretta certa ed incerta

 Faglia diretta incerta


 Area da sbancare per la rettifica

Figura 2-2: Carta Geologica.

L'evoluzione geomorfologica del sito in esame è da ricercarsi nell'erosione fluviale e soprattutto nelle dinamiche fluviali di erosione e deposizione che hanno determinato la formazione di quattro ordini di terrazzi alluvionali.



Figura 2-3: Vista panoramica dell'affioramento situato a monte della zona di rettifica stradale.



Figura 2-4: Particolare della parete precedente, si nota una dislocazione dovuta ad una faglia, probabilmente connessa al sovrascorrimento principale.

In particolare, l'area all'interno del quale si eseguirà lo sbancamento finalizzato alla rettifica stradale è impostata tra due terrazzi morfologici caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali con sequenze deposizionali tipo "finning upward".

I sedimenti superficiali riscontrati nell'area in oggetto, la cui geometria e litologia sono state esaminate attraverso l'esecuzione di pozzetti stratigrafici, possono essere classificati come depositi detritici pedemontani; al loro interno, si ritrovano ciottoli

arrotondati, ricollegabili ai livelli basali ghiaiosi del sovrastante terrazzo alluvionale di “Cà di Co”, frammenti litoidi a spigoli vivi ed anche massi arenitici provenienti dal passato disfacimento del substrato roccioso sub-affiorante immediatamente sotto Cà di Co. Tutti questi clasti sono immersi in una matrice sabbiosa e limoso argillosa.



Figura 2-5: Blocchi arenacei affioranti sotto Cà di Co.

Dal punto di vista strutturale, la stratificazione del substrato marnoso-arenaceo assume un’assetto a reggipoggio con un’inclinazione media di 14° circa.

Tutta la zona di S. Eufemia è caratterizzata da importanti complicazioni tettoniche che determinano la presenza di alcuni sistemi di fratturazione ricollegabili alle spinte tettoniche orogeniche

Le indagini geognostiche eseguite al fine di indagare la stratigrafia e le proprietà geotecniche dei terreni presenti, non hanno rilevato la presenza della falda freatica. Tutto ciò è ricollegabile al modesto spessore della coltre alluvionale e detritica di ricoprimento che funge da unico acquifero.

Dal punto di vista stratigrafico la litologia del substrato è definita dai depositi della successione torbiditica marnoso arenacea, indicati nella carta geologica con la sigla FMA (Formazione Marnoso Arenacea).

Nell’area in esame sono state effettuate le seguenti indagini:

- n. 1 sondaggio (S4) a carotaggio continuo con piezometro a tubo aperto spinto fino alla profondità di 8.50 m.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati effettuati:

- rilievo stratigrafico;
- n. 1 prova SPT (Standard Penetration Test);
- rilievo del livello di falda;
- n. 1 prova penetrometrica statica (CPT1) spinta fino ad una profondità di 3.60 m;
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche (D1, D2) spinte fino ad una profondità massima di 5.20 m;

- n. 8 pozzetti con escavatore (Poz. 2,3,4,5,6,7,8,9);
- n. 4 trincee con escavatore (Tr.1÷Tr.4).

Data la natura dei terreni non è stato possibile prelevare campioni rappresentativi per prove di laboratorio.

In particolare, le unità stratigrafiche individuate sono:

- **Coltre detritica e depositi alluvionali** costituiti da limo argilloso-sabbioso molto consistente con inclusi lapidei marnosi ed arenacei variamente alterati. Localmente sono presenti brandelli di terrazzo costituiti da ghiaia da fine a grossolana in matrice sabbiosa-limoso, di colore nocciola. Gli spessori di questa unità variano da zona a zona con valori massimi di 2.0÷3.0 m;
- **Formazione di substrato** costituita da arenarie e marne più o meno fratturate.

La planimetria con l'indicazione delle indagini geognostiche condotte ed una sezione stratigrafica rappresentativa sono riportate nelle figure seguenti.

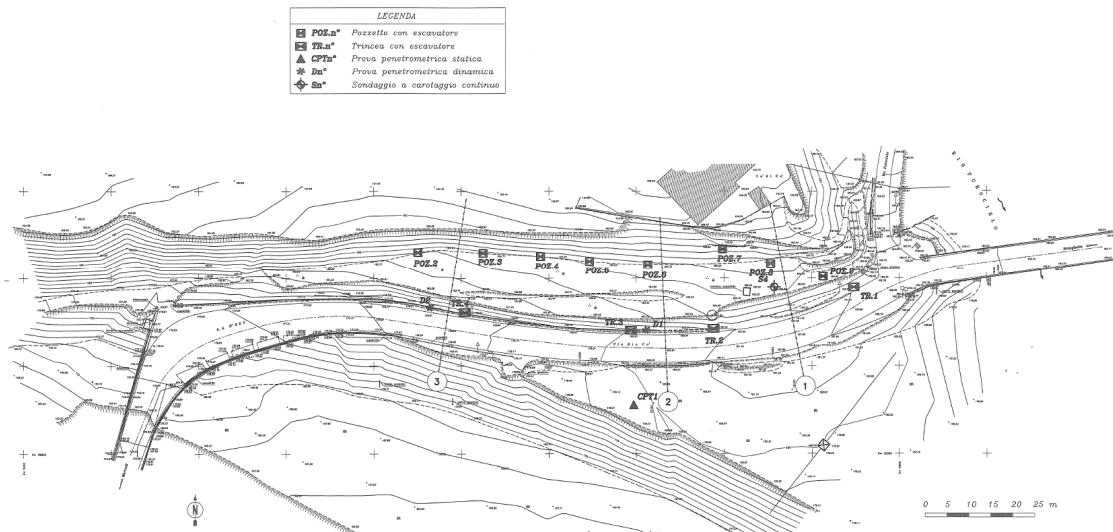


Figura 2-6: Planimetria ubicazione indagini in sito (rif. Relazione Geotecnica – Elaborato 4b).

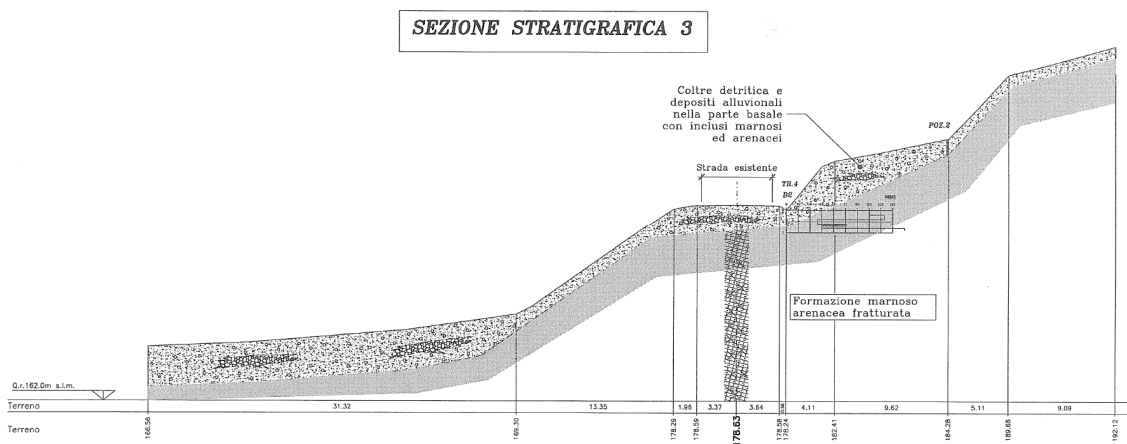


Figura 2-7: Sezione stratigrafica 3 di Figura 2-6 (rif. Relazione Geotecnica – Elaborato 4b).

2.1.3. Problematiche riscontrate e soluzioni ipotizzate

La berlinese in micropali funge da presidio della strada, lato monte. La costruzione consente di rettificare il tracciato del tratto di strada compreso fra il manufatto di attraversamento del Rio Purocielo ed il ponte sul fiume Lamone, in modo da rendere più fluida e sicura la circolazione e contestualmente risolvere i problemi di stabilità di scarpata a monte nella configurazione di progetto.

2.2. DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE

L'intervento prevede l'arretramento verso monte di circa 8-10 m dell'attuale tracciato a partire da dopo il Ponte sul Rio Purocielo. L'innesto sul ponte Lamone viene notevolmente migliorato realizzando una curva di raggio più ampio rispetto all'attuale. A presidio della strada lato monte è prevista una berlinese, Figura X, con micropali subverticali a interasse di 0.50 m e inclinati di circa 5° e micropali suborizzontali di ancoraggio disposti in sommità con interasse 2.50 m e inclinazione di 45° rispetto all'orizzontale, e alla base dello scavo con interasse 2.00 m e inclinazione di 30°. Sia in sommità che alla base dello scavo, la cui altezza è mediamente di 4.50÷5.00 m, è previsto un cordolo in c.a. di collegamento della testate dei micropali di ancoraggio e nel tratto fuori terra si realizza il rivestimento con una parete in c.a. di spessore circa 0.30 m collegata ai cordoli. Sono previsti inoltre microdreni suborizzontali per il drenaggio delle acque di infiltrazione e in testa una canaletta metallica per la raccolta delle acque di monte.

Le caratteristiche dei micropali e microdreni sono le seguenti:

- MICROPALI subverticali, P1:
 - diametro di perforazione: $\phi_p \geq 160$ mm;
 - lunghezza di perforazione: $L_p = 1000$ cm;
 - diametro del tubo: $\phi_t \geq 88.9$ mm;
 - spessore del tubo: $s \geq 8$ mm;
 - interasse: $i=50$ cm.

- MICROPALI suborizzontali, E1-E2:
 - diametro di perforazione: $\phi_p \geq 160$ mm;
 - lunghezza di perforazione: $L_p = 750-1400$ cm;
 - diametro del tubo: $\phi_t \geq 88.9$ mm;
 - spessore del tubo: $s \geq 8$ mm;
 - interasse: $i=200\div 250$ cm.

- MICRODRENI suborizzontali:
 - diametro di perforazione: $\phi_p \geq 100$ mm;
 - lunghezza di perforazione: $L_p = 500$ cm;
 - tubo in PVC microfessurato: $\phi_t \geq 50$ mm;
 - rivestimento con calza di geotessile;
 - interasse: $i=150$ cm.

All'inizio e alla fine della berlinese sono previsti 2 brevi tratti di raccordo con muri su micropali (TAV. 12.c). Su tutte le pareti verticali in c.a. è previsto un rivestimento con pietra arenaria locale.

Localmente è prevista la protezione erosiva superficiale della scarpata di monte da realizzarsi con biostuoia + georete + rete metallica a maglia esagonale ancorata al terreno con ferri uncinati infissi. Nel tratto di scarpata compresa fra le sezioni 16 e 22 in cui l'inclinazione è notevole, si realizza anche un reticolo di funi ϕ 12 mm in trefoli d'acciaio ad alta resistenza ancorato al terreno con perforazioni armate con barre d'acciaio FeB44k ϕ 24 mm di lunghezza 4.50 m.

E' previsto un sistema di fossi, cunette e pozzetti per la raccolta e lo smaltimento delle acque piovane e una vasca con funzione di disoleatore delle acque di prima pioggia proveniente dalla piattaforma stradale.

Si osserva che il posizionamento della berlinese previsto in progetto è compatibile con interventi futuri del tipo:

- allargamento della sede stradale sul ponte Lamone e/o sul ponte Purocielo;
- realizzazione di un nuovo ponte sul Lamone da realizzarsi immediatamente a monte di quello attuale (vedasi lo stralcio planimetrico riportato di seguito).

2.3. NORMATIVA TECNICA E RIFERIMENTI TECNICI

2.3.1. Normativa

La normativa di riferimento principale per la progettazione è la seguente:

- D.M. 17.01.2018, Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- UNI EN 206, "Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità".

2.3.2. Riferimenti tecnici

- Circ. Min. II.TT. 02.02.2009, n. 617, "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008".

2.4. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO CHE CONCORRONO ALLA DEFINIZIONE DELLA AZIONE SISMICA E DELLE AZIONI CONSIDERATE SULLA COSTRUZIONE

I parametri di progetto adottati per la definizione della azione sismica di progetto sono i seguenti.

- Vita nominale: $V_N = 50$ anni;
- Classe d'uso: IV (coefficiente d'uso $C_U = 2.0$);
- Periodo di riferimento: $V_R = 100$ anni;
- Categoria di sottosuolo: E;

"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.;

- Categoria topografica: T2

“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i > 15^\circ$.”

Un utile strumento operativo per determinare l'azione sismica di progetto è rappresentato dal foglio elettronico di calcolo “Spettri-NTC ver.1.0.3.xls” realizzato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e liberamente scaricabile dal sito www.cslp.it; tale strumento operativo è stato impiegato nel presente lavoro.

L'azione sismica risulta pari a: $a_{max} = 0.398 g$.

I coefficienti sismici adottati nelle elaborazioni per l'opera sono i seguenti:

- dimensionamento strutturale e geotecnico: $k_h = 0.299$ $k_v = 0.000$;
ottenuti considerando (vedi paragrafo 7.11.6.3.1 DM 17/01/18):
 - $\alpha = 1$ (cautelativo);
 - $\beta = 0.75$, relativo a spostamenti della paratia dell'ordine di 2 cm;
- verifiche di stabilità globale: $k_h = 0.151$ $k_v = \pm 0.076$
ottenuti mediante il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito
 $\beta_s = 0.38$ (vedi paragrafo 7.11.4 DM 17/01/18).

2.5. DESCRIZIONE DEI MATERIALI PER USO STRUTTURALE

Al fine di garantire idonee caratteristiche di resistenza e durabilità delle opere, è previsto l'impiego dei seguenti materiali:

- opere in conglomerato cementizio armato (cordolo sommitale di collegamento delle teste dei pali):
 - calcestruzzo:
 - classe di resistenza: C30/37 (secondo DM 17/01/18);
 - classe di esposizione: XF3 secondo UNI EN 206;
- opere in conglomerato cementizio armato (cordolo di base di collegamento delle teste dei pali e di fondazione della cunetta alla francese):
 - calcestruzzo:
 - classe di resistenza: C30/37 (secondo DM 17/01/18);
 - classe di esposizione: XF4 secondo UNI EN 206;
- opere in conglomerato cementizio armato (parete di rivestimento in c. a.):
 - calcestruzzo:
 - classe di resistenza: C25/30 (secondo DM 17/01/18);
 - classe di esposizione: XC2 secondo UNI EN 206;
- acciaio (micropali): tipo: S355J0H secondo UNI EN 10025, UNI EN 10210-1 e DM 17/01/18;

Per i dettagli sui materiali impiegati si rimanda all'Elaborato 8b ed al paragrafo 4.

2.6. ILLUSTRAZIONE DEI CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE

Il dimensionamento strutturale e geotecnico dell'opera è avvenuto mediante modellazione agli elementi finiti (FEM) con il programma Plaxis 2018.

Plaxis 2D versione 2018 realizzato da un gruppo di ricercatori della Delft University of Technology guidati dal Prof. P.A. Vermeer, con il supporto scientifico delle Università di Grenoble, Oxford e Stuttgart: è un programma bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati.

Con Plaxis è possibile:

- definire la geometria bidimensionale del problema;
- assegnare le proprietà dei materiali (terreni, materiali strutturali, ecc.);
- calcolare le sollecitazioni nelle strutture di sostegno e i fronti di scavo;
- considerare l'interazione con l'acqua di falda ed eventualmente moti di filtrazione.

Le verifiche di stabilità sono state condotte con apposita procedura definita phi-c reduction.

La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo ($\varphi' - c'$ reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza (c' e $\tan \varphi'$), determina successive condizioni di equilibrio del sistema eseguendo, ad ogni ciclo, una progressiva riduzione delle resistenze fino al raggiungimento del collasso (condizione di non equilibrio del sistema):

- $c'_{prova} = c' / FS_{prova}$
- $\varphi'_{prova} = \arctan(\tan \varphi' / FS_{prova})$.

In Figura 2-8 la progressiva riduzione delle resistenze è rappresentata nel piano di Mohr-Coulomb per il singolo elemento di terreno. Si osserva che i parametri di deformabilità non influenzano in maniera apprezzabile i risultati del calcolo e, pertanto, possono essere considerati senza particolari affinamenti.

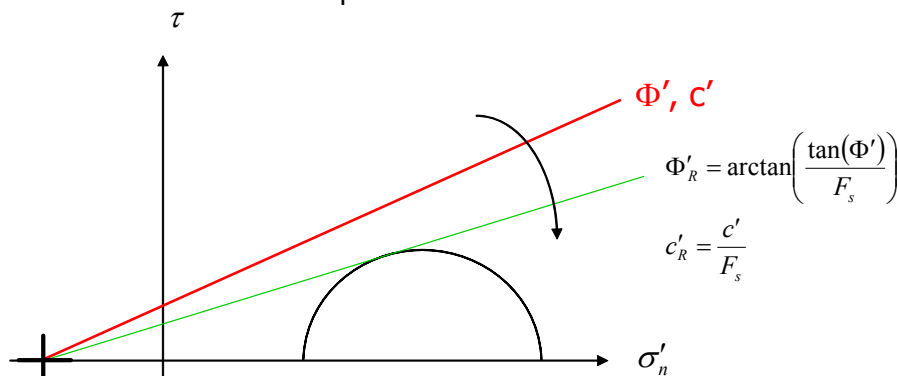


Figura 2-8: Phi-c reduction-method.

Rispetto ai classici metodi dell'equilibrio limite presenta numerosi vantaggi (e.g. Dawson and Roth, 1999, and Cala and Flisiak, 2001):

- le superfici di rottura si propagano in maniera "naturale"; quindi non occorre specificare preventivamente i cinematismi e le potenziali superfici di rottura su cui ricercare il coefficiente di sicurezza minimo;
- non richiede al definizione di ipotesi di calcolo "artificiali" (es. ipotesi sulle forze di interfaccia);
- la metodologia non implica limitazioni sulla forma e la modalità di propagazione delle potenziali superfici di rottura (anche multiple e/o con propagazioni complesse delle zone di snervamento) in funzione delle esigenze del sistema;

- l'interazione con eventuali elementi strutturali vengono modellate in maniera realistica con una mobilitazione delle resistenze in funzione della deformazione relativa rispetto al terreno circostante e non semplicemente mediante forze equivalenti.
- la soluzione converge in un meccanismo che è cinematicamente ammissibile (si noti che i metodi classici dell'equilibrio limite prescindono dalla valutazione degli spostamenti e non richiedono pertanto la conoscenza dei legami tensioni-deformazioni ma del solo criterio di resistenza dei terreni interessati).

In Plaxis il moltiplicatore totale:

$$\Sigma Msf = \tan \varphi_{input} / \tan \varphi_{reduced} = C_{input} / C_{reduced},$$

è utilizzato per definire il fattore di sicurezza:

$$FS = \text{resistenza disponibile} / \text{resistenza a rottura} = \text{valore di } \Sigma Msf \text{ a rottura}$$

Il calcolo delle opere è stato effettuato considerando il problema bi-dimensionale ed adottando le sezioni di calcolo maggiormente rappresentative.

I terreni sono stati considerati con comportamento drenato.

Il modello di calcolo del software è riportato in Figura 2-9; in tale figura sono rappresentati:

- le unità geotecniche di riferimento:
 - Coltre detritica e depositi alluvionali → Unità 1;
 - Formazione di substrato (porzione presumibilmente alterata) → Unità 2a;
 - Formazione di substrato (porzione non alterata) → Unità 2b;
- la presenza della struttura stradale;
- I micropali sub orizzontali (E1, E2) e sub verticali (P1) in progetto;
- La parete di rivestimento esterno.

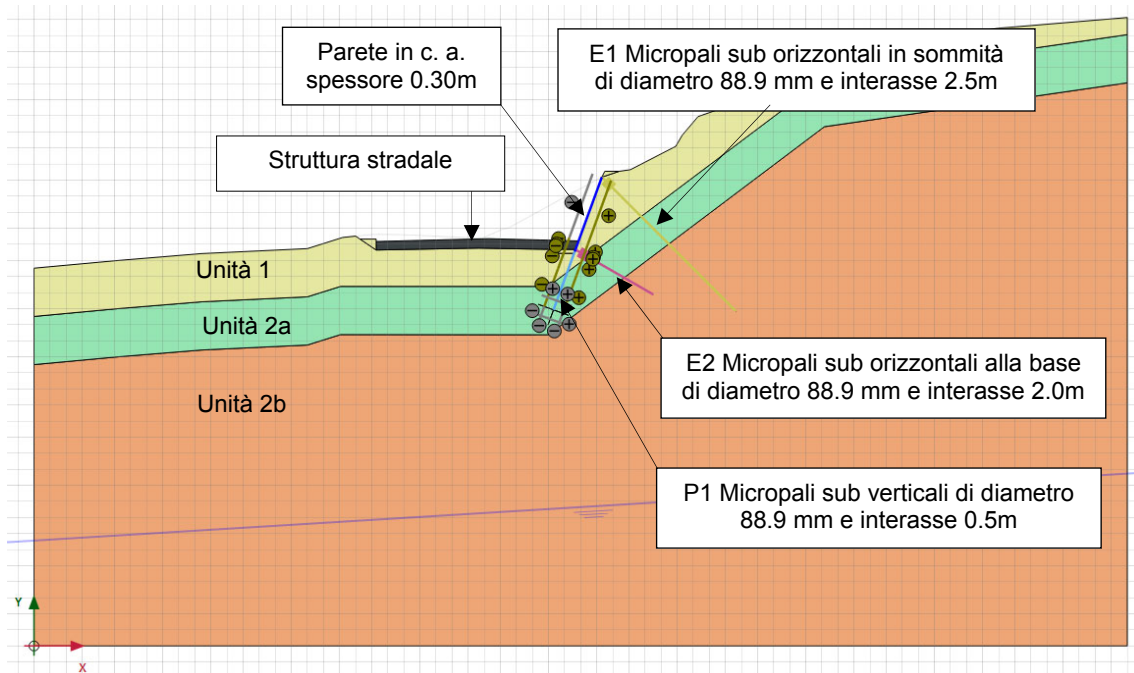


Figura 2-9: Modello di calcolo Plaxis.

2.7. INDICAZIONE DELLE PRINCIPALI COMBINAZIONI IN RELAZIONE AGLI SLU E SLE

Conformemente al D.M. 17/01/2018 sono state considerate le seguenti combinazioni di calcolo delle azioni.

2.7.1. COMBINAZIONI STATICHE FONDAMENTALI AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Con riferimento al § 2.5.3 del D.M.17/01/2018, il valore di progetto delle azioni e dell'effetto delle azioni si ottiene dalla seguente combinazione fondamentale delle azioni:

$$F_d = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1}$$

dove:

- G_1 si riferisce ai carichi permanenti strutturali;
- Q_{k1} rappresenta il valore caratteristico della azione variabile fondamentale.

Il carico permanente è rappresentato dalla spinta del terreno.

Ai fini della modellazione non sono presenti azioni variabili.

Il valore dei coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni γ_G e γ_Q da utilizzarsi sono determinati con riferimento a quanto prescritto alla tabella 6.2.I (Tabella 2 2) ed agli approcci indicati nel seguito:

- Pali sub verticali (P1). (§ 6.5.3.1.2 del D.M.17/01/2018)
Le verifiche agli stati limite ultimi finalizzate al dimensionamento strutturale dell'opera è stata effettuata considerando la combinazione di coefficienti "A1"+"M1"+"R1" (Approccio 1 – combinazione 1).
Le verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico è stata condotta con la combinazione di coefficienti "A2"+"M2"+"R1" (Approccio 1 – combinazione 2); in particolare è stata verificata la convergenza del modello di calcolo con i parametri ridotti M2.
- Micropali sub orizzontali (E1, E2) e sub verticali (§ 6.6.2 del D.M.17/01/2018)
Le verifiche agli stati limite ultimi finalizzate al dimensionamento strutturale e geotecnico delle opere sono state effettuate considerando la combinazione di coefficienti "A1"+"M1"+"R3" (Approccio 2).
- Stabilità globale (§6.5.3.1.2 del D.M.17/01/2018)
Le verifiche agli stati limite ultimi di stabilità globale sono state condotte secondo la combinazione "A2"+"M2"+"R2".

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni sono indicati nella Tabella 2.1; i coefficienti parziali γ_M da applicare al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno sono indicati in Tabella 2.2.

Tabella 2.1: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni – (Tabella 6.2.I – DM 17/01/2018).

| CARICHI | EFFETTO | Coefficiente parziale(γ_F) | (A1) STR | (A2) GEO |
|----------------------------|-------------|-------------------------------------|----------|----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{G1} | 1.0 | 1.0 |
| | Sfavorevole | | 1.3 | 1.0 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | γ_{G2} | 0.8 | 0.8 |
| | Sfavorevole | | 1.5 | 1.3 |

| | | | | |
|-----------|-------------|------------|-----|-----|
| Variabili | Favorevole | γ_Q | 0.0 | 0.0 |
| | Sfavorevole | | 1.5 | 1.3 |

Tabella 2.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici delle azioni – (Tabella 6.2.II – DM 17/01/2018).

| PARAMETRO | GRANDEZZA APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE | ALLA QUALE | Coefficiente parziale (γ_M) | (M1) | (M2) |
|--|--|---------------|--|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$ | | $\gamma_{\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | c'_k | | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | c'_{uk} | | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Peso dell'unità di volume | γ | | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

I coefficienti parziali γ_R relativi alle resistenze del sistema "R1" sono unitari.
 Il coefficiente "R2" utilizzato per le verifiche di stabilità globale delle opere è riportato nella Tab. 6.8.I del D.M.17/01/2018.

2.7.2. COMBINAZIONI STATICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Per gli stati limite di esercizio sono state effettuate le verifiche delle tensioni in esercizio ed a fessurazione degli elementi strutturali in conglomerato cementizio armato assumendo l'ipotesi di:

- condizioni ambientali:
 - molto aggressive: calcestruzzo con classe di esposizione XF3-XF4 per cordoli e rivestimenti;
 - ordinarie: calcestruzzo con classe di esposizione XC2 per parete in c.a.
- armature poco sensibili.

Sono inoltre state valutate le deformazioni delle strutture.

Per la parete le combinazioni caratteristiche "rara", "frequente" e "quasi permanente" sono state assunte cautelativamente coincidenti.

I carichi permanenti sono rappresentati dalle spinte del terreno.

2.7.3. COMBINAZIONI SISMICHE FONDAMENTALI AGLI STATI LIMITE ULTIMI (STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA - SLV)

Le azioni sismiche vengono sommate alle sollecitazioni derivate dalle combinazioni di carico statiche, ponendo unitari i coefficienti moltiplicativi delle azioni.

In particolare, la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni, viene definita da:

$$F_d = E + G_1$$

dove:

- G_1 si riferisce ai carichi permanenti strutturali;
- E rappresenta l'azione sismica di progetto.

Nel caso in esame non sono state considerate azioni variabili in presenza di sisma.

2.8. METODO DI ANALISI

Al fine di rappresentare il comportamento dell'opera di sostegno durante le varie fasi di lavoro (scavo ed eventuali reinterri) si è ritenuto opportuno l'impiego di un metodo di calcolo agli elementi finiti (FEM).

Il software adottato per le verifiche è Plaxis 2018, descritto al 2.6.

2.8.1. Verifiche strutturali delle sezioni in c.a.

Le verifiche a presso/tenso-flessione e taglio agli SLU e le verifiche a fessurazione agli SLE delle sezioni in conglomerato cementizio armato ai sensi del DM 17/01/2018 sono state condotte mediante il programma RCsec della GeoStru.

2.8.2. Verifiche strutturali delle sezioni carpenteria metallica (micropali)

Le verifiche dei profilati cavi in acciaio dei micropali sono state condotte con fogli interni di calcolo excel sulla base di quanto previsto al capitolo 4 del DM 17/01/18.

2.8.3. Verifiche di capacità portante dei tiranti passivi (micropali)

Le verifiche geotecniche di capacità portante sono state condotte sulla base di quanto previsto al paragrafo 6.6 del DM 17/01/18.

2.8.4. Verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità sono state condotte sempre con il software Plaxis 2018, descritto in precedenza.

La riduzione delle caratteristiche meccaniche (ϕ -c reduction) permette di verificare la stabilità dell'opera e di calcolare i coefficienti di sicurezza. In conformità a codesto approccio, le proprietà dei terreni verranno ridotte progressivamente fino ad arrivare alla rottura. Questo approccio concorda con il metodo dell'equilibrio limite adottando nelle analisi le superfici di rottura circolari.

In particolare, l'analisi di stabilità globale e il calcolo dei coefficienti di sicurezza può essere valutata attraverso l'opzione Phi-c reduction (Riduzione dei parametri di resistenza). Nell'approccio Phi-c reduction i parametri di resistenza $\tan\phi$ e c del terreno vengono ridotti fin quando avviene la rottura della struttura; anche la resistenza delle interfacce, se utilizzata, è ridotta nello stesso modo; invece la resistenza di oggetti strutturali non è influenzata dalla procedura Phi-c reduction.

Il moltiplicatore totale ΣM_{sf} viene utilizzato per definire il valore dei parametri di resistenza del terreno in un dato stadio dell'analisi:

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{C_{input}}{C_{reduced}} = \frac{S_{u,input}}{S_{u,reduced}} = \frac{Tensile\ strength_{input}}{Tensile\ strength_{reduced}}$$

dove i parametri di resistenza con il pedice 'input' si riferiscono alle proprietà del materiale introdotte ed i parametri con il pedice 'reduced' si riferiscono ai valori ridotti utilizzati nell'analisi.

Il fattore di sicurezza è dato da:

$$SF = \frac{available\ strength}{strength\ at\ failure} = \text{value of } \Sigma Msf \text{ at failure}$$

L'approccio Phi-c reduction comporta una definizione del coefficiente di sicurezza simile alla definizione che si adopera convenzionalmente nei calcoli eseguiti con i metodi dell'equilibrio limite globale.

2.9. CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE INDAGATI

Nel seguito si riportano le verifiche condotte con riferimento ai diversi stati limite indagati.

- Stato limite ultimo (SLU) statico e stato limite di salvaguardia della vita (SLV) sismico:
 - verifiche di resistenza degli elementi strutturali delle opere (Approccio 1 – combinazione 1);
 - verifiche di stabilità globale del complesso opere-terreno (Approccio 1 – combinazione 2);
- Stato limite ultimo (SLE) statico:
 - verifica delle tensioni ed a fessurazione degli elementi strutturali in conglomerato cementizio armato;
 - spostamenti dell'opera e del terreno per verificarne la compatibilità funzionale e di sicurezza.

2.10. CONFIGURAZIONI DEFORMATE, CARATTERISTICHE DI SOLLECITAZIONE DELLE STRUTTURE DEFINITIVE OGGETTO DI CALCOLO

2.10.1. Sezione di calcolo

La sezione di calcolo principale considerata per l'opera è la sezione designata come 5 nel progetto architettonico in quanto presenta l'altezza di scavo maggiore (Figura 2 11).

INSERIRE FIGURA SEZIONE DI CALCOLO (Metto la Sezione 5?)

2.10.2. Fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- fase 0 – fase geostatica iniziale:

- tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
- fase 1 – costruzione delle opere provvisoriale:
 - realizzazione dei micropali suborizzontali in sommità dello scavo;
 - realizzazione dei micropali sub verticali;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
- fase 2 – scavo provvisoriale (maggiorato in accordo alla normativa):
 - presenza dei micropali sub orizzontali in sommità e di quelli subverticali;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
 - azzeramento degli spostamenti ad inizio fase;
 - i risultati di tale fase di calcolo in termini di sollecitazioni e deformazioni sui micropali sono stati considerati corrispondenti allo SLE – Combinazione quasi permanente. Non essendo assunte nel calcolo azioni variabili, infatti, le condizioni agli stati limite di esercizio si riducono ad un'unica combinazione, considerata ai fini delle verifiche come “quasi permanente” (vedi paragrafo2.7.2);
 - i risultati di tale fase di calcolo in termini di sollecitazioni sui micropali, amplificati del coefficiente parziale A1 pari a 1.3 sono stati considerati corrispondenti allo SLU – Combinazione statica fondamentale agli Stati limite Ultimi (vedi paragrafo2.7.1);
- fase 3 – parete in c.a. e micropali alla base:
 - realizzazione micropali alla base dello scavo;
 - realizzazione parete in c.a.;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
- fase 4 – pavimentazione:
 - presenza di micropali sub orizzontali alla sommità e alla base dello scavo;
 - presenza di micropali sub verticali;
 - presenza di parete in c.a.;
 - reinterro e realizzazione della pavimentazione stradale fino alla quota di progetto;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
 - i risultati di tale fase di calcolo in termini di sollecitazioni e deformazioni sui micropali e sulla parete sono stati considerati corrispondenti allo SLE – Combinazione quasi permanente. Non essendo assunte nel calcolo azioni variabili, infatti, le condizioni agli stati limite di esercizio si riducono ad un'unica combinazione, considerata ai fini delle verifiche come “quasi permanente” (vedi paragrafo2.7.2);
 - i risultati di tale fase di calcolo in termini di sollecitazioni sui micropali e sulla parete, amplificati del coefficiente parziale A1 pari a 1.3 sono stati considerati corrispondenti allo SLU – Combinazione statica fondamentale agli Stati limite Ultimi (vedi paragrafo2.7.1);
- fase 5 – sisma in condizioni pseudo statiche:
 - presenza di micropali sub orizzontali alla sommità e alla base dello scavo;
 - presenza di micropali sub verticali;
 - presenza di parete in c.a.;
 - presenza della pavimentazione stradale fino alla quota di progetto;

- tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
- falda naturale non interagente con le opere;
- i risultati di tale fase di calcolo in termini di sollecitazioni sui micropali e sulla parete sono stati considerati corrispondenti allo SLV – Stato limite di salvaguardia (vedi paragrafo 2.7.3);
- fase 6 – stabilità statica globale:
 - presenza di micropali sub orizzontali alla sommità e alla base dello scavo;
 - presenza di micropali sub verticali;
 - presenza di parete in c.a.;
 - presenza della pavimentazione stradale fino alla quota di progetto;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
 - partenza da fase 4 con parametri geotecnici ridotti attraverso i coefficienti M_2 ;
 - i risultati di tale fase di calcolo sono stati utilizzati per la verifica di stabilità globale del sistema opera-terreno in condizioni statiche (vedi paragrafo 2.8.4);
- fase 7 – stabilità sisma +:
 - presenza di micropali sub orizzontali alla sommità e alla base dello scavo;
 - presenza di micropali sub verticali;
 - presenza di parete in c.a.;
 - presenza della pavimentazione stradale fino alla quota di progetto;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
 - parametri pseudostatici come definito nel paragrafo 2.4;
 - partenza da fase 4;
 - i risultati di tale fase di calcolo sono stati utilizzati per la verifica di stabilità in condizioni sismiche del sistema opera-terreno;
- fase 8 – stabilità sisma -:
 - presenza di micropali sub orizzontali alla sommità e alla base dello scavo;
 - presenza di micropali sub verticali;
 - presenza di parete in c.a.;
 - presenza della pavimentazione stradale fino alla quota di progetto;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
 - parametri pseudostatici come definito nel paragrafo 2.4;
 - partenza da fase 4;
 - i risultati di tale fase di calcolo sono stati utilizzati per la verifica di stabilità in condizioni sismiche del sistema opera-terreno;
- fase 9 – stabilità statica scavo (condizione transitoria):
 - presenza di micropali sub orizzontali alla sommità dello scavo;
 - presenza di micropali sub verticali;
 - tutte le unità geotecniche in condizioni drenate;
 - falda naturale non interagente con le opere;
 - parametri pseudostatici come definito nel paragrafo 2.4;
 - partenza da fase 2 con parametri geotecnici ridotti attraverso i coefficienti M_2 ;

- i risultati di tale fase di calcolo sono stati utilizzati per la verifica di stabilità in condizioni statiche del sistema opera-terreno;

La Fase2, Fase4, Fase5 è stata ripetuta anche seguendo l'Approccio1 – Combinazione2, A2+M2+R2 per le verifiche geotecniche.

2.10.3. Risultati delle elaborazioni

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di:

- deformata della sezione di calcolo (combinazioni SLE);
- sforzo normale per ciascun elemento dimensionato, Parete, E1-E2 e P1 (combinazione SLE quasi permanente, SLU e SLV in Approccio 1 – combinazione 1);
- azione flettente per ciascun elemento dimensionato, Parete, E1-E2 e P1 (combinazione SLE quasi permanente, SLU e SLV in Approccio 1 – combinazione 1);
- azione tagliante per ciascun elemento dimensionato, Parete, E1-E2 e P1 (combinazione SLE quasi permanente, SLU e SLV in Approccio 1 – combinazione 1);

Le azioni indicate si riferiscono ad un metro di micropalo o parete.

Per le combinazioni finalizzate al dimensionamento geotecnico (Approccio 1 – Combinazione 2) è stata verificata la convergenza numerica dell'elaborazione, garanzia del raggiungimento dell'equilibrio interno del sistema.

2.10.3.1 Spostamenti in Esercizio

Di seguito una mappatura a colori degli spostamenti negli elementi di terreno ed a seguire i grafici inerenti lo spostamento dei singoli elementi.

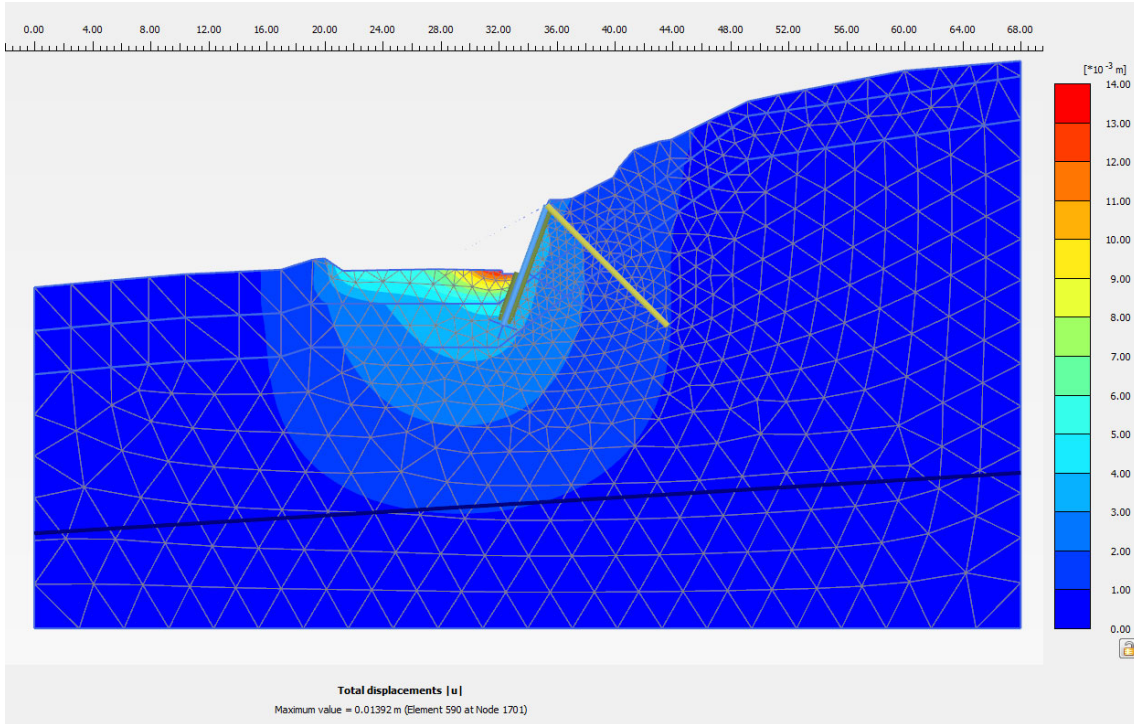


Figura 2-10: SLE – Fase 2 – Deformazioni.

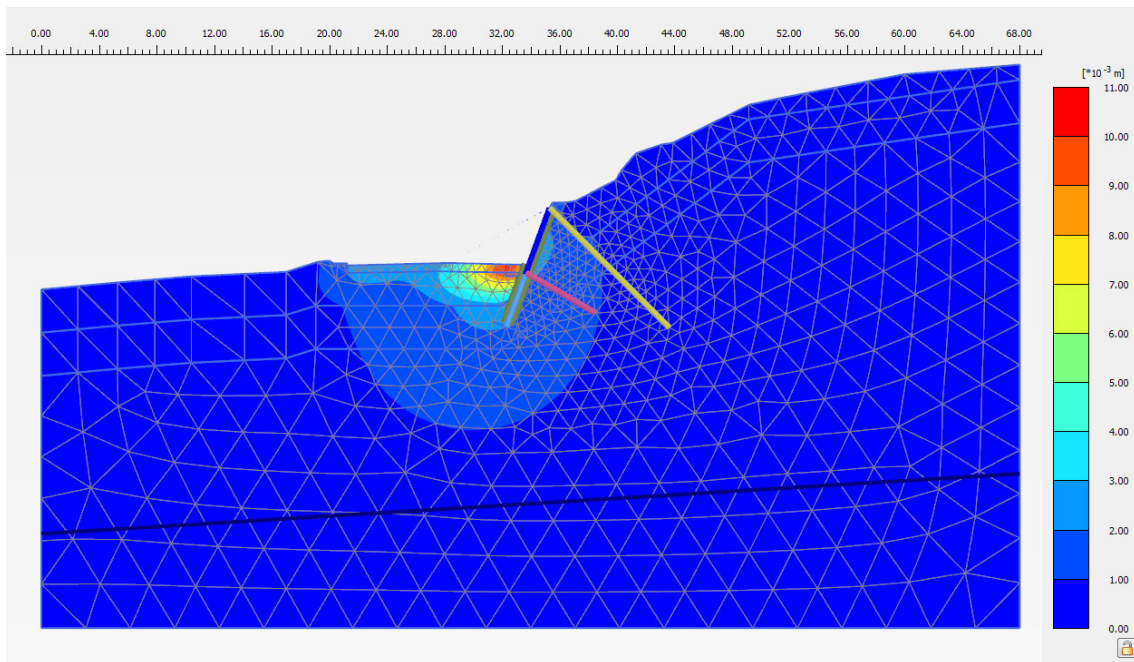


Figura 2-11: SLE – Fase 4 – Deformazioni.

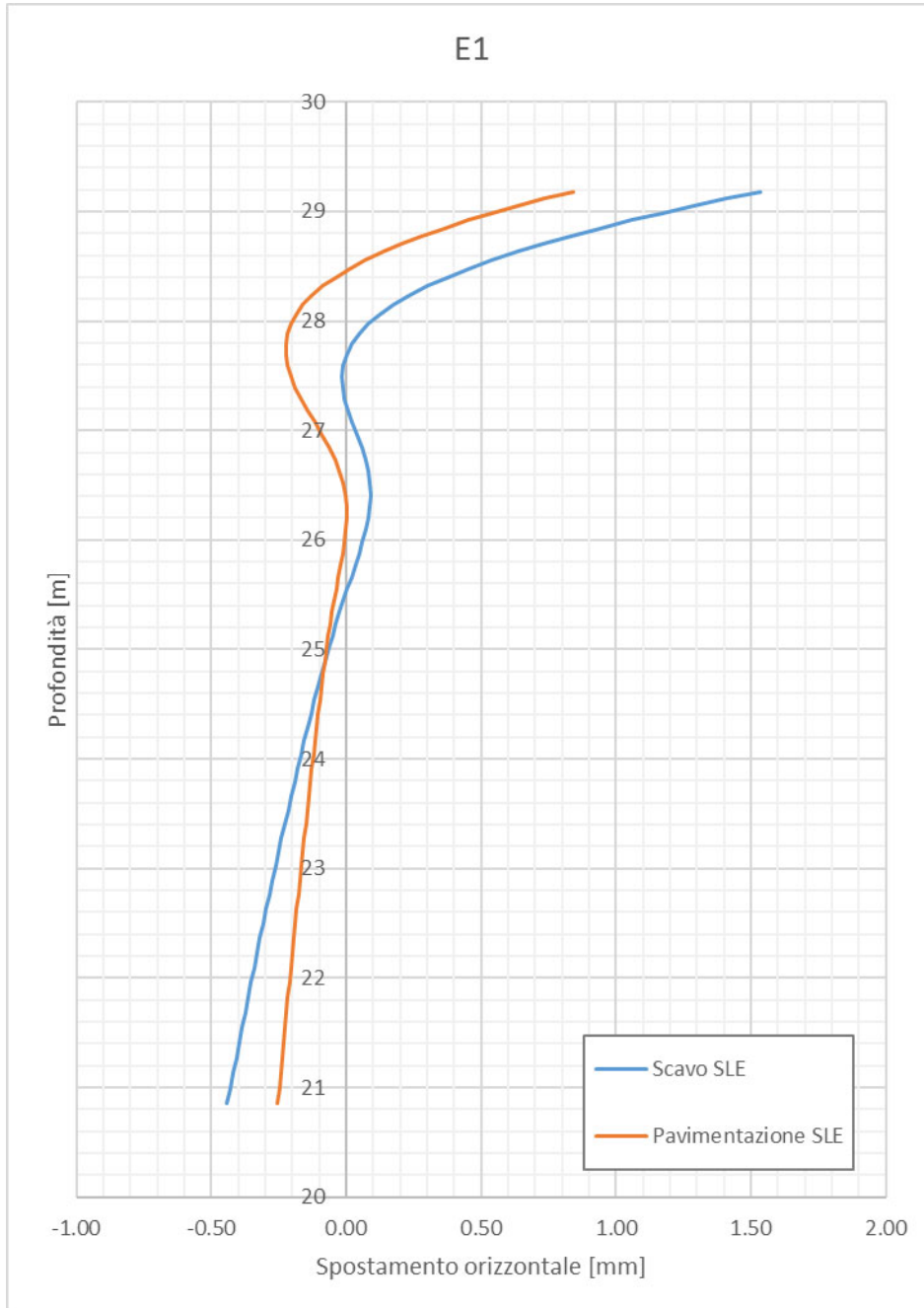


Figura 2-12: Spostamenti in condizioni d'esercizio - E1.

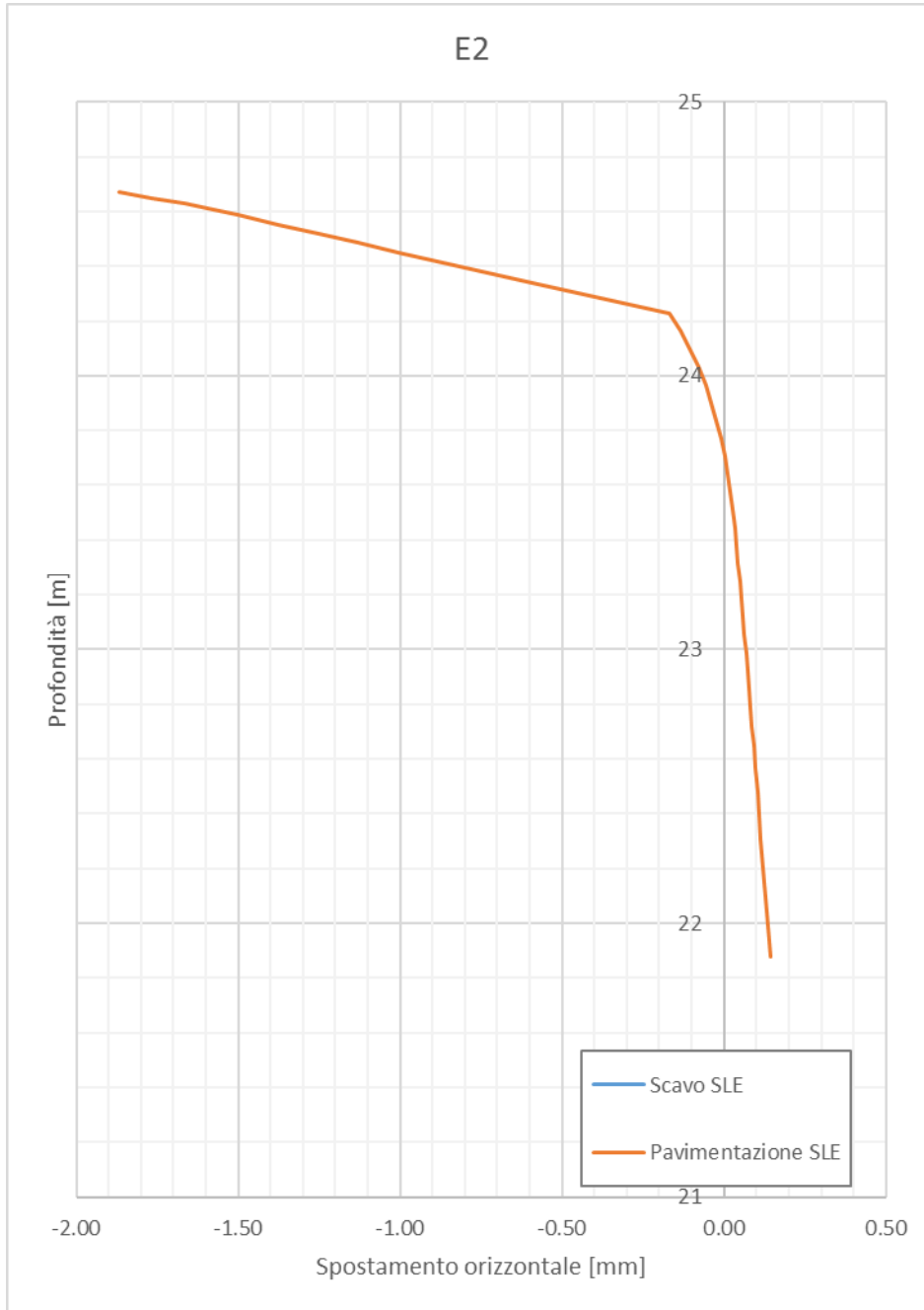


Figura 2-13: Spostamenti in condizioni d'esercizio - E2.

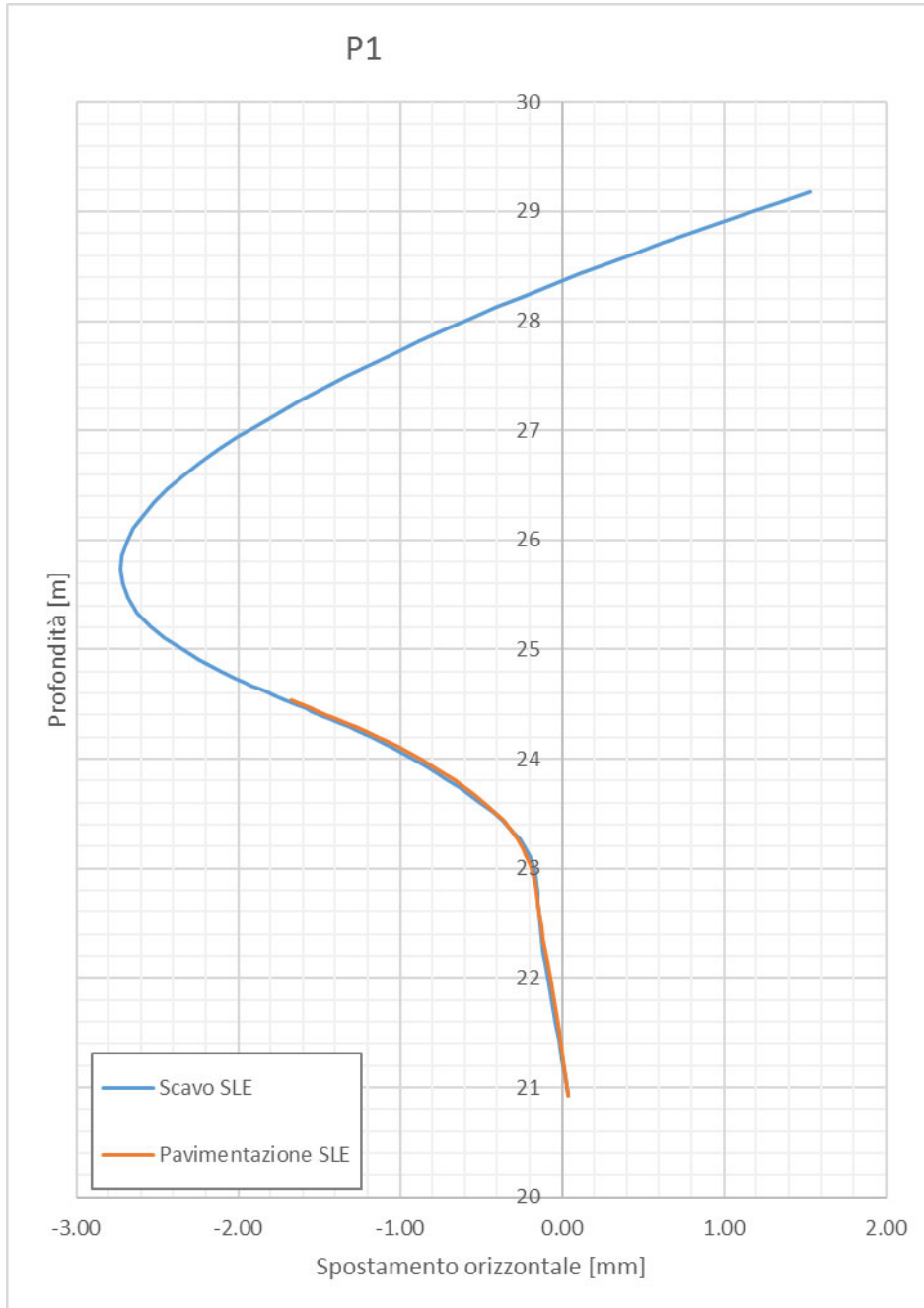


Figura 2-14: Spostamenti in condizioni d'esercizio - P1.

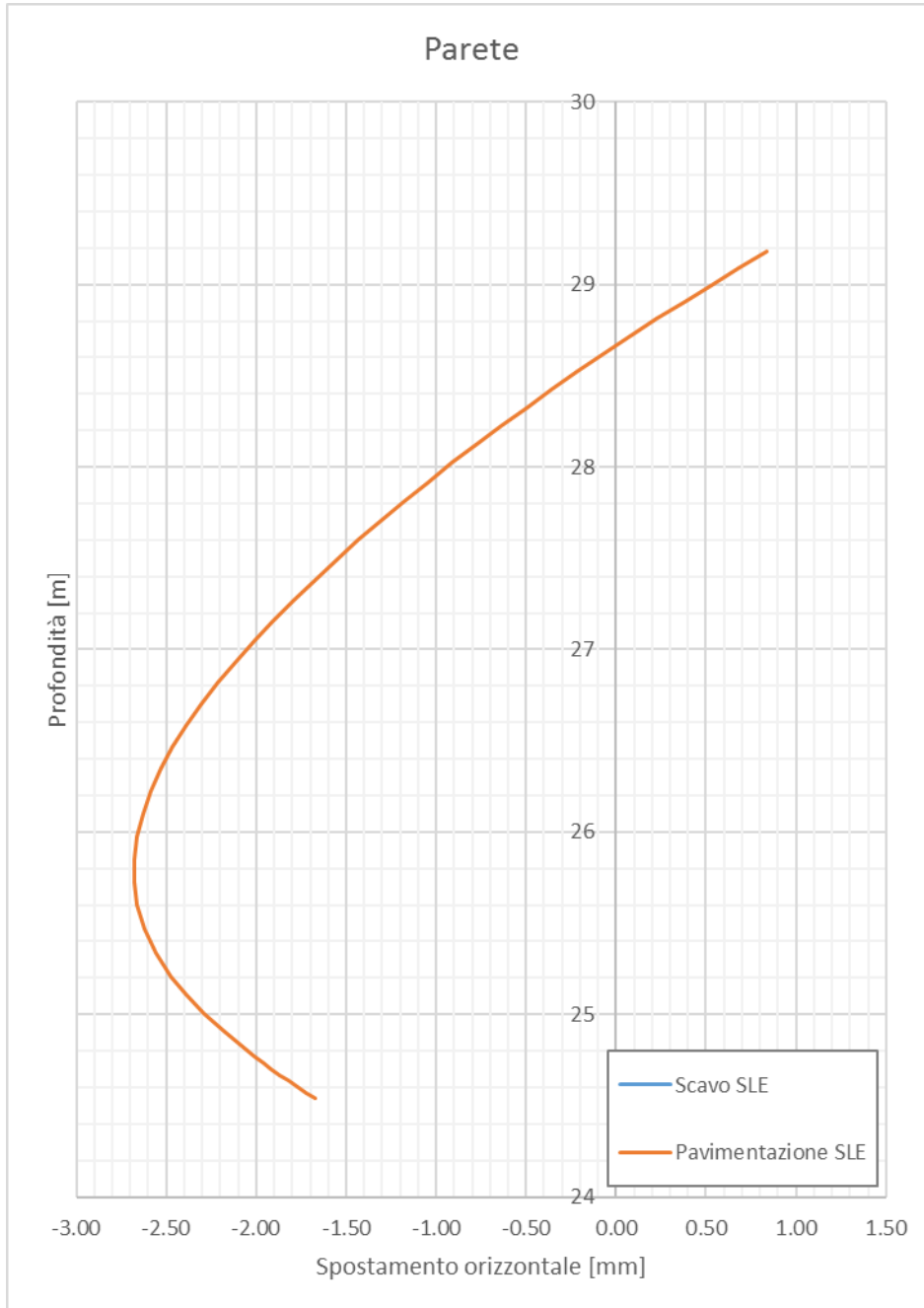


Figura 2-15: Spostamenti in condizioni d'esercizio - Parete.

2.10.3..2 Sforzo Assiale in Esercizio, allo SLU ed allo SLV

Lo sforzo assiale è positivo se di trazione.

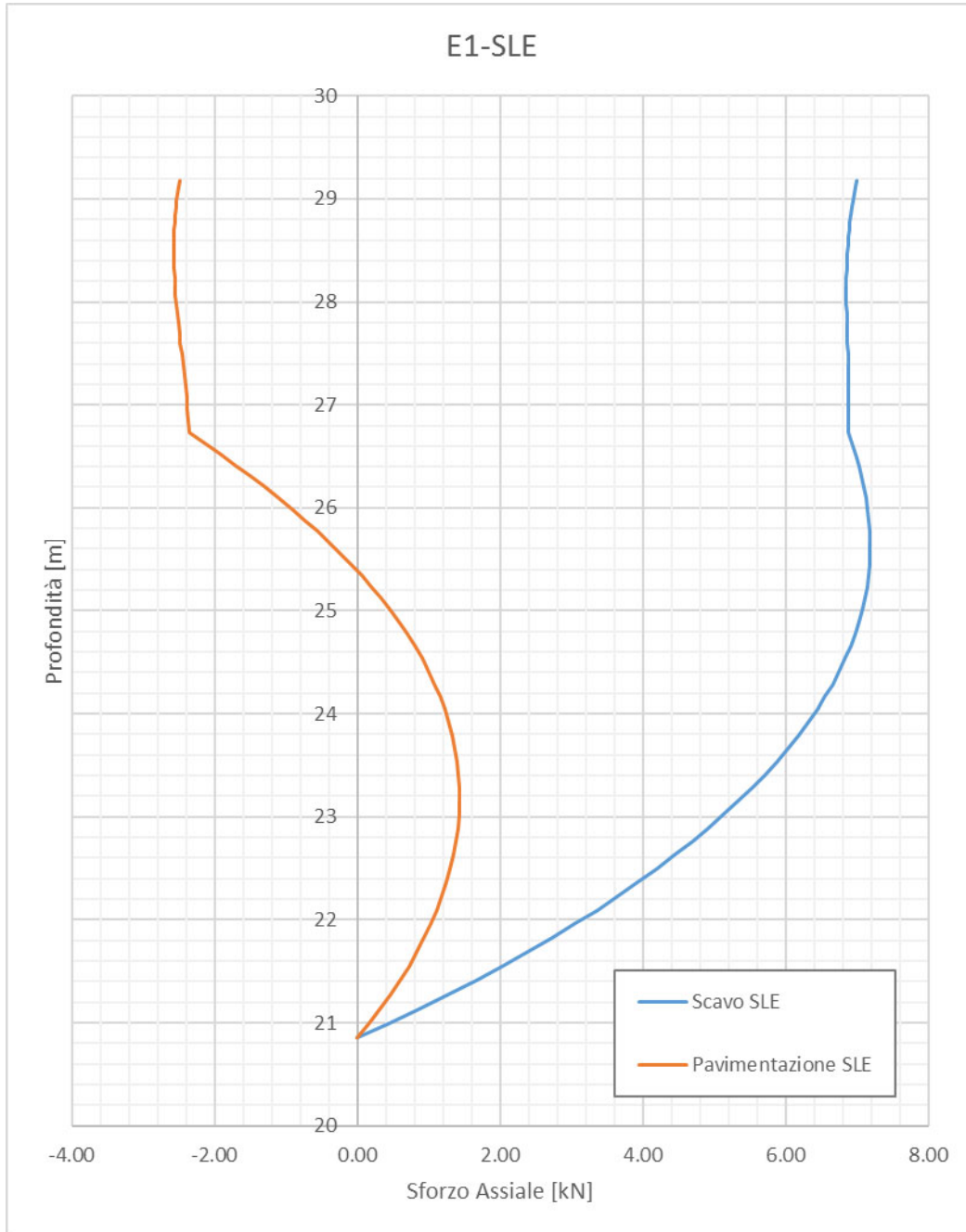


Figura 2-16: Sforzo assiale - SLE E1.

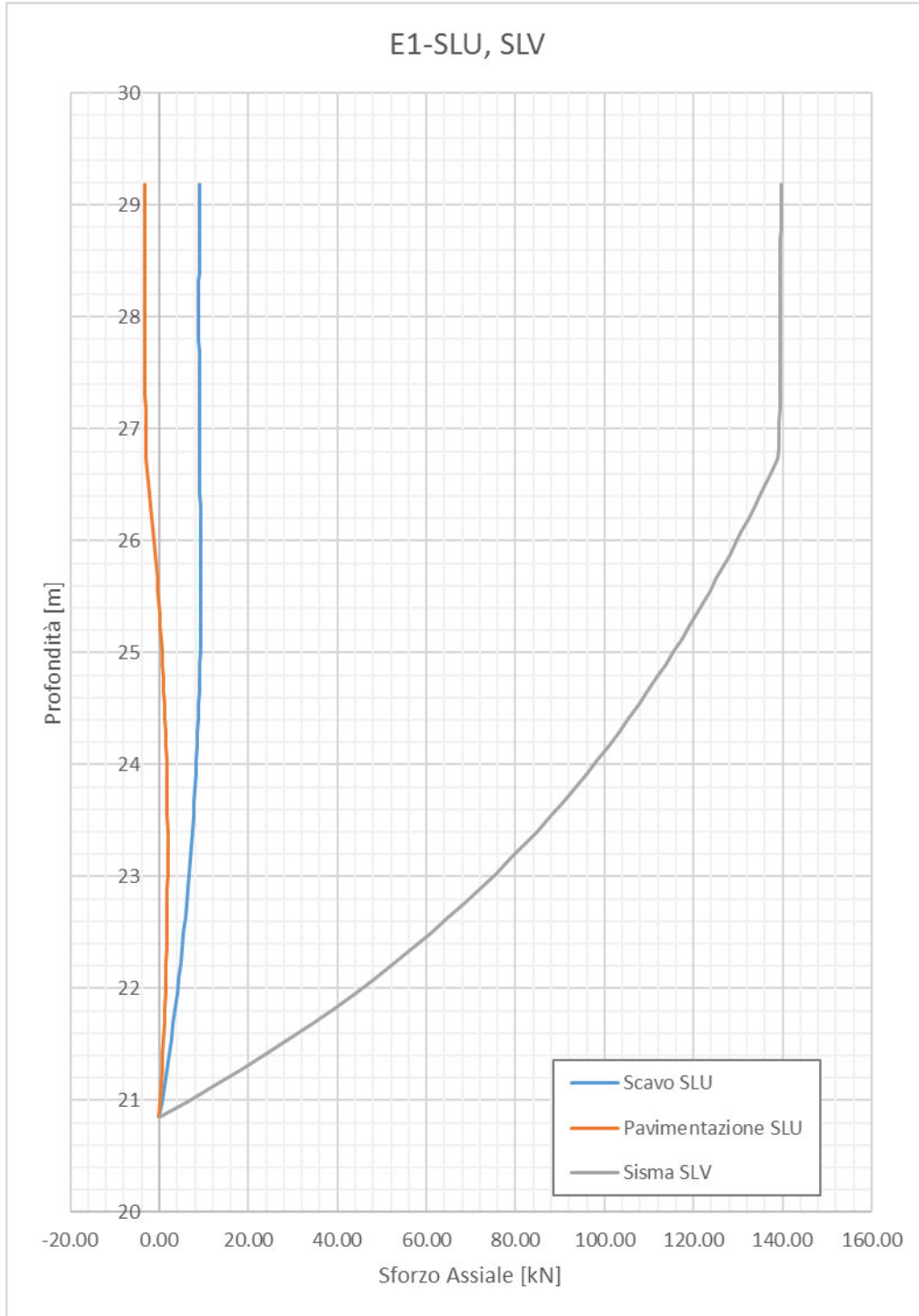


Figura 2-17: Sforzo assiale - SLV, SLU E1.

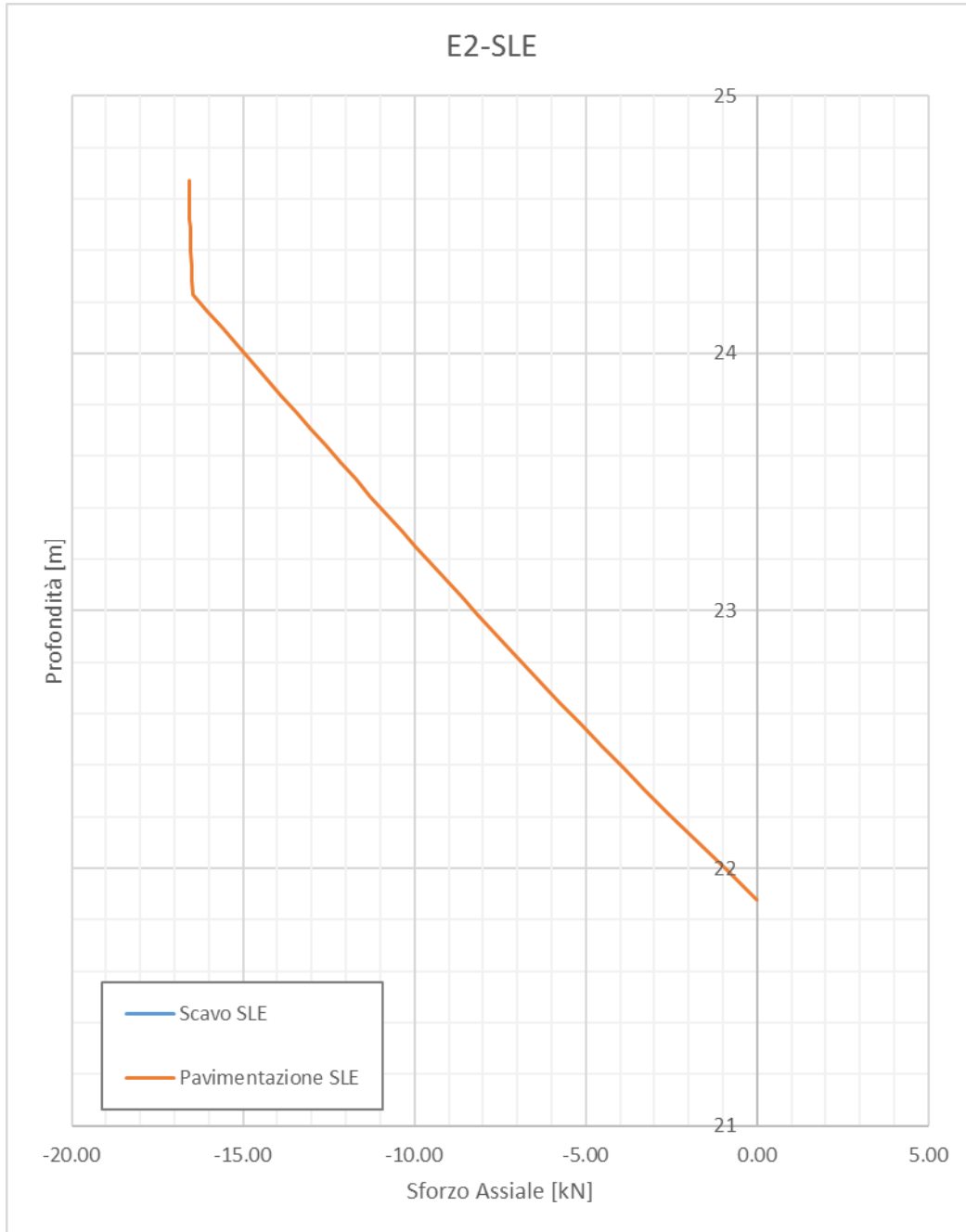


Figura 2-18: Sforzo assiale - SLE E2.

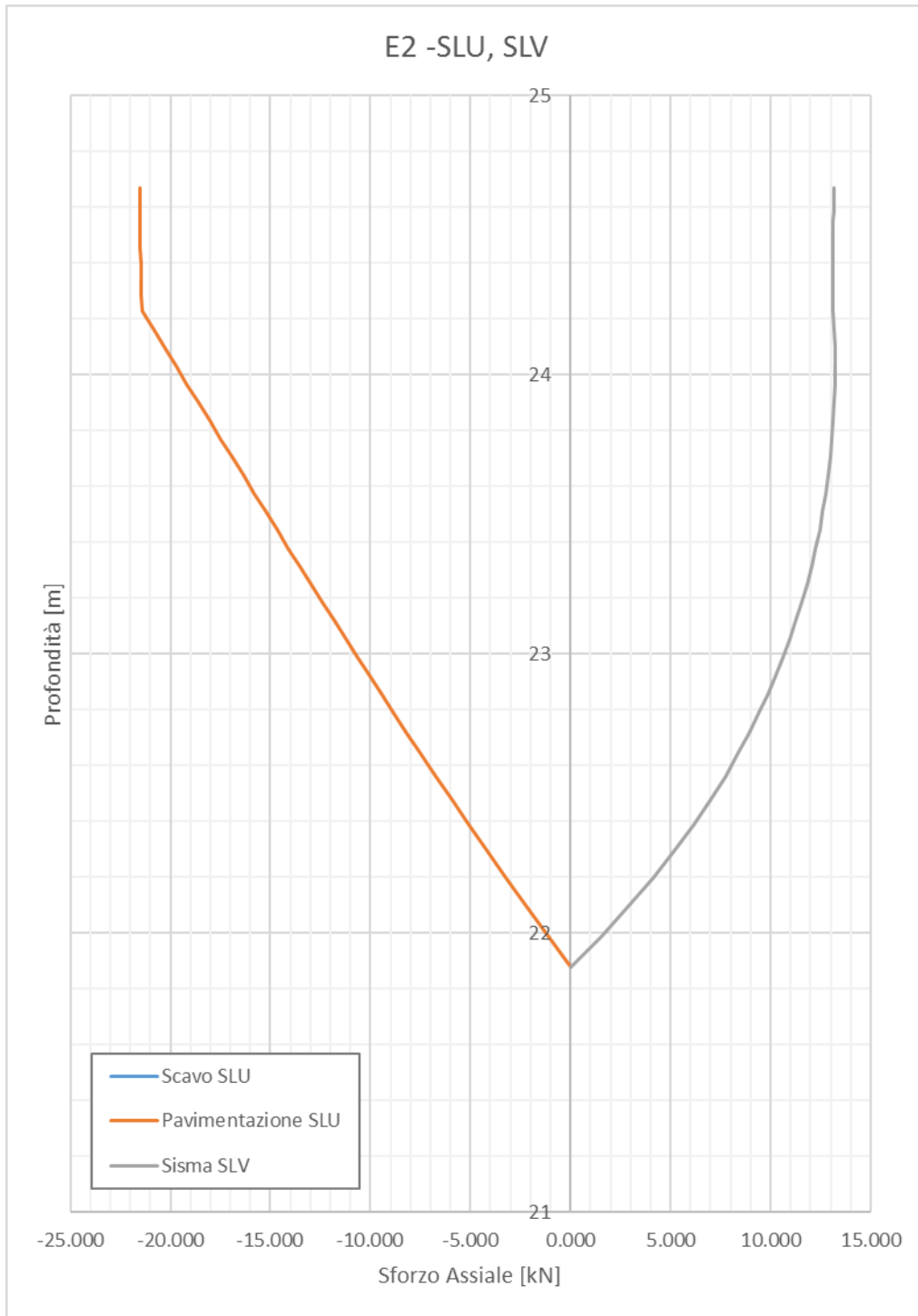


Figura 2-19: Sforzo assiale - SLV, SLU E2.

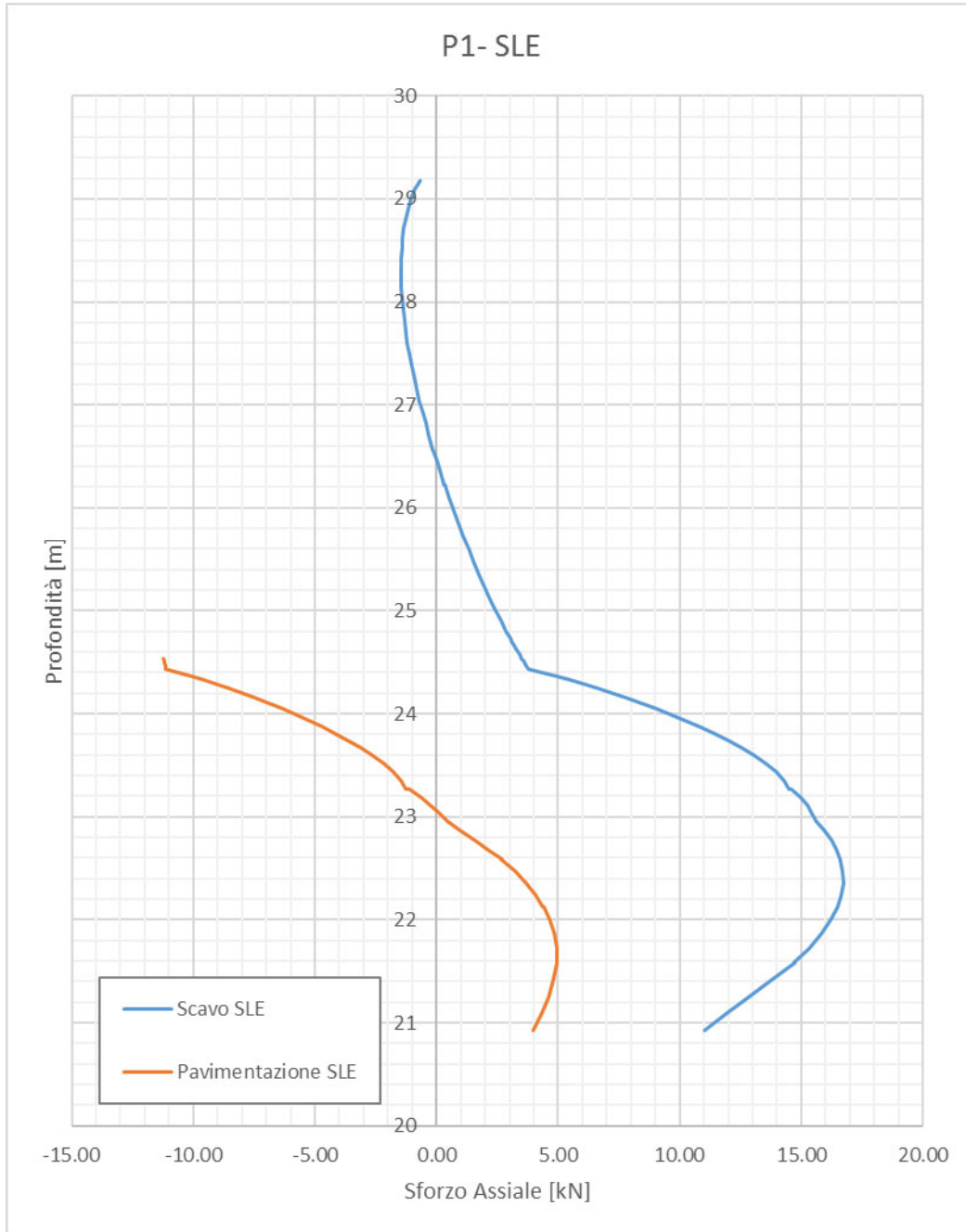


Figura 2-20: Sforzo assiale - SLE P1.

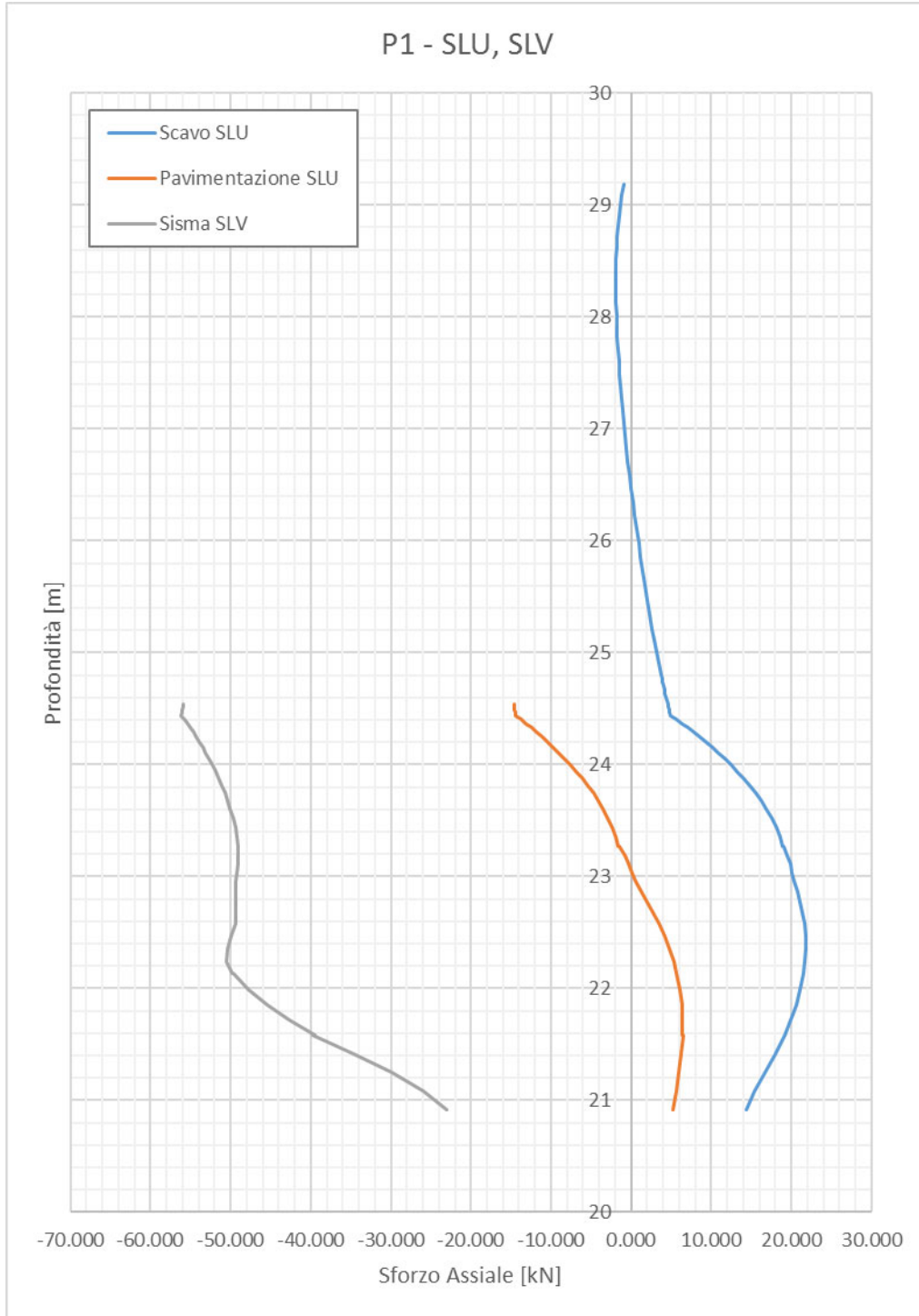


Figura 2-21: Sforzo assiale - SLV, SLU P1.

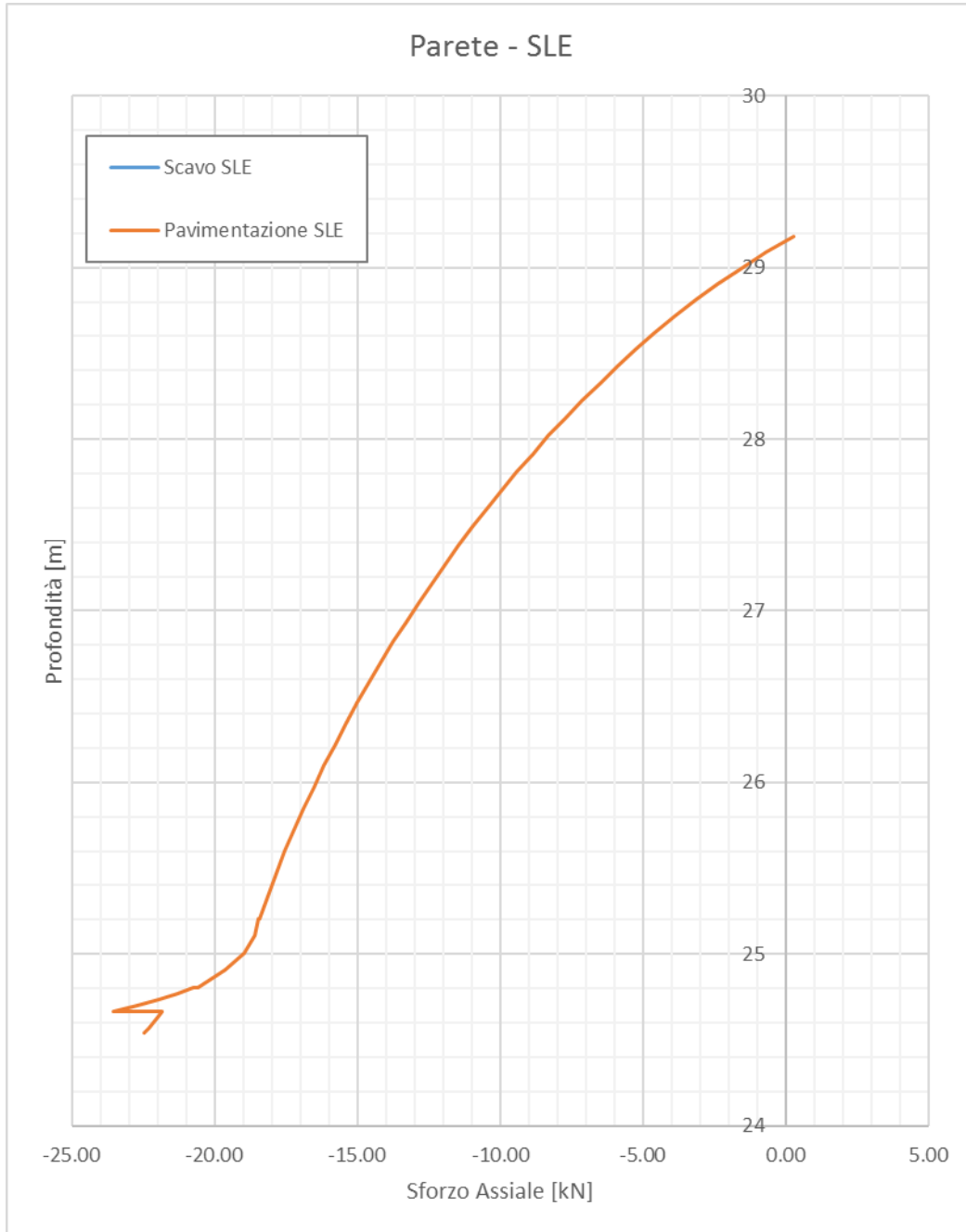


Figura 2-22: Sforzo assiale - SLE Parete.

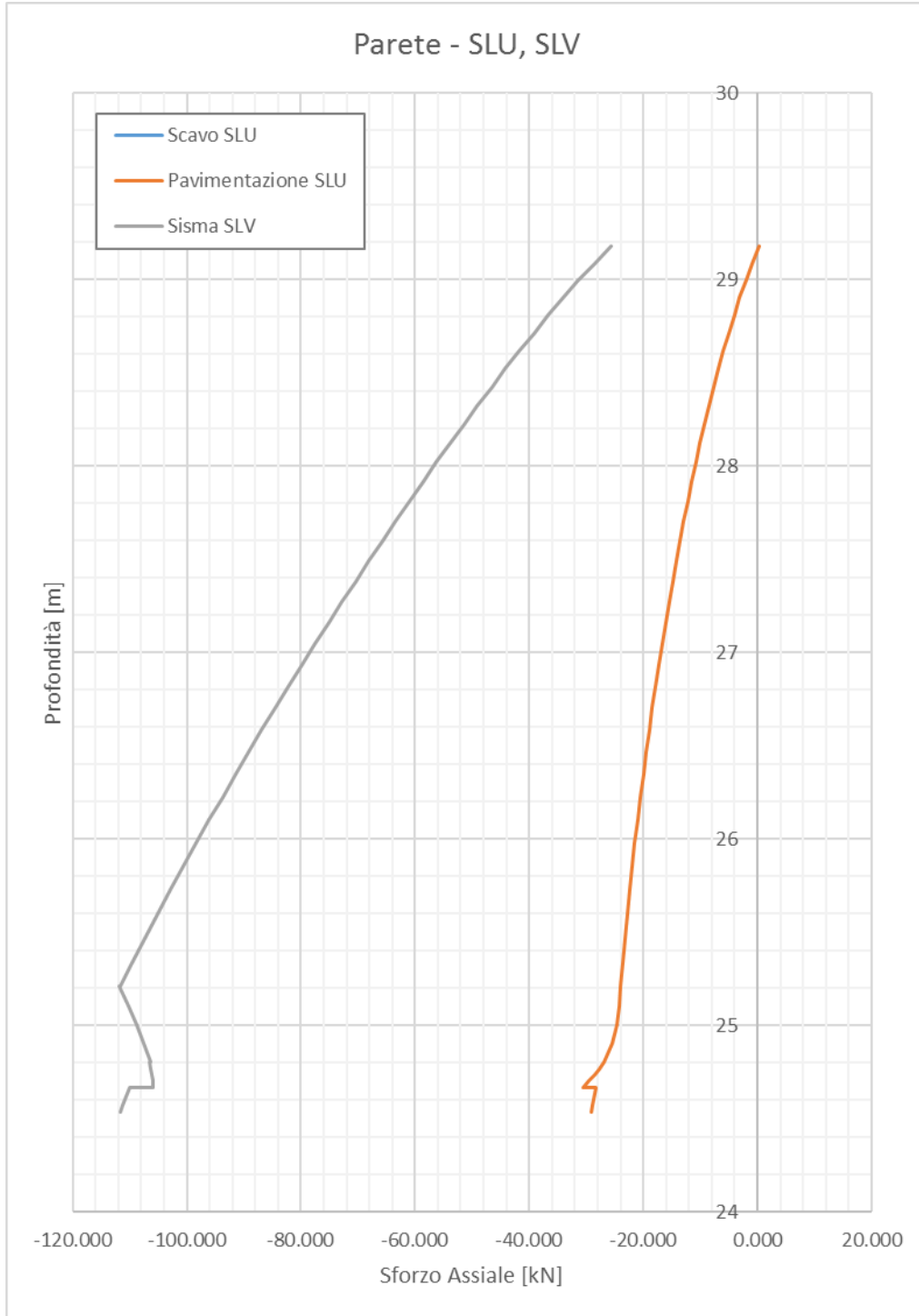


Figura 2-23: Sforzo assiale - SLU Parete.

2.10.3..3 Sforzo di Taglio in Esercizio, allo SLU ed allo SLV

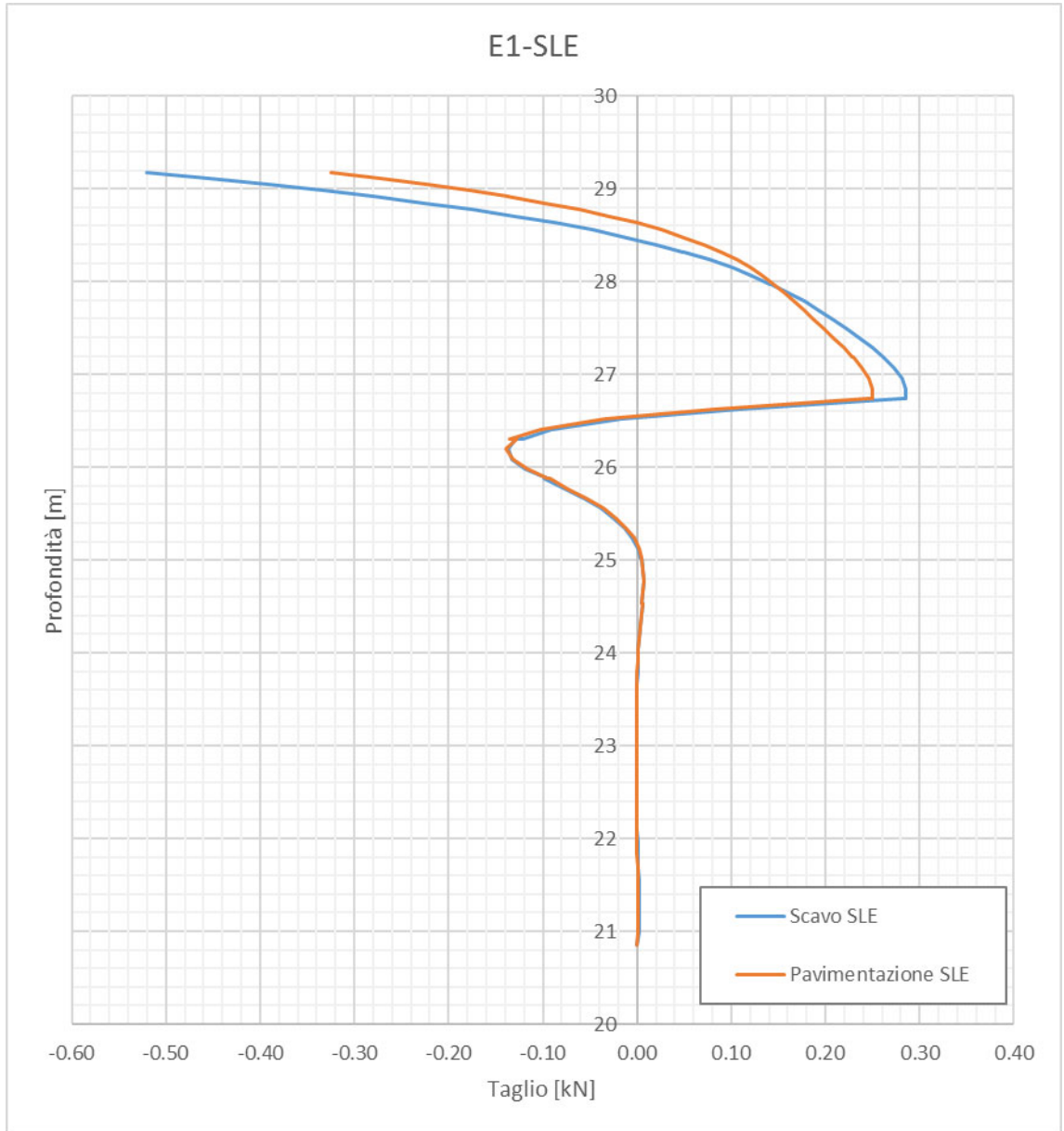


Figura 2-24: Sforzo di Taglio – SLE E1.

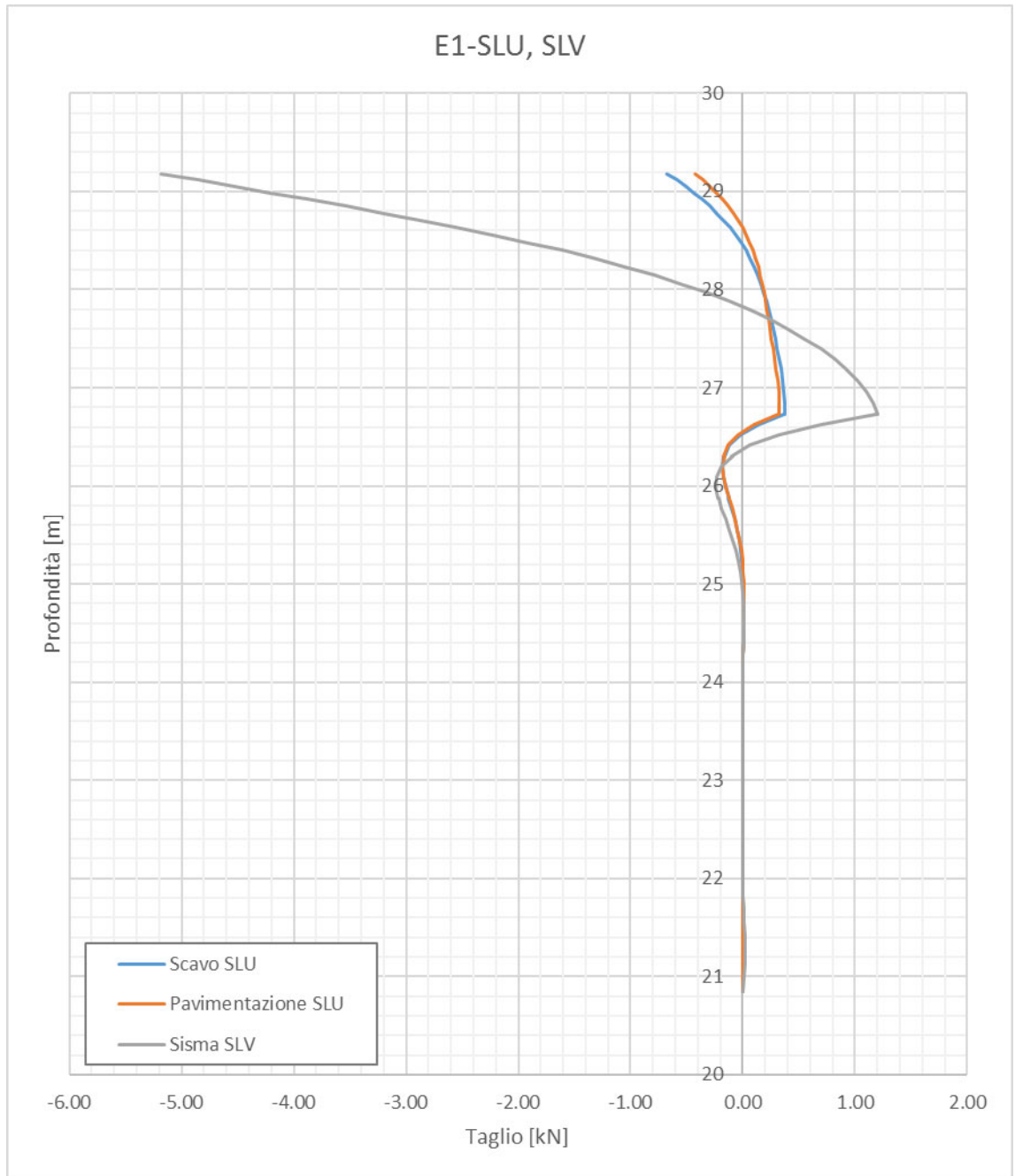


Figura 2-25: Sforzo di Taglio – SLU E1.

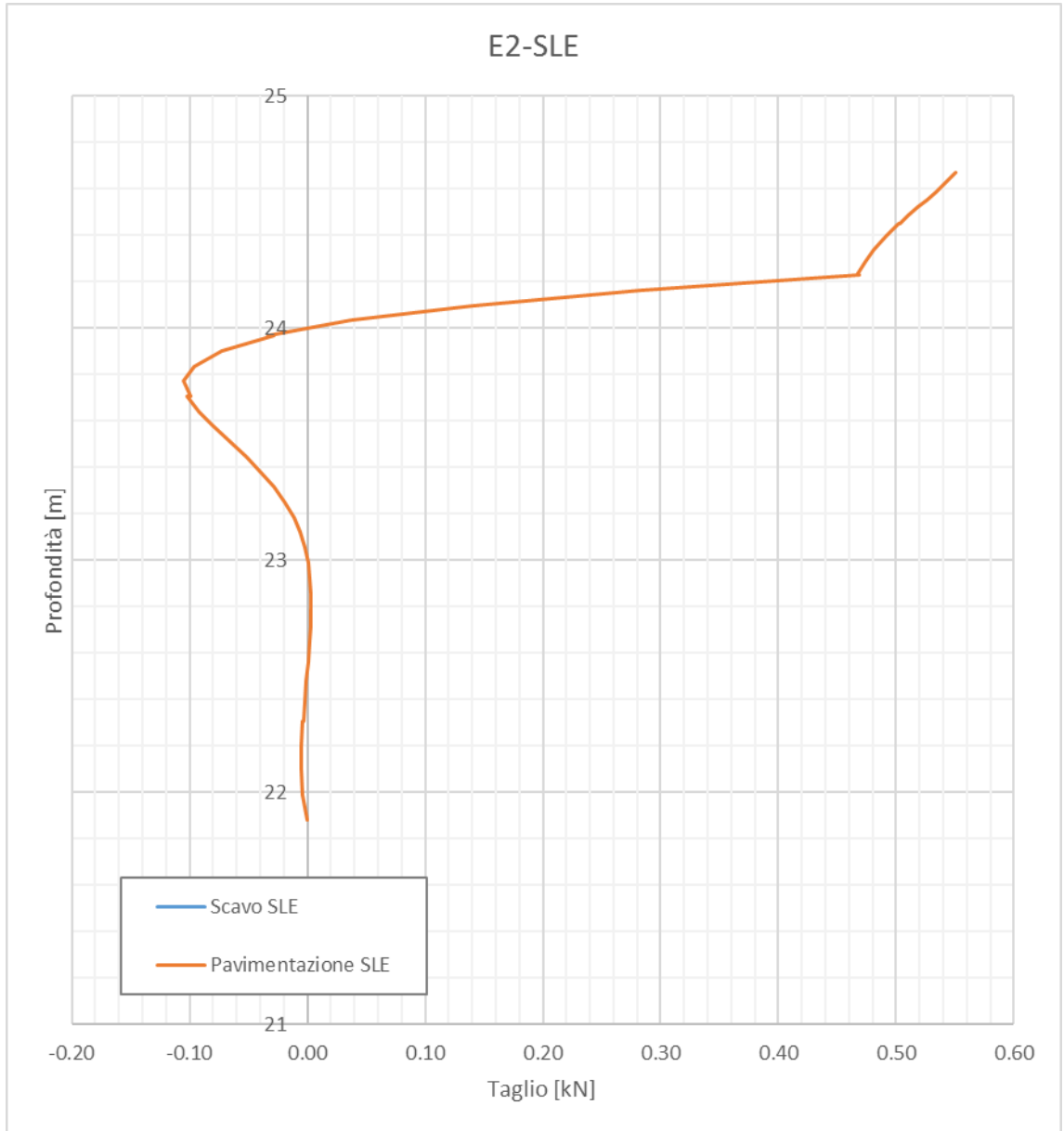


Figura 2-26: Sforzo di Taglio – SLE E2.

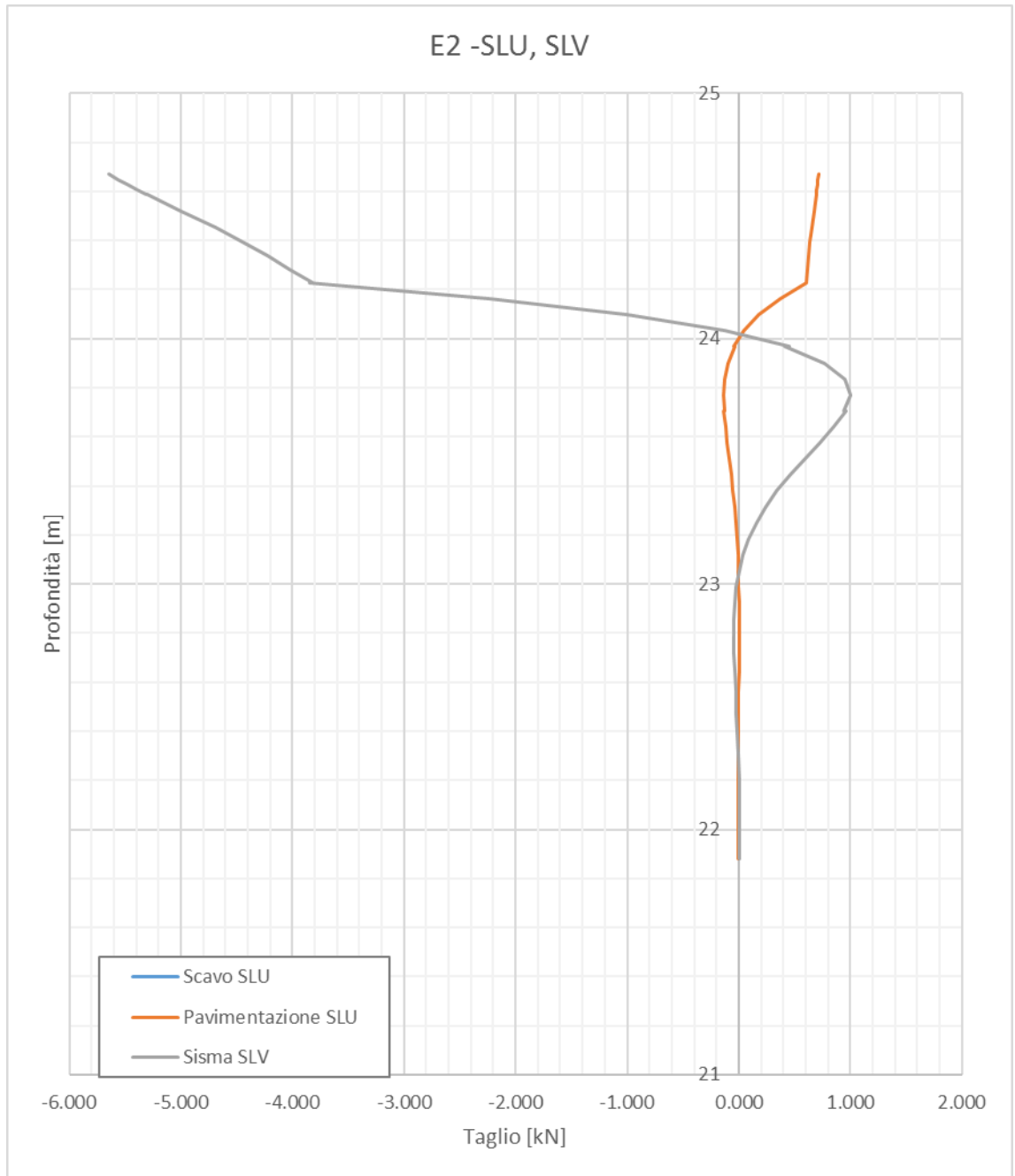


Figura 2-27: Sforzo di Taglio – SLU E2.

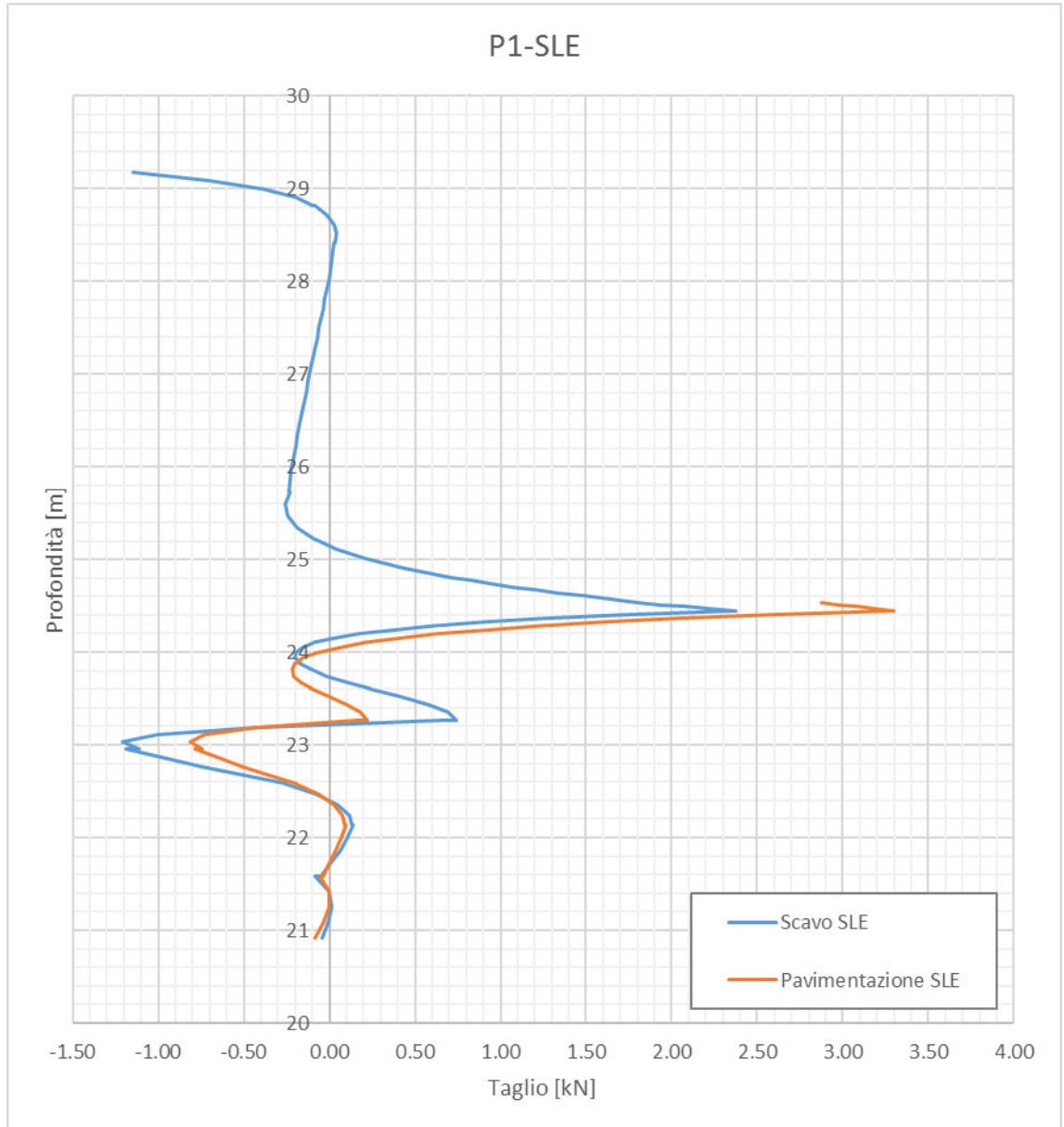


Figura 2-28: Sforzo di Taglio – SLE P1.

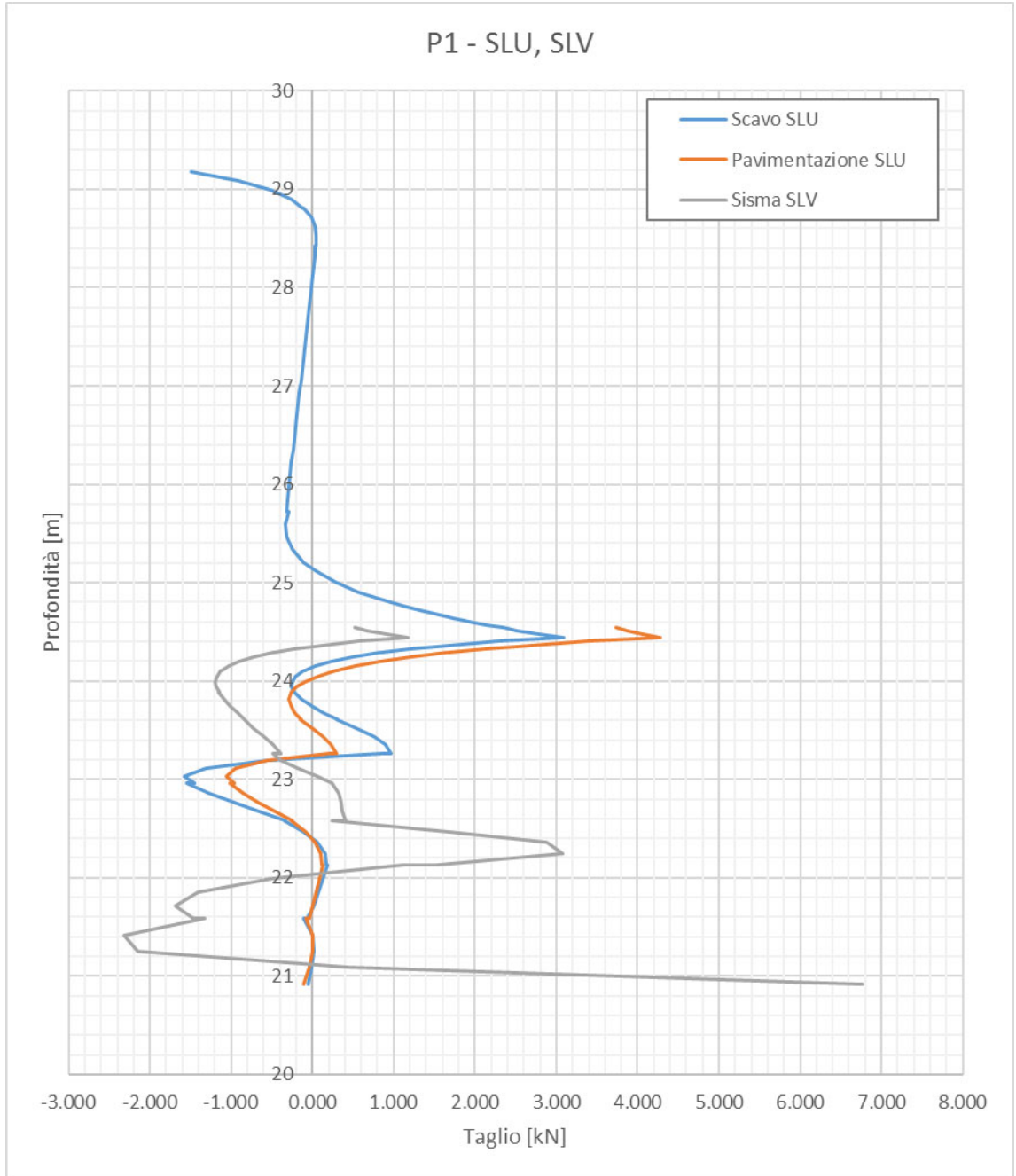


Figura 2-29: Sforzo di Taglio – SLU P1.

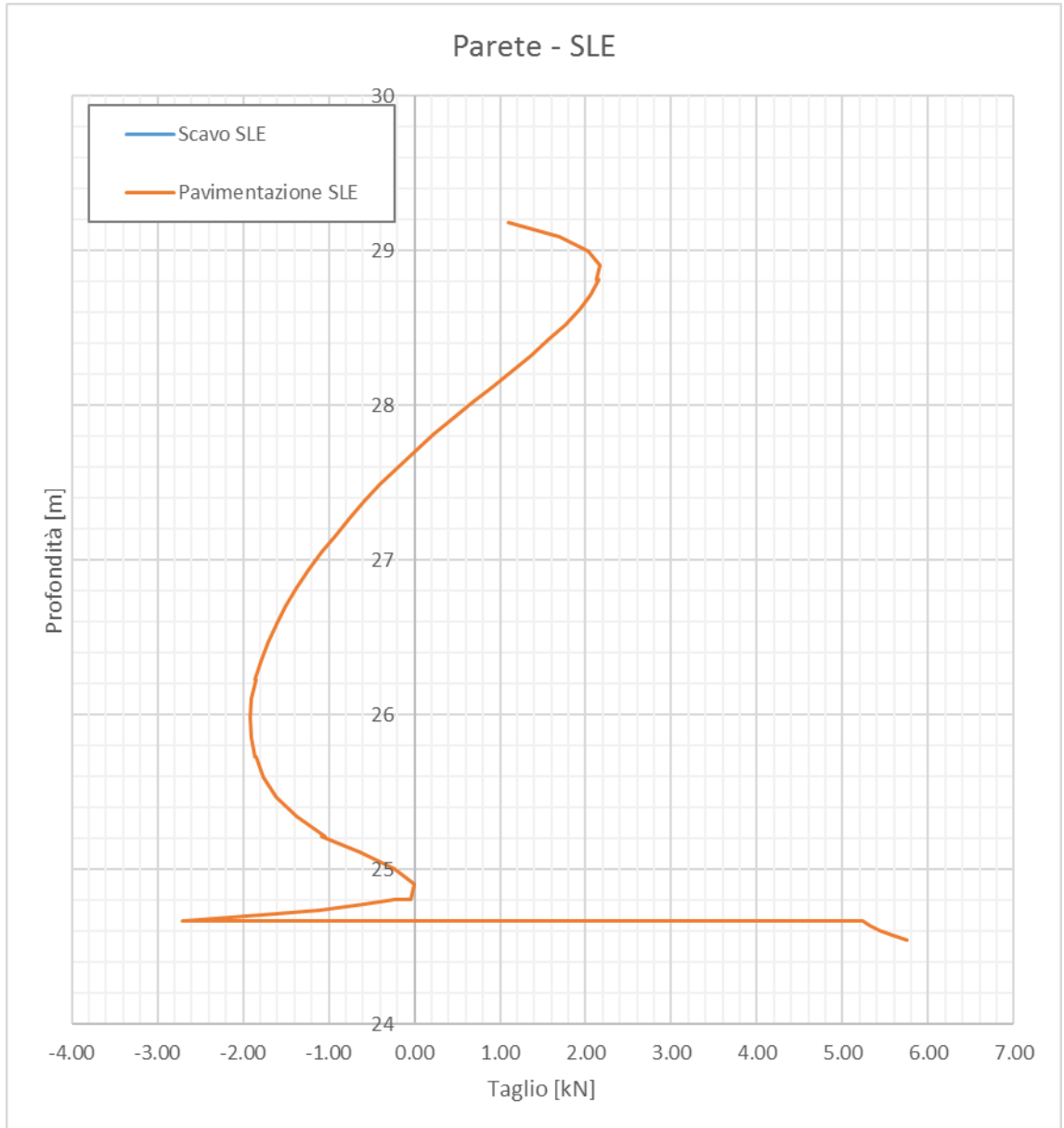


Figura 2-30: Sforzo di Taglio – SLE Parete1.

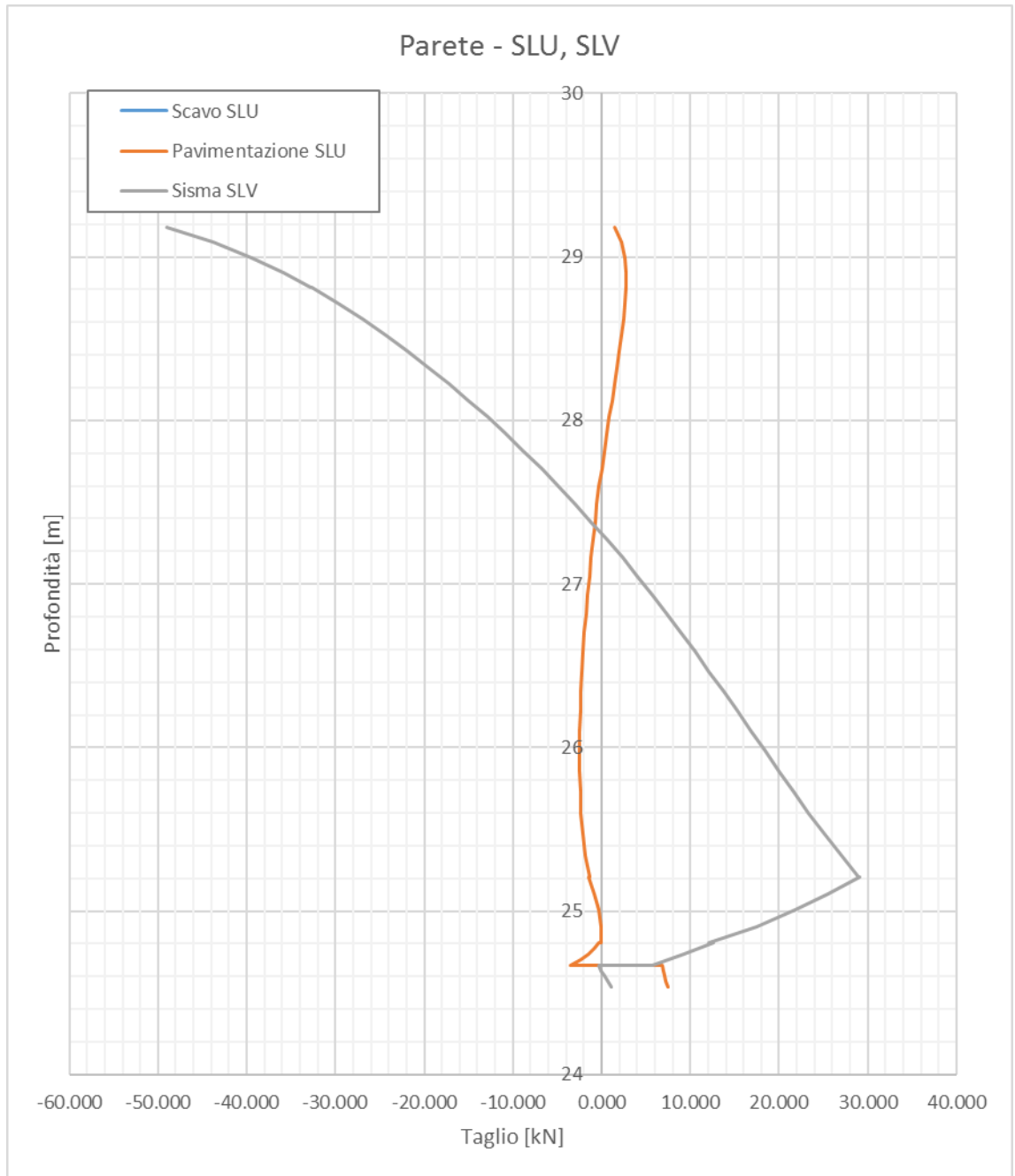


Figura 2-31: Sforzo di Taglio – SLU Parete.

2.10.3..4 Momento Flettente in Esercizio, allo SLU ed allo SLV

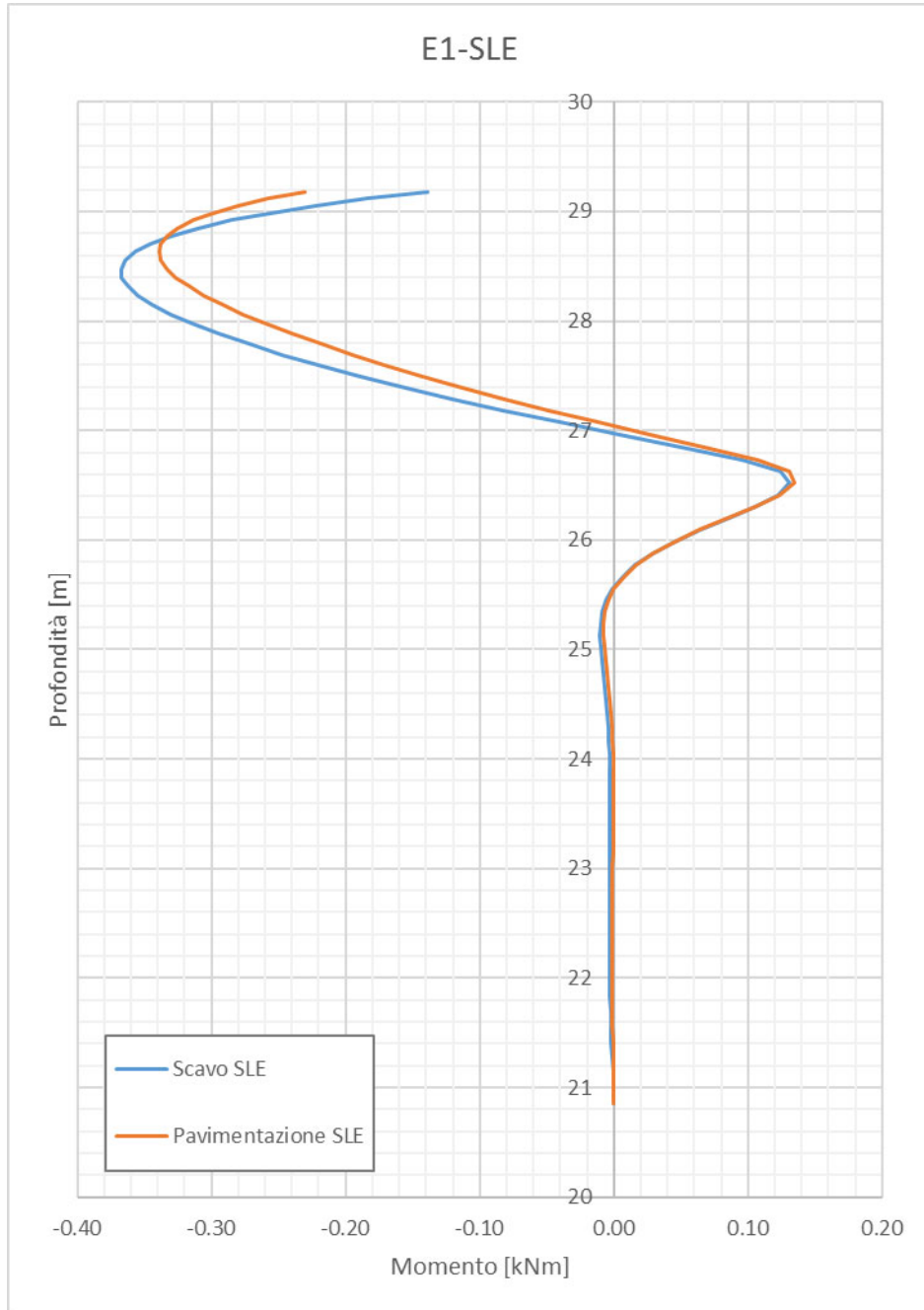


Figura 2-32: Momento Flettente - SLE E1.

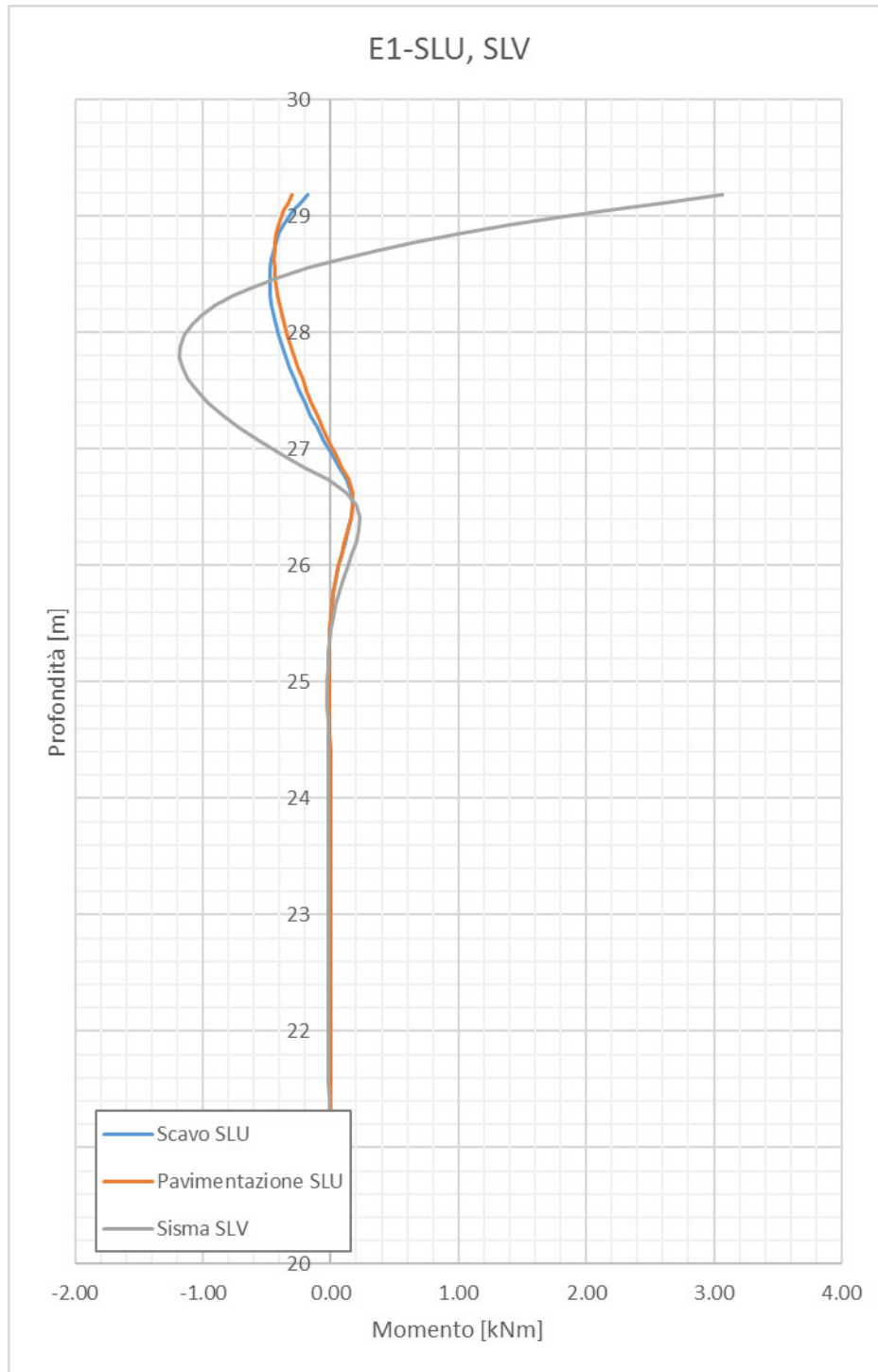


Figura 2-33: Momento Flettente - SLU E1.

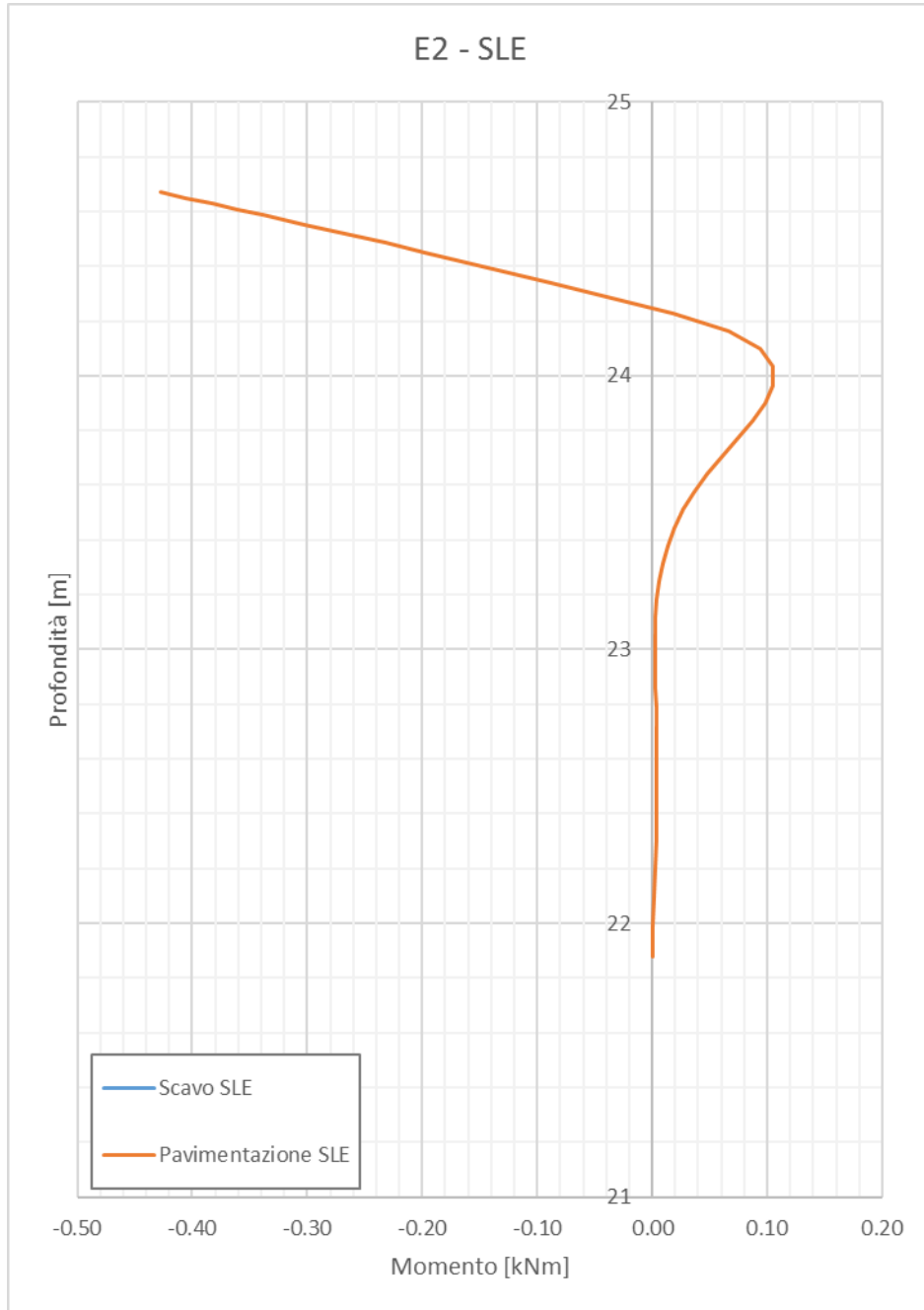


Figura 2-34: Momento Flettente - SLE E2.

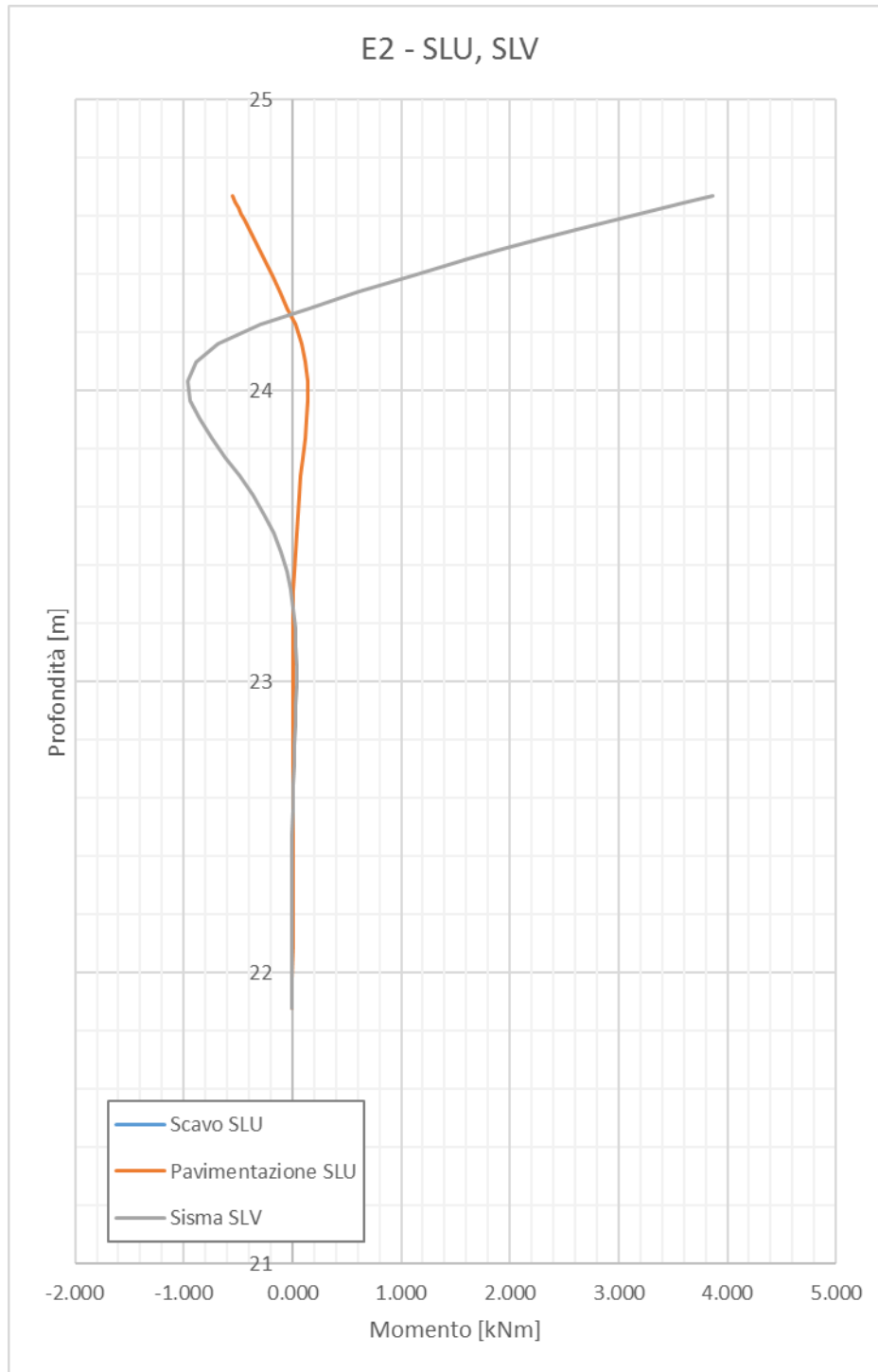


Figura 2-35: Momento Flettente - SLU E2.

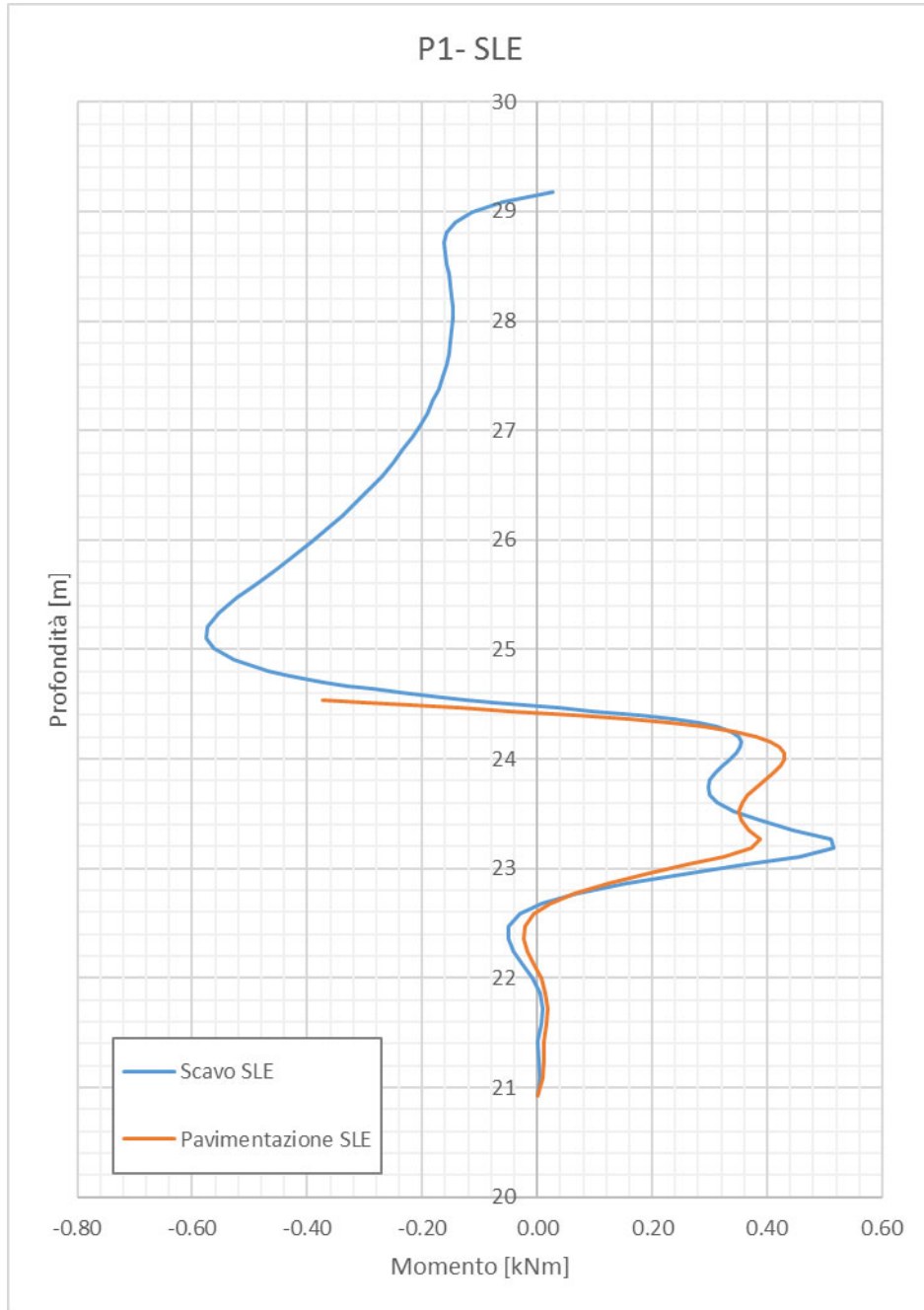


Figura 2-36: Momento Flettente - SLE P1.

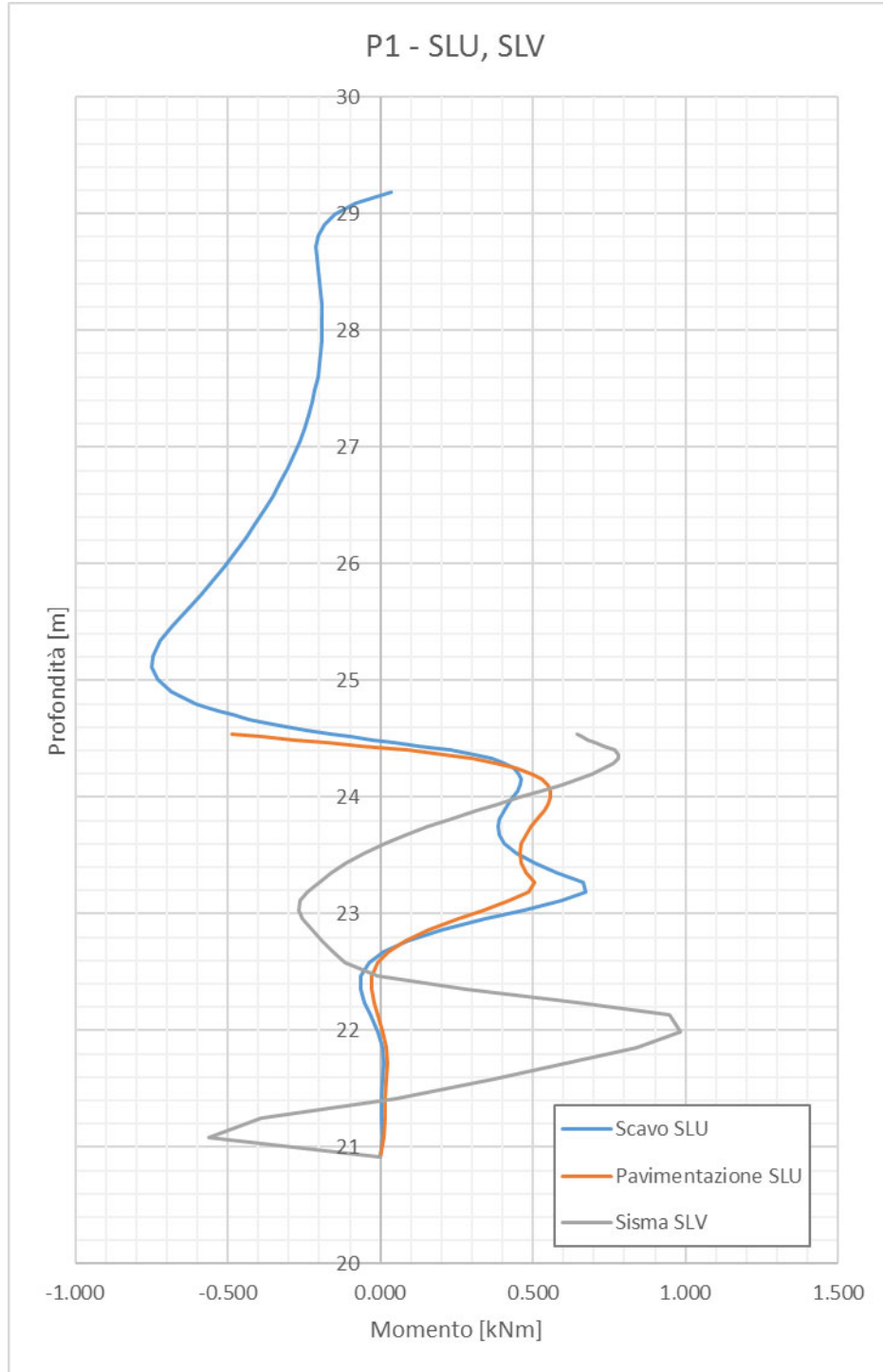


Figura 2-37: Momento Flettente - SLU P1.

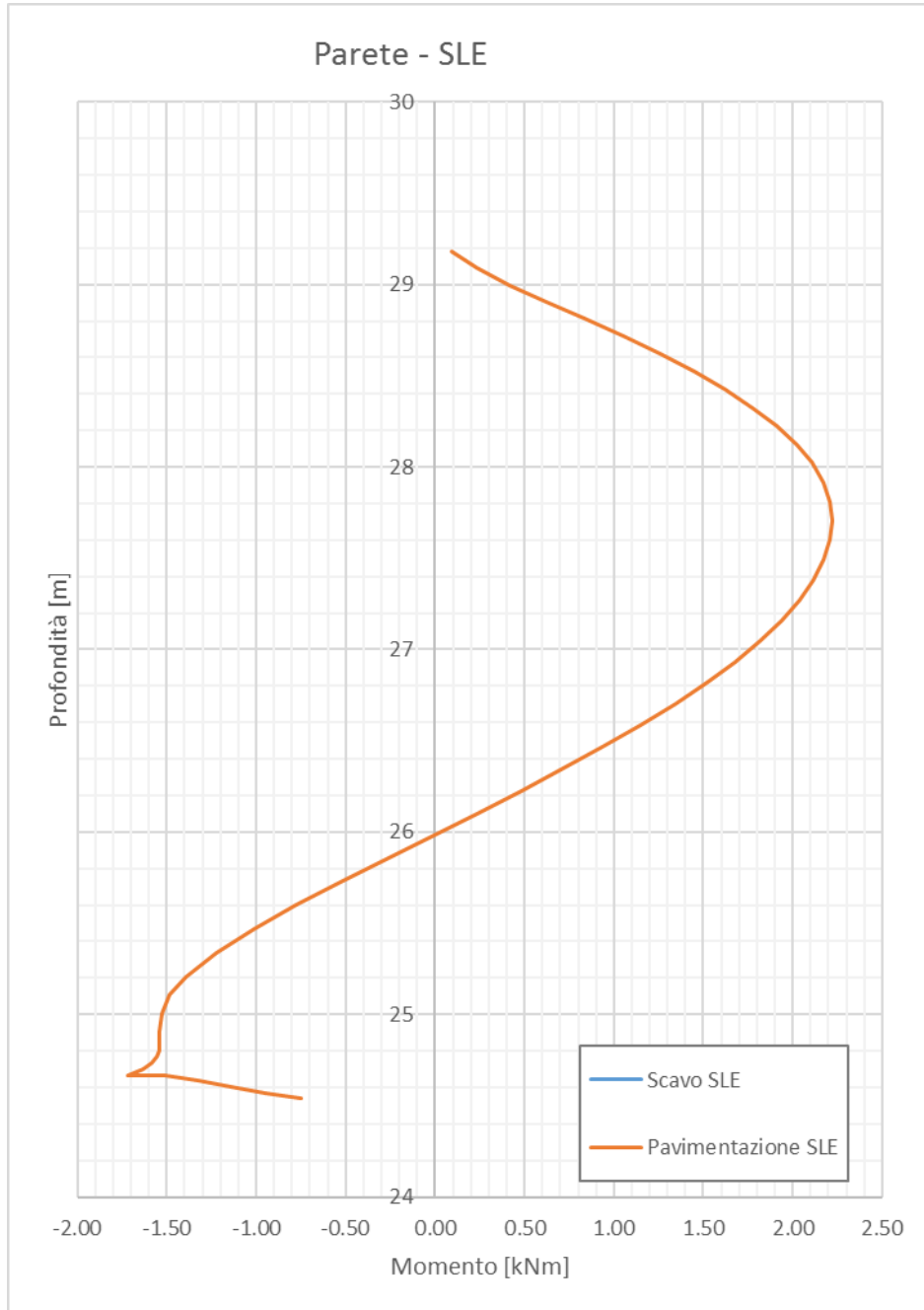


Figura 2-38: Momento Flettente - SLE Parete.

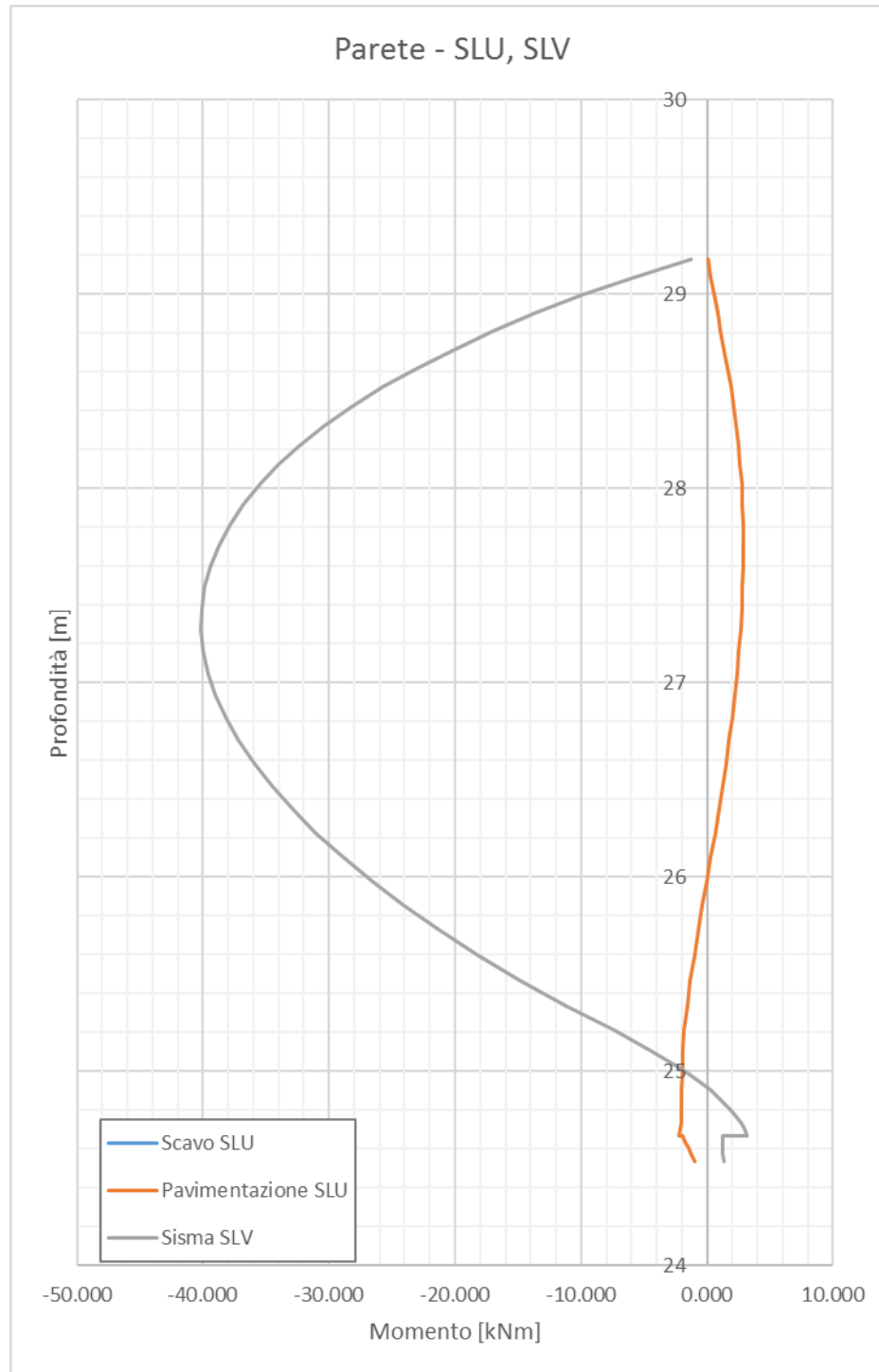


Figura 2-39: Momento Flettente - SLU Parete.

2.11. SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA

Il paramento in conglomerato cementizio armato, Parete, è stato dimensionato strutturalmente sia allo Stato Limite Ultimo sia agli Stati Limite di Esercizio.

I micropali, considerati ai fini delle verifiche come costruzioni in acciaio, sono stati dimensionati allo Stato Limite Ultimo.

Le verifiche di resistenza condotte hanno dato esito positivo; gli elementi strutturali, pertanto, sono in grado di sopportare con adeguati margini di sicurezza le azioni di progetto.

Anche le verifiche delle tensioni di esercizio ed a fessurazione delle strutture in conglomerato cementizio armato hanno fornito valori inferiori ai limiti dettati dalla normativa vigente, a garanzia della durabilità prestazionale delle opere.

Le verifiche geotecniche condotte (Approccio 1 – Combinazione 2: verifica di stabilità globale ed analisi geotecnica) mostrano il soddisfacimento dei livelli prestazionali previsti dalla normativa vigente.

2.12. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

In relazione alla coerenza ed accettabilità dei risultati esposti in forma sintetica e prevalentemente grafica nel presente elaborato e di quanto esposto ai paragrafi precedenti, si segnala che il codice di calcolo utilizzato permette di modellare analiticamente il comportamento fisico della struttura e include svariate funzioni di visualizzazione ed interrogazione sul modello che permettono di controllare sia la coerenza geometrica sia le azioni applicate rispetto alla realtà fisica.

In particolare si segnala che la visualizzazione ed interrogazione dei risultati ottenuti dall'analisi quali sollecitazioni, tensioni, deformazioni, spostamenti hanno permesso un immediato controllo dei risultati ottenuti mediante schemi semplificati.

Si è inoltre verificato che tutte le funzioni di controllo ed autodiagnostica del software abbiano dato esito positivo.

Su tali basi lo scrivente ritiene assolutamente accettabili, plausibili e coerenti al progetto in questione i risultati emersi illustrati nel presente documento.

2.13. CARATTERISTICHE ED AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO

Per la valutazione dello stato di sollecitazione e delle deformazioni dell'Opera A di progetto, si è ricorsi ad una modellazione con il programma Plaxis 2018 di modellazione agli elementi finiti (FEM) come già descritto nei paragrafi precedenti.

La documentazione, fornita dal produttore e a corredo del software, consiste nei seguenti manuali:

PLAXIS 2D 2018

Contents

General information

Part 1: Tutorial Manual

Part 2: Reference Manual

Part 3: Material Models Manual

Part 4: Scientific Manual

Dall'analisi di tale documentazione il software è stato valutato idoneo allo studio del caso specifico e affidabile.

Il software presenta un modulo "Risultati" che consente la consultazione dei risultati in una sezione piana e di plottare grafici e curve dei risultati che si desiderano analizzare per le singole fasi di calcolo o anche sottoforma di inviluppo.

2.14. STRUTTURE GEOTECNICHE DI FONDAZIONE

Per tutti gli elementi costituenti l'opera, E1, E2, P1, sono state condotte le verifiche geotecniche previste dal DM 17/01/2018.

In particolare sono state svolte le verifiche nei confronti degli stati limite SLU di tipo geotecnico di cui:

- E1 e E2: paragrafo 6.6.2 del DM 17/01/2018;
- P1: paragrafo 6.5.3.1.2 del DM 17/01/2018.

Le verifiche sono risultate soddisfatte in quanto:

- il valore dell'azione di progetto è minore del valore della resistenza di progetto:
 $E_d \leq R_d$;
- l'analisi secondo l'Approccio 1 – combinazione 2 (A2+M2+R1) ha mostrato la convergenza del modello di calcolo, a testimonianza del corretto dimensionamento geotecnico;

Anche gli spostamenti orizzontali ottenuti dalle elaborazioni si ritengono compatibili con la funzionalità delle opere.

3. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1. NORMATIVA

La normativa di riferimento per la progettazione è la seguente:

- D.M. 17.01.2018, Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- UNI EN 206, "Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità".

3.2. RIFERIMENTI TECNICI

- Circ. Min. II.TT. 02.02.2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14.01.2008”;

4. CARATTERISTICHE MATERIALI

Al fine di garantire idonee caratteristiche di resistenza e durabilità delle opere, è previsto l'impiego dei materiali riportati nel seguito.

4.1. CALCESTRUZZO PER OPERE IN CEMENTO ARMATO

Le opere in c.a. dovranno essere realizzate con conglomerato cementizio a Prestazione Garantita definito secondo il D.M. 17.01.2018 e le UNI EN 206 con le seguenti caratteristiche:

CORDOLO SOMMITALE

| | | |
|--|-------------|-------------------|
| Peso specifico | 25.0 | kN/m ³ |
| Resistenza cubica caratteristica a compressione: R_{ck} | 37 | MPa |
| Resistenza cilindrica caratteristica a compressione: f_{ck} | 30 | MPa |
| Coefficiente riduttivo per resistenza di lunga durata: α_{cc} | 0.85 | |
| Coefficiente di sicurezza: γ_c | 1.50 | |
| Resistenza a compressione di progetto: f_{cd} | 17.00 | MPa |
| Modulo elastico di Young istantaneo: E_{cm} | 32837 | MPa |
| Classe di esposizione (UNI EN 206) | XF3 | |
| Consistenza (slump) | S4 (fluida) | |
| Copriferro | 50 | mm |

CORDOLO DI BASE

| | | |
|--|-------------|-------------------|
| Peso specifico | 25.0 | kN/m ³ |
| Resistenza cubica caratteristica a compressione: R_{ck} | 37 | MPa |
| Resistenza cilindrica caratteristica a compressione: f_{ck} | 30 | MPa |
| Coefficiente riduttivo per resistenza di lunga durata: α_{cc} | 0.85 | |
| Coefficiente di sicurezza: γ_c | 1.50 | |
| Resistenza a compressione di progetto: f_{cd} | 17.00 | MPa |
| Modulo elastico di Young istantaneo: E_{cm} | 32837 | MPa |
| Classe di esposizione (UNI EN 206) | XF4 | |
| Consistenza (slump) | S4 (fluida) | |
| Copriferro | 50 | mm |

PARETI IN CALCESTRUZZO ARMATO

| | | |
|--|-------|-------------------|
| Peso specifico | 25.0 | kN/m ³ |
| Resistenza cubica caratteristica a compressione: R_{ck} | 30 | MPa |
| Resistenza cilindrica caratteristica a compressione: f_{ck} | 25 | MPa |
| Coefficiente riduttivo per resistenza di lunga durata: α_{cc} | 0.85 | |
| Coefficiente di sicurezza: γ_c | 1.50 | |
| Resistenza a compressione di progetto: f_{cd} | 14.17 | MPa |
| Modulo elastico di Young istantaneo: E_{cm} | 31476 | MPa |
| Classe di esposizione (UNI EN 206 1) | XC2 | |
| Consistenza (slump) | S3÷S4 | |
| Copriferro | 30 | mm |

4.2. ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Si adotta acciaio per calcestruzzo armato tipo B450C. I valori di calcolo utilizzati sono riepilogati nella tabella seguente.

Acciaio da cemento armato tipo B450C

| | | |
|--|--------------|-----|
| Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk} | 450 | MPa |
| Tensione caratteristica di rottura: f_{tk} | 540 | MPa |
| Allungamento: $(A_{gt})_k$ | $\geq 7.5\%$ | |
| Coefficiente di sicurezza: γ_s | 1.15 | |
| Tensione di snervamento di progetto: f_{yd} | 391.30 | MPa |
| Modulo elastico di Young: E_s | 200000 | MPa |

○ MICROPALI

Acciaio da carpenteria tipo S355

| | | |
|--|--|-------------------|
| Tipologia | S355J0H secondo UNI EN 10025, UNI EN 10210-1 e DM 17/01/18 | |
| Peso specifico | 78.50 | kN/m ³ |
| Modulo elastico di Young: E_s | 210000 | MPa |
| Tensione caratteristica di snervamento: f_{yk} | 355 | MPa |
| Coefficiente di sicurezza (resistenza delle sezioni): γ_{M0} | 1.05 | |
| Tensione di snervamento di progetto: f_{yd} | 338.1 | MPa |

Malta di cemento di rivestimento e riempimento del tubolare in acciaio:

- classe di resistenza C25/30 (secondo DM 17-01-2018);
- classe di esposizione: XC2 secondo UNI EN 206.

5. CRITERI GENERALI VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE

5.1. VERIFICHE STRUTTURALI DELLE SEZIONI IN C.A.

Le verifiche a presso/tenso-flessione e taglio agli SLU e le verifiche delle tensioni ed a fessurazione agli SLE delle sezioni in conglomerato cementizio armato della Parete, ai sensi del DM 17/01/2018, sono state condotte mediante il programma RCsec Versione 2018.10.0.758 :



5.2. VERIFICHE STRUTTURALI DELLE SEZIONI IN CARPENTERIA METALLICA (MICROPALI)

Le verifiche a compressione, a presso/tenso-flessione e taglio agli SLU delle sezioni in acciaio dei micropali E1, E2, P1 sono state verificate ai sensi del § 4 del DM 17/01/2018, attraverso l'uso di fogli di calcolo interni.

5.3. VERIFICHE GEOTECNICHE DI CAPACITÀ PORTANTE DEI TIRANTI PASSIVI (MICROPALI)

Le verifiche geotecniche di capacità portante sono state condotte sulla base di quanto previsto al paragrafo 6.6 del DM 17/01/18.

5.4. VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche di stabilità sono state sviluppate secondo la normativa vigente. Le norme indicano che le verifiche consistono nel soddisfacimento della seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
- R_d rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche in condizione statica sono condotte secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: A2+M2+R2
 in cui:
 - A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (tabella 6.2.I tratta dal DM17/01/2018 riportata nei paragrafi precedenti);
 - M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno (tabella 6.2.II tratta dal DM17/01/2018 riportata nei paragrafi precedenti);
 - R2 rappresenta coefficiente parziale γ_R per le verifiche di sicurezza, riportato nella tabella seguente:

Tabella 5.1: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo – Condizione statica (Tabella 6.8.I – DM 17/01/2018)

| Coefficiente (γ_r) | R2 |
|---|-----------|
| γ_r | 1.1 |

Le verifiche in condizione sismica sono condotte secondo il Paragrafo 7.11.4, DM 17/01/2018:

- coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni unitari;
- coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno unitari;
- coefficienti parziali γ_R per le verifiche di sicurezza = 1.2.

Tali aspetti sono stati analizzati con il software agli elementi finiti Plaxis 2018.

6. SEZIONI DI CALCOLO, STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO E PARAMETRI GEOTECNICI

6.1. SEZIONI DI CALCOLO

Il modello di calcolo utilizzato nel software Plaxis v 2018 è riportato in Figura Figura 2-9 La sezione utilizzata con la massima altezza di scavo è quella indicata al paragrafo 2.10.1.

6.2. STRATIGRAFIA E LIVELLO PIEZOMETRICO DI RIFERIMENTO PARAMETRI

Le unità stratigrafiche individuate sono le seguenti:

- Coltre detritica e depositi alluvionali costituiti da limo argilloso-sabbioso molto consistente con inclusi lapidei marnosi ed arenacei variamente alterati. Localmente sono presenti brandelli di terrazzo costituiti da ghiaia da fine a grossolana in matrice sabbiosa-limoso, di colore nocciola;
- Formazione di substrato costituita da arenarie e marne più o meno fratturate.

Il modello geotecnico adottato nelle elaborazioni comprende le seguenti unità geotecniche:

- **unità 1:** Coltre detritica e depositi alluvionali;
- **unità 2a e 2b:** Formazione di substrato.
-

Nella tabella seguente sono indicati i parametri geotecnici considerati, caratteristici per quanto concerne quelli di resistenza al taglio.

Il livello piezometrico ipotizzato non interferisce con le opere alla luce anche delle scelte progettuali (drenaggi).

6.3. PARAMETRI GEOTECNICI

I parametri geotecnici sono stati desunti come riportato nell'elaborato:

- "6.a Intervento di consolidamento muro-Relazione di calcolo delle strutture".

Di seguito si riporta un riepilogo dei parametri geotecnici di input per le modellazioni condotte, caratteristici per quanto concerne quelli di resistenza al taglio

Tabella 6.1: Parametri geotecnici di calcolo, caratteristici per quanto concerne di resistenza al taglio.

| Unità | γ [kN/m ³] | ϕ'_k [°] | c'_k [kPa] | E' [MPa] | τ [kPa] |
|-----------|----------------------------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|
| 1 | 20 | 29 | 15 | 10 | 40 |
| 2a | 22 | 32 | 26 | 100 | 300 |
| 2b | 22 | 30 | 85 | 100 | 300 |

Simbologia adottata:

- γ peso di volume;
- c' coesione drenata;
- φ' angolo di attrito;
- E' modulo elastico;
- τ resistenza specifica laterale micropali-terreno.

7. DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE E GEOTECNICO

7.1. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico sono state descritte al paragrafo 2.7.

7.2. DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo con il programma Plaxis è riportato in Figura 2-9.

I micropali suborizzontali sono stati schematizzati come "Embedded pile row"; invece i micropali subverticali e il paramento esterno sono stati rappresentati con elementi "plate".

7.3. DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella Tabella 7.1.

Nelle elaborazioni tutti i materiali sono di tipo Mohr-Coulomb sono considerati del tipo drained.

I dati di input dei micropali, considerati nel modello come "Embedded pile row", sono indicati in Tabella 7.2.

I dati di input dei paramenti, considerati nel modello come "Plate", sono indicati in Tabella 7.3.

Il livello piezometrico considerato è indicato in Figura 2-9.

Tabella 7.1: Dati di input materiale a comportamento Mohr-Coulomb.

| | γ [kN/m ³] | c' [kPa] | ϕ' [°] | E' [MPa] |
|--------------------------------|-------------------------------|------------|-------------|------------|
| Sovrastruttura stradale | 22 | 10 | 35 | 80 |
| Unità 1 | 20 | 15 | 29 | 10 |
| Unità 2a | 22 | 26 | 32 | 100 |
| Unità 2b | 22 | 85 | 30 | 100 |

Tabella 7.2: Dati di input elementi "Embedded Pile Row.

| | γ [kN/m ³] | Diametro/Spessore tubolare [mm] | Interasse [m] | E [MPa] | Resistenza laterale q_{lat} [kN/m di micropalo] (*) | Capacità portante di base [kN] |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------|-----------|---|--------------------------------|
| Micropali tipo E1 | 78.5 | 88.9/8 | 2.50 | 210000 | unità 1: 20.1 unità 2a: 150.8 | 98.5 |

| | | | | | | |
|--------------------------|------|--------|------|--------|--|------|
| | | | | | unità 2b: 150.8 | |
| Micropali tipo E2 | 78.5 | 88.9/8 | 2.00 | 210000 | unità1: 20.1 unità 2a: 150.8 unità 2b: 150.8 | 98.5 |

Nota: La nomenclatura della tipologia di micropalo è in accordo a quanto riportato in Figura 2-9

(*) Determinata considerando la perforazione di diametro 160mm.

Tabella 7.3: Dati di input elementi "Plate" – paramenti.

| | TYPE | Spessore [m] | w [kN/m] | EA [kN/m] | EJ [kNm ² /m] |
|--------|---------|--------------|----------|-----------|--------------------------|
| Parete | Elastic | 0.3 | 7.5 | 9442740 | 70820.55 |

Nota: La nomenclatura è in accordo a quanto riportato in Figura 2-9.

7.4. FASI DI CALCOLO

Le fasi di calcolo del modello con il programma Plaxis sono riportate al paragrafo 2.10.2

7.5. RISULTATI DEL CALCOLO

I risultati del calcolo condotto in termini di

- deformazioni (combinazione SLE);
- sforzo assiale (combinazione SLE, SLU e SLV in Approccio 1 – combinazione 1);
- azione flettente (combinazione SLE, SLU e SLV in Approccio 1 – combinazione 1);
- azione tagliante (combinazione SLE, SLU e SLV in Approccio 1 – combinazione 1);

sono stati riportati al paragrafo 2.10.3.

7.6. Verifiche strutturali delle sezioni carpenteria metallica (micropali)

Con riferimento:

- alle caratteristiche dei materiali indicati al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**
- alle caratteristiche geometriche della sezione del tubolare: diametro=88.9mm, spessore 8mm;

sono state condotte le verifiche a pressoflessione e taglio in accordo ai criteri indicati al capitolo 4 del DM 17/01/2018; i risultati sono esposti in Tabella 7.4.

Cautelativamente, la verifica è stata condotta considerando come agenti nella medesima sezione di calcolo i valori massimi delle diverse azioni sollecitanti (assiale, tagliante, flettente) riportate nella seguente tabella:

Tabella 7.4: Azioni di calcolo sui micropali.

| Fase | Micropalo | N [kN/m] | V [kN/m] | M [kNm/m] | interasse [m] | N [kN/palo] | V [kN/palo] | M [kNm/palo] |
|---|-----------|----------|----------|-----------|------------------|-------------|-------------|--------------|
| SLU - Configurazione transitoria=SLE*1.3 | E1 | 2.872 | 0.2081 | 0.1469 | 2.5 | 9.3 | 0.7 | 0.5 |
| | E2 | - | - | - | 2 | - | - | - |
| | P1 | 33.44 | 4.748 | 1.033 | 0.5 | 21.7 | 3.1 | 0.7 |
| Fase | Micropalo | N [kN/m] | V [kN/m] | M [kNm/m] | interasse [m] | N [kN/palo] | V [kN/palo] | M [kNm/palo] |
| SLU - Configurazione Definitiva=SLE*1.3 | E1 | -1.028 | 0.1299 | 0.1356 | 2.5 | -3.3 | 0.4 | 0.4 |
| | E2 | -8.283 | 0.2751 | 0.2138 | 2 | -21.5 | 0.7 | 0.6 |
| | P1 | -22.47 | 6.595 | 0.8595 | 0.5 | -14.6 | 4.3 | 0.6 |
| Fase | Micropalo | N [kN/m] | V [kN/m] | M [kNm/m] | interasse | N [kN/palo] | V [kN/palo] | M [kNm/palo] |
| SLV ax=0.299 beta=0.75 | E1 | 55.93 | 2.074 | 1.225 | 2.5 | 139.8 | 5.2 | 3.1 |
| | E2 | 6.609 | 2.824 | 1.932 | 2 | 13.2 | 5.6 | 3.9 |
| | P1 | -112.3 | 13.55 | 1.968 | 0.5 | -56.2 | 6.8 | 1.0 |

Tabella 7.5: Verifica strutturale micropali.

| Dati Micropalo | |
|-----------------------|--------------------------|
| $\varphi_{esterno} =$ | 88.9 mm |
| spessore = | 8 mm |
| $f_{yk} =$ | 355 MPa |
| $\gamma_{M0} =$ | 1.05 |
| Area = | 2033.24 mm ² |
| $W_{pl} =$ | 52529.15 mm ³ |

| Fase | Micropalo | N [kN/palo] | V [kN/palo] | M [kNm/palo] | A_v [mm ²] | $V_{c,Rd}$ [kN] | Verifica a taglio | N_{cRd} [kN] | M_{cRd} [kNm] | a | n | $M_{N,Rd}$ [kNm] | Verifica a presso- flessione | $V/V_{c,Rd} < 0.5?$ | Verifica N |
|---|-----------|-------------|-------------|--------------|-----------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|---------------------------------|---------------------|------------|
| SLU - Configurazione transitoria=SLE*1.3 | E1 | 9.3 | 0.7 | 0.5 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0136 | 17.760 | ok | ok | ok |
| | P1 | 21.7 | 3.1 | 0.7 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0316 | 17.760 | ok | ok | ok |
| Fase | Micropalo | N [kN/palo] | V [kN/palo] | M [kNm/palo] | A_v [mm ²] | $V_{c,Rd}$ [kN] | Verifica a taglio | N_{cRd} [kN] | M_{cRd} [kNm] | a | n | $M_{N,Rd}$ [kNm] | Verifica a presso- flessione | $V/V_{c,Rd} < 0.5?$ | Verifica N |
| SLU - Configurazione Definitiva=SLE*1.3 | E1 | -3.3 | 0.4 | 0.4 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0049 | 17.760 | ok | ok | ok |
| | E2 | -21.5 | 0.7 | 0.6 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0313 | 17.760 | ok | ok | ok |
| | P1 | -14.6 | 4.3 | 0.6 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0212 | 17.760 | ok | ok | ok |
| Fase | Micropalo | N [kN/palo] | V [kN/palo] | M [kNm/palo] | A_v [mm ²] | $V_{c,Rd}$ [kN] | Verifica a taglio | N_{cRd} [kN] | M_{cRd} [kNm] | a | n | $M_{N,Rd}$ [kNm] | Verifica a presso- flessione | $V/V_{c,Rd} < 0.5?$ | Verifica N |
| SLV ax=0.299 beta=0.75 | E1 | 139.8 | 5.2 | 3.1 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.2034 | 16.648 | ok | ok | ok |
| | E2 | 13.2 | 5.6 | 3.9 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0192 | 17.760 | ok | ok | ok |
| | P1 | -56.2 | 6.8 | 1.0 | 1294.4 | 252.67 | ok | 687 | 17.76 | 0.3004 | 0.0817 | 17.760 | ok | ok | ok |

7.7. Verifiche strutturali della sezione in c. a. (Parete)

Cautelativamente, la verifica è stata condotta considerando come agenti nella medesima sezione di calcolo i valori massimi delle diverse azioni sollecitanti (assiale, tagliante, flettente) riportate al paragrafo 2.10 e riassunte nella seguente tabella:

| | Interasse [m] | | 0.5 |
|---------------------------------|---------------|------------|-----------|
| | N [kN] | Mmax [kNm] | Vmax [kN] |
| SLE-Configurazione finale (pav) | 0.00 | 1.11 | 2.88 |
| SLU-Configurazione finale (pav) | 0.00 | 1.44 | 3.74 |
| SLV-kh=0.299 beta 0.75 | 0.00 | -24.53 | -20.08 |

7.7.1. Armatura Prevista

| | |
|-------------------|---------|
| Armature : | 5 ø 16; |
| Copriferro netto: | 30 mm. |

7.7.2. SLU, SLE

| | |
|-------------------------------|---|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai)senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento alla sismicità: | Zona non sismica |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | | |
|----------------|---|---------------------|-----|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 | |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 14.16 | MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 | |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 | |
| | Diagramma tensioni-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 | |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 15.000 | MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 15.000 | MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 | mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 11.250 | MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.300 | 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. $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.00 MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 30.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø16 | (10.1 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø16 | (10.1 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 3.8 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 3.8 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 3.8 | 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 | 1.44 | 3.74 | 0.00 |

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 | 0.00 | 1.11 |

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 | 0.00 | 1.11 (44.86) |

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 | 0.00 | 1.11 (44.86) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 3.0 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 20.8 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 3.0 | 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. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|------|------|-------|-------|----------|------|------|--------|--------------|
| 1 | S | 0.00 | 1.44 | -0.28 | 97.63 | 67.800 | 26.3 | 0.14 | 0.70 | .1 (3.9) 12) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

| | |
|--------|--|
| ec max | Deform. unit. massima del conglomerato a compressione |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es min | Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione) |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.) |
| es max | Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione) |
| Ys max | Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.) |

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 30.0 | -0.00013 | 26.2 | -0.02154 | 3.8 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| d | Altezza utile sezione [cm] |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [< 0.02] |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 3.74 | 157.70 | 26.2 | 100.0 | 0.0077 | 0.00 |

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. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| 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 | 0.11 | 30.0 | 0.00 | 22.9 | -4.7 | 26.2 | 7.7 | 768 | 10.1 | 0.0 |

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 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00003 | 0.00001 | 0.50 | 0.60 | 0.000014 (0.000014) | 299 | 0.004 (990.00) | 44.86 |

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 | 0.11 | 30.0 | 0.00 | 22.9 | -4.7 | 26.2 | 7.7 | 768 | 10.1 | 0.0 |

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

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00003 | 0.00001 | 0.50 | 0.60 | 0.000014 (0.000014) | 299 | 0.004 (0.40) | 44.86 |

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 | 0.11 | 30.0 | 0.00 | 22.9 | -4.7 | 26.2 | 7.7 | 768 | 10.1 | 0.0 |

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

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00003 | 0.00001 | 0.50 | 0.40 | 0.000014 (0.000014) | 299 | 0.004 (0.30) | 44.86 |

7.7.3. SLV

| | |
|-------------------------------|--|
| Descrizione Sezione: | |
| Metodo di calcolo resistenza: | Stati Limite Ultimi |
| Normativa di riferimento: | N.T.C. |
| Tipologia sezione: | Sezione predefinita di trave (solette, nervature solai) senza staffe |
| Forma della sezione: | Rettangolare |
| Percorso sollecitazione: | A Sforzo Norm. costante |
| Condizioni Ambientali: | Poco aggressive |
| Riferimento Sforzi assegnati: | Assi x,y principali d'inerzia |
| Riferimento alla sismicità: | Zona non sismica |

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

| | | |
|----------------|---|---------------------|
| CALCESTRUZZO - | Classe: | C25/30 |
| | Resistenza compress. di progetto fcd: | 14.16 MPa |
| | Deform. unitaria max resistenza ec2: | 0.0020 |
| | Deformazione unitaria ultima ecu: | 0.0035 |
| | Diagramma tensioni-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 |
| | Sc limite S.L.E. comb. Rare: | 15.000 MPa |
| | Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: | 15.000 MPa |
| | Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti: | 0.400 mm |
| | Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: | 11.250 MPa |
| | Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: | 0.300 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. $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 1.00 | |
| Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: | 0.50 | |
| Comb.Rare - Sf Limite: | 360.00 | MPa |

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 30.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø16 | (10.1 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø16 | (10.1 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 3.8 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 3.8 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 3.8 | 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 | -24.53 | -20.08 | 0.00 |

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 | 0.00 | 1.11 |

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 | 0.00 | 1.11 (44.86) |

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 | 0.00 | 1.11 (44.86) |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm

Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.8 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 3.0 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.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette) § 4.1.2.1.2.1 NTC: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1) NTC]

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. |
|--------|-----|------|--------|-------|--------|----------|-----|------|--------|
| 1 | S | 0.00 | -24.53 | -0.28 | -97.63 | 3.981 | 3.7 | 0.14 | 0.70 |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|----------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00350 | 0.0 | -0.00013 | 3.8 | -0.02154 | 26.2 |

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

Ver S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
 Ved Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
 Vwct Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23) NTC]
 d Altezza utile sezione [cm]
 bw Larghezza minima sezione [cm]
 Ro Rapporto geometrico di armatura longitudinale [< 0.02]
 Scp Tensione media di compressione nella sezione [Mpa]

| N°Comb | Ver | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | -20.08 | 157.70 | 26.2 | 100.0 | 0.0077 | 0.00 |

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.)
 D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
 (D barre = 0 indica spaziatura superiore a $5(c+\varnothing/2)$ e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11) NTC / (7.14) EC2)

| 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 | 0.11 | 30.0 | 0.00 | 22.9 | -4.7 | 26.2 | 7.7 | 768 | 10.1 | 0.0 |

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 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00003 | 0.00001 | 0.50 | 0.60 | 0.000014 (0.000014) | 299 | 0.004 (990.00) | 44.86 |

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 | 0.11 | 30.0 | 0.00 | 22.9 | -4.7 | 26.2 | 7.7 | 768 | 10.1 | 0.0 |

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

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00003 | 0.00001 | 0.50 | 0.60 | 0.000014 (0.000014) | 299 | 0.004 (0.40) | 44.86 |

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 | 0.11 | 30.0 | 0.00 | 22.9 | -4.7 | 26.2 | 7.7 | 768 | 10.1 | 0.0 |

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

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00003 | 0.00001 | 0.50 | 0.40 | 0.000014 (0.000014) | 299 | 0.004 (0.30) | 44.86 |

7.8. Verifiche a punzonamento dei cordoli

Le azioni in testa micropali in base allo stato limite considerato sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 7.6: Azioni assiali in testa micropali.

| Fase | Micropalo | N[kN/palo] |
|--------------------|-----------|------------|
| Scavo SLU | E1 | 9.098 |
| Pavimentazione SLU | E1 | -3.24 |
| | E2 | -21.534 |
| SLV | E1 | 139.82 |
| | E2 | 13.16 |

Con riferimento al paragrafo 4.1.2.3.5.1 inerente gli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio, la verifica a punzonamento viene condotta cautelativamente considerando come resistenza a taglio/punzonamento il seguente valore:

$$V_{Rd} = v_{min} \cdot A$$

dove:

- $v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}}$
- $k = 1 + (200 / d)^{1/2} \leq 2$

con

- d = altezza utile della sezione in mm;
- A = area laterale del solido di calcestruzzo considerato nella verifica (si ipotizza il solido poliedrico e la piastra presente in testa micropalo di forma quadrata di lato 250mm); tale area laterale è determinata ipotizzando una diffusione delle tensioni all'interno del calcestruzzo con angolo $\leq 30^\circ$ come indicato negli schemi;
- $f_{ck} = 25$ MPa.

7.8.1. Micropalo E1

Il micropalo inclinato E1 è vincolato al cordolo superiore.

L'azione assiale in testa è di trazione allo SLU/SLV con valore massimo:

$$N_{Ed} = 139.82 \text{ kN (trazione).}$$

Lo schema di riferimento per la verifica a punzonamento è riportato nella figura seguente.

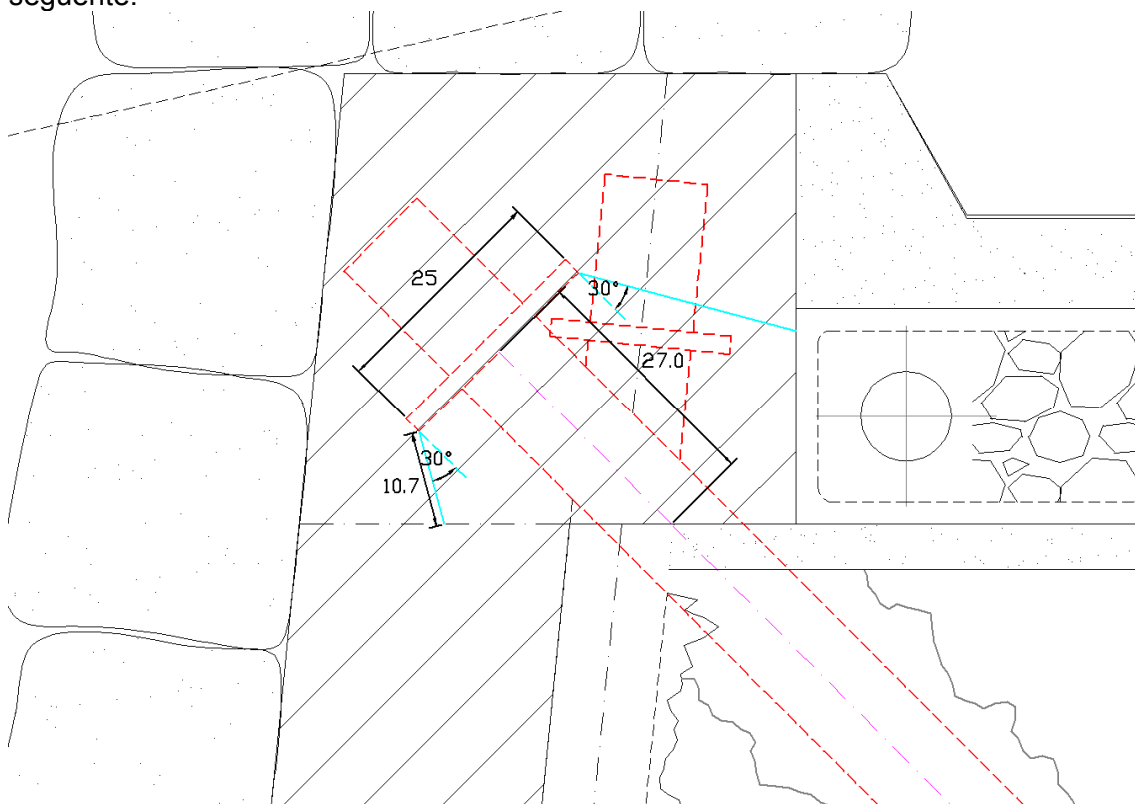


Figura 7-1: Schema di riferimento per verifica punzonamento micropalo E1 (misure in cm); in azzurro le linee di diffusione delle tensioni.

La valutazione della resistenza a taglio/punzonamento determinata in accordo al criterio esposto in precedenza è la seguente:

- $d = 270 \text{ mm} \Rightarrow k = 1.861 \Rightarrow v_{\min} = 0.444 \text{ MPa}$;
- $A = 326437 \text{ mm}^2$;
- $V_{Rd} = 143.63 \text{ kN}$.

La **verifica a punzonamento** risulta **soddisfatta** essendo $V_{Rd} > N_{Ed}$.

7.8.2. Micropalo E2

Il micropalo inclinato E2 è vincolato al cordolo inferiore.

L'azione assiale in testa è di compressione o trazione allo SLU/SLV con valore massimo:

$$N_{Ed} = -21.534 \text{ kN (compressione);}$$

$$N_{Ed} = 13.16 \text{ kN (trazione).}$$

Lo schema di riferimento per la verifica a punzonamento è riportato nella figura seguente.

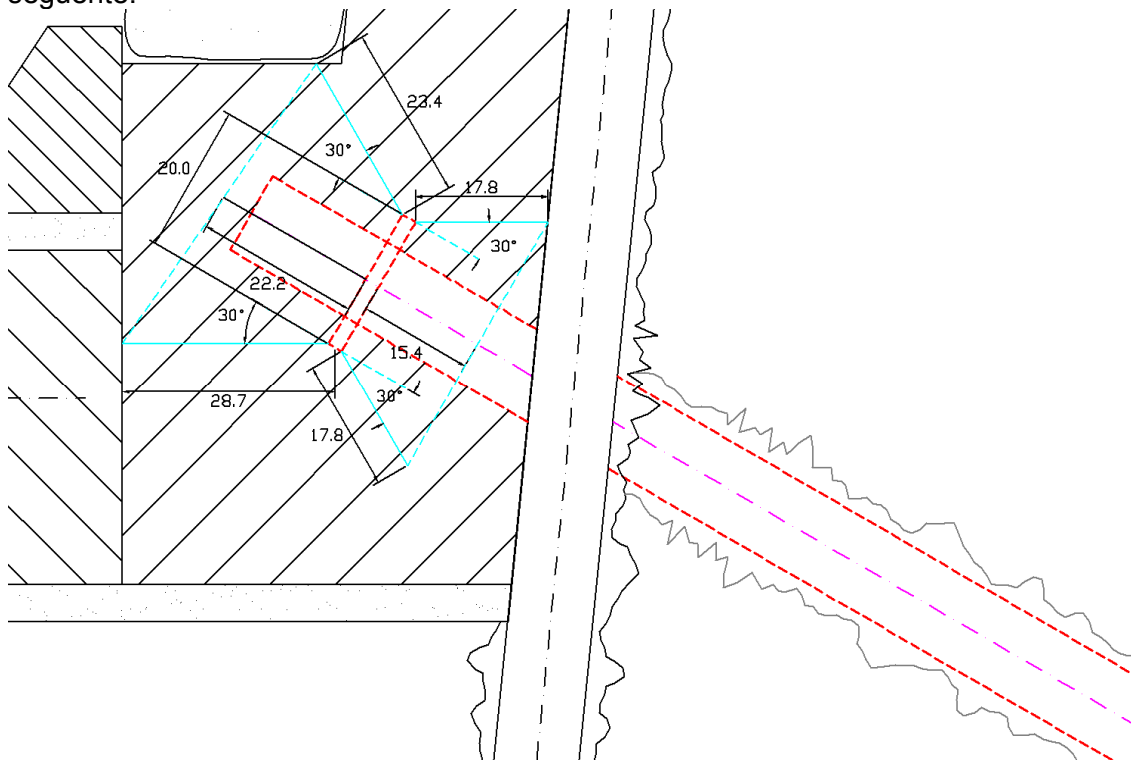


Figura 7-2: Schema di riferimento per verifica punzonamento micropalo E2 (misure in cm); in azzurro le linee di diffusione delle tensioni.

La valutazione della resistenza a taglio/punzonamento nel caso di sforzo di trazione determinata in accordo al criterio esposto in precedenza è la seguente:

- $d = 154 \text{ mm} \Rightarrow k = 2.0 \Rightarrow v_{\min} = 0.548 \text{ MPa}$;
- $A = 178024 \text{ mm}^2$;
- $V_{Rd} = 97.503 \text{ kN}$.

La valutazione della resistenza a taglio/punzonamento nel caso di sforzo di compressione, determinata in accordo al criterio esposto in precedenza è la seguente:

- $d = 222 \text{ mm} \Rightarrow k = 1.95 \Rightarrow v_{\min} = 0.476 \text{ MPa}$;
- $A = 292152 \text{ mm}^2$;
- $V_{Rd} = 139.219 \text{ kN}$.

La **verifica a punzonamento** risulta **soddisfatta** essendo $V_{Rd} > N_{Ed}$.

7.9. SLE – SPOSTAMENTI

In Figura 2-12 e Figura 2-13 sono riportati gli spostamenti agli SLE.

Gli spostamenti allo SLE sono modesti ed inferiori al centimetro e quindi compatibili con lo scopo dell'opera.

7.10. VERIFICHE GEOTECNICHE DI CAPACITÀ PORTANTE DEI TIRANTI PASSIVI (MICROPALI INCLINATI)

Il calcolo viene condotto il DM 17/01/2018 Par.6.6.2, adottando come azioni di calcolo ai fini delle verifiche quelle determinate in precedenza nelle combinazioni SLU/SLV, assunte coerenti con la combinazione A1+M1+R3.

7.10.1. Azioni di calcolo

Per il singolo micropalo soggetto a trazione, in Tabella 7.5 sono riportate le azioni massime di trazione.

7.10.2. Lunghezza della fondazione:

Dai grafici in cui sono riportate le azioni assiali sui micropali per gli stati limite considerati:

- E1: Figura 2-17;
- E2: Figura 2-19;

ed in particolare dall'andamento dello sforzo assiale lungo il singolo micropalo, è possibile individuare il tratto di "fondazione", ovvero quello in cui si ha il trasferimento della sollecitazione dall'ancoraggio al terreno.

7.10.3. Parametri geotecnici

Per quanto concerne la tensione tangenziale di progetto si rimanda al paragrafo 6.3.

In particolare, per le unità di substrato 2a e 2b è stata assunta una resistenza specifica laterale micropali-terreno $\tau = 300 \text{ kPa}$.

7.10.4. Resistenza di progetto a trazione del tirante.

Le fondazioni dei micropali/barre interessano le unità 2a e 2b.
 La resistenza a trazione del tirante è determinata con la formula:

$$R_{a,d} = \frac{R_{a,k}}{\gamma_R}$$

Con:

- $R_{a,k} = \min \left\{ \frac{(R_{a,cal})_{media}}{\xi_{a3}}, \frac{(R_{a,cal})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$
- dove R_{cal} viene determinata considerando una resistenza specifica laterale micropali-terreno $\tau = 300$ kPa;
- ξ_{a3} e ξ_{a4} : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagini considerate, ovvero dall'affidabilità della caratterizzazione geotecnica nel volume significativo; nel caso in esame è disponibile un numero di indagini ≥ 5 e di conseguenza, $\xi_{a-massimo} = 1.6$;
- $\gamma_R = 1.2$ (tiranti permanenti).

Risulta pertanto:

- micropali (diametro perforazione = 160 mm):
 - $R_{cal} = 150.8$ kN/m;
 - $\xi_a = 1.6$;
 - $\gamma_R = 1.2$;
 - $R_d = 78.5$ kN/m di fondazione;

7.10.5. Verifica della fondazione dei tiranti

Nel seguito viene determinata la lunghezza minima (L_{min}) della fondazione dei tiranti (micropali e barre) e confrontata con quella disponibile (L_{disp}) in base allo schema di progetto.

La verifica è soddisfatta quanto $L_{disp} > L_{min}$.

Tabella 7.7: Verifica della lunghezza di fondazione dei tiranti.

| Fase | | E_{ed} [kN] | L [m] | R_{ad} [kN] | $FS=R_{ad}/E_{ed} \geq 1$ |
|-----------|-------------------------------|------------------|----------|------------------|---------------------------|
| E1 | Scavo $Slu=Sl_e*1.3$ | 9.33 | 8.32 | 653.45 | 70 |
| | Pavimentazione $Slu=Sl_e*1.3$ | 0.00 | | 0.00 | |
| | SLV | 139.83 | 8.41 | 660.52 | 5 |
| | Stabilità statica 1.1 | 22.29 | 8.41 | 660.52 | 30 |
| | stabilità sisma+ 1.2 | 103.70 | 8.17 | 641.67 | 6 |
| | Stabilità sisma- 1.2 | 87.98 | 8.32 | 653.45 | 7 |
| Fase | | E_{ed} [kN] | L [m] | R_{ad} [kN] | $FS=R_{ad}/E_{ed} \geq 1$ |
| E2 | Scavo $Slu=Sl_e*1.3$ | | | | - |
| | Pavimentazione $Slu=Sl_e*1.3$ | -21.54 | 4.7 | 369.14 | 17.1 |
| | SLV | 111.86 | 4.17 | 327.51 | 2.9 |
| | Stabilità statica 1.1 | 17.83 | 4.7 | 369.14 | 20.7 |
| | stabilità sisma+ 1.2 | 82.96 | 4.7 | 369.14 | 4.4 |
| | Stabilità sisma- 1.2 | 70.38 | 4.7 | 369.14 | 5.2 |

7.11. VERIFICHE GEOTECNICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche sono state condotte con il software agli elementi finiti Plaxis 2018. La verifica di stabilità è stata condotta mediante la procedura definita phi-c reduction illustrata al paragrafo 2.6.

Di seguito si riportano i risultati in forma tabellare:

Tabella 7.8: Risultati delle analisi di stabilità

| | $FS=\Sigma M_{sf}$ | Figura di riferimento |
|----------------|--------------------|-----------------------|
| <i>Statica</i> | 1.829 | Figura 7-3 |
| <i>Sisma+</i> | 1.681 | Figura 7-4 |
| <i>Sisma-</i> | 1.756 | Figura 7-5 |

Nelle figure seguenti sono riportate le immagini del modello di calcolo al termine della procedura phi-c reduction adottando coesione drenata per l'unità 2a pari a 26kPa; in particolare sono visualizzati, con mappa a colori, gli spostamenti totali al termine della fase.

Le verifiche risultano soddisfatte, inoltre le superfici critiche non interagiscono con l'opera.

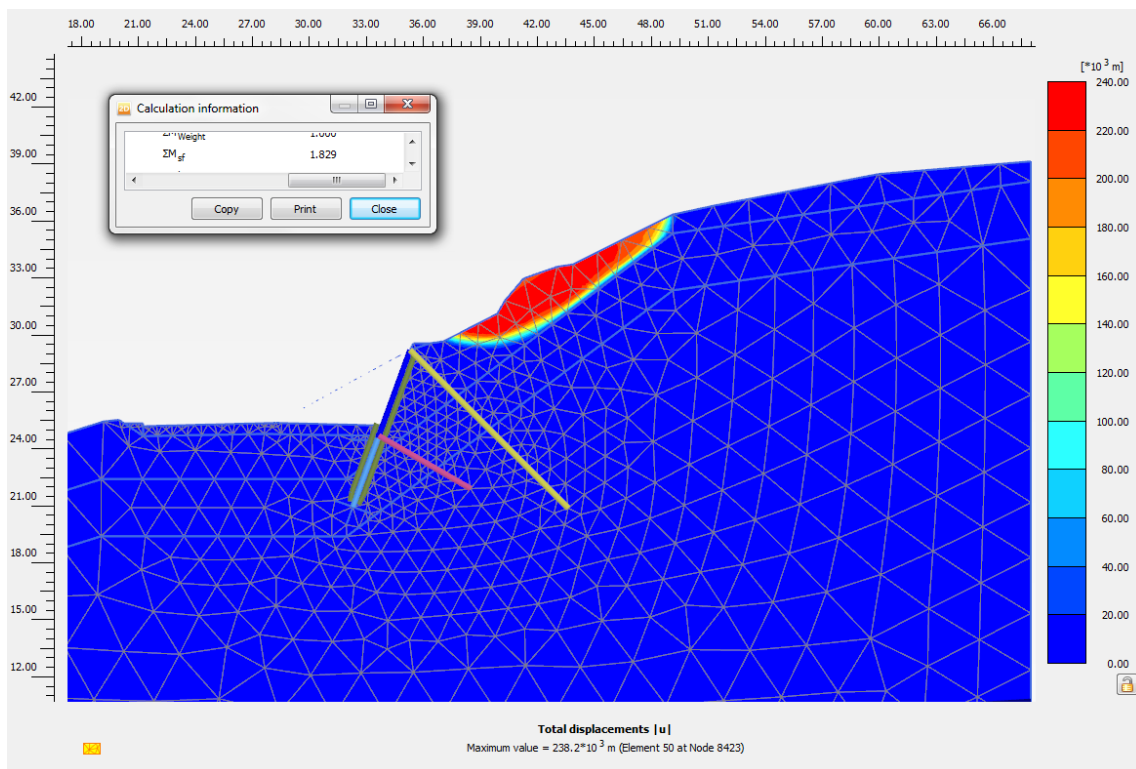


Figura 7-3: Verifica di Stabilità- Condizione Statica

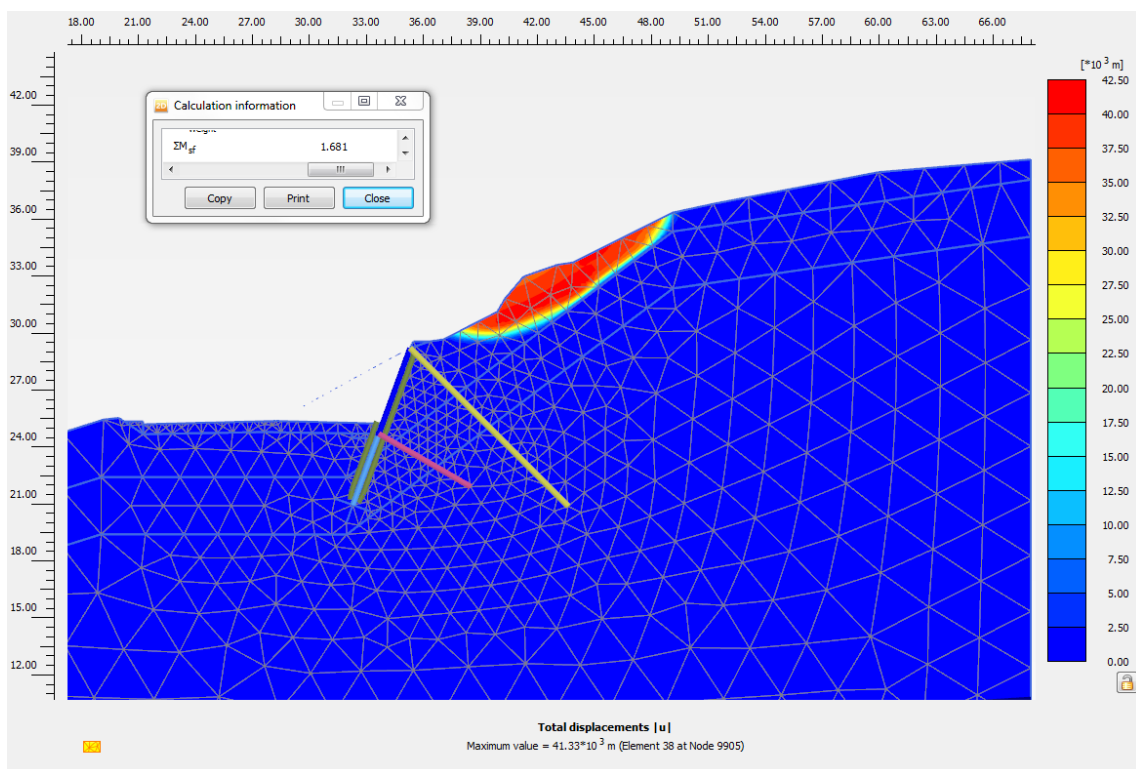


Figura 7-4: Verifica di Stabilità -Condizione Sismica_Sisma+

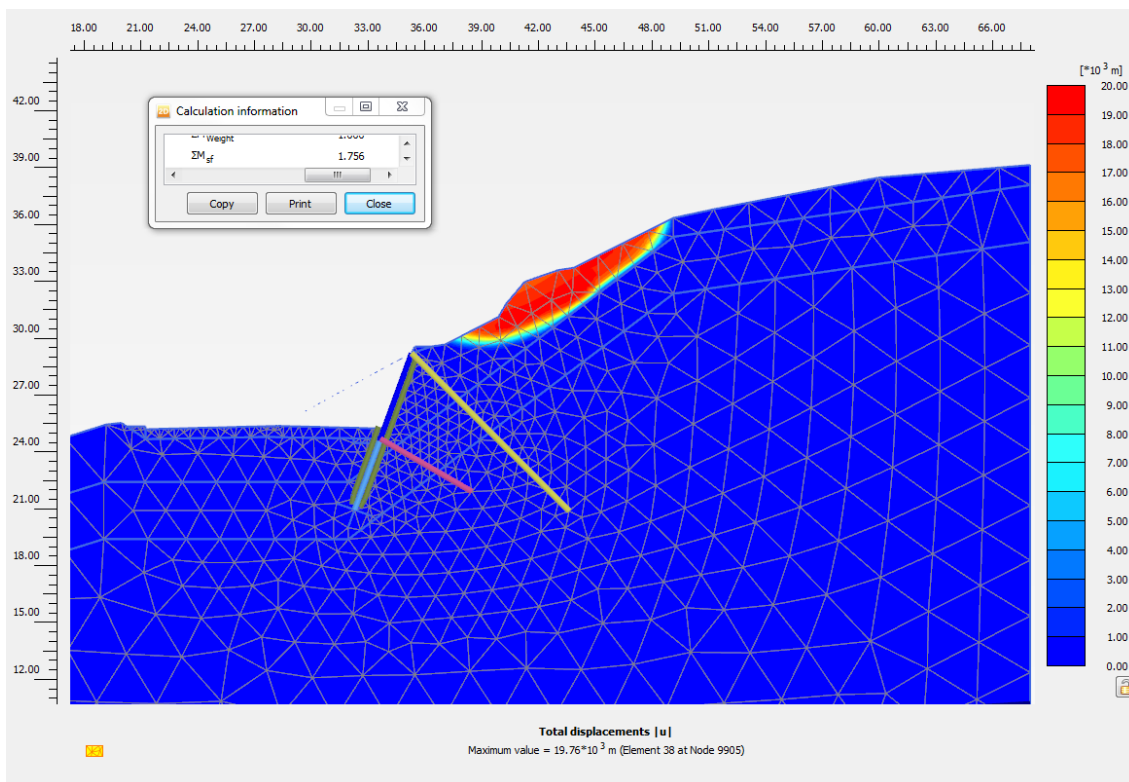


Figura 7-5: Verifica di Stabilità - Condizione Sismica_Sisma-