

PNRR

MISSIONE 2 - C. 4 INT. 2.1B

Legge 29.12.2021, n. 233 - conversione in Legge, con modificazioni, del D.L. 6.11.2021, n. 152

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR), NELL'AMBITO DELLA MISSIONE 2 ,COMPONENTE 4, INVESTIMENTO 2.1B - MISURE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONE E PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO LAVORI"

SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL FOSSO DELL'ACQUACETOSA A MONTE DI VIA C. COLOMBO CUP F81J21000020001

SOGGETTO ATTUATORE:



DIREZIONE LAVORI PUBBLICI E INFRASTRUTTURE

RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO:
Arch. Lea Fanny Pani



DIREZIONE LAVORI



G.EDI.S. S.r.l.

DIRETTORE DEI LAVORI:
Ing. Raffaele Abbate

DIRETTORE OPERATIVO:
Geol. David Simoncelli



G. EDI. S. S.r.l.
L'Amministratore e l'Unico
Responsabile
David Simoncelli

IMPRESA

I.GE.CO. S.R.L. unipersonale
IMPRESA GENERALI COSTRUZIONI
04100 LATINA – Viale Gramsci n. 5
P.I.-C.F. n.00277730594 – tel/fax 0773/489048

I.GE.CO. S.r.l.
IMPRESA GENERALI COSTRUZIONI

PERIZIA DI VARIANTE 1

Oggetto dell'elaborato:

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO SISTEMA MICROTUNNELLING A SCUDO APERTO

Località	Fase	N. Tavola	Scala	Data
ROMA	PV	RELS01		12/03/2026

Versioni

Data modifica

0.	Prima emissione
1.	
2.	
3.	

PNRR

MISSIONE 2 - C. 4 INT. 2.1B

Legge 29.12.2021, n. 233 - conversione in Legge, con modificazioni, del D.L. 6.11.2021, n. 152

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR), NELL'AMBITO DELLA MISSIONE 2 ,COMPONENTE 4, INVESTIMENTO 2.1B - MISURE PER LA GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONE E PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO LAVORI"

SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL FOSSO DELL'ACQUACETOSA A MONTE DI VIA C. COLOMBO CUP F81J21000020001

SOGGETTO ATTUATORE:



**REGIONE
LAZIO**

DIREZIONE LAVORI PUBBLICI E
INFRASTRUTTURE, INNOVAZIONE
TECNOLOGICA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:
Arch. Lea Fanny Pani



Relazione di Calcolo

Impiego del metodo di scavo con micro-tunnelling con scudo aperto

il Direttore Tecnico,
della Società Ingegno Engineering s.r.l.

Dot. Ing. ~~Giacomo Ferrillo~~





INDICE

1. PREMESSA e SCOPO	4
1.1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
1.2. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	5
1.3. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI SCAVO DA IMPIEGARE	8
2. RIFERIMENTI	11
2.1. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	11
2.2. RIFERIMENTI DI PROGETTO	12
3. ANALISI DEI CARICHI	13
4. ANALISI DI STABILITA' DELLA NUOVA METODOLOGIA ESECUTIVA	14
4.1. ANALISI DEL COMPORTAMENTO ALLO SCAVO	14
4.2. IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO	15
4.3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'INTERVENTO	17
4.4. ANALISI DELLA STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO	19
1.....	23
2.....	23
4.4.1. Analisi di Stabilità del fronte di Scavo	23
5. ANALISI NUMERICA PER LA VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI A PIANO CAMPAGNA	27
5.1. MODELLO DI CALCOLO – CLUSTERs DI VOLUME	27
5.2. MODELLO DI CALCOLO – ELEMENTI STRUTTURALI	27
5.3. MODELLO DI CALCOLO – ANALISI DEI CARICHI e GEOMETRIE	29
5.4. FASISTICA E TASSI DI RILASCIO	30
5.5. OUTPUT DELLA MODELLAZIONE NUMERICA	33
5.5.1. Evoluzione delle deformazioni in fase di scavo – cedimenti u_y a piano campagna	34
5.5.2. Evoluzione delle deformazioni – cedim. totali del semispazio	36
6. FLUIDO BENTONITICO DA UTILIZZARE	38



7. PIANO DI MONITORAGGIO – Sottoattraversamento di via C. Colombo	38
8. Piastra in acciaio e profilato.....	41
8.1. Verifiche locali saldature piastra sp=3.00cm su piastra rinforzata 3.00cm	43
8.2. Verifiche locali saldature piastra sp=3.00cm su HEB140	45
9. CONCLUSIONI.....	47
INDICE DELLE FIGURE.....	48
INDICE DELLE TABELLE.....	49

ALLEGATI: Grafico intervento piastre su Cristoforo Colombo

Tabulato di calcolo PLAXIS



1. PREMESSA e SCOPO

Il presente documento viene redatto dalla scrivente Società Ingegno Engineering s.r.l. a firma del proprio direttore tecnico Dott. Ing. Giacomo Ferrillo su richiesta della Società appaltatrice dei lavori in epigrafe I.GE.CO. s.r.l..

L'oggetto della consulenza consiste nel verificare la fattibilità tecnica della tecnologia di scavo impiegata nella realizzazione dell'attraversamento idraulico (2 tubi $\Phi 2200\text{mm}$) nell'ambito del progetto di "Sistemazione idraulica del Fosso dell'Acquacetosa a monte di via C. Colombo (CUP F81J21000020001)".

1.1. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'oggetto della presente relazione è lo studio della interazione fra il terreno in situ e lo scavo eseguite con la tecnica del *micro - tunnelling* a scudo aperto, per l'adeguamento della sezione idraulica dell'attraversamento del rilevato di via C. Colombo mediante la posa di n. 2 collettori in calcestruzzo aventi diametro nominale DN 2200mm l'uno.

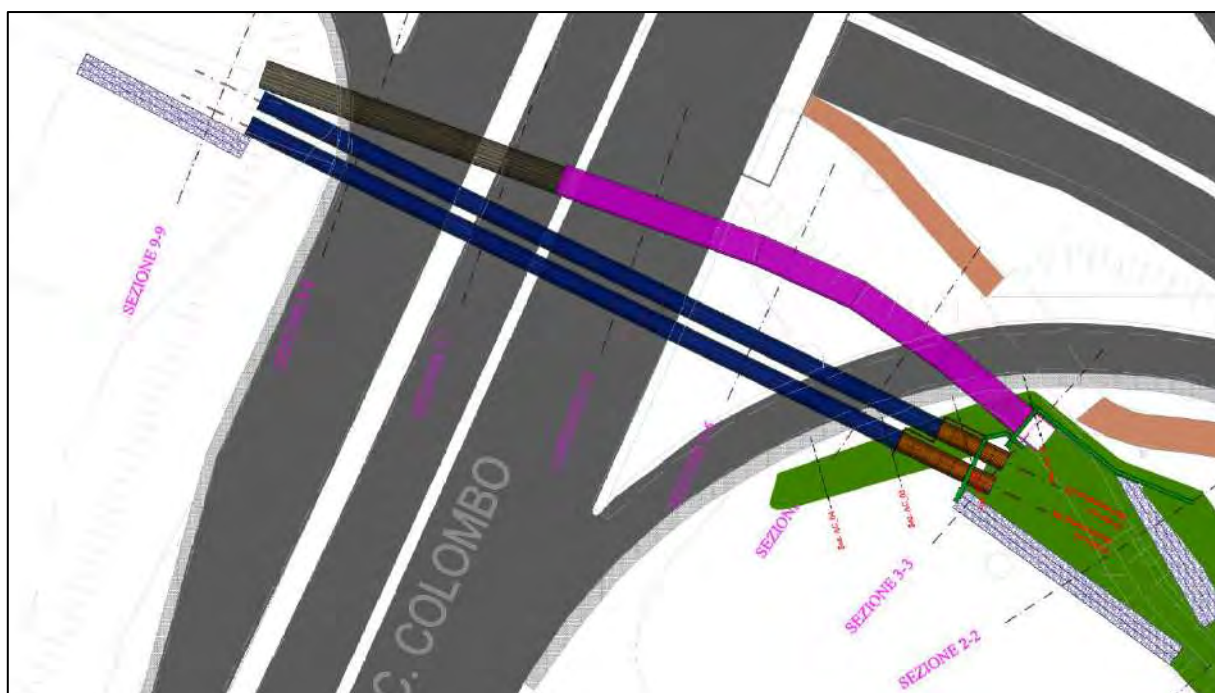


Figura 1. Planimetria area di intervento – in blu i due tubi oggetto del documento (2 tubi DN 2200mm)



1.2. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Il *micro-tunnel* è caratterizzato da uno sviluppo lineare di circa 102m (per ciascun tubo). Il tracciato previsto attraversa trasversalmente, in sotterraneo, la via *Cristoforo Colombo* all'altezza del parco del *Laurentino* e il comparto *Eurocastellaccio*. I ricoprimenti dal piano campagna all'asse tubazione lungo tutto il tracciato variano tra un minimo di 2,20m ed un massimo di 5,50m di profondità.

Il rivestimento del *micro-tunnel* sarà costituito da tubi in calcestruzzo armato prefabbricati aventi lunghezza complessiva di 2,5m ovvero comprensiva dei collari metallici di collegamento da impiegare per ottimizzare i trasporti eccezionali in ambiente urbano. Il diametro interno è 220cm, il diametro esterno è di 270cm con uno spessore del rivestimento in calcestruzzo di 25cm.

La spinta per la realizzazione dei due tunnel è prevista a partire da un manufatto, ubicato a monte e realizzato con pali e micropali per consentire lo scavo compatibile con la quota di imbocco. Sul fondo è stata realizzata una fondazione a piastra (platea di varo) da cui spiccano setti in cemento armato progettati del medesimo manufatto: su un lato con lo scopo di sostenere gli apparati meccanici utilizzati per la spinta, su quello opposto per consentire i due imbocchi di innesto, e lateralmente per sostenere la spinta del terreno.

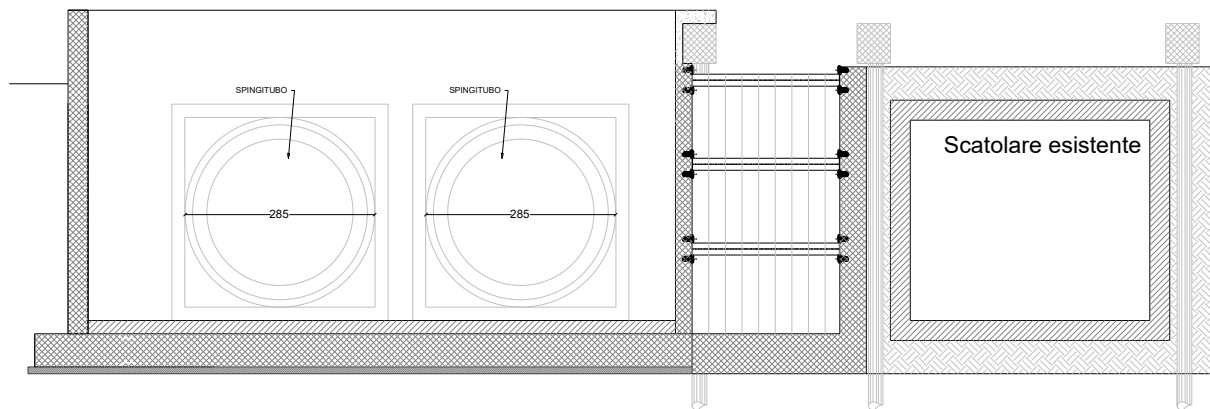


Figura 2. Sezione dell'attraversamento in corrispondenza dell'area di imbocco

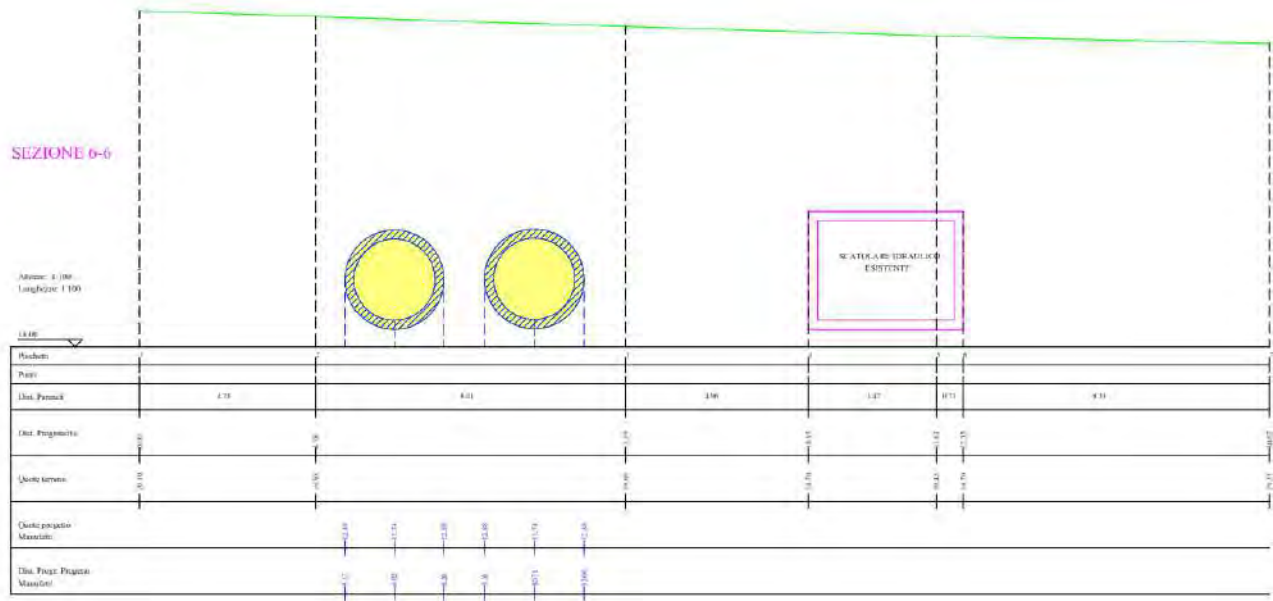


Figura 3. Sezione dell'attraversamento idraulico in corrispondenza di via *Cristoforo Colombo*

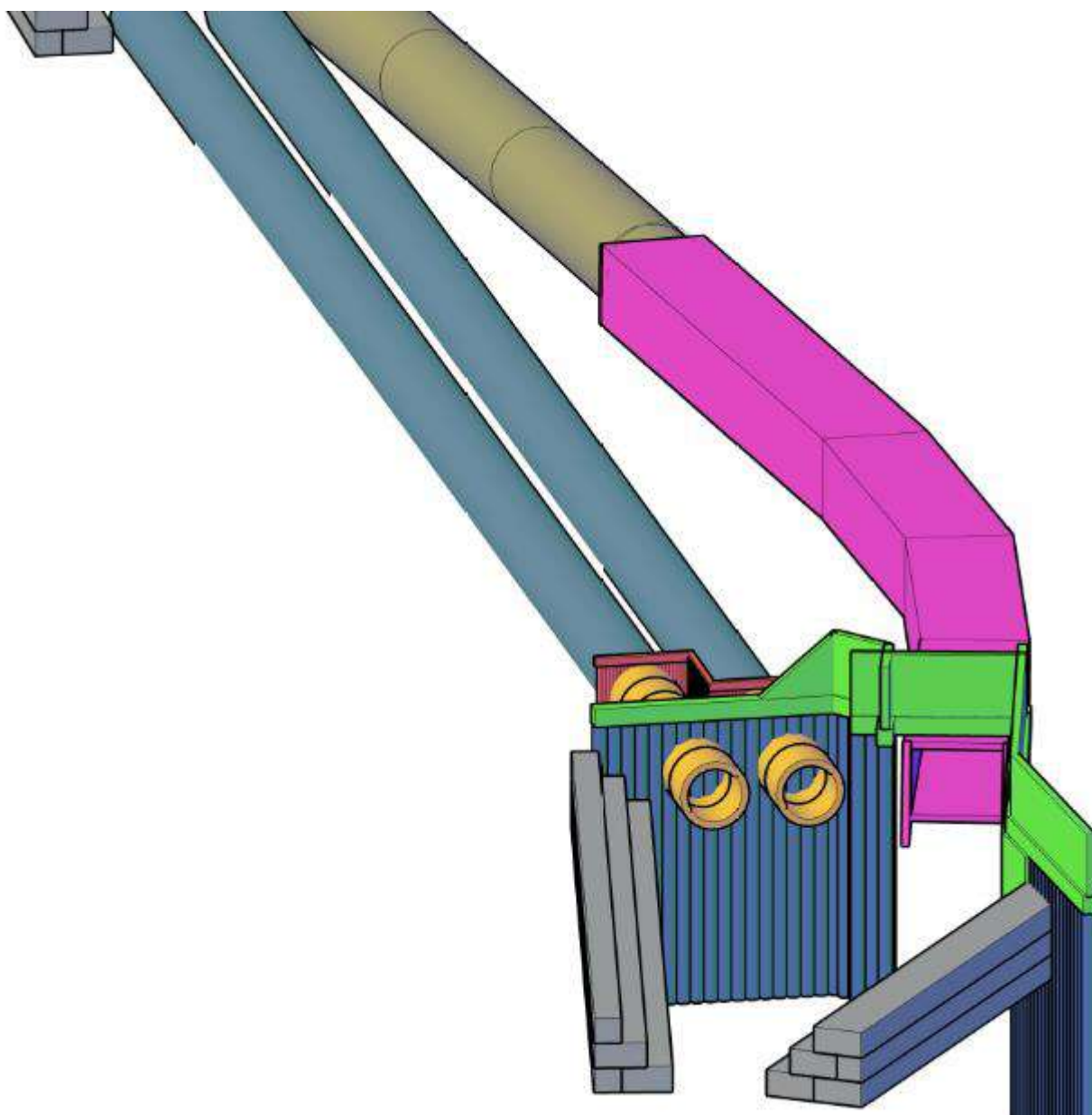


Figura 4. Vista assometrica 3D dell'attraversamento

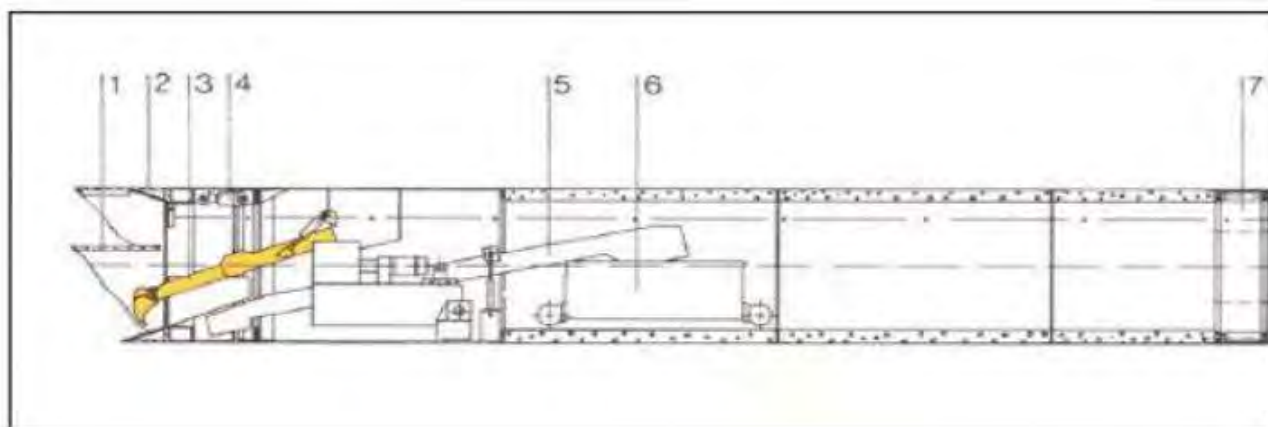


1.3. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA DI SCAVO DA IMPIEGARE

La tecnica del *micro - tunnelling* consiste nel far avanzare a spinta delle tubazioni rigide tra il pozzo di spinta ed il pozzo di arrivo all'interno di una micro-galleria, che è realizzata con scavo a piena sezione.

Il progetto esecutivo prevedeva l'impiego di una fresa del tipo MTBM (*Micro Tunnel Boring Machine*), del tipo a scudo chiuso con sistema idraulico di scavo e di evacuazione dello smarino (tipo "*slurry shield*").

Tuttavia, a valle degli opportuni approfondimenti avvenuti a seguito delle cantierizzazioni; dettati dalle esigue profondità di ricoprimento che aumentano le possibilità di interferire con sottoservizi esistenti non censiti, della realizzazione degli interventi in corrispondenza degli imbocchi ed a seguito di approfondimento della consistenza geologico-tecnica dei terreni da attraversare; la ditta esecutrice ha ritenuto possibile valutare l'opportunità di impiegare una metodologia di scavo differente. Trattandosi infatti di attraversamenti in terreni prevalentemente limo-argillosi non saturi, la ditta esecutrice ha ritenuto possibile procedere con *minitunnel* a smarino meccanico, con fresa puntuale a scudo aperto. L'impiego di questa metodologia di scavo (nel seguito definita "*a scudo aperto*"), oltre ad essere suggerita dalla difficoltà nel reperimento delle attrezzature previste in progetto (MTBM a scudo chiuso), è avallata dalle normative di riferimento (UNI/PdR del 26/02/2017).



- 1 Lamiera di parzializzazione
- 2 Parte anteriore scudo direzionabile (anche 14)
- 3 Braccio escavatore
- 4 Cilindri di guida (anche 15)
- 5 Nastro trasportatore
- 6 Vagoncino
- 7 Stazione di spinta intermedia

Figura 5. Scudo direzionale aperto per perforazioni in terreni scioli



Tabella 4.a - Prospetto riepilogativo tecnologie di posa di tubazioni e valori di applicazione						
Punto	Tecnologia	Diametro esterno Min e Max di riferimento [mm]	Valori empirici di applicazione			
			Distanza di Spinta	Minimo ricoprimento*	Posa di tratti curvilinei	Posa sotto falda
6.2.1	Spingitubo a percussione pneumatica	≥ 101,8 (4") ≤ 4500 (177")	In funzione dei diametri e della natura del terreno e dei materiali impiegati consultare le tabelle specifiche delle varie tecnologie.	1.00m	No	No
6.2.2	Pressotrivella	≥ 250 ≤ 1400		1.5xDe Min. 1.00m	No	No
6.2.3	Talpa a percussione	≥ 45 ≤ 180		10xDe	No	No
6.2.4	Martello fondo foro	≥ 76 ≤ 1220		1.5xDe Min. 1.00m	No	No
6.3.1	Scudo direzionale aperto	≥ 1200 ≤ 3600		1.5-2.00xDe	Si	No**
6.3.2	Scudo direzionale chiuso	≥ 1800 ≤ 3600		1.5-2.00xDe	Si	Possibile
6.3.3	Microtunnelling	≥ 300 ≤ 3600		1.5-2.00xDe	Si	Si
6.3.4	Pilot System	≥ 250 ≤ 1280		1.5-2.00xDe	Si	No**
6.3.5	Direct Pipe	≥ 800 ≤ 1500		1.5-2.00xDe	Si	Si

(*) In funzione delle caratteristiche geologiche/geotecniche.

(**) In taluni casi specifici da valutare in sede di progetto si può operare purché il livello di falda non superi la metà del diametro del tubo.

Figura 6. Applicabilità in funzione delle caratteristiche geologiche dei terreni in sito – UNI/PdR

Tabella 4.b - Applicabilità in funzione delle caratteristiche geologiche dei terreni in sito									
Parametro di riferimento	Spingitubo a percussione pneumatica	Presso-trivella	Talpa a percussione	Martello fondo foro	Scudo direzionale aperto	Scudo direzionale chiuso	Micro-tunnelling	Pilot Sistem	Direct Pipe
Roccia	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI
Argilla consistente	Possibile	SI	SI	NO	SI	SI	SI	Possibile	SI
Argille Medie e soffici	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Sabbie	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
Ghiaie	SI	Possibile	SI	SI	Possibile	SI	SI	NO	SI
Sotto Falda	NO	NO	NO	NO	NO	Possibile	SI	Possibile	SI

Figura 7. Prospetto riepilogativo tecnologie di posa tubazione e valori di applicazione - UNI/PdR del 26/02/2017



L'impiego di questa tecnologia presenta una serie di vantaggi che, unitamente alle motivazioni sopra esposte fanno propendere verso l'opportunità di impiegare la metodologia di scavo suggerita dalla ditta esecutrice. Di seguito si elencano alcuni dei vantaggi nell'impiego di questa nuova metodologia:

- l'utilizzo di uno scudo aperto contribuirebbe di avanzare "a vista", monitorando di continuo quello che avviene sul fronte di scavo evitando *extra-scavi*;
- la presenza di trovanti e/o sottoservizi (ricordando che si passa sotto una viabilità esistente, quindi l'eventualità è realistica) possono essere tempestivamente segnalati e gestiti senza particolare complessità, evitando fermi o guasti alle apparecchiature o danneggiamento dei sottoservizi esistenti;

Si evidenzia che il cambio della metodologia di scavo non inficia sulle caratteristiche finali dell'intervento, che saranno del tutto coerenti (in termini di geometrie, lunghezze dell'intervento spessori, materiali, ecc.) al progetto esecutivo approvato.



2. RIFERIMENTI

2.1. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Anagnostou G., Kovari K., "Face stability in slurry and EPB shield tunnelling", *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, Mair e Taylor eds., (1996), pp. 453 - 458;
- Broere W., "On the face support of microtunneling TBM", *Tunneling and Underground Space Technology*, n.46, (2015), pp. 12 - 17;
- Broere W., "Tunnel Face Stability & New CPT Applications", Ph.D. thesis, Delft University of Technology, (2001), Available on the server: www.library.tudelft.nl;
- Broere W., "Face stability calculation for a slurry shield in heterogeneous soft soils", *Tunnels and Metropolises*, San Paolo, Brazil, (1998), pp. 215 - 218;
- Caneen S., Trumpi S., "Latest Technology used on breaking curved drive microtunnel and other unique project requirements", *North American Society for Trenchless Technology*, n. TM1-T5-05, (2016), pp. 1 - 9;
- FSTT, "Microtunneling and Horizontal Drilling", *French National Project Micro-tunnels*, ISTE Ltd, (2006), pp.1 - 341;
- Hayes B., "Microtunneling and pipejacking - The Herrenknecht range and reference projects", *Presentation*, (2013), pp. 1 - 84;
- Herrenknecht M., "Microtunneling with Herrenknecht MicroMachines", *Lesson at Colorado School of Mines*, (2003), pp. 1 - 13;
- Mohammadi J., Shahriar K., Moarefvand P., Hosseini S., "Tunnel face stability analysis in soft ground in urban tunnelling by EPB shield (Case study:7th Line in Teheran Metro)", *First Asian and 9th Iranian Tunneling Symposium*, (2011), pp. 1-9;
- Niemeier W., "Geodetic Techniques for the Navigation, Guidance and Control of Construction Process", *12th FIG Symposium*, Baden, (2006), pp. 1 - 15;



- PJA, “Guide to best practice for the installation of pipe jacks and microtunnels”, British Pipe Jacking Association guidelines, (1995), pp. 1 – 50;
- PJA, “An introduction to pipe jacking and microtunneling design”, pp. 1 – 27;
- Russo G., “Evaluating the required face – support pressure in EPBS advance mode”, Gallerie e grandi opere sotterranee, n.71, (2003), pp. 1 – 14;
- Tamez E., “Estabilidad de tuneles excavados en suelos”, Mexican Engineering Academy, (1984);
- UNI/PdR del 26/02/2017 “Tecnologie di realizzazione delle infrastrutture interraste a basso impatto ambientale – Posa di tubazioni a spinta mediante perforazioni orizzontali”;
- DM 17/01/2018 “NTC 2018 – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale”.

2.2. RIFERIMENTI DI PROGETTO

Ai fini della redazione del presente documento, sono stati impiegati come riferimenti, i seguenti documenti di progetto esecutivo, nell’ambito dell’intervento di “*Sistemazione idraulica del Fosso dell’Acquacetosa a monte di via C. Colombo – CUP F81J21000020001*”:

- 07 – Relazione Idrologica e Idraulica;
- 08 – Relazione Geologica e modellazione sismica sito;
- 14 – Relazione Geotecnica Attraversamenti idraulici;
- 44 – Adeguamento Attraversamento idraulico via *C. Colombo*;
- 44 – Adeguamento Attraversamento idraulico via *C. Colombo* – Sezioni e profili;
- 55 – Piano Indagini Distribuzione planimetrica;
- 63 – Capitolato Speciale di Appalto componente tecnica
- Relazione Illustrativa dei lavori di attraversamento – *LA.SPE*;
- *Report di indagini geologiche integrative datate 10/03/2026 a firma del geologo Dott. Conforti Marco, incaricato dalla Ditta esecutrice I.GE.CO. s.r.l.*



3. ANALISI DEI CARICHI

Ai fini delle analisi condotte nei seguenti paragrafi (analisi di stabilità del fronte di scavo e analisi numerica finalizzata alla valutazione delle subsidenze in corrispondenza del sottoattraversamento di via C. Colombo) sono state considerate le azioni desunte dalle NTC2018 al par. 5.1.3.3.3, del quale si riporta uno stralcio di seguito:

5.1.3.3.3 Schemi di Carico

Le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dai seguenti Schemi di Carico:

Schema di Carico 1: è costituito da carichi concentrati su due assi in tandem, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m, e da carichi uniformemente distribuiti come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali, considerando un solo carico tandem per corsia, disposto in asse alla corsia stessa. Il carico tandem, se presente, va considerato per intero.

Schema di Carico 2: è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico di forma rettangolare, di larghezza 0,60 m ed altezza 0,35 m, come mostrato in Fig. 5.1.2. Questo schema va considerato autonomamente con asse longitudinale nella posizione più gravosa ed è da assumere a riferimento solo per verifiche locali. Qualora sia più gravoso si considererà il peso di una singola ruota di 200 kN.

Schema di Carico 3: è costituito da un carico isolato da 150 kN con impronta quadrata di lato 0,40 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi non protetti da sicurvìa.

Schema di Carico 4: è costituito da un carico isolato da 10 kN con impronta quadrata di lato 0,10 m. Si utilizza per verifiche locali su marciapiedi protetti da sicurvìa e sulle passerelle pedonali.

Schema di Carico 5: costituito dalla folla compatta, agente con intensità nominale, comprensiva degli effetti dinamici, di 5,0 kN/m². Il valore di combinazione è invece di 2,5 kN/m². Il carico folla deve essere applicato su tutte le zone significative della superficie di influenza, inclusa l'area dello spartitraffico centrale, ove rilevante.

Schemi di Carico 6.a, b, c: In assenza di studi specifici ed in alternativa al modello di carico principale, generalmente cautelativo, per opere di luce maggiore di 300 m, ai fini della statica complessiva del ponte, si può far riferimento ai seguenti carichi $q_{L,a}$, $q_{L,b}$ e $q_{L,c}$

Nel caso da analizzare con più attenzione, relativo al sotto-attraversamento di via C. Colombo, si considereranno le azioni evidenziate nel rettangolo rosso.

L'azione di 200kN - rappresentativa dello scarico di un singolo asse - sarà applicata con asse longitudinale nella posizione più gravosa, ossia in asse a ciascuno degli scavi da eseguire. L'ipotesi di carico ipotizzato può ritenersi cautelativa ed idonea per il problema in esame (verifiche di tipo locale) in quanto: (1) il paragrafo normativo si riferisce al caso dei ponti stradali, per i quali le considerazioni sulle azioni agenti sono più cautelative rispetto alle combinazioni di carico diffuse sui rilevati stradali; (2) la normativa prevede di applicare l'azione di 200kN su un'area di impronta di $0,6 \times 0,35m$.

Nel caso dell'analisi di stabilità per la sezione di scavo "ordinaria", quindi non sotto la viabilità esistente (Via C. Colombo), si considera forfettariamente e cautelativamente un carico uniformemente distribuito pari a $5 kN/m^2$.

Sia per le analisi di stabilità che per l'analisi numerica eseguita le azioni derivanti dai carichi gravitazionali sono automaticamente valutate dai software di calcolo impiegati e funzione dei pesi per u.v. definiti nelle relazioni geologiche e geotecniche.



4. ANALISI DI STABILITA' DELLA NUOVA METODOLOGIA ESECUTIVA

A seguito della modifica della metodologia di scavo dell'attraversamento idraulico in oggetto, nel seguente paragrafo saranno riproposte le analisi di stabilità del fronte in fase di scavo nell'ipotesi di assenza di contenimento del fronte. In continuità con la pregressa documentazione di progetto esecutivo, l'analisi di stabilità sarà eseguita con il metodo di *Tamez* [1984]. Questo è impiegato proprio nella valutazione del fattore di stabilità del fronte di scavo.

4.1. ANALISI DEL COMPORTAMENTO ALLO SCAVO

Di seguito verranno illustrati i criteri utilizzati per lo studio del comportamento della cavità e dei sistemi di sostegno necessari all'avanzamento degli scavi. L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente pressoché indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici ed a sforzi tettonici, porta ad una generale redistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo. Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base della conoscenza dei terreni interessati dalla galleria, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere degli interventi di stabilizzazione o, più in generale, degli schemi di avanzamento. Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

La sequenza delle varie fasi progettuali proposta dal metodo *ADeCo-RS* può essere di seguito riassunta nelle quattro seguenti tappe fondamentali:

- **fase conoscitiva** che consente, attraverso un'analisi dettagliata ed un esame critico dei dati disponibili, una preliminare caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso interessato dallo scavo;
- **fase di diagnosi** nella quale analizzando i differenti gruppi geomeccanici individuati nella fase conoscitiva ed in base ai differenti valori di copertura, si individuano delle classi di comportamento, considerando quale elemento centrale per l'analisi, la stabilità del fronte di scavo:



- caso A, fronte stabile;
 - caso B, fronte stabile a breve termine;
 - caso C, fronte instabile.
-
- **fase di terapia** che consente, successivamente all'individuazione delle categorie di comportamento, la definizione degli interventi progettuali più idonei da mettere in atto per garantire la stabilità della cavità nel breve e nel lungo termine. In questa fase si è svolta, per la verifica del comportamento del terreno allo scavo a seguito degli interventi di consolidamento e supporti previsti, analisi mediante l'utilizzo di modelli numerici agli elementi finiti per la sezione di scavo ritenuta maggiormente significativa;
 - **fase di controllo**, ove sono forniti, per la sezione tipo, dei valori limite di deformazione e delle linee guida. Nel caso in esame la fase di controllo sarà applicata mediante il controllo dei cedimenti a piano campagna.

4.2. IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO

La valutazione della evoluzione dello stato tensionale, che si genera sul fronte a seguito dell'apertura di una galleria è possibile solo attraverso l'attenta analisi dei fenomeni deformativi in quanto essi possono dare indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine. In particolare, l'elemento centrale per l'analisi dell'evoluzione dei fenomeni deformativi al contorno del cavo, attraverso la quale è possibile valutare la stabilità della galleria, è il comportamento del fronte di scavo. Tale comportamento è condizionato da:

- caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- forma e dimensioni della sezione di scavo;
- schema di avanzamento.

Il comportamento de fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: stabile, stabile a breve termine ed instabile.



Gallerie a fronte stabile (CASO A)

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità si mantiene elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del vaco sarà stabile (rimanendo in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta; il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che in tal modo non può più avere un comportamento di tipo elastico, ed assume un comportamento elasto-plastico.

I fenomeni deformativi connessi con tale redistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna causata dal fatto che localmente viene superata la resistenza di picco. Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimentata con adeguati interventi di preconsolidamento al fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal caso verrà fornito l'opportuno contenimento all'ammasso che potrà così essere condotto verso la stabilità, ed il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine. In caso contrario lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni di instabilità del cavo.

Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti manifestandosi già prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso terroso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche del mezzo, provocando in tal modo la mobilitazione della resistenza di fasce di terreno concentriche alla galleria e sempre più esterne, a scapito di ulteriori deformazioni inducendo quindi forme di instabilità irreversibili fino a causare il crollo della galleria.



Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

L'analisi circa il comportamento allo scavo, in assenza di interventi (fase di DIAGNOSI o ANTE INTERVENTI), è stata effettuata attraverso i classici metodi dell'equilibrio limite. Infatti a causa della scarsa copertura (nel caso in esame si tratta di scavi superficiali nelle quali il ricoprimento è più piccolo i tre diametri del cavo $C \ll 3D$) non è stato possibile applicare il metodo delle linee caratteristiche.

4.3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELL'INTERVENTO

La caratterizzazione geotecnica impiegata per le valutazioni oggetto del presente documento parte da quella già eseguita in progetto esecutivo. Allo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico del sito e di valutare le caratteristiche geotecniche e sismiche locali del terreno, e, tenendo conto della Classe d'uso II dell'intervento, sono state eseguite le seguenti indagini:

- a) Un rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- b) acquisizione dati tratti da studi effettuati in aree limitrofe e per lavorazioni analoghe;
- c) n°1 sondaggio stratigrafico orizzontale a carotaggio continuo spinto per una lunghezza di 50m;
- d) prelievo di n°4 campioni di terreno e relative prove di laboratorio;
- e) n°1 sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di -20m dal boccaforo, ubicato in corrispondenza dell'intervento B e congiuntamente:
 - n°3 prove SPT all'interno del foro;
 - n°1 prelievo di campione indisturbato di terreno e relative prove di laboratorio;
- f) n°26 prove penetrometriche dinamiche continue con strumento di tiposuperpesante (DPSH);
- g) n°6 MASW eseguite mediante tomografo digitale equipaggiato con cavo trigger esterno per acquisizioni multicanale;
- h) n°4 prova tromometrica con tromografo digitale;
- i) misurazioni mediante strumenti portatili sugli affioramenti presenti.

Nel caso dell'intervento A (realizzazione di opere arginali in terra e di un tunnel tramite tecnica spingi-tubo per posa opera di tubature), i dati ottenuti hanno evidenziato, dall'alto verso il



basso, una situazione stratigrafica caratterizzata a larga scala da una successione di terreni pressoché omogenea, con un andamento degli strati, che segue in linea di massima la morfologia dell'area, evidenziata nelle sezioni geologiche interpretative, caratterizzata dalla presenza di:

- LIMI E LIMI ARGILLOSI POCO CONSISTENTI, con uno spessore minimo di circa 6m;
- LIMI E LIMI ARGILLODI MODERATAMENTE CONSISTENTI, con uno spessore minimo di 3m;
- LIMI E LIMI ARGILLOSI DA MEDIAMENTE CONSISTENTI A CONSISTENTI, con uno spessore minimo di 1,2m.

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche alle quali si fa riferimento per l'analisi di stabilità dello scavo con metodo dello *scudo aperto* oggetto del presente documento, si fanno presenti i valori ottenuti dalla campagna prove integrative eseguite dal geologo Conforti e riassunte nel suo elaborato datato 10/03/2026. In particolare, per le analisi di seguito eseguite sono state considerate a scopo cautelativo le risultanze del campione 2 S1C2 in cui la C_u è pari a 19kPa.

Tabella 1. Principali parametri fisico-meccanici dei terreni del sito in esame

Sigla Campione	Profondità (m)	Angolo d'attrito Φ' (°)	Coesione C' (kPa)	Coesione C_u ($R_c/2$) = C_u (kPa)	Peso di Volume (kN/m^3)	Granulometria
Campione 1 S1C1	1.50 – 2.00	34.4	0.0	38	18.7	Sabbia limosa debolmente argillosa
Campione 2 S1C2	2.50 – 3.00	33.4	7.6	19	17.2	Sabbioso debolmente limoso ghiaioso argilloso
Campione 1 S2C1	5.50 - 6.00	29.7	16.9	131	19.1	Piroclastite sabbioso limosa debolmente argillosa
PARETE PAR	0.00 - 0.25	33.8	18.9	67	17.8	Piroclastite limoso sabbiosa argillosa

TABELLA 1 – Principali parametri fisico-meccanici dei terreni del sito in esame

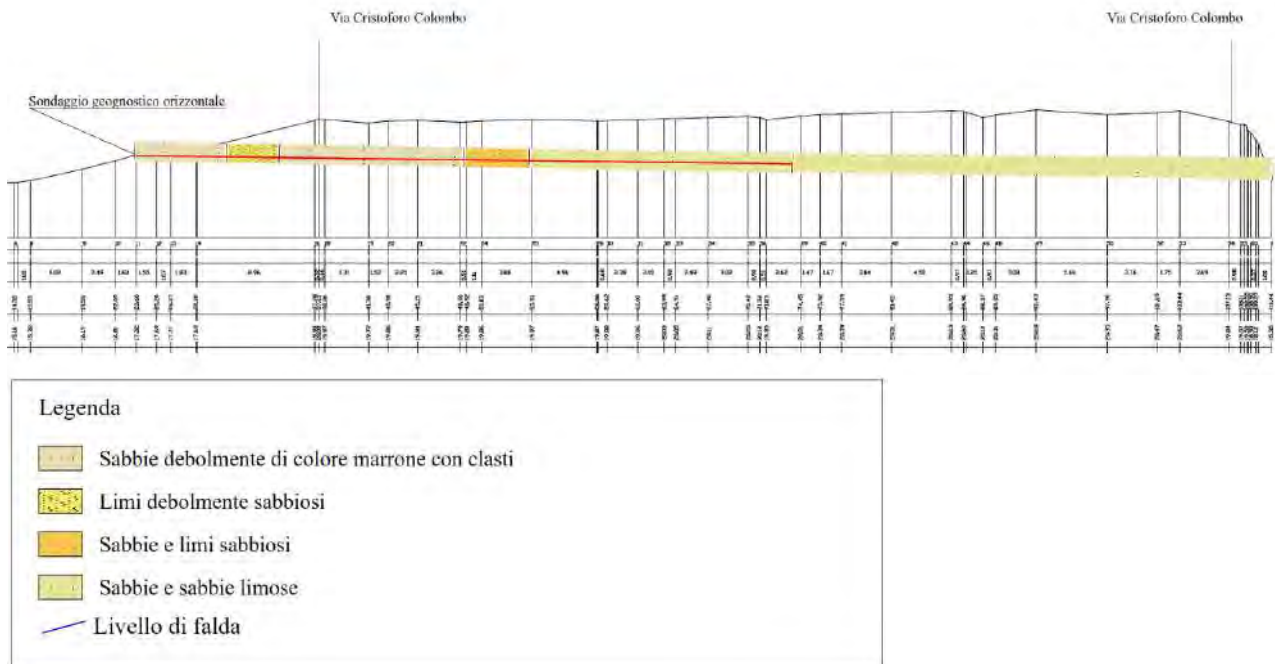


Figura 8. Profilo geologico dell'area di intervento a valle dell'interpretazione del sondaggio geognostico orizzontale

4.4. ANALISI DELLA STABILITA' DEL FRONTE DI SCAVO

Quando si raggiunge l'instabilità del fronte di scavo, se non vengono adottate delle azioni correttive, i movimenti del terreno progressivamente si estendono interessando un volume sempre maggiore di materiale. Uno stato d'equilibrio limite può essere eventualmente raggiunto ma a spese della formazione di un camino al di sopra della volta della galleria e di un piano di rottura del nucleo in corrispondenza del piano di massima mobilitazione dello sforzo di taglio, come mostrato in

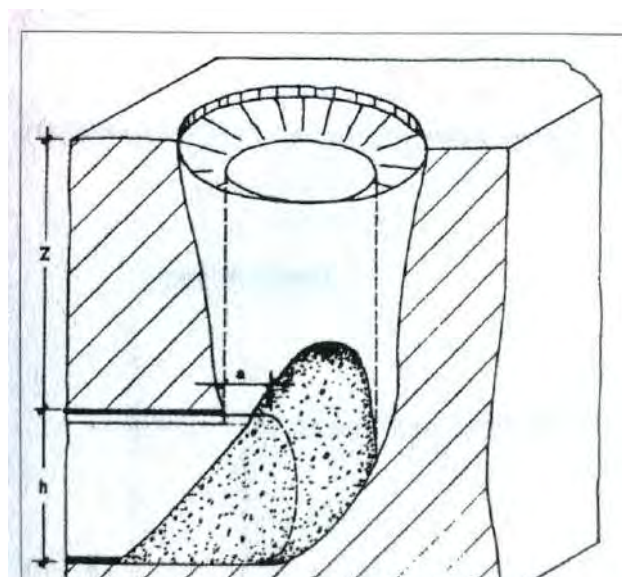


Figura 9. Formazione di un camino instabile



seguito. Il volume d'ammasso terroso o roccioso che insiste in corrispondenza della volta della galleria avrà la forma di un paraboloide come mostrato nelle seguenti figure.

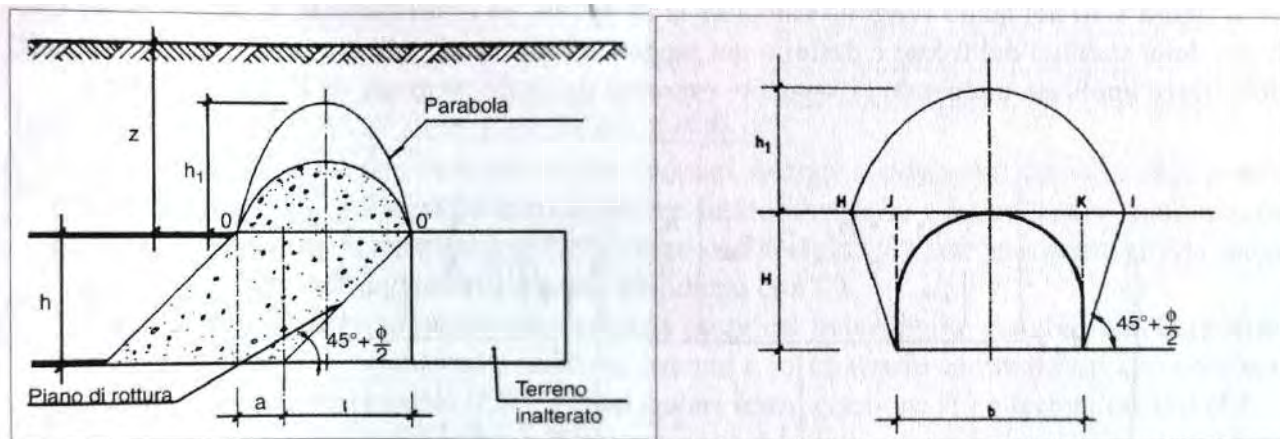


Figura 10. Definizione del paraboloide – Direttrice della parabola (sx). Parabola di *Protodyakonov* (dx)

Con riferimento a queste ultime si ha:

$$OO' = a + l$$

$$h_1 = \frac{B}{2f}$$

nelle quali:

- a è o sfondo della galleria (tratto non rivestito);
- l è la lunghezza del cuneo instabile al fronte, in spinta attiva:

$$l = h \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'_m}{2}\right)$$

con h altezza della galleria e φ'_m valore medio dell'angolo d'attrito dei materiali presenti dall'arco rovescio a piano campagna;

- h_1 è l'altezza del paraboloide, che viene posta pari a:

$$h_1 = \begin{cases} 1.7 \cdot B & \text{se } h_1 \leq Z \\ h_1 = Z & \text{se } h_1 > Z \end{cases}$$

in cui Z è la copertura del cavo. Nel caso $h_1 = Zh_1 = Z$ la superficie di rottura può raggiungere il piano campagna producendo un cratere di subsidenza;

- B è la larghezza del paraboloide, valutabile in maniera analoga ad l a partire dalla larghezza b della galleria:

$$B = b + 2 \cdot h \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'_m}{2}\right)$$

- f è il fattore di *Protodyakonov*:



$$f = \begin{cases} f = \tan(\varphi'_m) \text{ nei terreni privi di coesione } (c' = 0) \\ f = \tan(\varphi'_m) + \frac{c'}{\sigma_c} \text{ nei terreni coesivi } (c' \neq 0) \\ f = \frac{\sigma_c}{100} \text{ negli ammassi rocciosi} \end{cases}$$

in cui σ_c e c' sono, rispettivamente, la resistenza a compressione monoassiale e la coesione del mezzo (nel caso delle terre $\sigma_c = 2c'\sqrt{K_p}$).

Si hanno diversi metodi di calcolo per determinare la stabilità del fronte di scavo di una galleria. Tutti i metodi sono di fatto basati sulla teoria dell'effetto arco, verificata sperimentalmente, combinata con la teoria dell'elasticità. In pratica si tiene conto del fatto che al di sopra della volta dello scavo, da una determinata altezza, l'ammasso roccioso non insiste più sulla zona circostante la galleria, formando il noto effetto arco-cupola.

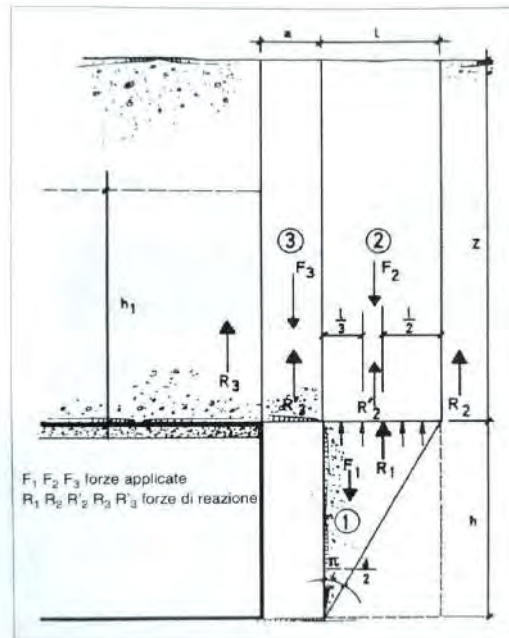


Figura 12. Sistema delle forze agenti sulla volta della galleria per i volumi prismatici (1), (2) e (3)

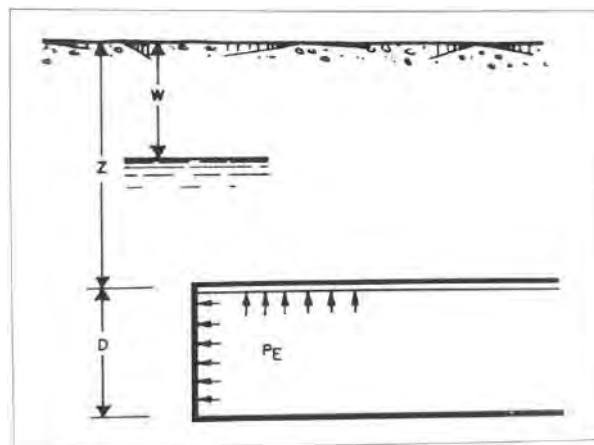


Figura 11. Galleria sotto falda soggetta ad una pressione di stabilizzazione P_E



Per semplificare il calcolo, nel metodo proposto da *Tamez* [1985] il parabolioide è sostituito da un volume prismatico come quello mostrato in figura 10 nella quale vengono calcolate le forze agenti, ed il coefficiente di sicurezza nei confronti della stabilità del fronte è definito dal rapporto tra i momenti delle forze stabilizzanti e quelli delle forze applicate, con un'espressione del tipo:

$$F_s = \frac{A + B + C}{D}$$

Nell'espressione del fattore di sicurezza A, B e C rappresentano, simbolicamente i contributi delle forze resistenti date dai volumi di terreno (1), (2) e (3). D è invece il contributo al momento delle forze applicate. Entrando più nello specifico, i vari contributi possono scriversi:

$$A = \left[\frac{2(\tau_{m2} - \tau_{m3})}{(1 + a/l)^2} + 2\tau_{m3} \right] \cdot \frac{h_1}{b}$$

$$B = \left[\frac{\tau_{m3}}{(1 + a/l)^2 \cdot \sqrt{K_A}} \right] \cdot \frac{h_1}{h}$$

$$C = \left[\frac{3.4c_1}{(1 + a/l)^2 \cdot \sqrt{K_A}} \right]$$

$$D = \left[1 + \frac{2h}{3Z(1 + a/l)^2} \right] \cdot (\gamma Z - P_E)$$

Nelle quali c_1 è il valore medio della coesione al fronte, mentre P_E è l'eventuale pressione di stabilizzazione presente al fronte. I parametri τ_{m2} e τ_{m3} rappresentano i valori medi dello sforzo di taglio agente rispettivamente sulle facce dei prismi (2) e (3). Questi possono scriversi:

$$\tau_{m2} = \begin{cases} c_2 + \frac{K_0}{2} \left[\frac{3.4c_1}{\sqrt{K_A}} - \frac{(\gamma_2 - \gamma_w) \cdot (Z - W)}{2} \right] \text{ per } \left(\frac{Z}{h} < 3 \right) \\ c_2 + \frac{K_0}{2} \left[W\gamma_3 + (Z - h_1 - W) \cdot (\gamma_1 - \gamma_w) + \frac{3.4c_1}{\sqrt{K_A}} - \frac{(\gamma_2 - \gamma_w) \cdot (Z - W)}{2} \right] \text{ per } \left(\frac{Z}{h} \geq 3 \right) \end{cases}$$

$$\tau_{m3} = \begin{cases} c_2 \text{ per gallerie superficiali } \left(\frac{Z}{h} < 3 \right) \\ c_2 + \{0.25[W\gamma_3 + (Z - h_1 - W) \cdot (\gamma_1 - \gamma_w)] - U\} \cdot \tan \phi'_m \text{ per } \left(\frac{Z}{h} \geq 3 \right) \end{cases}$$

nelle quali:

- γ_1 è il peso medio dell'unità di volume del terreno sopra la calotta;
- γ_2 è il peso medio dell'unità di volume del terreno del nucleo da scavare;
- γ_3 è il peso medio dell'unità di volume del terreno sottofalda;
- γ_w è il peso dell'unità di volume dell'acqua;
- U è la pressione interstiziale nel caso di galleria sottofalda (con W profondità della falda).



Spesso, la stabilità del prisma (3) è più critica dell'insieme dei tre prismi e il coefficiente di sicurezza dovrebbe essere assunto considerando il più piccolo fra il coefficiente di sicurezza F_s e quello di seguito riportato, relativo alla rottura del solo prisma (3):

$$F_{s3} = \frac{2\tau_{m3}}{(\gamma Z - P_E)} \cdot \frac{h_1}{b} \cdot \left(1 + \frac{b}{a}\right)$$

4.4.1. Analisi di Stabilità del fronte di Scavo

In questa fase si immagina che non venga eseguito alcun trattamento né al fronte né al contorno od in calotta. Lo scavo viene effettuato in continuo, considerando che il metodo di scavo proposto (*microtunnelling* a scudo aperto) permetta di installare il rivestimento definitivo (tubo DN 2200mm sp. 25cm) a ridosso del fronte (distanza del rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte pari a 1m).

Va osservato che nelle situazioni in cui la copertura della galleria è minore di 3D risulta modesta la capacità degli ammassi terrosi di autosostenersi generando in maniera naturale l'effetto arco a causa del ridotto stato di confinamento e, come già sottolineato precedentemente, in assenza degli adeguati interventi, i fenomeni deformativi generati dallo scavo della galleria potrebbero risentirsi fino al piano campagna.

Data l'importanza che la diffusione di deformazioni plastiche all'interno del mezzo nucleo ha sulla stabilità del fronte e del terreno posto attorno alla cavità, l'analisi di stabilità deve garantire in ogni caso un coefficiente di sicurezza almeno pari a 1,1. In questo modo sarebbe possibile assicurare un comportamento di tipo elastico (a breve termine) del fronte allo scavo minimizzando conseguentemente il decadimento delle proprietà meccaniche del terreno con il livello deformativo indotto.

Come già anticipato nel precedente capitolo 3 relativo all'analisi dei carichi, vengono eseguite due differenti analisi di stabilità:

- la prima in corrispondenza di una sezione "ordinaria", quindi in assenza di viabilità esistenti a piano campagna. In questo caso viene "simulata" la presenza del sovraccarico di 5 kN/m^2 ipotizzando, al di sopra della stratigrafia realmente esistente a PC, uno banco di terreno (di spessore pari ad 1m) avente un peso ($\gamma_{u.v.}$) pari proprio a 5 kN/m^2 ma con caratteristiche di resistenza (c' e ϕ') nulle;
- la seconda in corrispondenza del sottoattraversamento della viabilità esistente via C. Colombo. In questo caso, analogamente a quanto fatto nel caso della precedente sezione, il banco di terreno di spessore pari ad 1m disposto a piano campagna e con parametri di resistenza nulli, ha un peso dell'unità di volume di $16,7 \text{ kN/m}^2$. Tale valore è stato ricavato dividendo il carico puntuale (disposto in asse a ciascuno scavo) di 200kN per l'area di impronta in pianta della porzione di piastra metallica superficiale irrigidita



dalle HEB140. Nel tratto di sottoattraversamento della viabilità esistente in corrispondenza di via C. Colombo, al fine di mitigare gli effetti deformativi a piano campagna indotti dagli scavi, si prevede di installare un sistema di piastre accoppiate (parallele alla viabilità ed ortogonali alle direzioni di scavo) aventi dimensioni di $2 \times 12m$, irrigidite da 2 profili HEB140 per una lunghezza pari a 6 a cavallo della mezzeria lungo i 12m della lunghezza complessiva dalla piastra di irrigidimento. Il carico a piano campagna equivalente si ottiene infatti come $200kN / (2 \times 6m) = 16,7kN/m^2$.

- **N.B.** Dato che gli scavi vengono eseguiti molto rapidamente e che la metodologia esecutiva permette di annullare quasi totalmente i tempi che intercorrono tra l'apertura del fronte e l'installazione del rivestimento in calcestruzzo, si può ipotizzare che si mobilita esclusivamente il comportamento non drenato dei terreni interessati. Pertanto, si assume quale valore agente nel determinare l'eventuale meccanismo di collasso, la coesione non drenata C_u , per la quale prove in campo hanno determinato valori minimi pari a 19kPa. Nelle seguenti analisi di stabilità, si assume quindi, per i terreni interagenti con gli scavi e che intervengono nell'eventuale meccanismo di rottura (quindi sia per il terreno al fronte che per quello tra la calotta ed il piano campagna) un valore di coesione non drenata pari a $C_u = 19kPa$ (cfr. Tabella 1. Principali parametri fisico-meccanici dei terreni del sito in esame).
- Per entrambe le analisi eseguite si ricavava un fattore di sicurezza relativo alla stabilità del fronte di scavo superiore al minimo richiesto ($FS > 1,1$) il fronte può ritenersi quindi in condizioni di stabilità a breve termine.
- Qualora le attività richiedessero soste prolungate per periodi di tempo non brevi e superiori alle normali condizioni di lavoro, dovranno condursi ulteriori analisi di stabilità valutando, eventualmente, interventi di consolidamento che garantiscano una stabilità di medio-lungo termine.

Si riporta nel seguito una tabella riepilogativa dei risultati ottenuti per le analisi di stabilità.



Tabella 2. Analisi di Stabilità SCUDO APERTO – caso 1 senza viabilità a p.c.

TITOLO DEL FOGLIO	ANALISI DI STABILITA' DEL FRONTE
RIFERIMENTO	TAMEZ (1986) - CORNEJO (1988): Instability at the face: its repercussions for tunnelling technology
REVISIONE	4
DATA	11/03/2026
AUTORE	ing. Giacomo Ferrillo

Progetto: "Sistemazione Idraulica del Fosso dell'Acquacetosa a monte di via C. Colombo - CUP F81J21000020001"

Galleria	Spingitubo Acquacetosa
Sezione di analisi	1 (senza viabilità a PC)
Sezione Tipo	cicolare Ø270cm
Area Scavo A_{sca} [m ²]	5,7
Fase di progetto	Parametri da Progetto esecutivo

Geometria del problema

Diametro equivalente della galleria	D_{eq} [m]	2,7
Profondità della calotta dal p.c.	Z [m]	5,8
Altezza dello scavo	h [m]	2,2
Larghezza dello scavo	b [m]	2,2
Lunghezza libera non sostenuta	a [m]	1,0
Tipo di galleria	Superficiale ($Z < 3D$)	

Tipo di terreno		C
Rapporto σ_H/σ_V	K_0 [-]	0,5
Coefficiente di spinta	K_A [-]	0,5
Altezza del paraboloide	h_1 [m]	5,8
Larghezza del paraboloide	B [m]	5,5
Lunghezza prismi in avanzamento	l [m]	1,7

Condizioni idrauliche

Profondità della falda dal p.c.	w [m]	7,6
Peso dell'unità di volume dell'acqua	γ_w [kN/m ³]	10,00
Pressione falda sulla calotta	U [kPa]	0,0

Modello geotecnico del sottosuolo

n° strati di terreno	3	Combinazione di progetto
----------------------	---	--------------------------

Stratigrafia di progetto (valori caratteristici)							
Strato	Tipo	Z_{s-sup} [m]	Z_{s-inf} [m]	γ_n [kN/m ³]	c' [kPa]	Φ' [°]	Z_i [m]
3	A	0,0	1,0	5,0	0,0	0,0	1,0
2	B	1,0	7,0	16,8	19,0	22,0	6,0
1	C	7,0	8,0	17,2	19,0	24,0	1,0

Angolo di attrito di progetto	Φ_{md} [°]	15,8
Peso dell'unità di volume del terreno sopra calotta (su h_1)	γ_1 [kN/m ³]	14,8
Peso dell'unità di volume del terreno da scavare (su h)	γ_2 [kN/m ³]	17,0
Coesione di progetto del terreno sopra calotta (su h_1)	$C_{2,d}$ [kPa]	12,6
Coesione di progetto del terreno da scavare (su h)	$C_{1,d}$ [kPa]	15,2
Angolo di attrito di progetto del terreno da scavare (su h)	Φ_{1d} [°]	18,7
Peso dell'unità di volume del terreno sopra p.f.	γ_3 [kN/m ³]	14,8
Peso dell'unità di volume del terreno sotto p.f.	γ_4 [kN/m ³]	0,0
Carico agente sopra calotta	$(\gamma \cdot Z)$ [kPa]	85,6

Coefficienti parziali di sicurezza sui parametri geotecnici		
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00
Coesione	γ_c	1,25
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$	1,25

Coefficiente parziale di sicurezza sulle resistenze		1,1
---	--	-----

Risultati delle analisi

Resistenza a taglio (prisma n°3)	τ_{m3} [kPa]	12,6
Resistenza a taglio (prisma n°1-2)	τ_{m2} [kPa]	30,9
Lunghezza libera massima non sostenuta	a_m [m]	2,3
Lunghezza libera non sostenuta da adottare	$a_m/2$ [m]	1,2

Fattore di sicurezza (prisma n°3) - ($P_E = 0$)	FS_3	2,5
Fattore di sicurezza - ($P_E = 0$)	FSF	1,4

Fattore di sicurezza	FS	1,4222
Fattore di sicurezza richiesto	FS_{min}	1,1

Pressione richiesta al fronte ($FS=FS_{min}$)	P_E [kPa]	0,0
---	-------------	-----

Schema di analisi

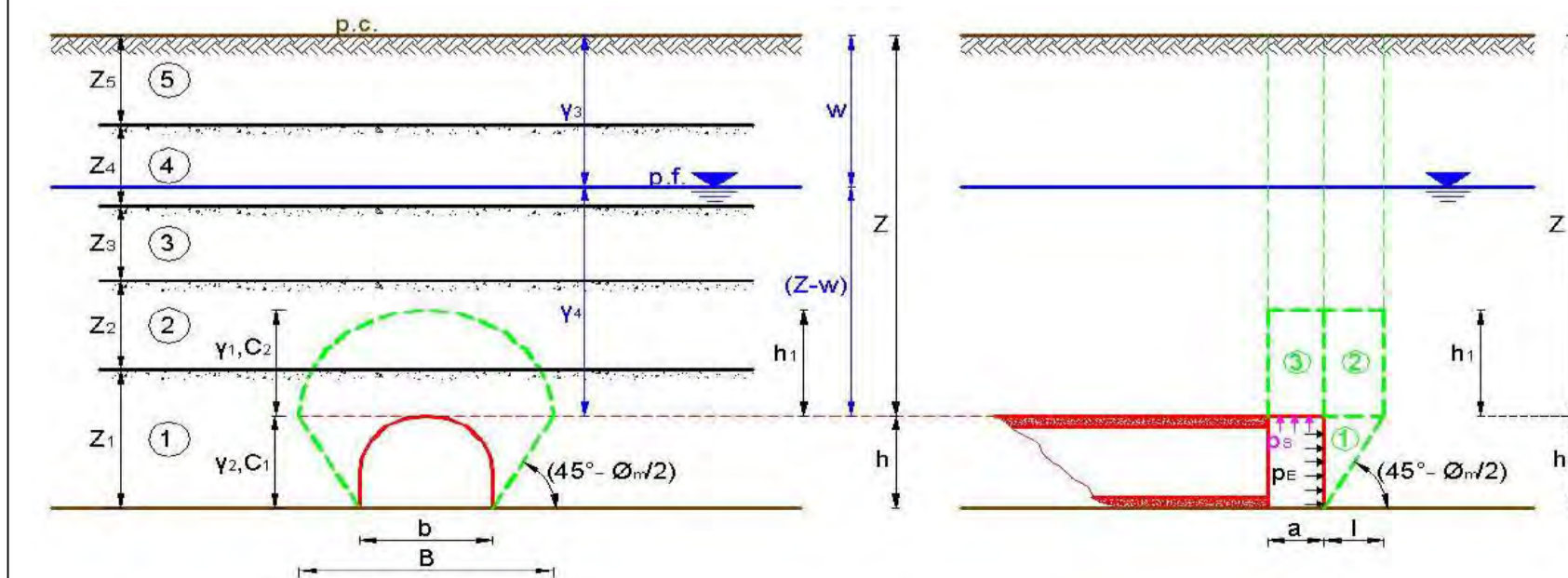




Tabella 3. Analisi di Stabilità SCUDO APERTO – caso 2 con viabilità a p.c.

TITOLO DEL FOGLIO	ANALISI DI STABILITA' DEL FRONTE
RIFERIMENTO	TAMEZ (1986) - CORNEJO (1988): Instability at the face: its repercussions for tunnelling technology
REVISIONE	4
DATA	11/03/2026
AUTORE	ing. Giacomo Ferrillo

Progetto: "Sistemazione Idraulica del Fosso dell'Acquacetosa a monte di via C. Colombo - CUP F81J21000020001"

Galleria	Spingitubo Acquacetosa
Sezione di analisi	2 (con viabilità a PC)
Sezione Tipo	cicolare Ø270cm
Area Scavo A_{sca} [m ²]	5,7
Fase di progetto	Parametri da Progetto esecutivo

Geometria del problema			Tipo di terreno		
Diametro equivalente della galleria	D_{eq} [m]	2,7	Rapporto σ_h/σ_v	K_0 [-]	0,5
Profondità della calotta dal p.c.	Z [m]	5,8	Coefficiente di spinta	K_A [-]	0,5
Altezza dello scavo	h [m]	2,2	Altezza del paraboloide	h_1 [m]	5,8
Larghezza dello scavo	b [m]	2,2	Larghezza del paraboloide	B [m]	5,5
Lunghezza libera non sostenuta	a [m]	1,0	Lunghezza prismi in avanzamento	l [m]	1,7
Tipo di galleria	Superficiale ($Z < 3D$)				

Condizioni idrauliche		
Profondità della falda dal p.c.	w [m]	7,6
Peso dell'unità di volume dell'acqua	γ_w [kN/m ³]	10,00
Pressione falda sulla calotta	U [kPa]	0,0

Modello geotecnico del sottosuolo		Combinazione di progetto
n° strati di terreno	3	

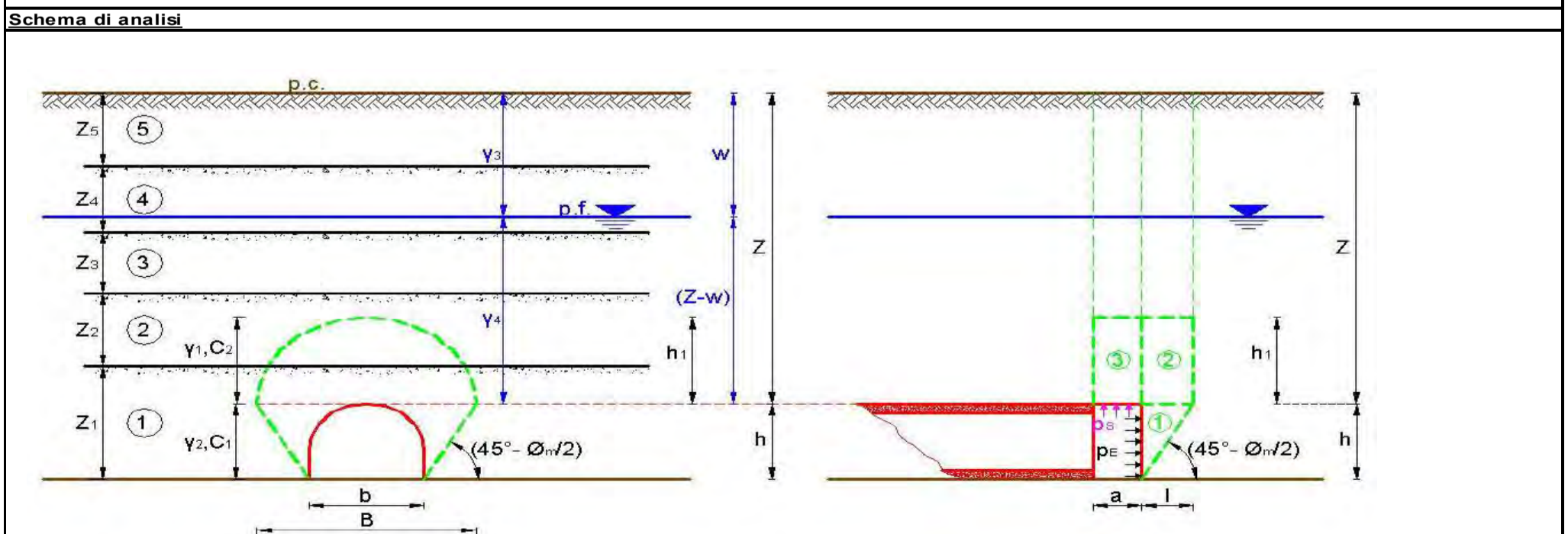
Stratigrafia di progetto (valori caratteristici)							
Strato	Tipo	Z_{s-sup} [m]	Z_{s-inf} [m]	γ_n [kN/m ³]	c' [kPa]	Φ' [°]	Z_i [m]
3	A	0,0	1,0	16,7	0,0	0,0	1,0
2	B	1,0	7,0	16,8	19,0	22,0	6,0
1	C	7,0	8,0	17,2	19,0	24,0	1,0

Angolo di attrito di progetto	Φ_{md} [°]	15,8
Peso dell'unità di volume del terreno sopra calotta (su h_1)	γ_1 [kN/m ³]	16,8
Peso dell'unità di volume del terreno da scavare (su h)	γ_2 [kN/m ³]	17,0
Coazione di progetto del terreno sopra calotta (su h_1)	$C_{2,d}$ [kPa]	12,6
Coazione di progetto del terreno da scavare (su h)	$C_{1,d}$ [kPa]	15,2
Angolo di attrito di progetto del terreno da scavare (su h)	Φ_{1d} [°]	18,7
Peso dell'unità di volume del terreno sopra p.f.	γ_3 [kN/m ³]	16,8
Peso dell'unità di volume del terreno sotto p.f.	γ_4 [kN/m ³]	0,0
Carico agente sopra calotta	$(\gamma \cdot Z)$ [kPa]	97,3

Coefficienti parziali di sicurezza sui parametri geotecnici		
Peso dell'unità di volume	γ_V	1,00
Coazione	γ_c	1,25
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$	1,25

Coefficiente parziale di sicurezza sulle resistenze		1,1
---	--	-----

Risultati delle analisi		
Resistenza a taglio (prisma n°3)	τ_{m3} [kPa]	12,6
Resistenza a taglio (prisma n°1-2)	τ_{m2} [kPa]	30,9
Lunghezza libera massima non sostenuta	a_m [m]	1,8
Lunghezza libera non sostenuta da adottare	$a_m/2$ [m]	0,9
Fattore di sicurezza (prisma n°3) - ($P_E = 0$)	FS_3	2,2
Fattore di sicurezza - ($P_E = 0$)	FSF	1,3
Fattore di sicurezza	FS	1,2513
Fattore di sicurezza richiesto	FS_{min}	1,1
Pressione richiesta al fronte ($FS=FS_{min}$)	P_E [kPa]	0,0





5. ANALISI NUMERICA PER LA VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI A PIANO CAMPAGNA

Come ampiamente descritto nei paragrafi iniziali del presente documento, per un tratto l'intervento prevede l'attraversamento di una viabilità esistente (via C. Colombo). Nel presente paragrafo, mediante l'impiego di modellazione numerica 2D si riproduce l'interazione terreno-struttura nel caso del sottopasso della viabilità esistente via C.Colombo.

Date le basse coperture e la presenza di due scavi (ciascuno avente diametro di scavo di 2,70m e disposti ad una distanza in asse di circa 4m) da eseguire non in contemporanea, si è ritenuto di eseguire una sezione di calcolo agli elementi finiti 2D.

Per il calcolo, eseguito mediante modellazione numerica agli elementi finiti 2D, è stato impiegato il software specialistico FEM *plaxis 2D*, ampiamente utilizzato per problemi di carattere geotecnico (scavo di cunicoli e gallerie) come nel caso in esame.

5.1. MODELLO DI CALCOLO – CLUSTERs DI VOLUME

Il *plaxis 2D* permette di associare a ciascun elemento bidimensionale di volume (definito *cluster*) diverse caratteristiche, in funzione dello specifico legame costitutivo. Nel caso degli elementi di volume associati alle diverse litologie si è impiegato un legame costitutivo del tipo *Mohr-Coulomb*.

Per quanto riguarda i *clusters* di volume relativi alle stratigrafie di sito, sono stati introdotti in *input* i medesimi parametri geotecnici considerati in progetto esecutivo approvato.

5.2. MODELLO DI CALCOLO – ELEMENTI STRUTTURALI

Il *software* di calcolo impiegato, al fine di valutare lo stato tensio-deformativo degli elementi strutturali bi-dimensionali derivanti dall'interazione terreno - struttura, associa elementi *plates* (nel caso in esame con caratteristiche elastico - lineari) agli stessi per unità di lunghezza (1m), trattandosi di un'analisi piana 2D.

Nel caso in esame, trattandosi di una modellazione eseguita al fine di valutare l'interazione terreno struttura e, quindi, l'impatto deformativo degli scavi sul semispazio circostante ed in superficie, si introduce il *plates* per modellare la presenza del rivestimento definitivo (tubo in calcestruzzo avente spessore di 25cm) ad una distanza ravvicinata dal fronte di scavo. Nella seguente tabella se ne sintetizzano i parametri strutturali caratteristici.



Tabella 4. Parametri strutturali per il tubo in calcestruzzo – sp. 25cm

plate - tubo in calcestruzzo - sp. = 25cm		Sistemazione idraulica del fosso dell'Acquacetosa a monte di via Colombo	
<i>element type</i>	plaxis2D	[-]	<i>elastic plate</i>
<i>larghezza della sezione</i>	b	[m]	1
<i>spessore del rivestimento</i>	s	[m]	0,25
<i>area della sezione trasversale</i>	A	[m²]	0,25
<i>momento d'inerzia</i>	I	[m²]	0,001302083
<i>modulo di Young del calcestruzzo</i>	E_{cm}	[kN/m²]	31475806,2
<i>rigidezza assiale</i>	E_{cm}·A	[kN]	7868951,6
<i>rigidezza flessionale</i>	E_{cm}·I	[kNm²]	40984,1
<i>peso al metro del plate</i>	w	[kN/m/m]	6,25
<i>modulo di Poisson del calcestruzzo</i>	v_{cls}	[-]	0,20

Nel tratto di sotto-attraffersamento di via C. Colombo, al fine di:

- mitigare le deformazioni indotte dagli scavi a piano campagna e le possibili deformazioni della pavimentazione stradale;
- distribuire uniformemente le azioni puntuali dovute al transito di autoveicoli ed autocarri su via C. Colombo riducendo l'effetto che tali azioni possono avere sulla stabilità degli scavi e sulla deformabilità del semispazio;

si prevede di predisporre a piano campagna delle piastre metalliche (aventi spessore di 30mm, lunghezza di 12m e ciascuna di larghezza pari a 2m) longitudinali alla viabilità esistente irrigidite nella parte inferiore da profili metallici trasversali (2HEB140) da disporre in piccole trincee da ricavare nella pavimentazione stradale esistente. Queste piastre irrigidite, che contribuiranno a distribuire i carichi in superficie su aree più estese oltre la conca di subsidenza dovuta all'effetto degli scavi, andranno disposte in asse a ciascuno scavo in fase esecutiva e saranno disposte per tutta la larghezza delle carreggiate. Come anticipato, ciascuna di queste piastre saranno irrigidite longitudinalmente per una lunghezza complessiva di 6m con profili HEB140 da disporre in asse agli scavi ed al centro delle piastre metalliche.

Nel modello di calcolo sarà considerata la presenza di queste piastre metalliche di distribuzione del carico, mediante l'introduzione di *plates* da attivare a piano campagna prima dell'esecuzione degli scavi. Nella seguente tabella se ne riassumono le caratteristiche di rigidezza.

Tabella 5. Parametri strutturali per la piastra metallica di irrigidimento in superficie – sp. 30mm

plate per la definizione degli elementi strutturali	spingitubo		
piastra metallica sp. 30mm	Acquacetosa		
<i>element type</i>	plaxis2D	[-]	<i>elastic plate</i>
<i>larghezza della sezione</i>	b	[m]	1
<i>spessore del rivestimento</i>	s	[m]	0,03



area della sezione trasversale	A	[m ²]	0,03
momento d'inerzia	I	[m ²]	0,00000225
modulo di Young del calcestruzzo	E_{cm}	[kN/m ²]	210000000,0
rigidezza assiale	E_{cm}·A	[kN]	6300000,0
rigidezza flessionale	E_{cm}·I	[kNm ²]	472,5
peso al metro del plate	w	[kN/m/m]	2,36
modulo di Poisson del calcestruzzo	v_{cls}	[-]	0,20

Tabella 6. Parametri strutturali dei profili di irrigidimento – 2HEB140 L = 6m

plate per la definizione degli elementi strutturali irrigidimento HEB140 passo 1m - L = 6m	spingitubo Acquacetosa		
element type	plaxis2D	[-]	elastic plate
area della sezione trasversale	A	[m ²]	0,001643
momento d'inerzia	I	[m ²]	0,000005412
modulo di Young del calcestruzzo	E_{cm}	[kN/m ²]	210000000,0
rigidezza assiale	E_{cm}·A	[kN]	345030,0
rigidezza flessionale	E_{cm}·I	[kNm ²]	1136,5
peso al metro del plate	w	[kN/m/m]	0,12650579
modulo di Poisson del calcestruzzo	v_{cls}	[-]	0,20

5.3. MODELLO DI CALCOLO – ANALISI DEI CARICHI e GEOMETRIE

Come già anticipato al capitolo 3, al fine di simulare il passaggio di carichi pesanti a piano campagna, si introduce una forza puntuale di 200kN in asse a ciascuno scavo.

Le azioni derivanti dalla spinta dei terreni sui rivestimenti sono automaticamente valutate dal *software* di calcolo impiegato. Lo stato tensio-deformativo dell'ammasso è dipendente dall'entità della spinta e, quindi geometria del semispazio e delle coperture. Nel caso in esame ci si è posti in condizioni intermedie:

- copertura in chiave → 5m;
- interasse tra i tubi → 4m;
- diametro di scavo → 220 + 2×25cm (diametro nominale condotta + spessore rivestimento in calcestruzzo).

Trattandosi di un'analisi che si riferisce a fasi temporanee di realizzazione, non è necessari condurre analisi sismiche.



5.4. FASISTICA E TASSI DI RILASCIO

Nel presente paragrafo viene dettagliatamente descritta la fasistica impiegata nel modello di calcolo per la valutazione dello stato deformativo dell'ammasso.

L'analisi effettuata, piana, non tiene conto della forte tridimensionalità del problema di scavo e del conseguente contributo tensionale e deformativo del fronte di scavo. Per risolvere ciò e tenere in conto del progressivo aumento distanza del fronte di scavo dalla sezione di analisi si introducono i tassi di rilascio λ . Il tasso di rilascio tiene conto del fatto che, nella generica sezione di calcolo, il fronte è posizionato ad una certa distanza (nella terza dimensione); quindi semplicisticamente si può dire che:

- più $\lambda \rightarrow 0\%$, più il fronte è vicino alla sezione di calcolo e la sua presenza contribuisce alla "stabilità" dello scavo;
- più $\lambda \rightarrow 100\%$, più il fronte è lontano dalla sezione di calcolo, quindi più decresce il suo contributo.

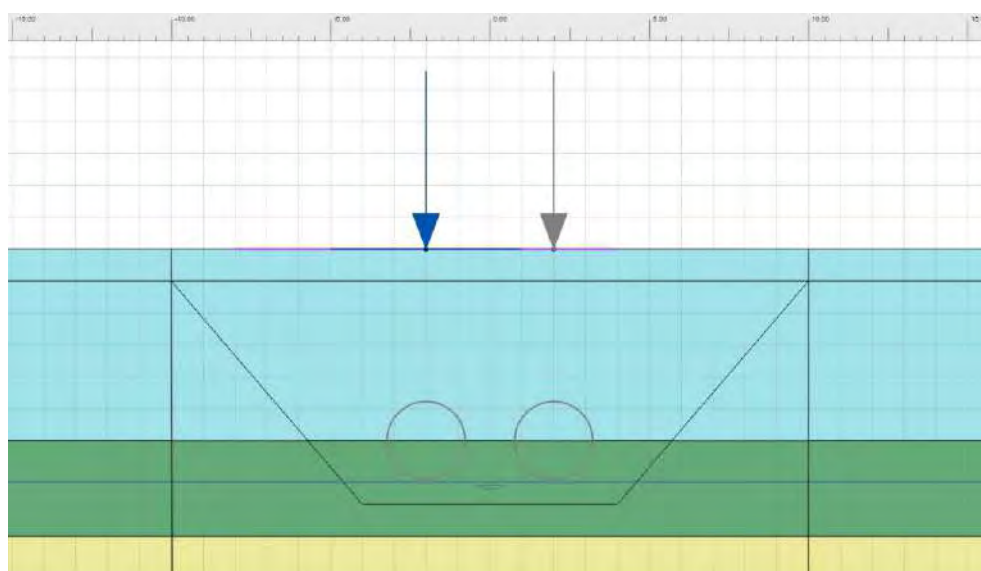
In questo caso, in cui le coperture sono modeste ($C/D \approx 2,5$) e quindi i metodi di letteratura per la valutazione dei tassi di rilascio sono al limite dell'applicabilità, λ viene posto pari a:

- più $\lambda = 30\%$, nelle fasi di scavo senza rivestimento definitivo;
- più $\lambda = 100\%$ (fronte infinitamente distante dalla sezione di calcolo), nella fase di applicazione del rivestimento definitivo, quindi in presenza del tubo in cls.

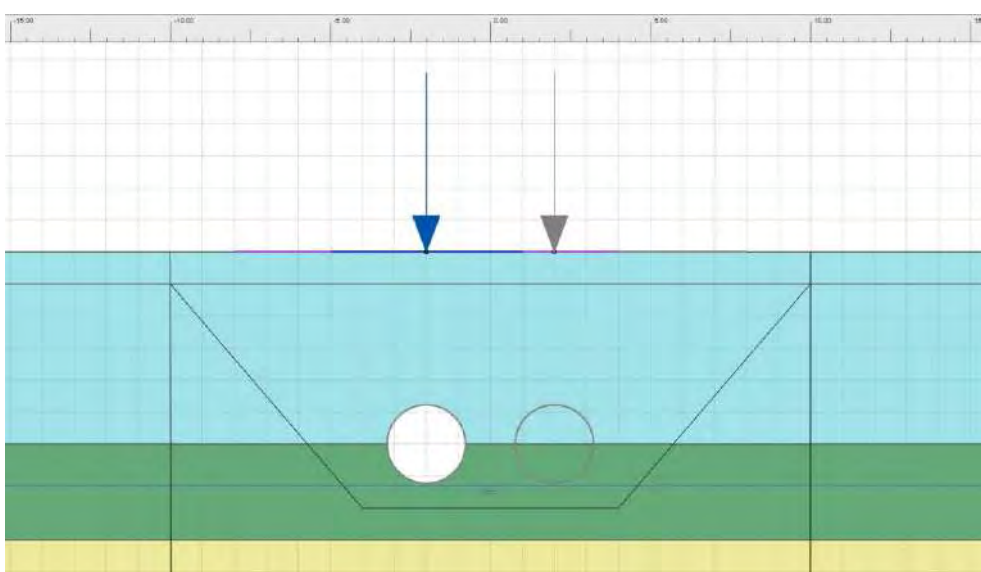
Nella seguente tabella si riepilogano le fasi considerate nel modello di calcolo.



ID fase [-] λ [%]	Descrizione della fase
0) Fase iniziale	In questa fase di inizializzazione si attivano i soli <i>cluster</i> di terreno con piano di campagna perfettamente orizzontale. Questa fase è necessaria per la valutazione delle condizioni iniziali (k) ed al contorno nonché per la valutazione dello stato tensionale
1) Carichi a PC	Viene attivata il <i>load</i> relativo al carico (in asse scavi) a p.c. e i <i>plate</i> di distribuzione del carico.



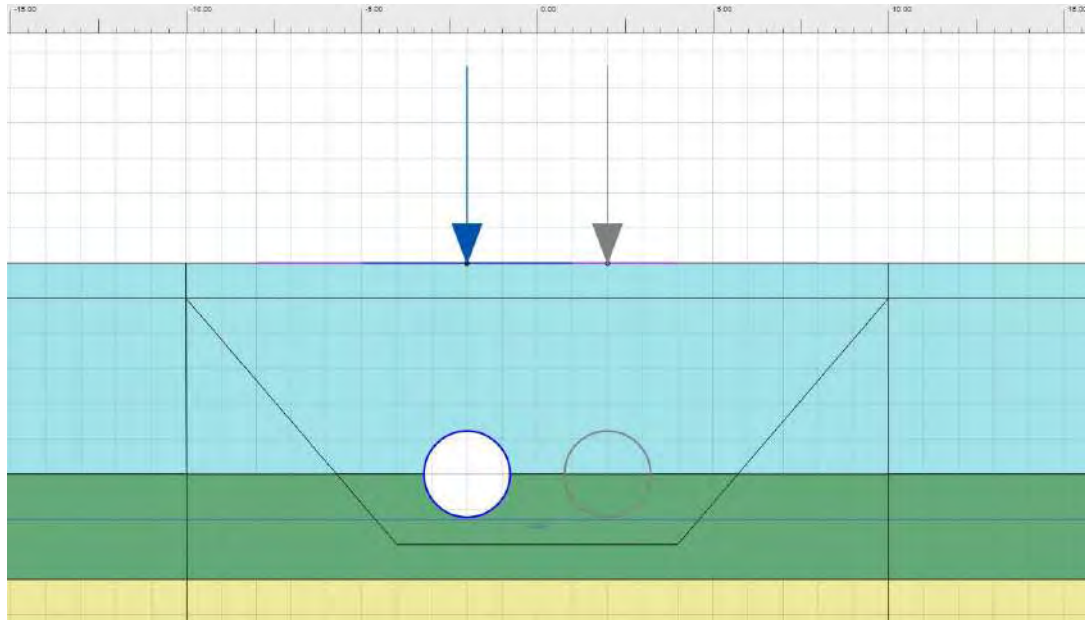
3) Scavo primo foro ($\lambda = 30\%$)	Viene disattivato il volume di terreno relativo allo scavo del primo foro. Il fronte è prossimo alla sezione di calcolo.
--	--





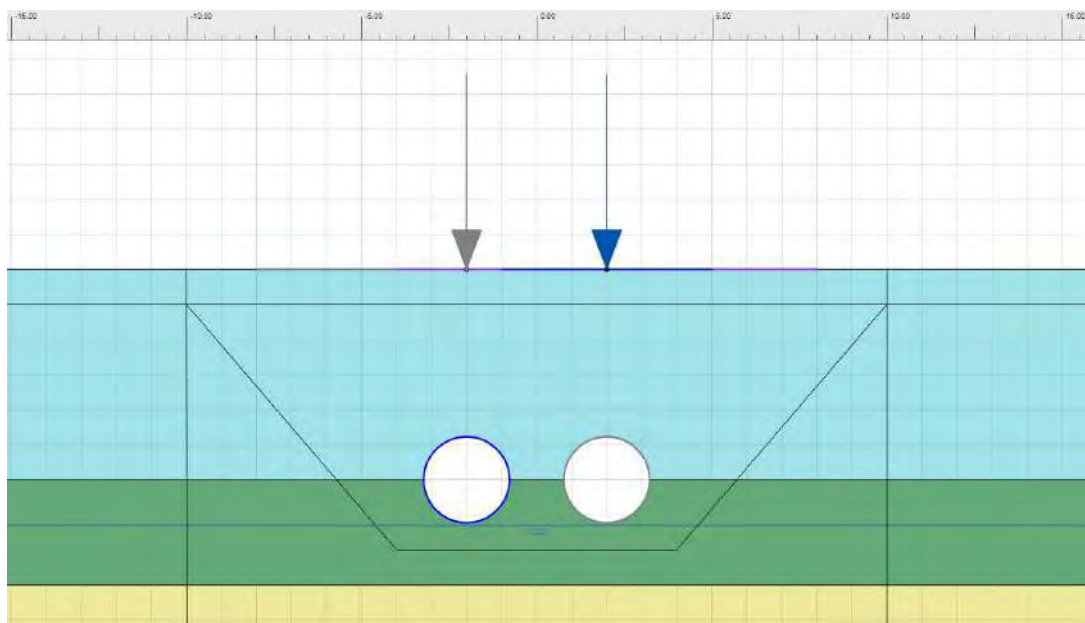
4) Primo rivestimento ($\lambda = 100\%$)

Nelle stesse condizioni viste in precedenza si attiva il rivestimento del primo tubo. Il fronte è molto lontano dalla sezione di calcolo.



5) Scavo secondo foro ($\lambda = 30\%$)

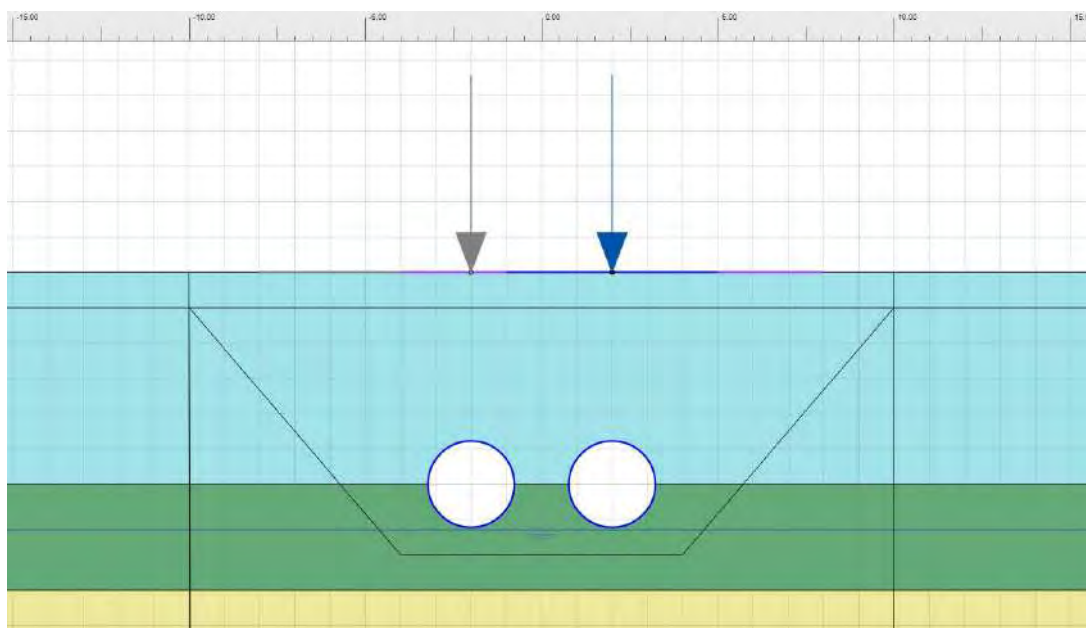
Partendo dalle condizioni tensio-deformative provenienti dalla fase precedente, viene disattivato il volume di terreno relativo allo scavo del secondo foro. Il fronte è prossimo alla sezione. In questa fase viene traslata in asse al secondo foro sia l'azione concentrata di 200kN che i *plate* rappresentativi della piastra metallica di distribuzione a p.c.





6) Secondo rivest. ($\lambda = 100\%$)

Partendo dalle condizioni tensio-deformative provenienti dalla fase precedente, si attiva il rivestimento del secondo tubo. Il fronte è molto lontano dalla sezione di calcolo.



N.B. In tutte le fasi considerate nell'analisi numerica, la falda viene considerata in prossimità di fondo scavo. Come già descritto nel capitolo precedente, ciò è garantito dalla presenza di tubi drenanti da realizzare parallelamente ed in continuità agli scavi, che permettono l'abbattimento del battente idraulico e la riduzione della probabilità di venute d'acqua in fase di scavo.

5.5. OUTPUT DELLA MODELLAZIONE NUMERICA

Nel seguente paragrafo si riportano i risultati della modellazione numerica in termini di deformazioni, mostrando l'evoluzione dei cedimenti (u_y) e delle deformazioni (u_{tot}) per ciascuna delle fasi analizzate. I cedimenti massimi a piano campagna sono i seguenti:

- $u_{y,min} = 13,31\text{mm}$, alle estremità della piastra metallica di distribuzione;
- $u_{y,max} = 48,65\text{mm}$, in asse agli scavi.



5.5.1. Evoluzione delle deformazioni in fase di scavo – cedimenti u_y a piano campagna

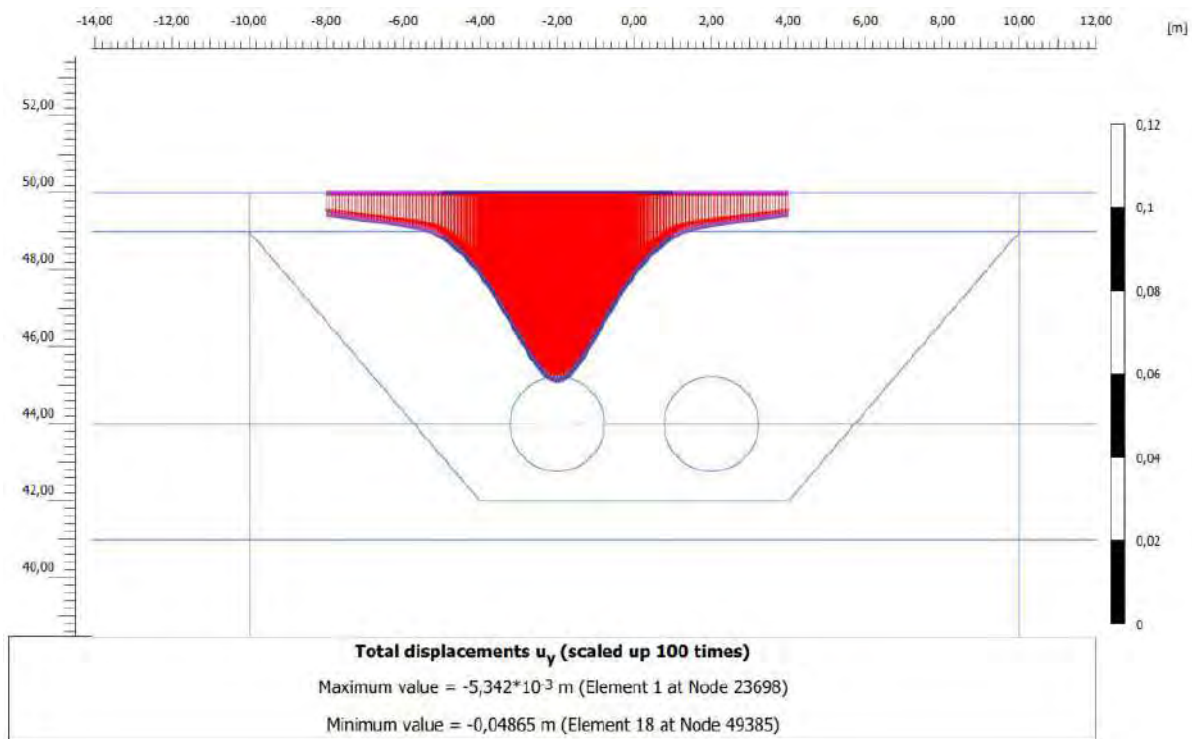


Figura 13. Cedimenti u_y a piano campagna – scavo primo foro

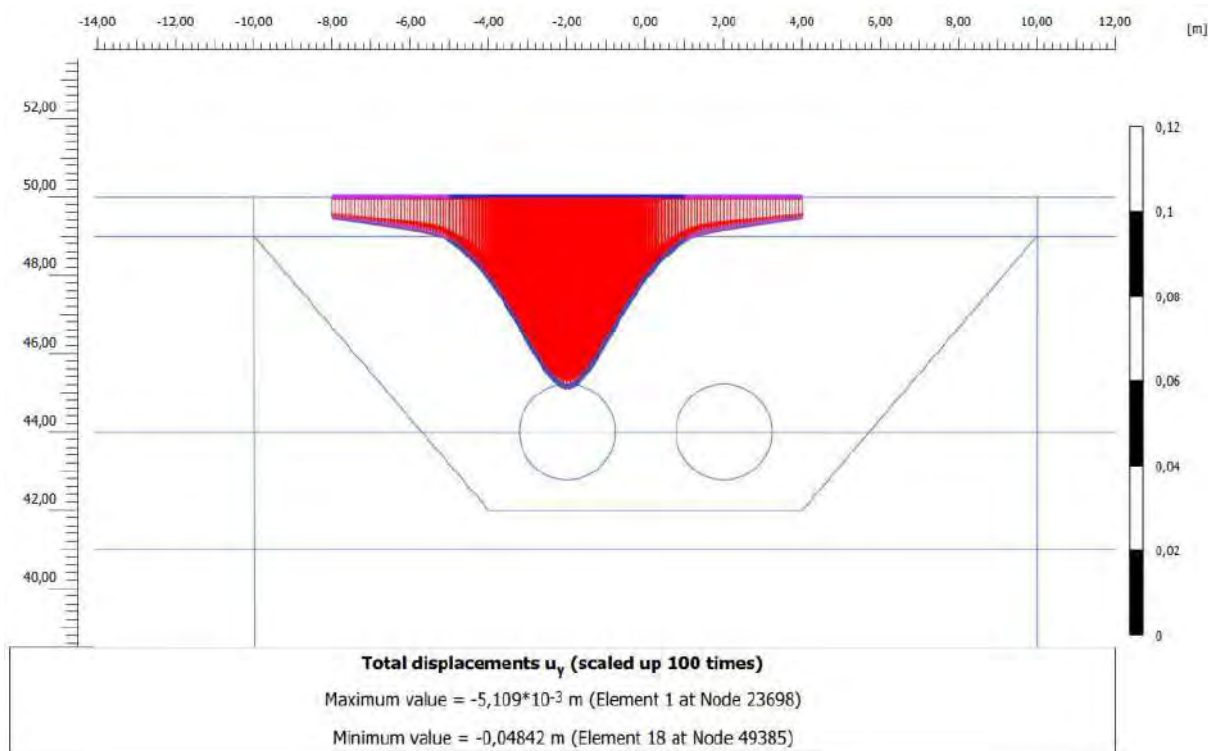


Figura 14. Cedimenti u_y a piano campagna – installazione primo tubo

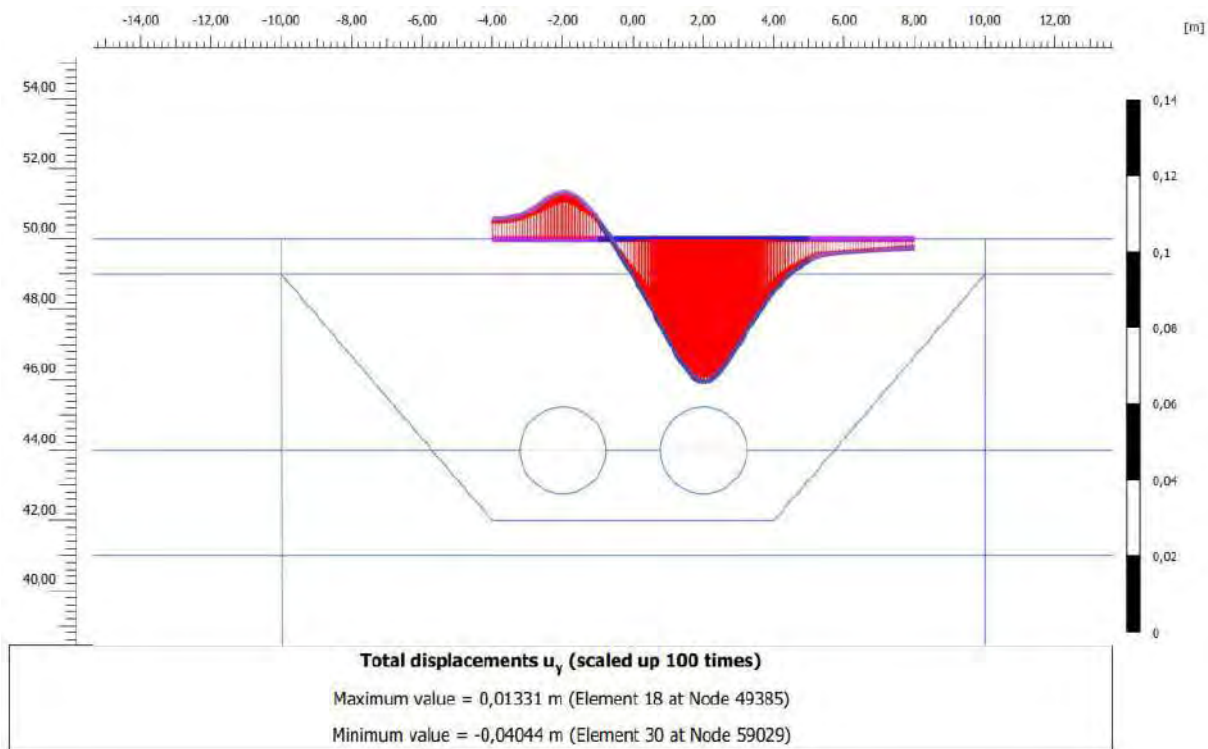


Figura 15. Cedimenti u_y a piano campagna - cavo secondo foro

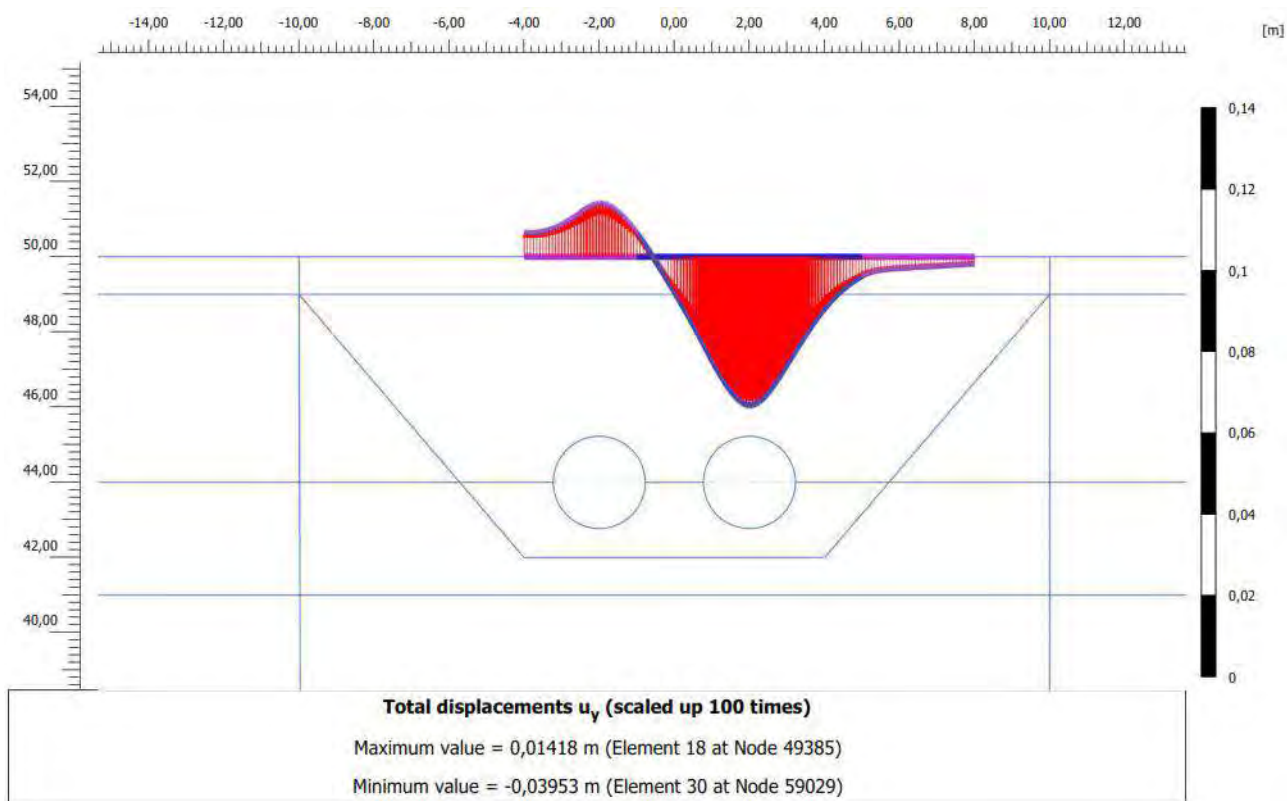
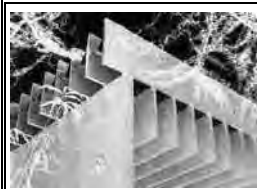


Figura 16. Cedimenti u_y a piano campagna – installazione secondo tubo



5.5.2. Evoluzione delle deformazioni – cedim. totali del semispazio

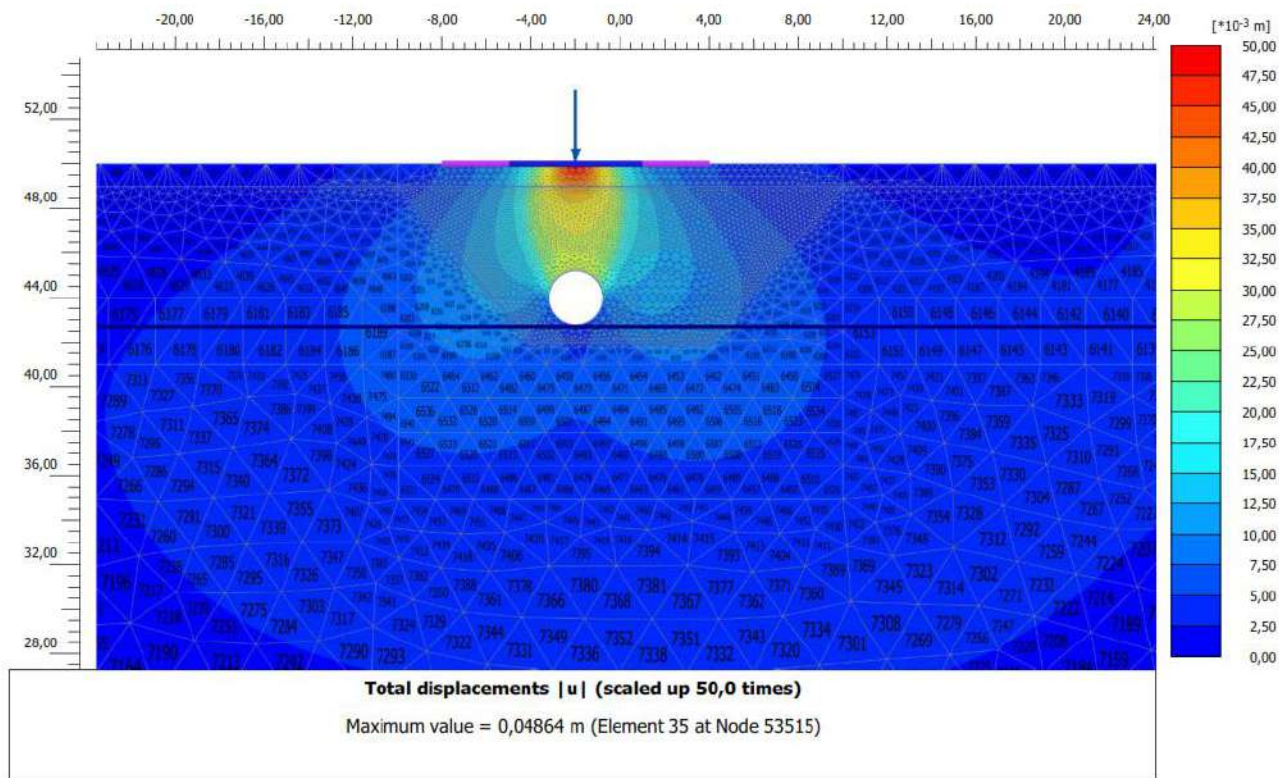


Figura 17. Deformazioni totali $|u|$ - Scavo primo foro

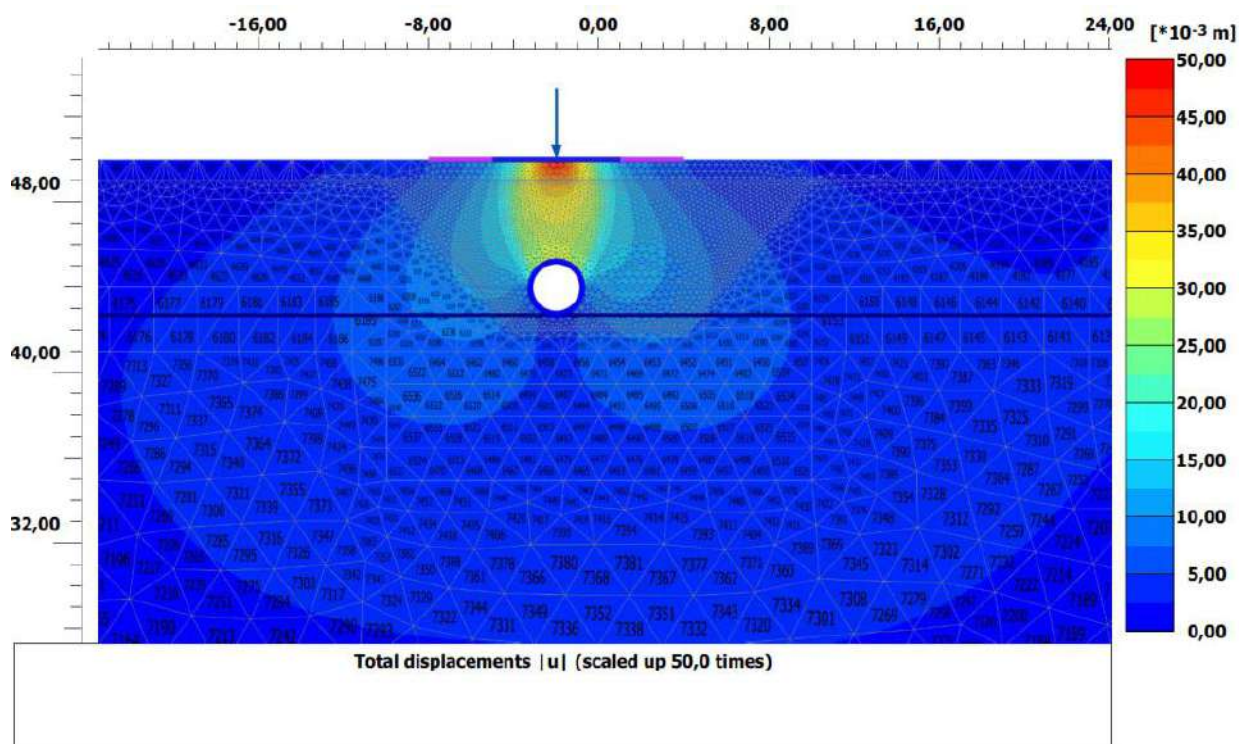


Figura 18. Deformazioni totali $|u|$ - Installazione primo rivestimento

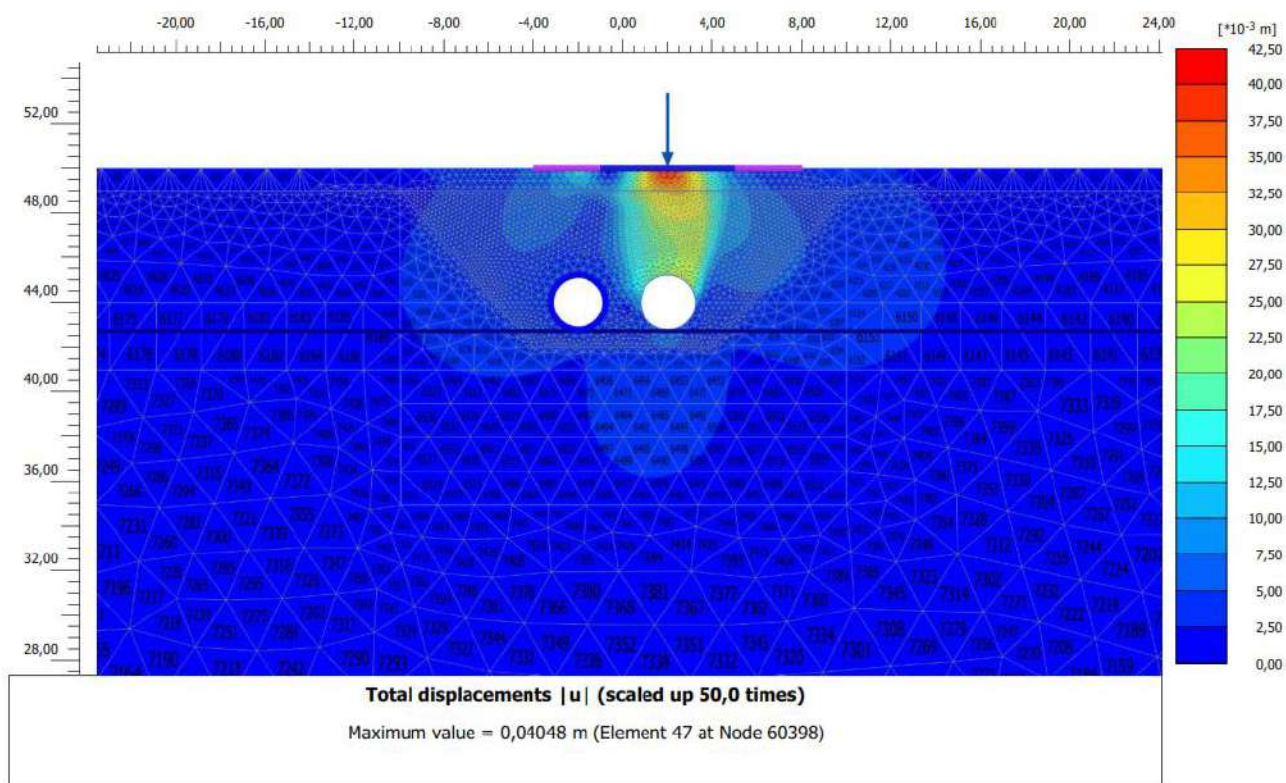


Figura 19. Deformazioni totali $|u|$ - Scavo secondo foro

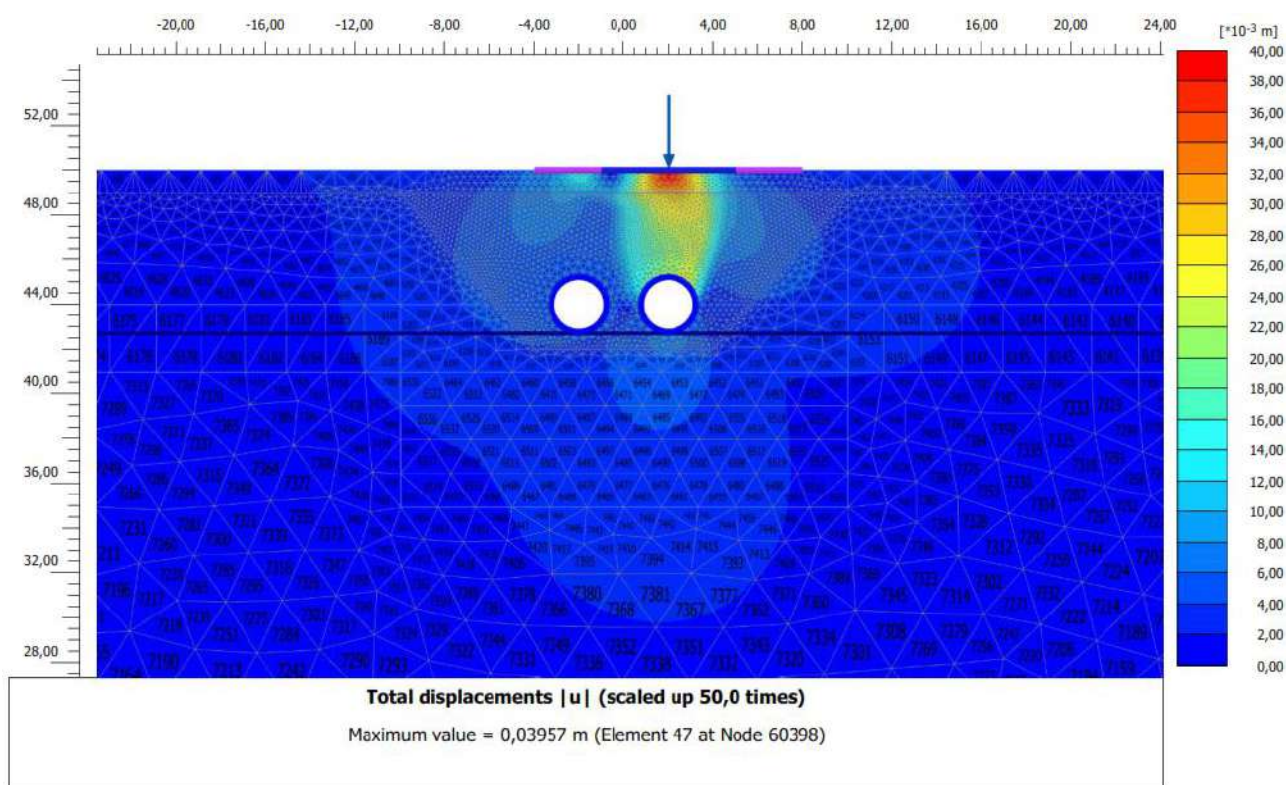


Figura 20. Deformazioni totali $|u|$ - installazione secondo tubo



6. FLUIDO BENTONITICO DA UTILIZZARE

Relativamente al fluido bentonitico da utilizzare durante la fase di scavo, bisogna attenersi alle prescrizioni descritte nell'elaborato a corredo del progetto esecutivo "RELAZIONE GEOTECNICA ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI" del 16/04/2024 e 24/05/2024, al Capitolo 9 "Fluido Bentonitico da impiegare nello scavo", par. 9.1 "Fluido da iniettare al fronte" e 9.2 "Fluido da iniettare a tergo delle tubazioni", par. 10.4 "Fluido di perforazione" e par. 10.5 "Iniezioni a tergo delle tubazioni".

Risulta altresì indispensabile che l'impresa provveda ad attenersi al termine della fase di scavo anche alla specifica prescrizione: "Al termine della fase di scavo verrà iniettata una miscela di acqua e cemento lungo l'intera lunghezza del micro-tunnel, al fine di ottenere la presa del fluido bentonitico iniettato durante lo scavo, evitando così deformazioni a lungo termine sia di tale anello sia del terreno sovrastante", come riportato al paragrafo 9.2 "Fluido da iniettare a tergo delle tubazioni".

7. PIANO DI MONITORAGGIO – Sottoattraversamento di via C. Colombo

L'analisi numerica di dettaglio eseguita nel precedente capitolo ha lo scopo di valutare l'evoluzione deformativa del semispazio ed a piano campagna (quindi relativamente al tratto di scavo da eseguire in corrispondenza dell'esistente via C. Colombo). I risultati hanno mostrato valori di deformazioni da attenzionare durante gli scavi nell'ambito dell'intervento in oggetto, vista anche la necessità di impiegare la metodologia di scavo del tipo *a scudo aperto*.

Nel seguente capitolo si predispose un piano di monitoraggio in modo da valutare l'evoluzione delle deformazioni nelle varie fasi realizzative. Le letture, da eseguire periodicamente - in condizioni ordinarie si dovrà eseguire 1 lettura ogni 2 giorni, da effettuare sempre allo stesso orario ed in assenza di traffico - e durante tutte le fasi di realizzazione dell'attraversamento, potranno essere fatti con opportuna strumentazione (mire ottiche a piano campagna, stese topografiche di superficie, inclinometri, ecc.). I valori di soglia definiti nel presente capitolo sono definiti ipotizzando di disporre la strumentazione di misura in asse agli scavi.

Sulla base dei risultati dell'analisi numerica evidenziata nel precedente capitolo, si definiranno dei valori di soglia (attenzione e criticità):

- soglia di attenzione: 50% di $u_{y,calcolo}$ → pari alla metà del cedimento atteso di progetto;
- soglia di criticità: 80% di $u_{y,calcolo}$ → pari all'80% del cedimento atteso di progetto.



Cautelativamente, si assume come valore di calcolo del cedimento a piano campagna, il valore minimo dei cedimenti ottenuti in superficie nelle varie fasi di scavo, nell'ipotesi di misurare gli abbassamenti in asse ai cunicoli da realizzare; quindi si pone $u_{y,calcolo} = 49\text{mm}$.

A valle degli esiti del monitoraggio e del raggiungimento (o meno) di tali valori di soglia, si definiranno le eventuali azioni correttive da intraprendere in fase di scavo:

- qualora si dovesse raggiungere il primo livello (soglia attenzione), la procedura di monitoraggio dei cedimenti dovrà essere resa più frequente (dimezzando il periodo di intervallo fra due letture, quindi una lettura al giorno). L'esecutore dovrà informare tempestivamente il progettista ed il Direttore Lavori del raggiungimento della soglia. Questi definiranno, se necessarie, ulteriori azioni correttive ed eventualmente predisporranno sopralluoghi per la verifica dell'insorgere di quadri fessurativi e/o dissesti. Queste attività saranno finalizzate al confronto tra i valori attesi e le misurazioni; sarà inoltre valutata la velocità di deformazione raggiunta;
- al raggiungimento del secondo livello (soglia criticità), i lavori dovranno essere sospesi e si dovrà effettuare un'accurata ispezione delle aree (in superficie) ed all'interno dei manufatti per verificare l'integrità dei manufatti, segnalando i quadri fessurativi eventuali. Gli scavi ed il fronte andranno messi in sicurezza; le attività di cantiere andranno sospese in attesa delle opportune verifiche del progettista e del direttore lavori. Quest'ultimo, di concerto con il progettista, a seguito di sopralluoghi (o di altri approfondimenti) verificherà l'insorgere di quadri fessurativi e/o dissesti. In assenza di questi ultimi, la ripresa delle attività sarà predisposta a seguito dell'interruzione dell'evoluzione deformativa, quindi sarà evidenziato l'annullamento dei gradienti deformativi.



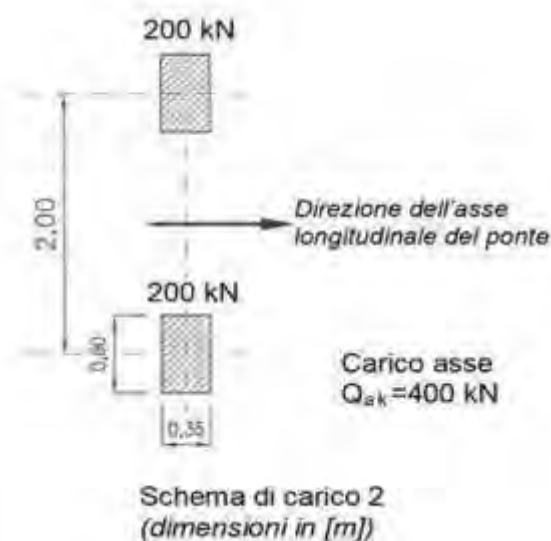
Nella seguente tabella si riepilogano le soglie di riferimento, nell'ambito del piano di monitoraggio relativo all'intervento in oggetto.

$u_{y,calc.}$ cedimento atteso [mm]	$u_{y,attenzione} \approx 0,5 \times u_{y,calc.}$ soglia di attenzione [mm]	$u_{y,crit.} \approx 0,8 \times u_{y,calc.}$ soglia di criticità [mm]
49mm	≈25mm	≈35mm
<u>Azioni tipo da intraprendere</u>	<ul style="list-style-type: none"> • valutazione dei gradienti deformativi (velocità di deformazione) • eventuale verifica della presenza di quadri fessurativi e/o dissesti (sia in galleria che in superficie) • incremento della frequenza di letture (da 1/2gg a 1/gg) 	<ul style="list-style-type: none"> • messa in sicurezza del fronte e interruzione delle attività; • valutazione dei gradienti deformativi (velocità di deformazione); • verifica della presenza di quadri fessurativi e/o dissesti (sia in galleria che in superficie); • frequenza di letture (almeno 1/gg).



8. Piastra in acciaio e profilato

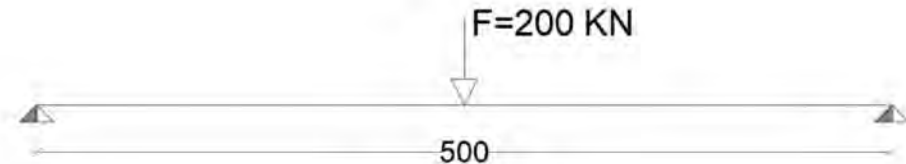
Durante la fase di scavo previsto con la tecnica del micro - tunnelling la condizione più gravosa che potrebbe manifestarsi è l'instabilità del fronte di scavo. Tale instabilità potrebbe comportare movimenti del terreno lungo la verticale con conseguente pericolo per il traffico veicolare su via C. Colombo. Per ovviare a tale problema si è deciso di realizzare, prima dello scavo, una struttura metallica costituita da piastre in acciaio di spessore pari a 3cm rinforzate con profilati HEB140. Dall'analisi del modello di calcolo è stato stimato una dimensione massima del diametro della deformazione che potrebbe verificarsi in superficie di circa 5m. La strada in oggetto è extraurbana di tipo C, o strada extraurbana secondaria. Il carico massimo è stato desunto dalle NTC 2018 (par. 5.1.3.3.5 NTC2018) schema di carico 2 in cui il carico dell'asse è pari a $Q = 400$ kN (v. fig. seguente)



Il carico dell'asse viene trasferito a terra tramite l'impronta del pneumatico, che nel caso in esame risulta un rettangolo di dimensioni 0.35x0.60m. La forza esercitata sulla singola impronta è pari a $F=200$ kN. La struttura in acciaio sarà posta sulla carreggiata previa fresatura del manto superficiale di usura e sarà costituita da una piastra di acciaio di larghezza pari a 2.00m, spessore 3cm e lunghezza totale pari a 12.00m. La condizione più gravosa è rappresentata dalla ipotetica deformazione del piano superficiale della carreggiata di diametro 5.00m in corrispondenza della



forza esercitata sulla singola impronta, pertanto, si considera lo schema di trave appoggiata appoggiata di lunghezza $L=5.00\text{m}$.



Schema di trave appoggiata-appoggiata con forza in mezzeria

La sezione in mezzeria sarà costituita da una piastra in acciaio di spessore pari a 3.0 cm ed un profilato di rinforzo HEB140 (di lunghezza massima pari a 6.00m). Il momento di inerzia della sezione mista in oggetto risulta pari a $I=4451\text{cm}^4$

La freccia massima f_{\max} per una trave appoggiata-appoggiata con una forza concentrata F in mezzeria si calcola con la formula:

$$f_{\max} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

Dove:

F = Forza applicata (20.000 daN);

L = Lunghezza della trave (500cm);

E = Modulo di Young/Elasticità del materiale (2.100.000 daN/cm²);

I = Momento d'inerzia della sezione (4451 cm⁴)

Nel caso in esame risulta una freccia massima $f_{\max}=5.57\text{cm}$ congrua con quella stimata mediante analisi del modello di calcolo. Per i controlli da effettuare in cantiere in corso d'opera si farà



riferimento al valore stimato mediante il modello di calcolo analizzato mediante il software Plaxis precedentemente riportato.

8.1. Verifiche locali saldature piastra $sp=3.00\text{cm}$ su piastra rinforzata 3.00cm

Le piastre in acciaio di spessore pari a 3.00cm rinforzate con profilati HEB140, saranno rese solidali mediante l'inserimento all'estradosso di una piastra in acciaio di sezione $1000 \times 30\text{mm}$ e $L=6.00\text{m}$ disposte in direzione ortogonale ad interasse pari a 3.00m . Di seguito si riportano le verifiche locali relative alle saldature. Le verifiche sono state effettuate nell'ipotesi di forza concentrata gravante ortogonalmente alla saldatura e sono state eseguite con un foglio di calcolo excel.

Le caratteristiche dei materiali sono di seguito riportate.

CARATTERISTICHE MATERIALI (D. M. 17/01/2018)

NUOVI MATERIALI

ACCIAIO DA CARPENTERIA:

Tipo S355 $t < 40\text{mm}$
 $f_y \text{ nom} > 355 \text{ N/mm}^2$
 $f_t \text{ nom} > 510 \text{ N/mm}^2$

VITI E BULLONI:

CLASSE 8.8
 $f_y b > 649 \text{ N/mm}^2$
 $f_t b > 800 \text{ N/mm}^2$

SALDATURE

Le saldature degli elementi in acciaio dovranno essere di prima classe ad arco sommerso o elettrodo basico, secondo la Normativa (UNI EN ISO 4063:2001)

La condizione più gravosa analizzata è il caso di forza concentrata applicata al centro della piastra (trave appoggiata appoggiata $L=6.00\text{m}$). La sollecitazione massima risulta pari a $M=450 \text{ KNm}$

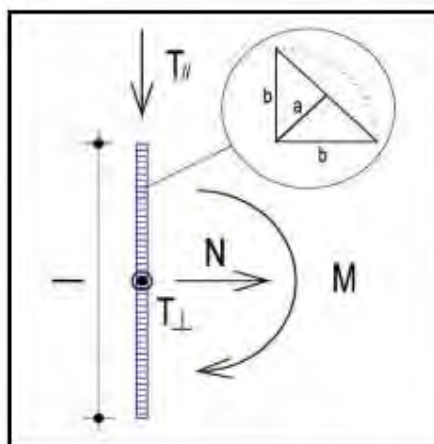
Nelle verifiche si tiene conto anche della forza concentrata pari a 300KN (forza amplificata agli SLU).

Le verifiche sono state effettuate con un foglio di calcolo excel.



Sollecitazioni	
N (N)	0
$T_{//}$ (N)	0
T_{\perp} (N)	300000
M (Nmm)	450000000

Dati saldatura	
Acciaio	S355
b (mm)	14,15
l (mm)	6000
n° cordoni	2
γ_{M2}	1,25
a (mm)	10,01



f_{yk} (N/mm ²)	355
f_{tk} (N/mm ²)	510

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,9
$f_{vw,d}$ (N/mm ²)	261,732
$F_{T//}$ (N/mm)	0,000
$F_{T\perp}$ (N/mm)	25,000

$F_{T \text{ TOT}}$ (N/mm)	25,000
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	37,500
$F_{\perp \text{ TOT}}$ (N/mm)	37,500

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	45,069
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	2618,777

S/R	OK
0,017	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	2,4986

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	3,7479
n_{\perp} (N/mm ²)	3,7479

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	4,5044
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	248,5000

S/R	OK
0,02	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	6,2465
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	301,7500

S/R	OK
0,02	

Le verifiche risultano soddisfatte.



8.2. Verifiche locali saldature piastra $s_p=3.00\text{cm}$ su HEB140

Il collegamento tra la piastra in acciaio di dimensioni $2000 \times 30\text{mm}$ ed il rinforzo costituito da un profilato in acciaio del tipo HEB140 sarà garantito da una saldatura a cordone d'angolo che sarà effettuata tra l'ala superiore del profilato HEB140 e la piastra in acciaio. La massima sollecitazione di momento flettente agente nel caso in esame, come già riportato nel paragrafo 7, è pari a:

$M=375\text{ KNm}$ (luce di calcolo coincidente con la massima lunghezza del profilato HEB140 $L=5.00\text{m}$)

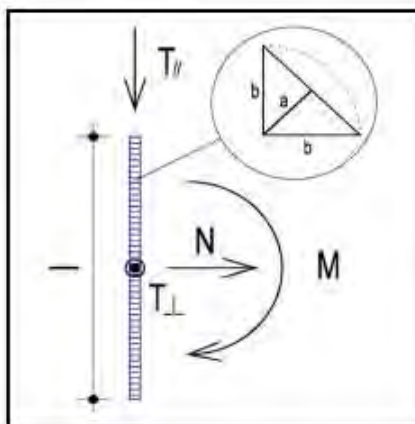
Nelle verifiche si tiene conto anche della forza concentrata pari a 300KN (forza amplificata agli SLU).

Le verifiche sono state effettuate con un foglio di calcolo excel



Sollecitazioni	
N (N)	0
$T_{//}$ (N)	0
T_{\perp} (N)	300000
M (Nmm)	375000000

Dati saldatura	
Acciaio	S355
b (mm)	14,15
l (mm)	5000
n° cordoni	2
γ_{M2}	1,25
a (mm)	10,01



f_{yk} (N/mm ²)	355
f_{lk} (N/mm ²)	510

Verifica con formula 4.2.82

$$F_{w,Ed}/F_{w,Rd} \leq 1 \text{ con } F_{w,Rd} = a \cdot f_{lk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

β_w	0,9
$f_{vw,d}$ (N/mm ²)	261,732
$F_{T//}$ (N/mm)	0,000
$F_{T\perp}$ (N/mm)	30,000

$F_{T \text{ TOT}}$ (N/mm)	30,000
$F_{\perp N}$ (N/mm)	0,000
$F_{\perp M}$ (N/mm)	45,000
$F_{\perp \text{ TOT}}$ (N/mm)	45,000

$F_{w,Ed}$ (N/mm)	54,083
$F_{w,Rd}$ (N/mm)	2618,777

S/R	OK
0,021	

Verifica con formula 4.2.84 e 4.2.85

$$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk}$$

β_1	0,7
β_2	0,85
$t_{//}$ (N/mm ²)	0,0000
t_{\perp} (N/mm ²)	2,9983

$n_{\perp N}$ (N/mm ²)	0,0000
$n_{\perp M}$ (N/mm ²)	4,4975
n_{\perp} (N/mm ²)	4,4975

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)}$	5,4053
$\beta_1 \cdot f_{yk}$	248,5000

S/R	OK
0,02	

$ n_{\perp} + t_{\perp} $	7,4958
$\beta_2 \cdot f_{yk}$	301,7500

S/R	OK
0,02	

Le verifiche risultano soddisfatte.



9. CONCLUSIONI

A valle delle analisi e delle verifiche eseguite nel presente documento, si ritiene tecnicamente fattibile l'impiego della tecnica del *microtunnelling* con *scudo aperto* per la realizzazione dell'attraversamento idraulico in oggetto. Risulta indispensabile che l'impresa durante la fase di scavo si attenga strettamente alle indicazioni impartite dallo scrivente nel presente elaborato e di seguito riassunte:

- In corrispondenza della via C. Colombo, occorre eseguire la predisposizione di piastre in acciaio irrigidite al di sotto della sede stradale (al fine di non alterare il flusso di traffico veicolare), così come descritto nei precedenti paragrafi e riportato nel grafico a corredo della presente elaborato.
- La predisposizione di un'adeguata strumentazione di monitoraggio lungo tutto lo scavo, in particolare in corrispondenza della via C. Colombo, finalizzata al rispetto del piano di monitoraggio descritto al cap. 7. Nel caso del sotto-attraversamento della viabilità esistente, il rispetto del piano di monitoraggio descritto permetterà di anticipare dissesti e cedimenti che potrebbero compromettere la viabilità ed il prosieguo delle lavorazioni.
- Fermo restando le condizioni di stabilità a breve termine (fronte di tipo C - stabile a breve termine) compatibile in condizioni di velocità sostenuta degli scavi, in caso di fermo prolungato delle attività (tipicamente per tali terreni stimabile superiore a giorni 4) andranno valutate le condizioni di sicurezza del cavo e garantite le condizioni di stabilità a lungo termine, eventualmente anche mediante l'impiego di trattamenti/consolidamenti da eseguire al fronte e nel volume di terreno al contorno del cavo per il miglioramento della coesione degli ammassi da aggredire. A tal proposito si ritiene indispensabile che l'impresa provveda ad eseguire un campo prova con iniezione tale da assicurare una coesione al fronte almeno di 25kPa, per consentire di ottenere coefficienti di sicurezza pari a circa 2 (che permette di ricavare una condizione di stabilità del fronte a medio termine).
- Sia durante che al termine della fase di scavo l'impresa deve eseguire quanto riportato al paragrafo 6 "fluido bentonitico da utilizzare".

Napoli, 12/03/2026

Allegati: Grafico intervento piastre su Cristoforo Colombo

Tabulato di calcolo PLAXIS





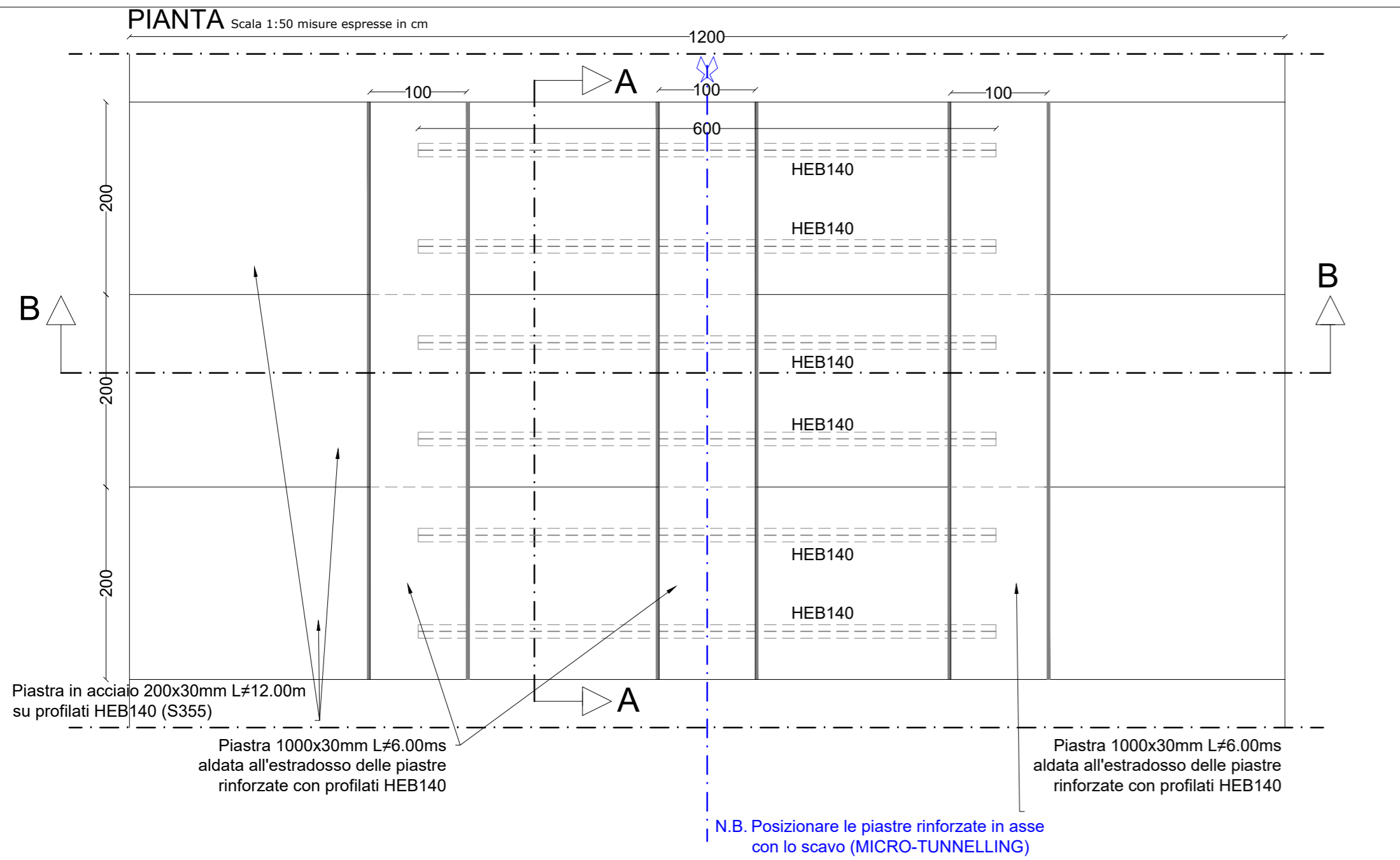
INDICE DELLE FIGURE

Figura 1. Planimetria area di intervento – in blu i due tubi oggetto del documento (2 tubi DN 2200mm).....	4
Figura 2. Sezione dell'attraversamento in corrispondenza dell'area di imbocco	5
Figura 3. Sezione dell'attraversamento idraulico in corrispondenza di via <i>Cristoforo Colombo</i> 6	
Figura 4. Vista assonometrica 3D dell'attraversamento	7
Figura 5. Scudo direzionale aperto per perforazioni in terreni scioli	8
Figura 6. Applicabilità in funzione delle caratteristiche geologiche dei terreni in sito – UNI/PdR	9
Figura 7. Prospetto riepilogativo tecnologie di posa tubazione e valori di applicazione - UNI/PdR del 26/02/2017	9
Figura 8. Profilo geologico dell'area di intervento a valle dell'interpretazione del sondaggio geognostico orizzontale	19
Figura 9. Formazione di un camino instabile.....	19
Figura 10. Definizione del paraboloide – Direttrice della parabola (sx). Parabola di <i>Protodyakonov</i> (dx).....	20
Figura 11. Galleria sotto falda soggetta ad una pressione di stabilizzazione PE	21
Figura 12. Sistema delle forze agenti sulla volta della galleria per i volumi prismatici (1), (2) e (3)	21
Figura 13. Cedimenti u_y a piano campagna – scavo primo foro.....	34
Figura 14. Cedimenti u_y a piano campagna – installazione primo tubo.....	34
Figura 15. Cedimenti u_y a piano campagna - cavo secondo foro	35
Figura 16. Cedimenti u_y a piano campagna – installazione secondo tubo.....	35
Figura 17. Deformazioni totali $ u $ - Scavo primo foro	36
Figura 18. Deformazioni totali $ u $ - Installazione primo rivestimento.....	36
Figura 19. Deformazioni totali $ u $ - Scavo secondo foro.....	37
Figura 20. Deformazioni totali $ u $ - installazione secondo tubo.....	37



INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Analisi di Stabilità SCUDO APERTO – caso 1 senza viabilità a p.c.	25
Tabella 2. Analisi di Stabilità SCUDO APERTO – caso 2 con viabilità a p.c.	26
Tabella 3. Parametri strutturali per il tubo in calcestruzzo – sp. 25cm.....	28
Tabella 4. Parametri strutturali per la piastra metallica di irrigidimento in superficie – sp. 30mm	28
Tabella 5. Parametri strutturali dei profili di irrigidimento – 2HEB140 L = 6m.....	29



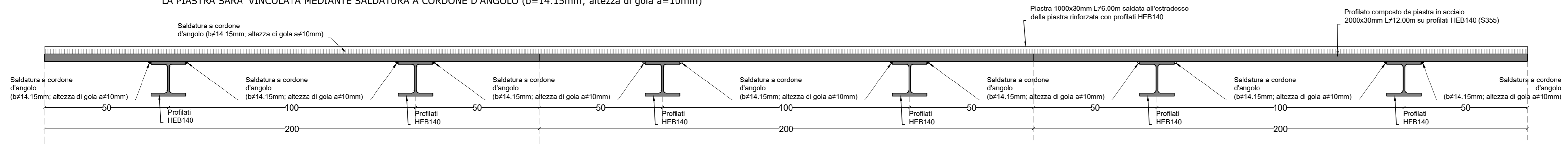
N.B. TUTTE LE MISURE DEVONO ESSERE VERIFICATE IN CANTIERE

CARATTERISTICHE MATERIALI (D. M. 17/01/2018)	
NUOVI MATERIALI	
ACCIAIO DA CARPENTERIA: Tipo S355 t<40mm fy nom > 355 N/mm ² ft nom > 510 N/mm ²	SALDATURE Le saldature degli elementi in acciaio dovranno essere di prima classe ad arco sommerso o elettrodo basico, secondo la Normativa (UNI EN ISO 4063:2001) Saldatura a cordone d'angolo (b=14.15mm; altezza di gola a=10mm)
VITI E BULLONI: CLASSE 8.8 fyb > 649 N/mm ² ftb > 800 N/mm ²	

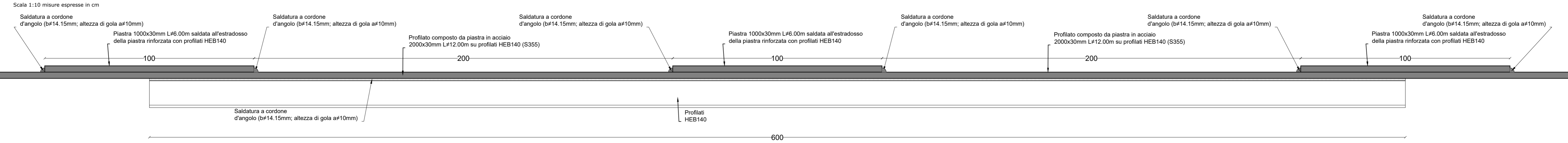
SEZIONE A-A - PIASTRE RINFORZATE CON HEB140 CON PIASTRA SOVRAPPOSTA

Scala 1:10 misure espresse in cm
 FASE 1 - POSA IN OPERA DEI PROFILATI COMPOSTI DA PIASTRA IN ACCIAIO 2000x30mm L#12.00m E PROFILATI HEB140SALDATI

FASE 2 - POSA IN OPERA DELLA PIASTRA IN ACCIAIO DI SEZIONE 100x30mm L#6.00m ALL'ESTRADOSSO DEL PROFILATO COMPOSTO DA PIASTRA IN ACCIAIO 2000x30mm L#12.00m E PROFILATI HEB140 SALDATI.
 LA PIASTRA SARA' VINCOLATA MEDIANTE SALDATURA A CORDONE D'ANGOLO (b=14.15mm; altezza di gola a=10mm)

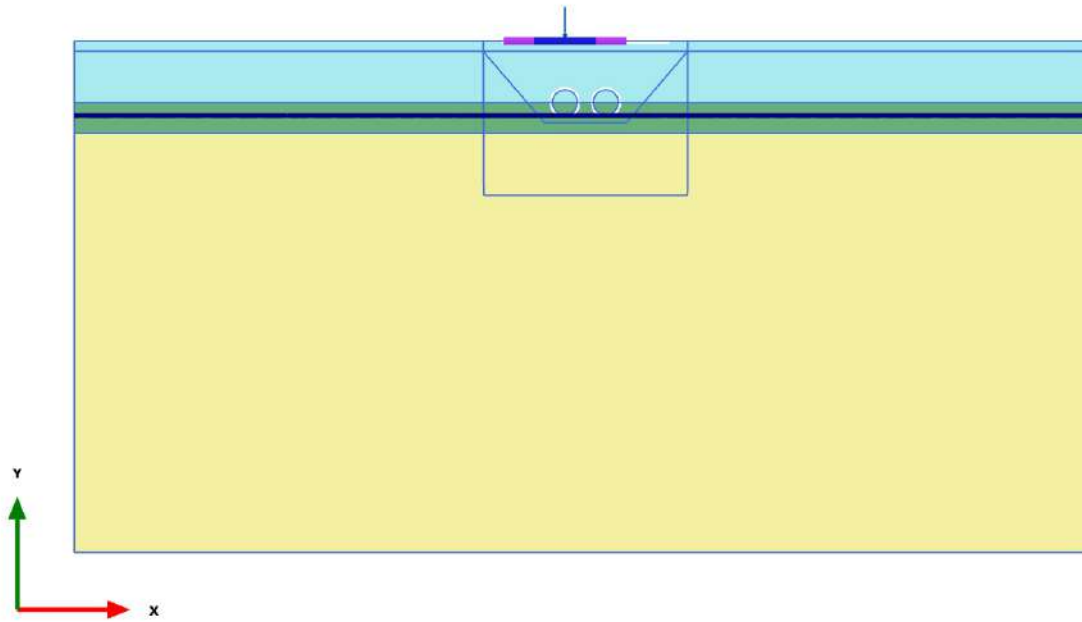


SEZIONE B-B - PIASTRE RINFORZATE CON HEB140 CON PIASTRA SOVRAPPOSTA



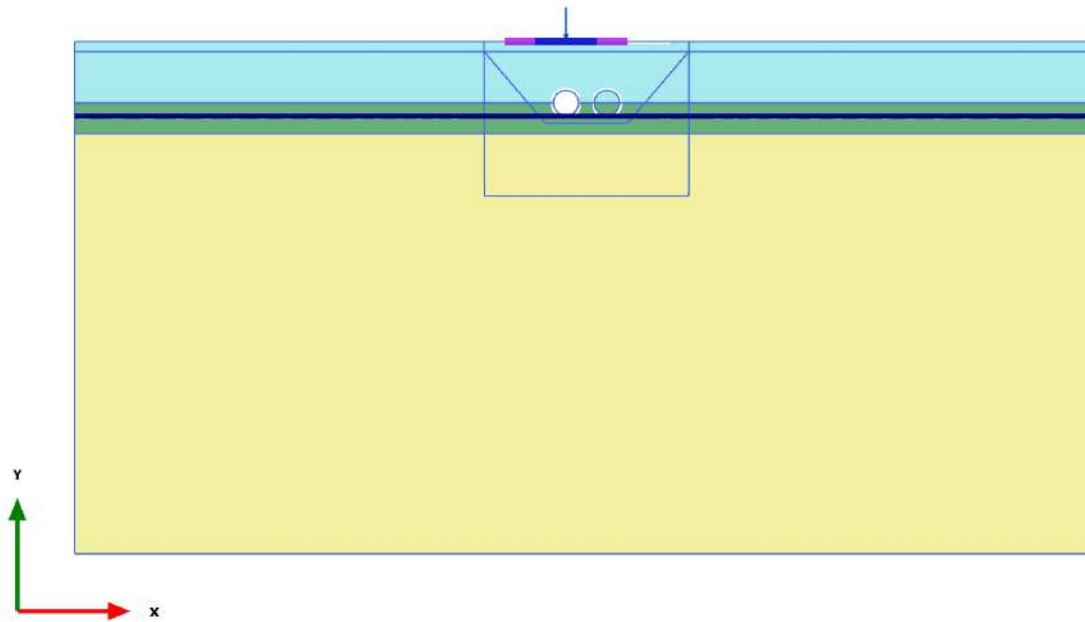
PLAXIS Report

1.1.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Active loads plot

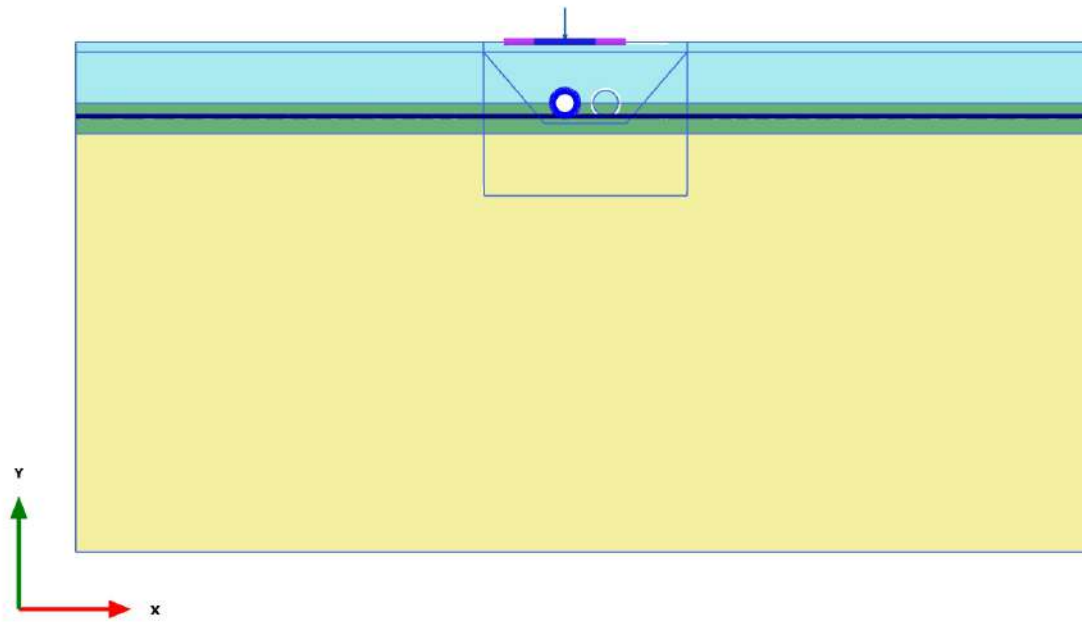


Active loads plot

1.1.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Active loads plot

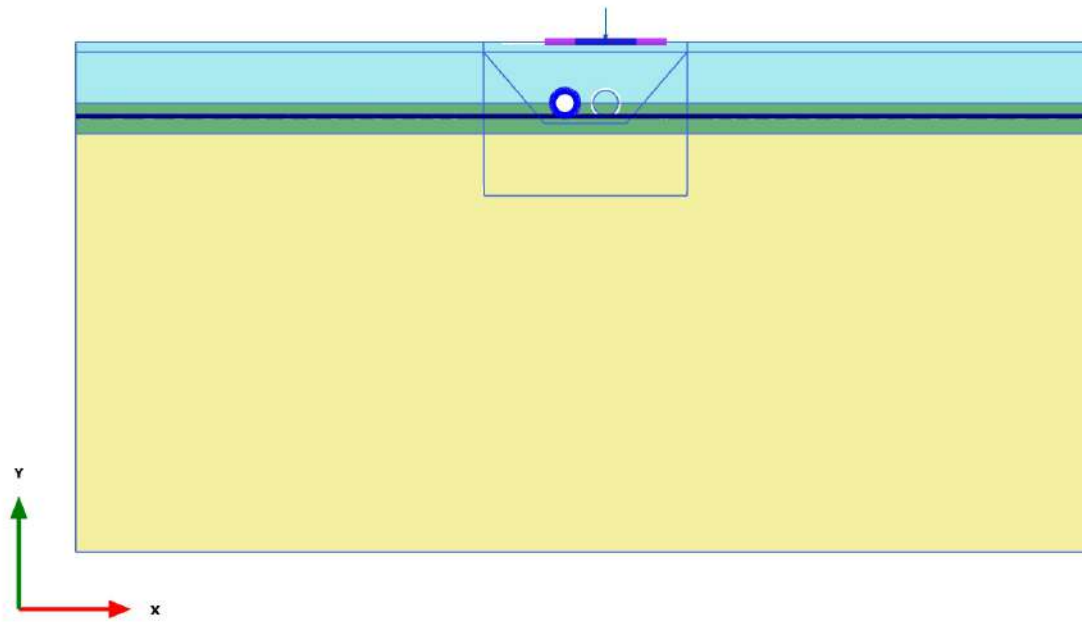


1.1.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Active loads plot



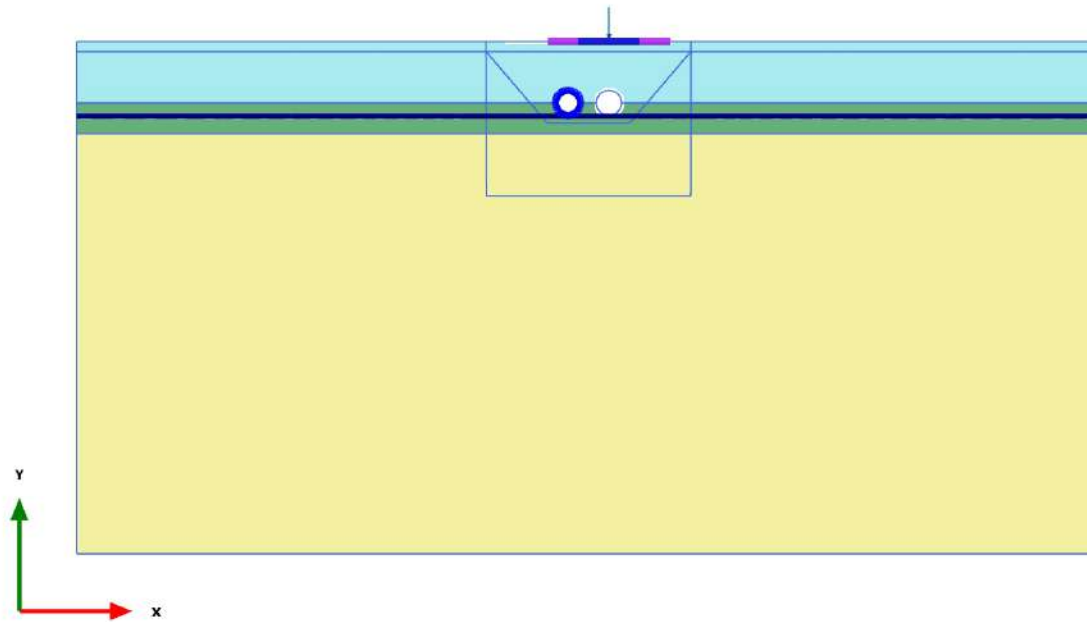
Active loads plot

1.1.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Active loads plot

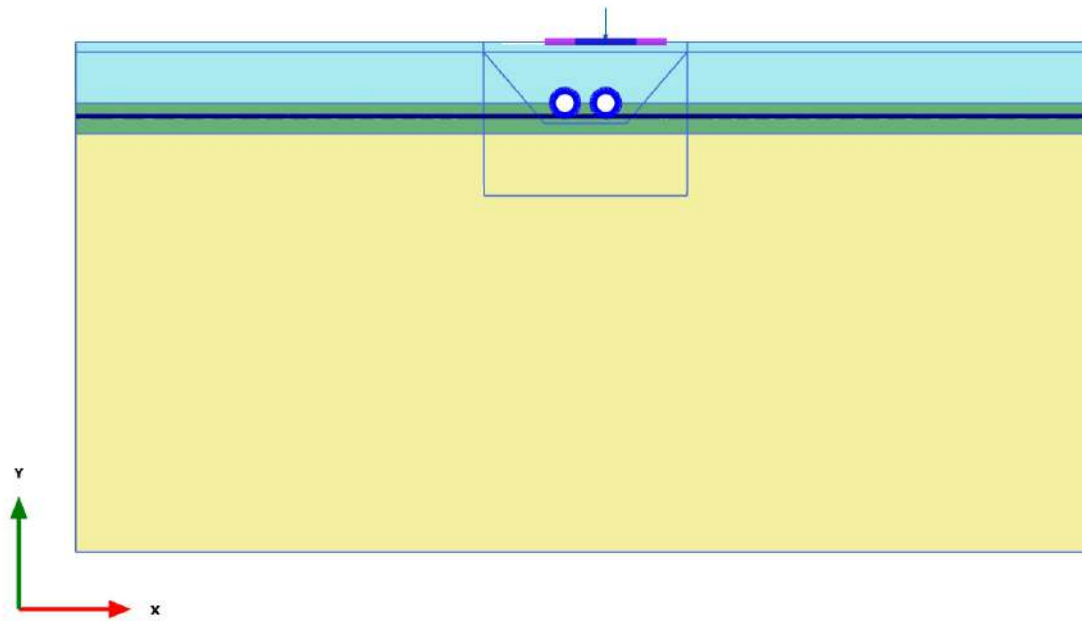


Active loads plot

1.1.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Active loads plot



1.1.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Active loads plot



Active loads plot

1.1.2.1 Point load

ID	Node [10^3]	X [m]	Y [m]	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	F _{a,x} [kN/m]	F _{a,y} [kN/m]	M [kN m/m]
1	49385	-2,000	50,000	0,000	-200,000	0,000	-200,000	0,000

1.1.2.2 Point load

ID	Node [10^3]	X [m]	Y [m]	F_x [kN/m]	F_y [kN/m]	$F_{a,x}$ [kN/m]	$F_{a,y}$ [kN/m]	M [kN m/m]
1	49385	-2,000	50,000	0,000	-200,000	0,000	-200,000	0,000

1.1.2.3 Point load

ID	Node [10^3]	X [m]	Y [m]	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	F _{a,x} [kN/m]	F _{a,y} [kN/m]	M [kN m/m]
1	49385	-2,000	50,000	0,000	-200,000	0,000	-200,000	0,000

1.1.2.4 Point load

ID	Node [10^3]	X [m]	Y [m]	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	F _{a,x} [kN/m]	F _{a,y} [kN/m]	M [kN m/m]
1	59029	2,000	50,000	0,000	-200,000	0,000	-200,000	0,000

1.1.2.5 Point load

ID	Node [10^3]	X [m]	Y [m]	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	F _{a,x} [kN/m]	F _{a,y} [kN/m]	M [kN m/m]
1	59029	2,000	50,000	0,000	-200,000	0,000	-200,000	0,000

1.1.2.6 Point load

ID	Node [10^3]	X [m]	Y [m]	F _x [kN/m]	F _y [kN/m]	F _{a,x} [kN/m]	F _{a,y} [kN/m]	M [kN m/m]
1	59029	2,000	50,000	0,000	-200,000	0,000	-200,000	0,000

1.1.3.1 Line load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m/m]	q_y [kN/m/m]	$q_{a,x}$ [kN/m/m]	$q_{a,y}$ [kN/m/m]
----	------	------------	-------	-------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

1.1.3.2 Line load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m/m]	q_y [kN/m/m]	$q_{a,x}$ [kN/m/m]	$q_{a,y}$ [kN/m/m]
----	------	------------	-------	-------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

1.1.3.3 Line load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m/m]	q_y [kN/m/m]	$q_{a,x}$ [kN/m/m]	$q_{a,y}$ [kN/m/m]
----	------	------------	-------	-------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

1.1.3.4 Line load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m/m]	q_y [kN/m/m]	$q_{a,x}$ [kN/m/m]	$q_{a,y}$ [kN/m/m]
----	------	------------	-------	-------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

1.1.3.5 Line load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m/m]	q_y [kN/m/m]	$q_{a,x}$ [kN/m/m]	$q_{a,y}$ [kN/m/m]
----	------	------------	-------	-------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

1.1.3.6 Line load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m/m]	q_y [kN/m/m]	$q_{a,x}$ [kN/m/m]	$q_{a,y}$ [kN/m/m]
----	------	------------	-------	-------	----------------	----------------	--------------------	--------------------

1.1.4.1 Surface load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	$q_{a,x}$ [kN/m ²]	$q_{a,y}$ [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

1.1.4.2 Surface load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	$q_{a,x}$ [kN/m ²]	$q_{a,y}$ [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

1.1.4.3 Surface load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	$q_{a,x}$ [kN/m ²]	$q_{a,y}$ [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

1.1.4.4 Surface load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	$q_{a,x}$ [kN/m ²]	$q_{a,y}$ [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

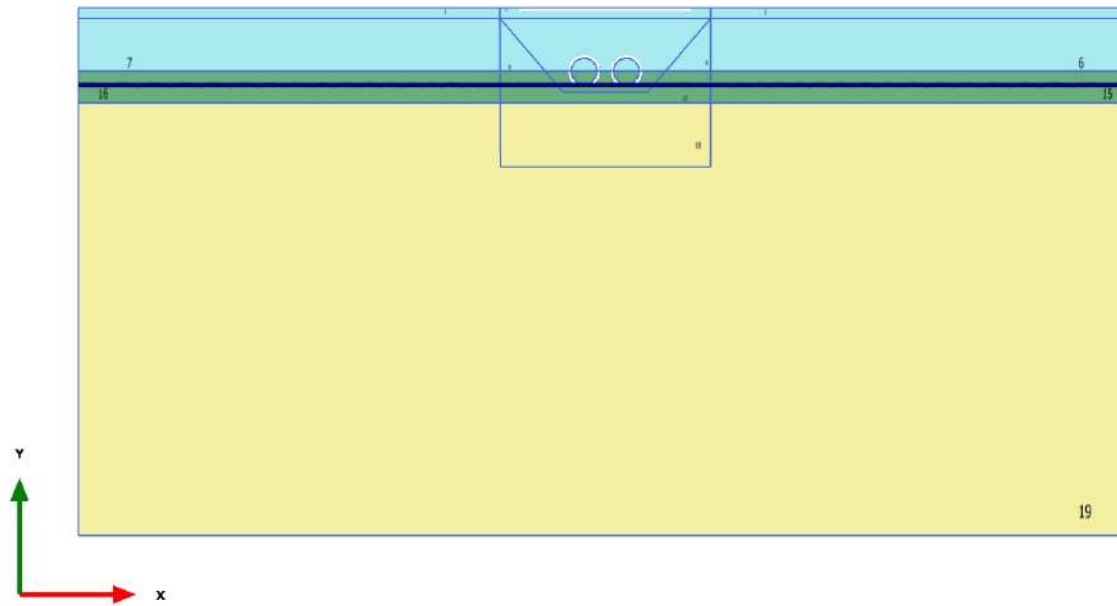
1.1.4.5 Surface load

ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	$q_{a,x}$ [kN/m ²]	$q_{a,y}$ [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

1.1.4.6 Surface load

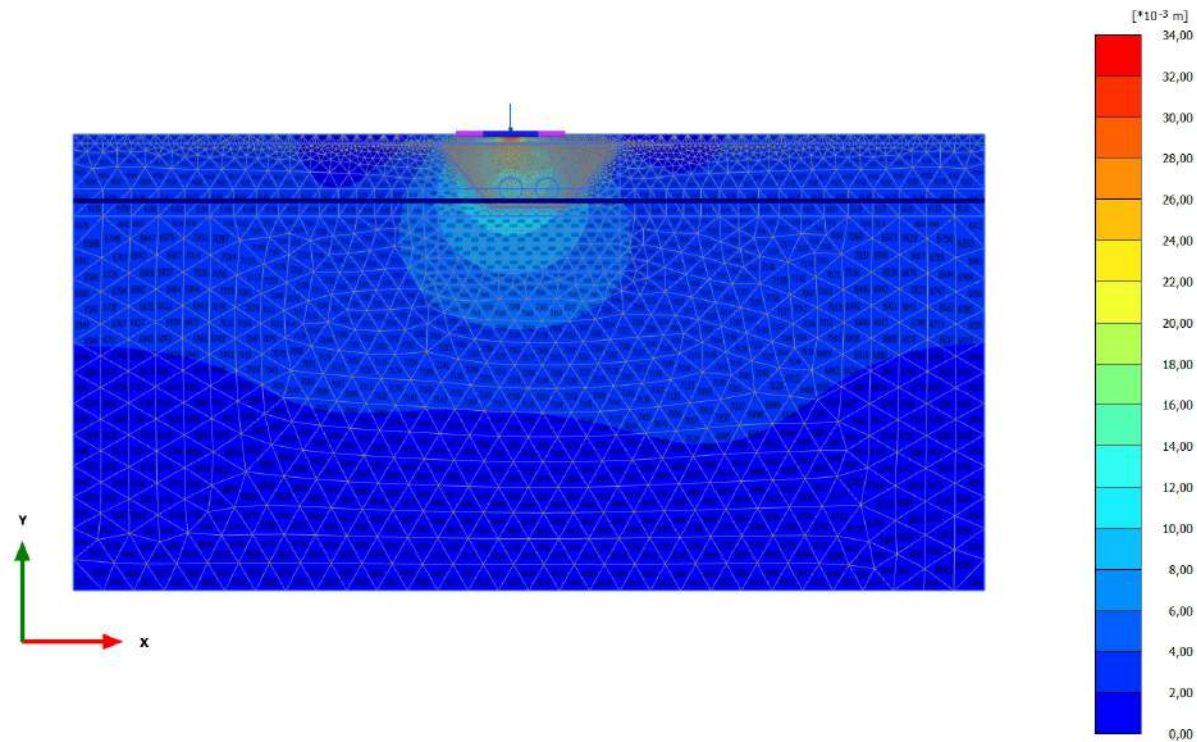
ID	Node	Local node	X [m]	Y [m]	q_x [kN/m ²]	q_y [kN/m ²]	$q_{a,x}$ [kN/m ²]	$q_{a,y}$ [kN/m ²]
----	------	------------	-------	-------	----------------------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

1.1.5 Clusters plot



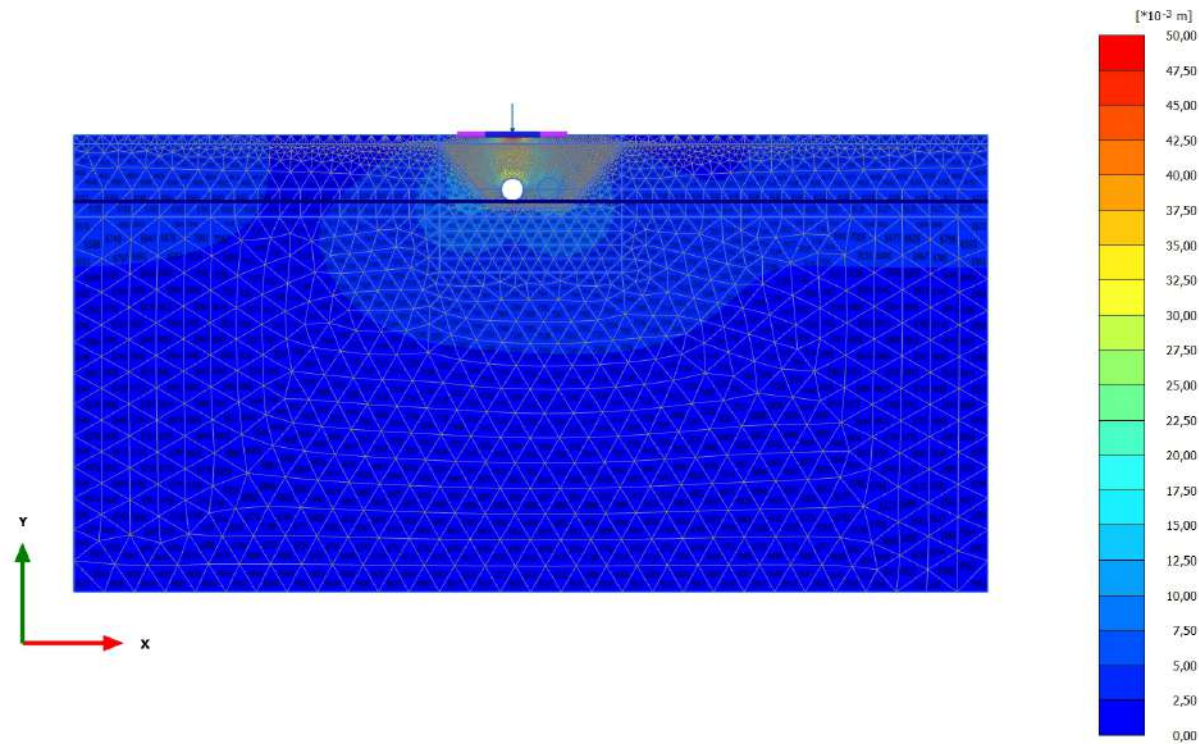
Clusters plot

2.1.1.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total displacements $|u|$



Total displacements $|u|$ (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,03306 m (Element 35 at Node 53515)

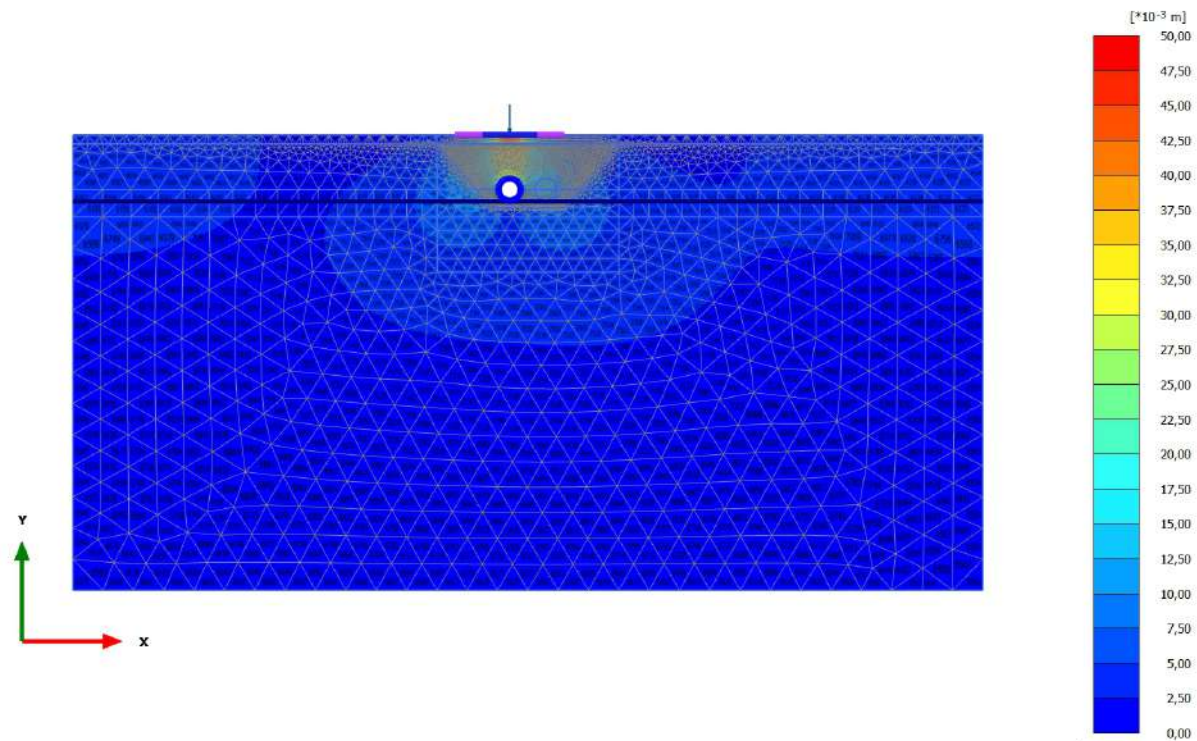
2.1.1.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total displacements $|u|$



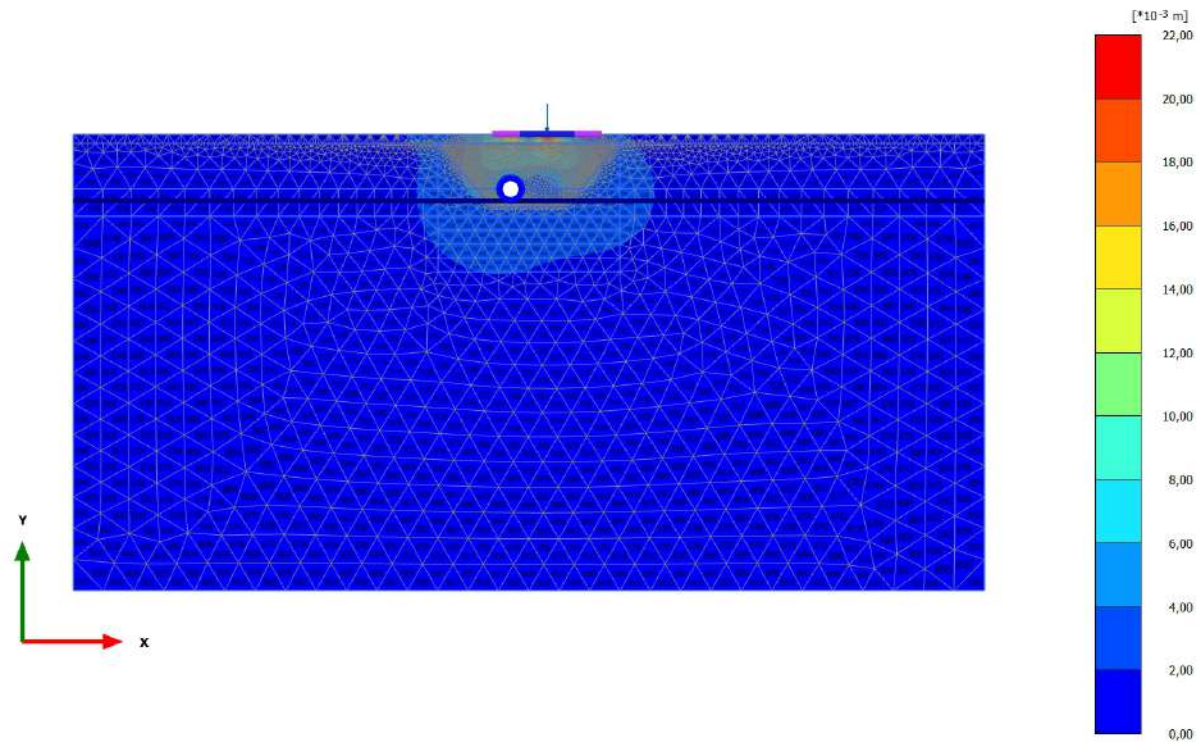
Total displacements $|u|$ (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,04864 m (Element 35 at Node 53515)

2.1.1.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total displacements $|u|$

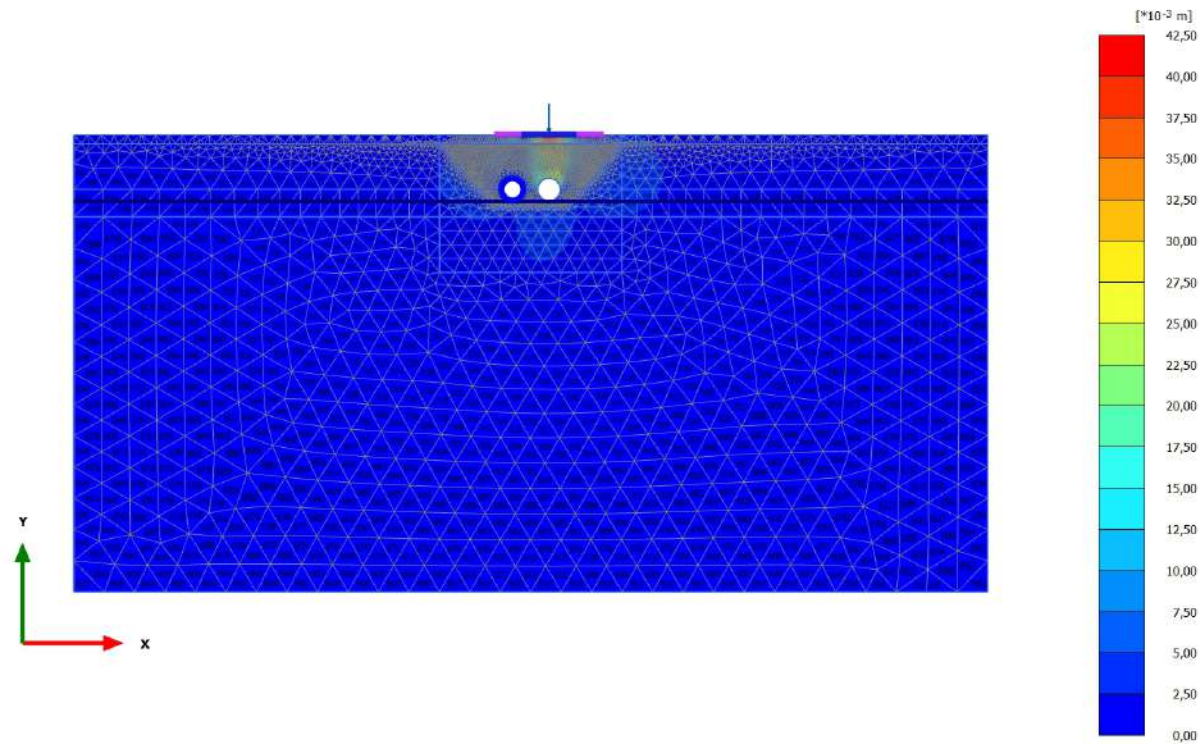


2.1.1.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total displacements $|u|$



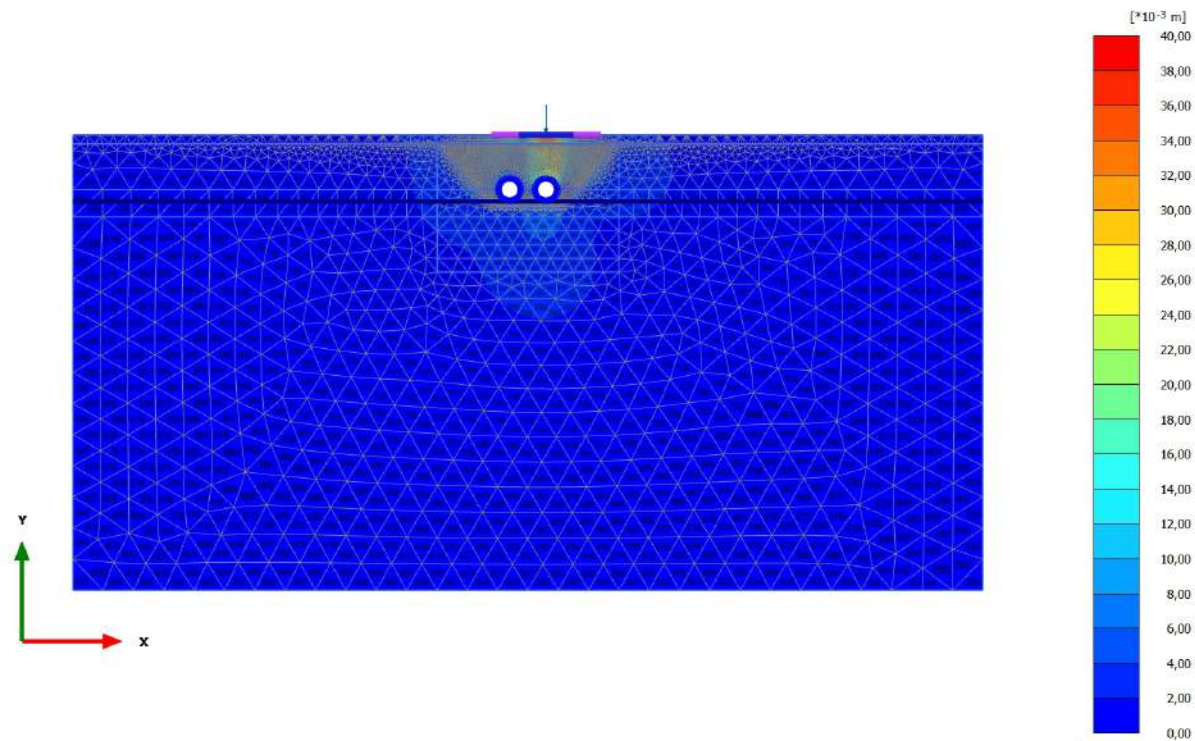
Total displacements $|u|$ (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,02173 m (Element 47 at Node 60398)

2.1.1.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total displacements $|u|$

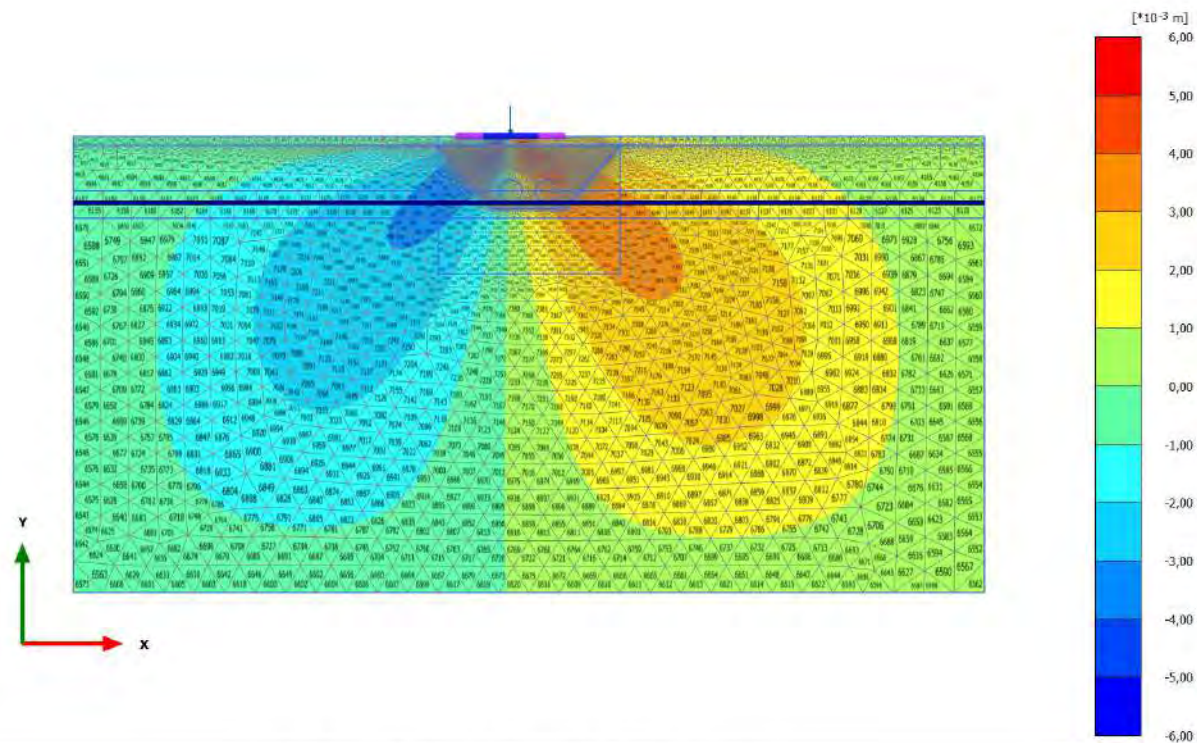


Total displacements $|u|$ (scaled up 50,0 times)
Maximum value = 0,04048 m (Element 47 at Node 60398)

2.1.1.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total displacements $|u|$

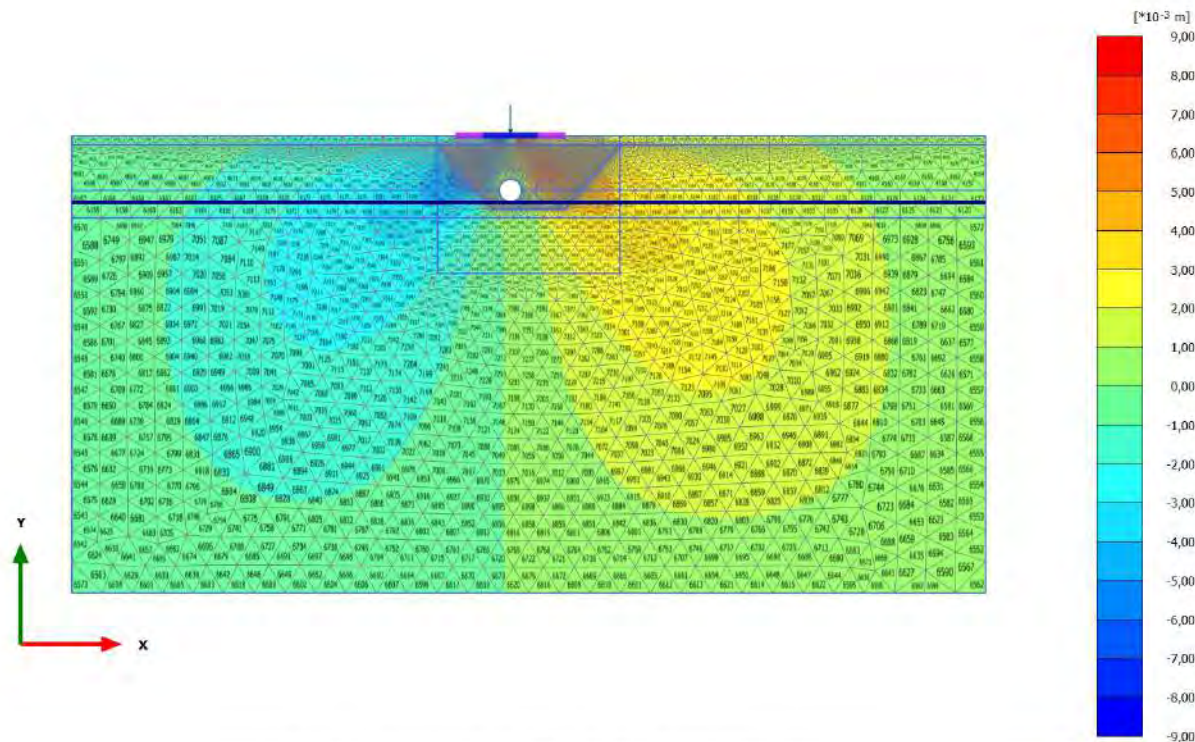


2.1.1.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total displacements u_x



Total displacements u_x (scaled up 200 times)
 Maximum value = $5,795 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2275 at Node 55677)
 Minimum value = $-5,431 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2493 at Node 38808)

2.1.1.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total displacements u_x



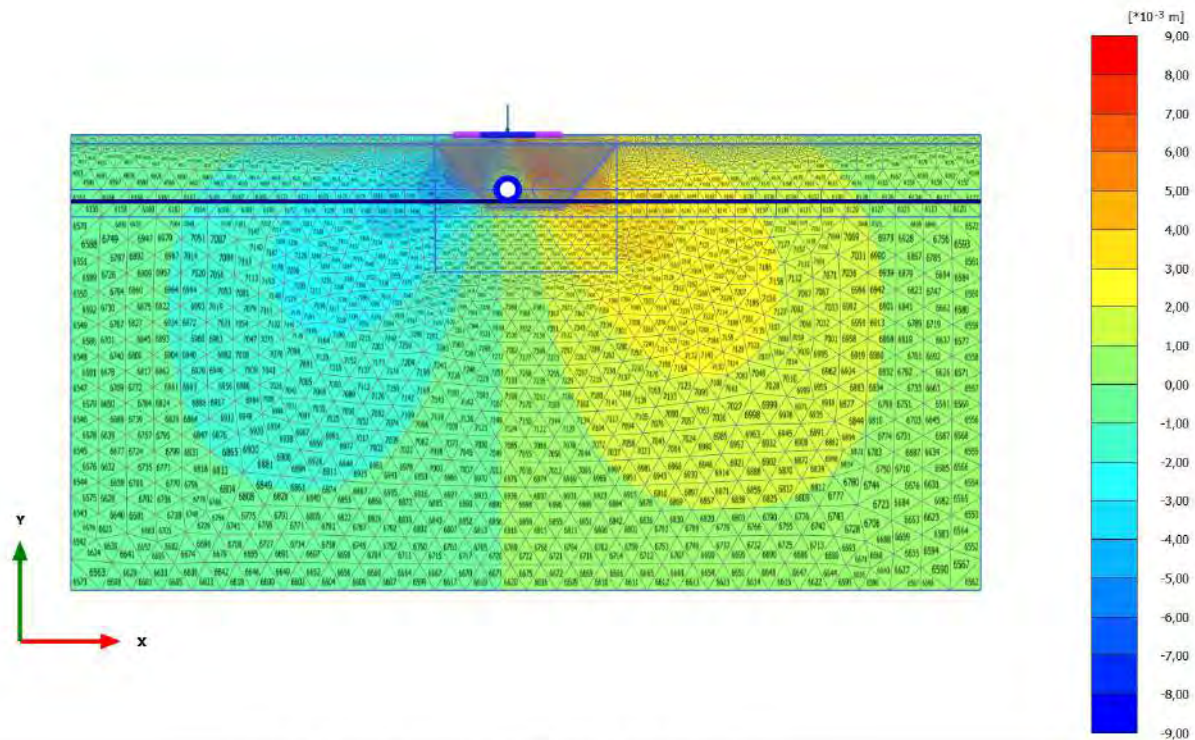
Total displacements u_x (scaled up 200 times)

Maximum value = $8,389 \cdot 10^{-3}$ m (Element 314 at Node 56514)

Minimum value = $-8,044 \cdot 10^{-3}$ m (Element 328 at Node 48849)

2.1.1.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total displacements

u_x

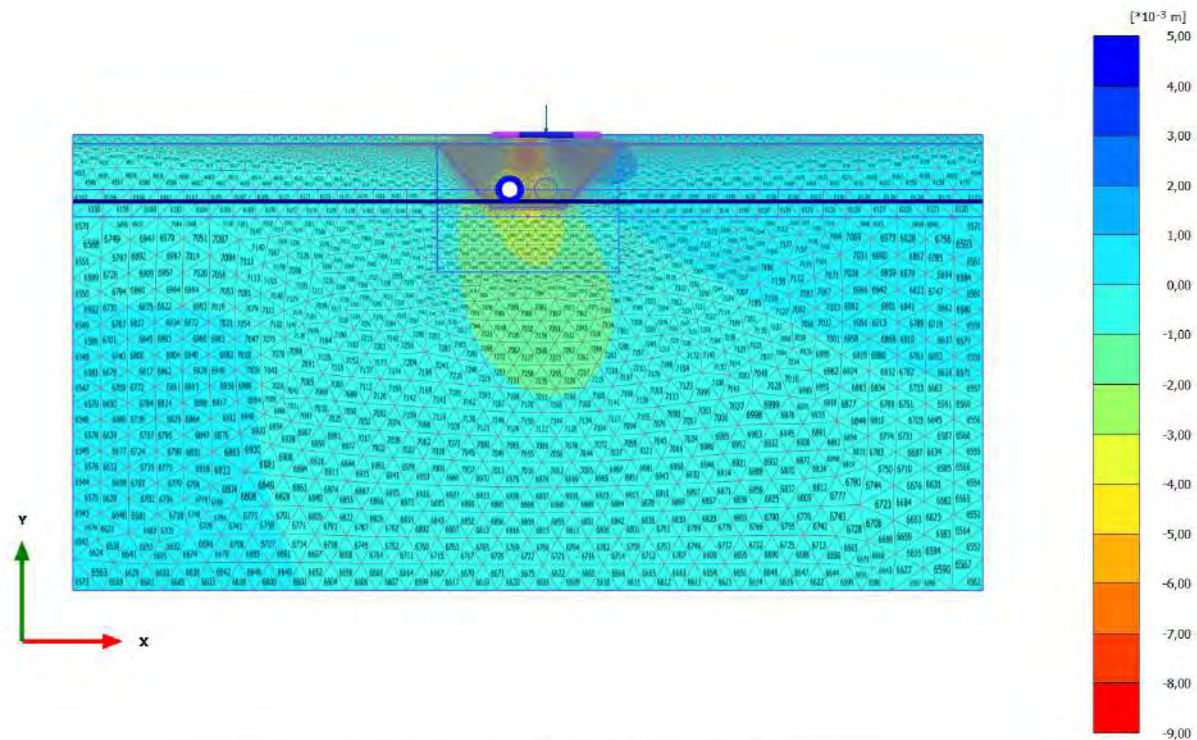


Total displacements u_x (scaled up 200 times)

Maximum value = $8,417 \cdot 10^{-3}$ m (Element 314 at Node 56514)

Minimum value = $-8,078 \cdot 10^{-3}$ m (Element 328 at Node 48849)

2.1.1.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total displacements u_x

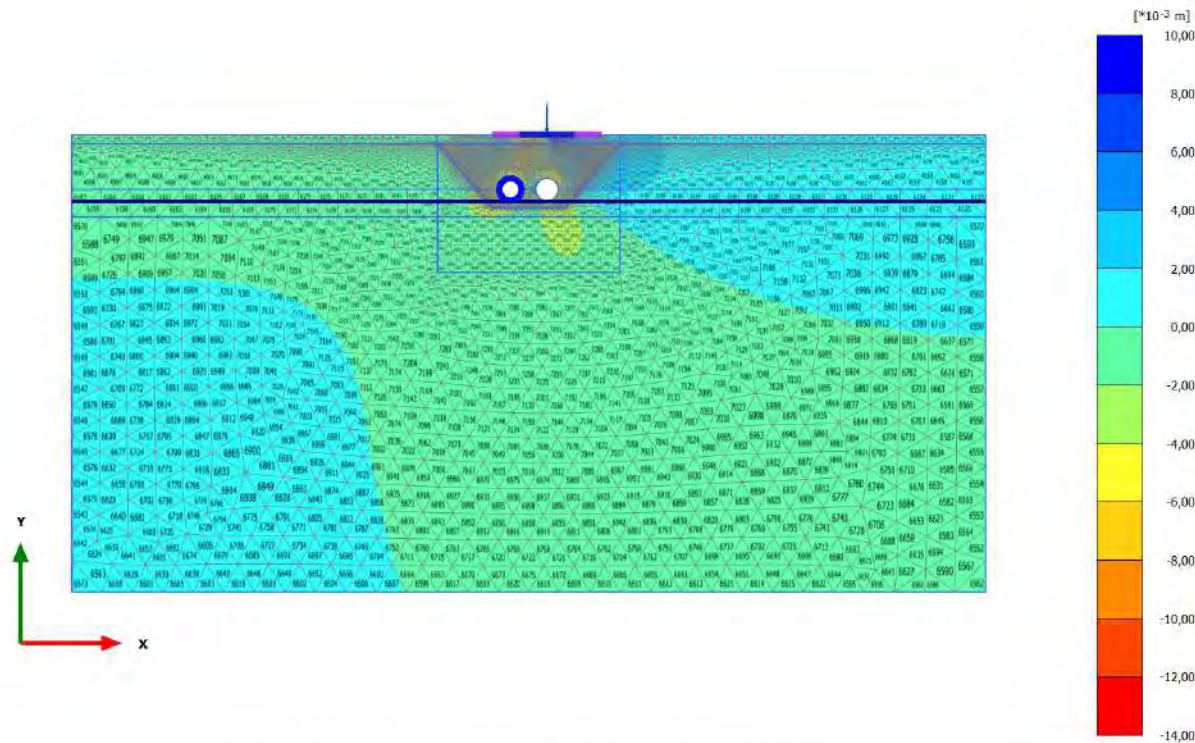


Total displacements u_x (scaled up 200 times)

Maximum value = $4,763 \cdot 10^{-3}$ m (Element 470 at Node 60052)

Minimum value = $-8,464 \cdot 10^{-3}$ m (Element 2972 at Node 57101)

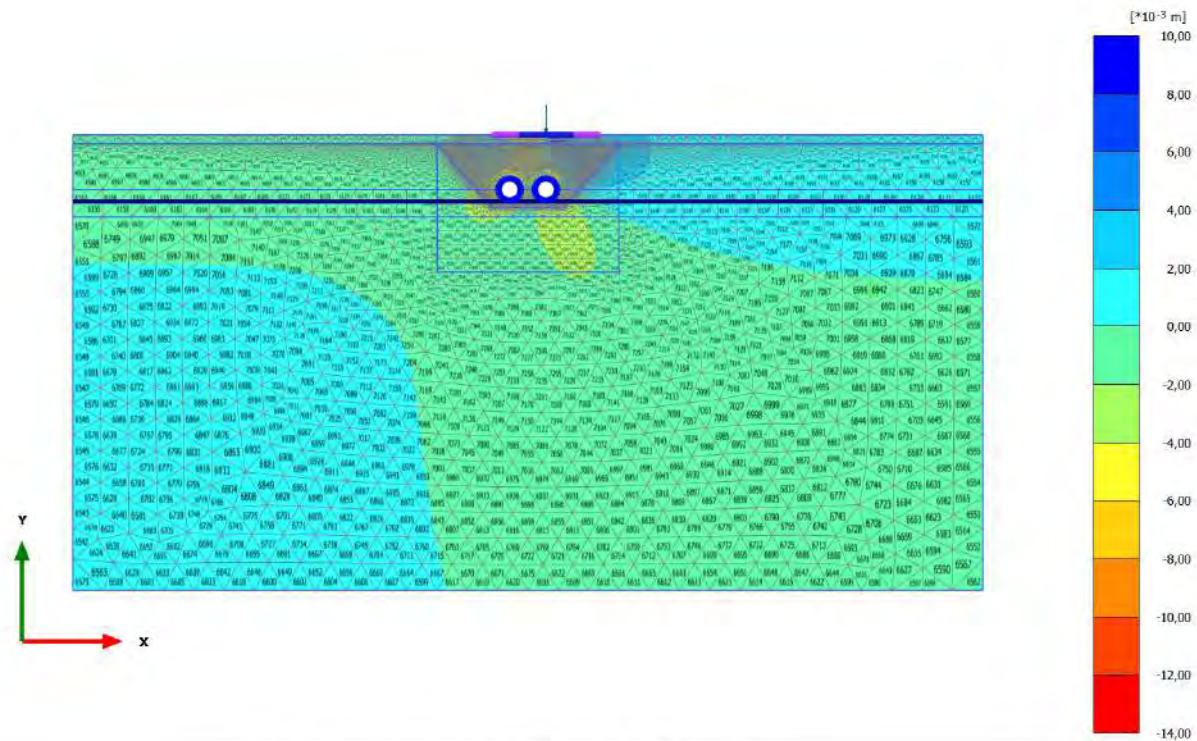
2.1.1.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total displacements u_x



Total displacements u_x (scaled up 200 times)
 Maximum value = $9,739 \cdot 10^{-3}$ m (Element 255 at Node 60472)
 Minimum value = $-0,01213$ m (Element 850 at Node 47042)

2.1.1.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total displacements

u_x

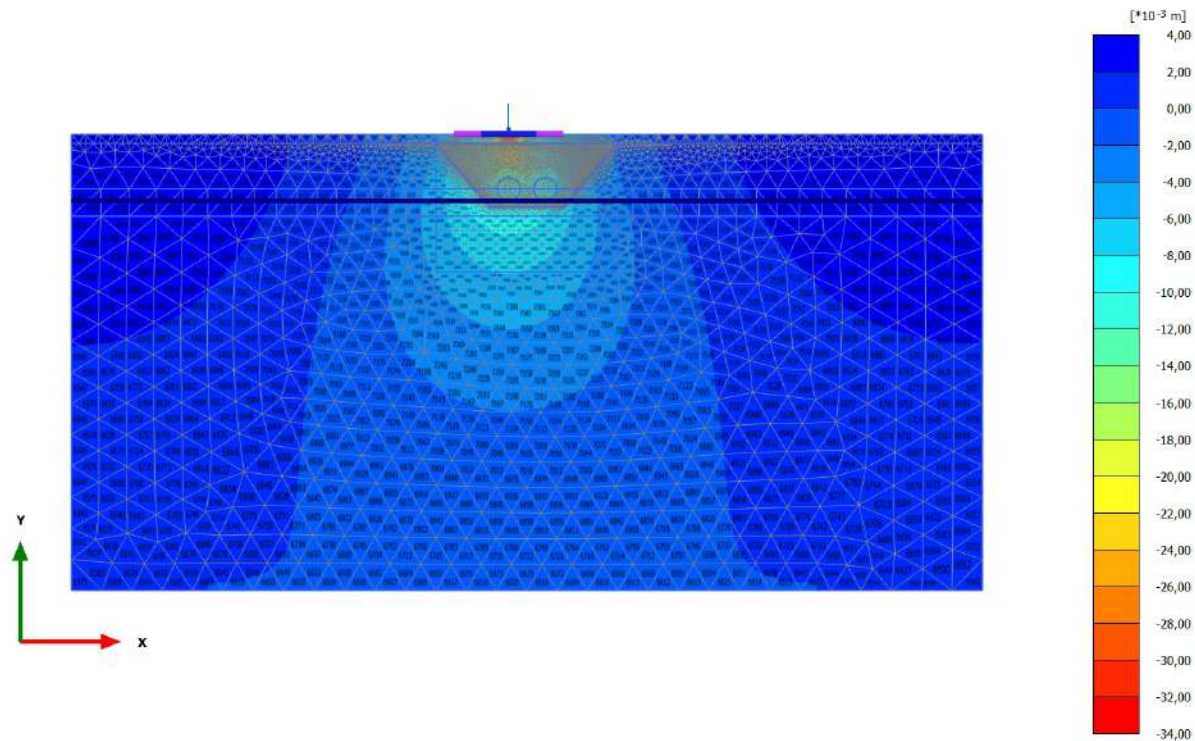


Total displacements u_x (scaled up 200 times)

Maximum value = $9,438 \cdot 10^{-3}$ m (Element 255 at Node 60472)

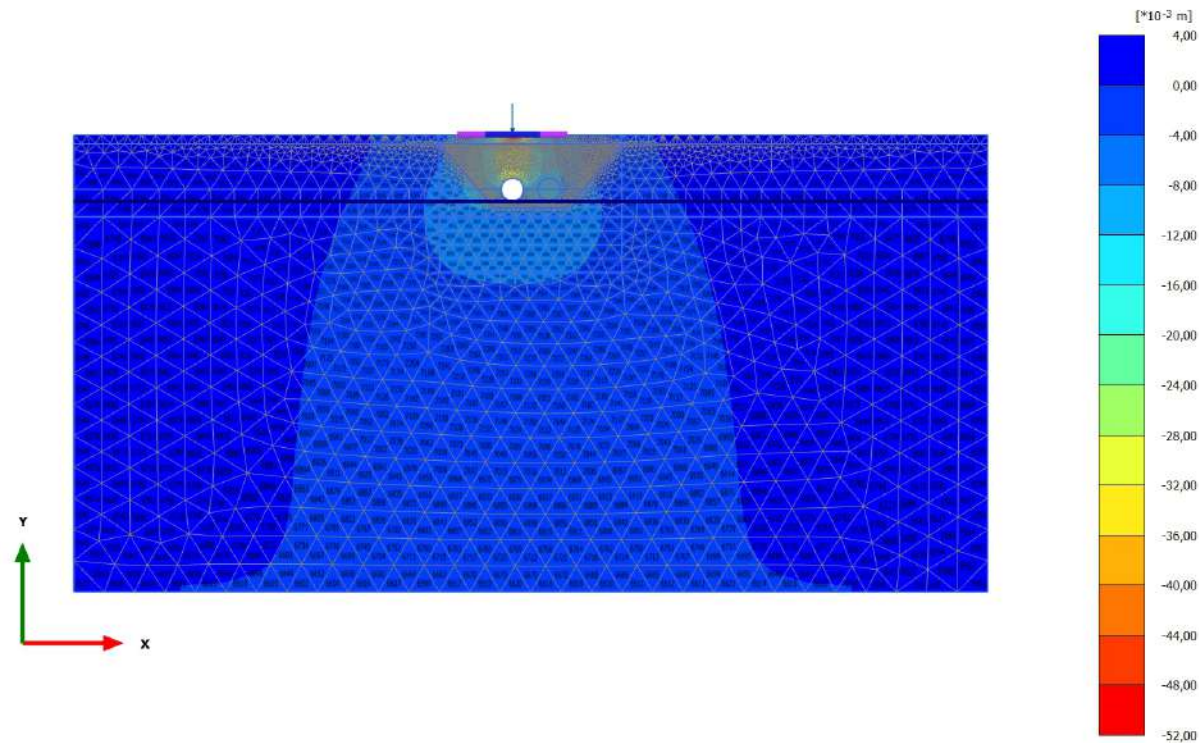
Minimum value = $-0,01249$ m (Element 850 at Node 47042)

2.1.1.3.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = $3,789 \cdot 10^{-3}$ m (Element 541 at Node 11375)
 Minimum value = $-0,03306$ m (Element 35 at Node 53515)

2.1.1.3.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total displacements u_y



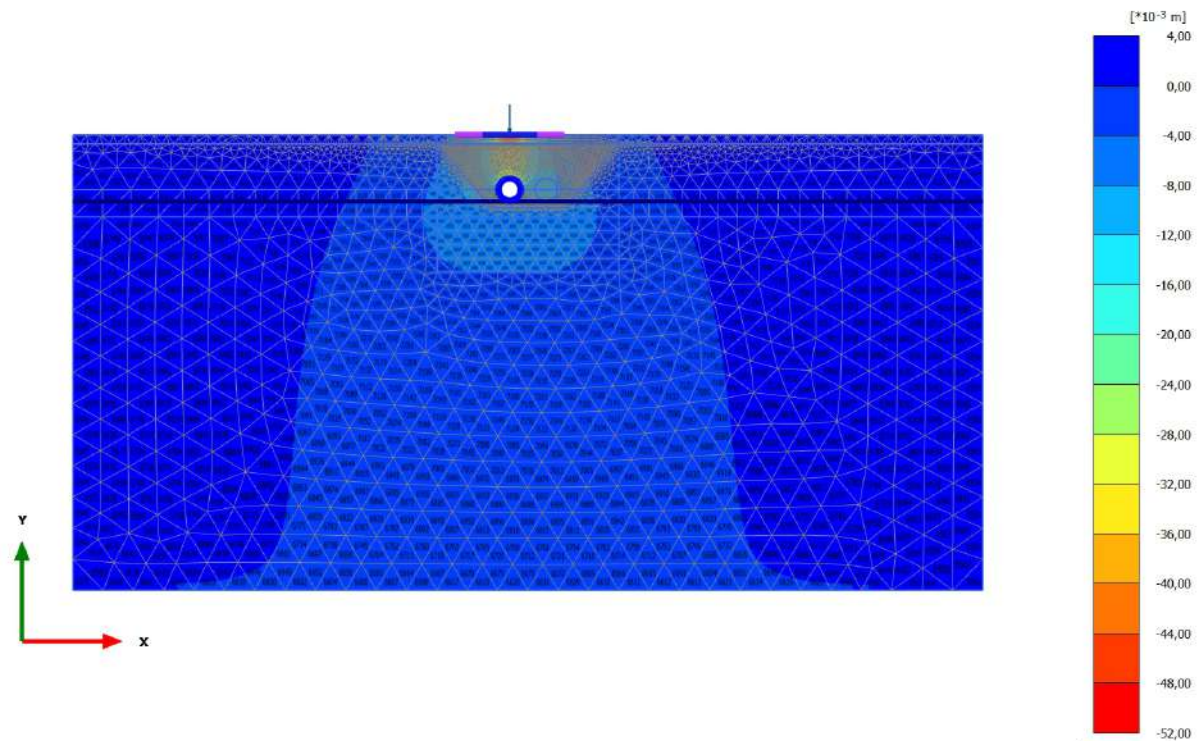
Total displacements u_y (scaled up 50,0 times)

Maximum value = $3,545 \cdot 10^{-3}$ m (Element 541 at Node 11375)

Minimum value = $-0,04864$ m (Element 35 at Node 53515)

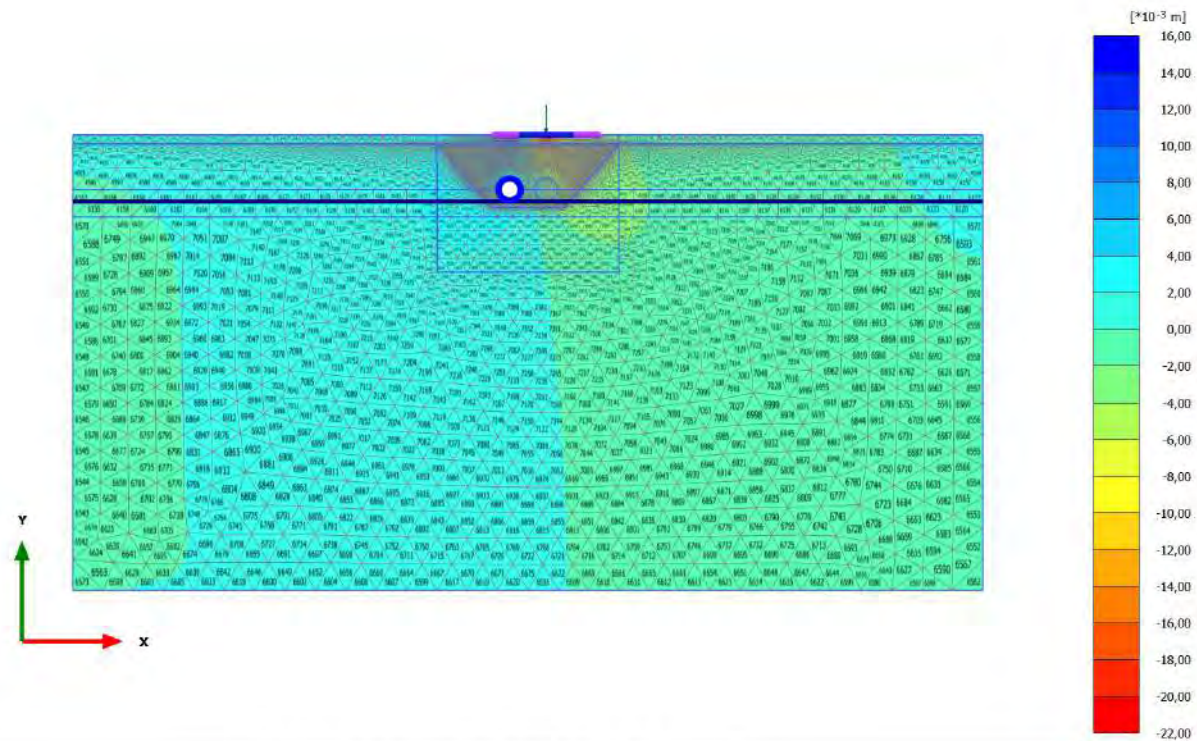
2.1.1.3.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total displacements

u_y



Total displacements u_y (scaled up 50,0 times)
Maximum value = $3,436 \cdot 10^{-3}$ m (Element 541 at Node 11375)
Minimum value = $-0,04841$ m (Element 35 at Node 53515)

2.1.1.3.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total displacements u_y

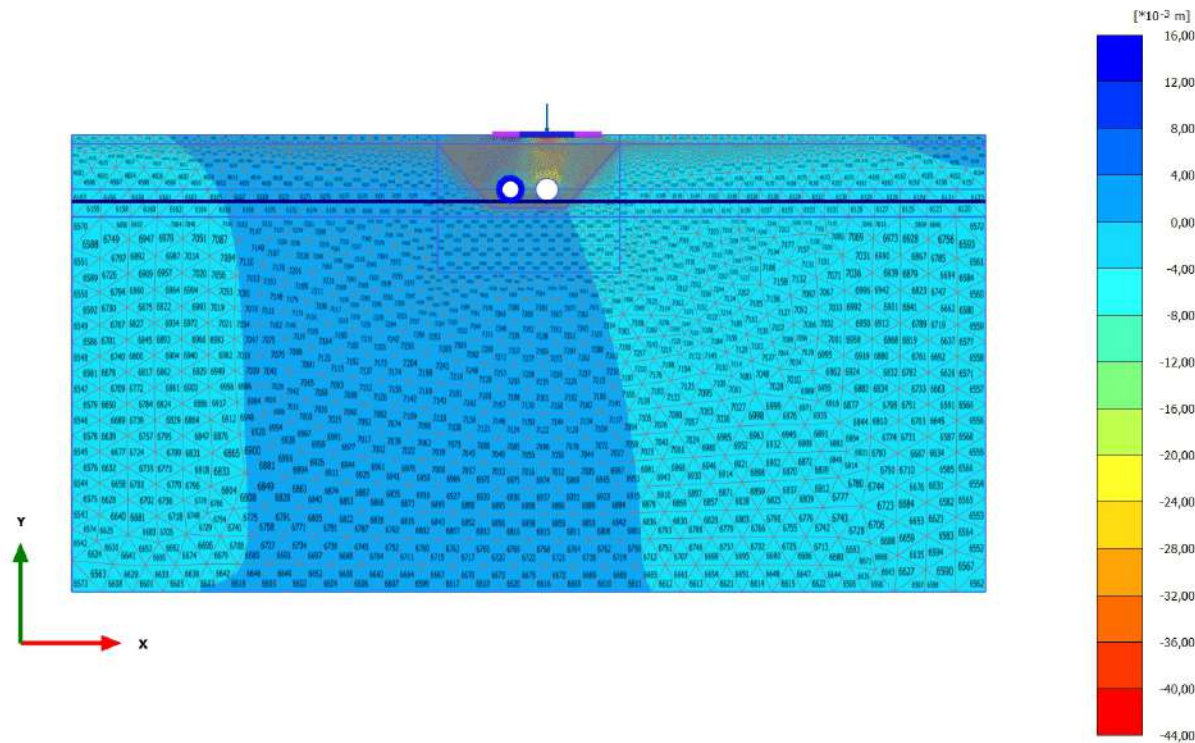


Total displacements u_y (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,01538 m (Element 35 at Node 53515)

Minimum value = -0,02172 m (Element 47 at Node 60398)

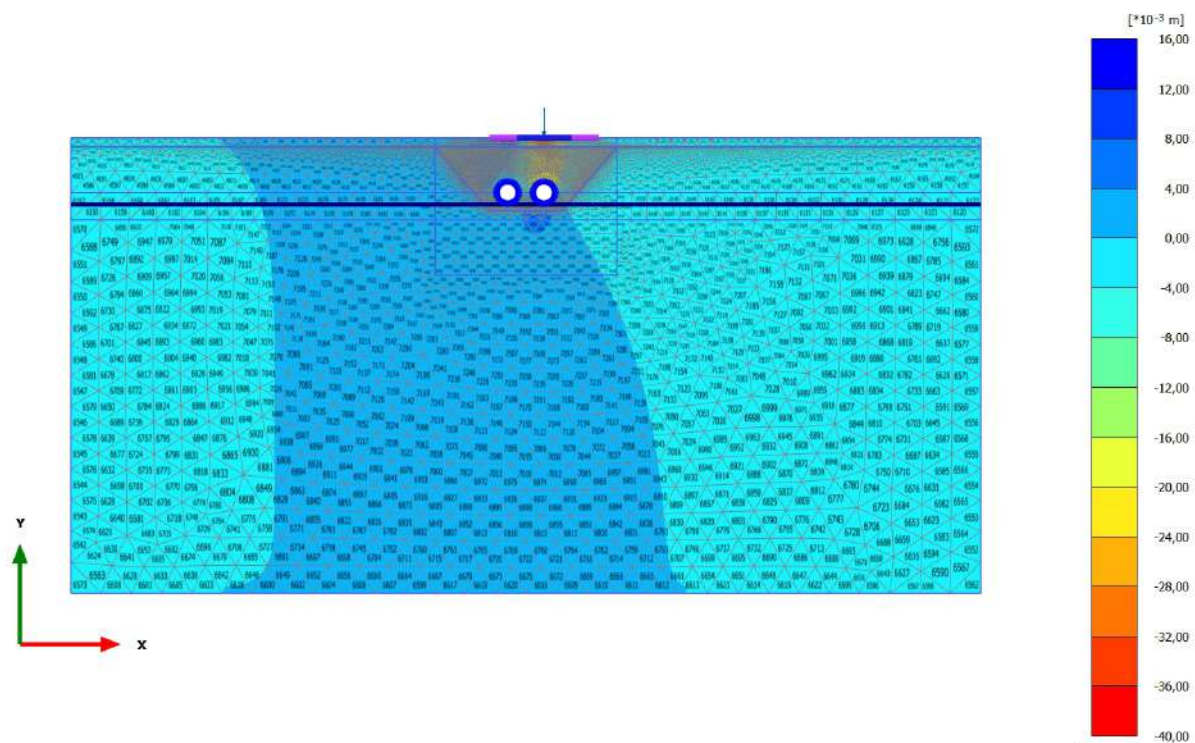
2.1.1.3.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 0,01330 m (Element 35 at Node 53515)
 Minimum value = -0,04043 m (Element 47 at Node 60398)

2.1.1.3.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total displacements

u_y

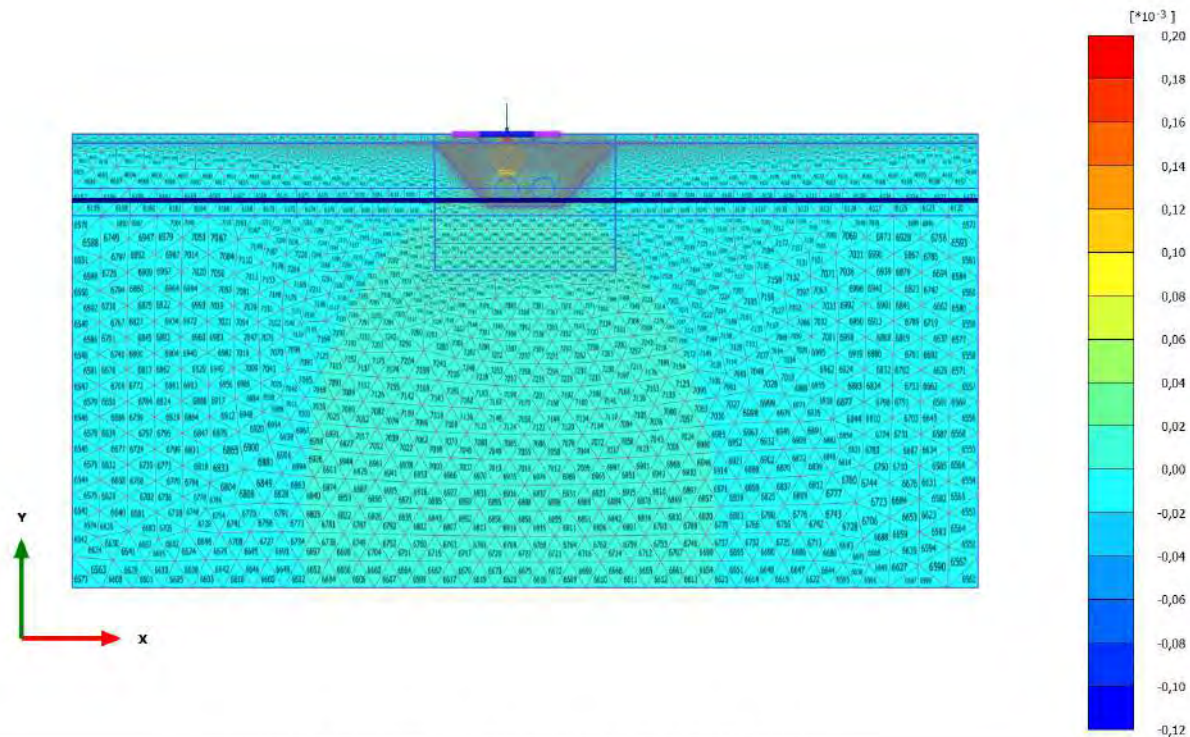


Total displacements u_y (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,01417 m (Element 35 at Node 53515)

Minimum value = -0,03953 m (Element 47 at Node 60398)

2.1.2.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Incremental cartesian strain ϵ_{xx}



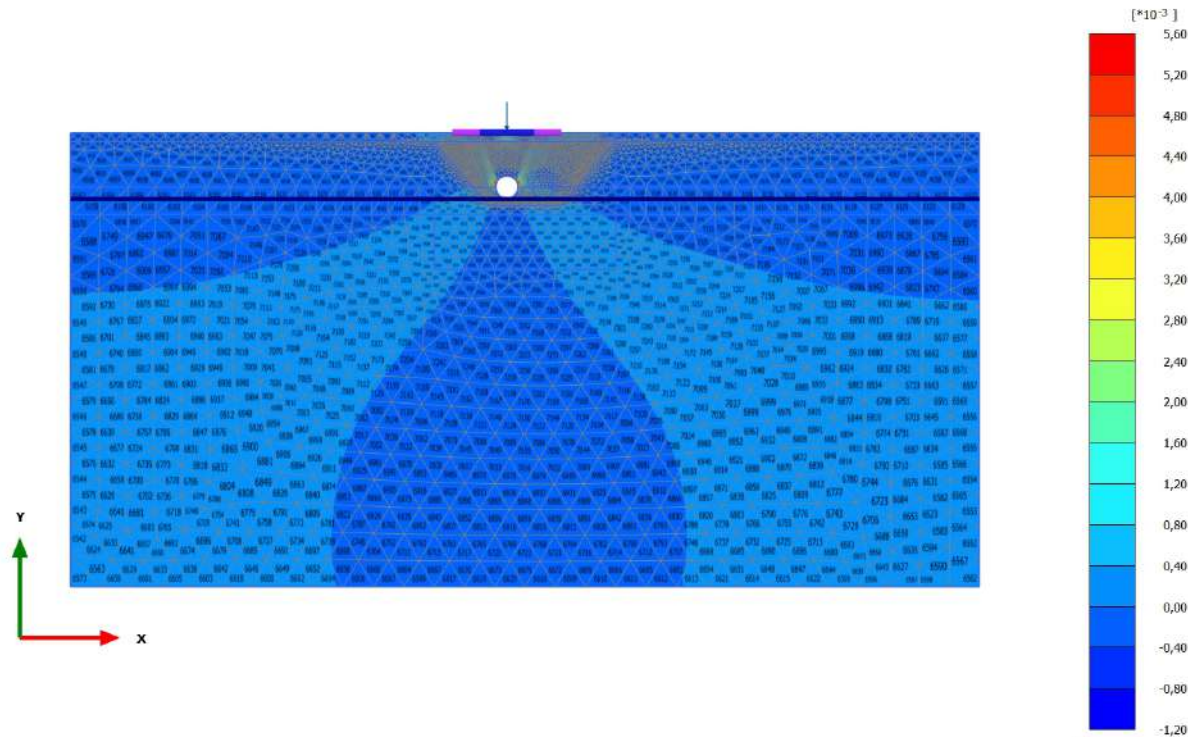
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xx}$ (scaled up $10,0*10^3$ times)

Maximum value = $0,1976*10^{-3}$ (Element 178 at Node 53135)

Minimum value = $-0,1079*10^{-3}$ (Element 324 at Node 41077)

2.1.2.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Incremental cartesian strain

xx



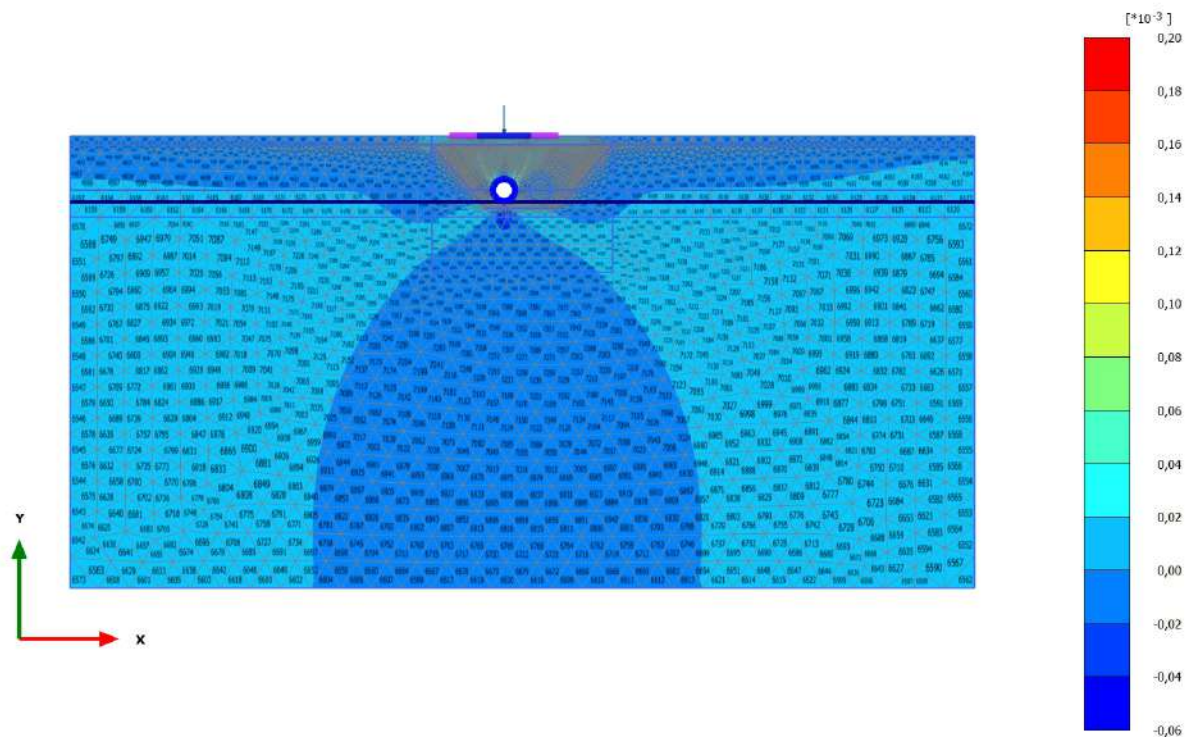
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xx}$ (scaled up 500 times)

Maximum value = $5,322 \cdot 10^{-3}$ (Element 841 at Node 38735)

Minimum value = $-0,8525 \cdot 10^{-3}$ (Element 407 at Node 57552)

2.1.2.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Incremental cartesian strain

xx

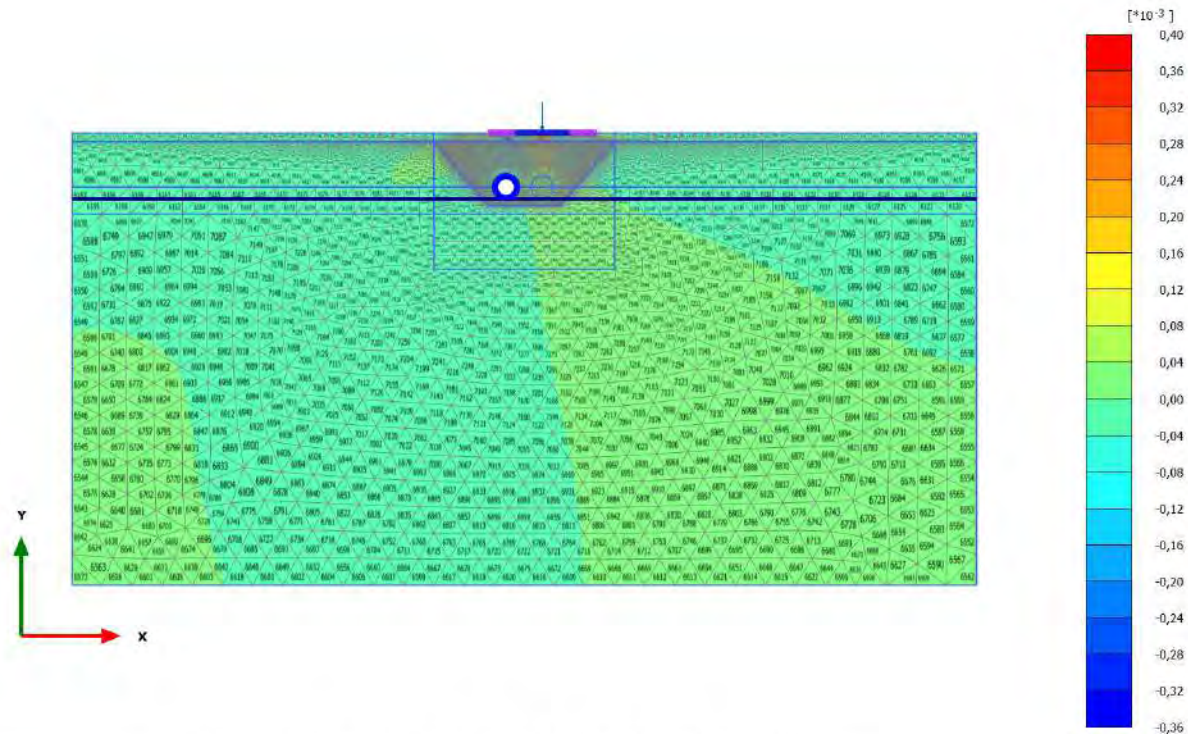


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xx}$ (scaled up $10,0 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,1994 \cdot 10^{-3}$ (Element 54 at Node 59527)

Minimum value = $-0,05843 \cdot 10^{-3}$ (Element 849 at Node 29882)

2.1.2.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Incremental cartesian strain ϵ_{xx}



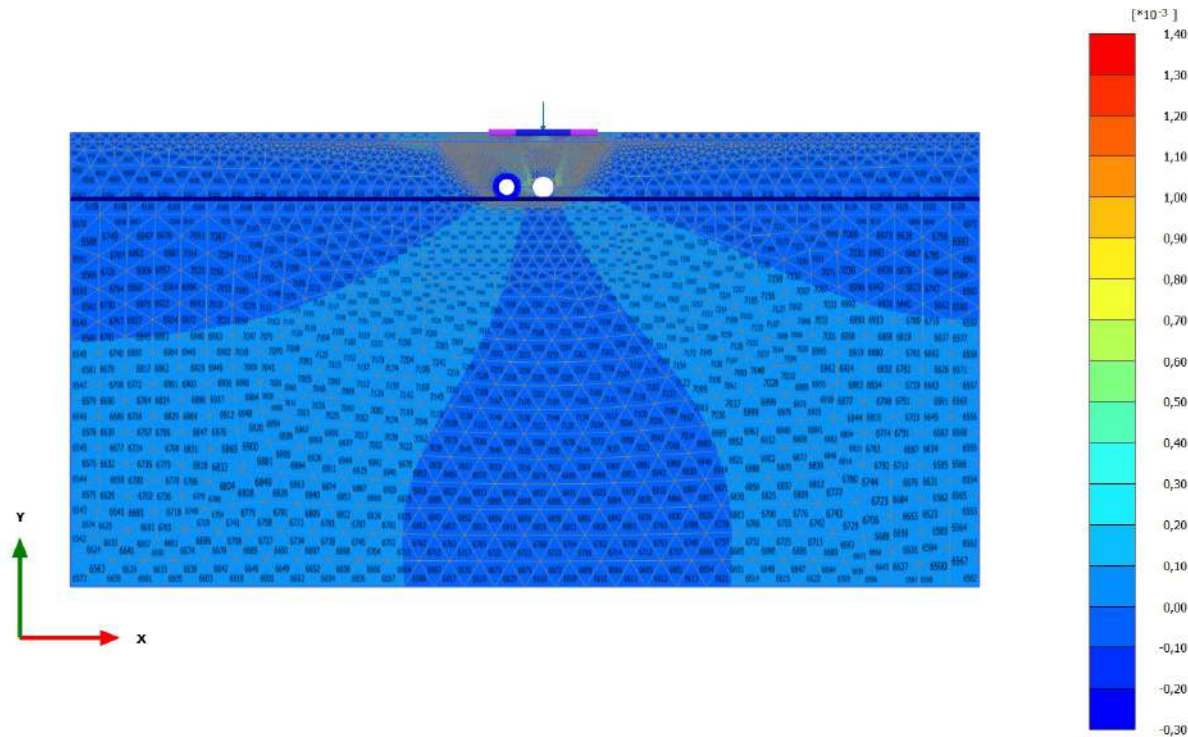
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xx}$ (scaled up $5,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,3728 \cdot 10^{-3}$ (Element 499 at Node 59771)

Minimum value = $-0,3419 \cdot 10^{-3}$ (Element 3446 at Node 54372)

2.1.2.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Incremental cartesian strain

xx



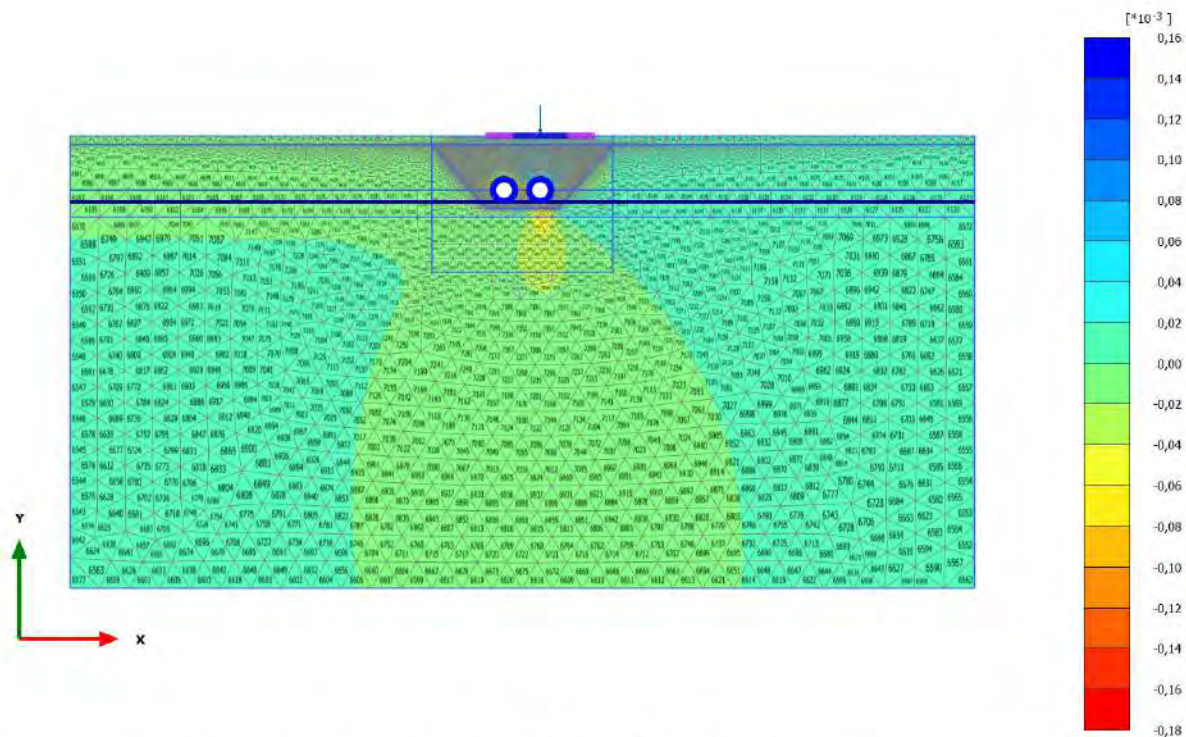
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xx}$ (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $1,316 \cdot 10^{-3}$ (Element 852 at Node 47186)

Minimum value = $-0,2742 \cdot 10^{-3}$ (Element 286 at Node 60294)

2.1.2.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Incremental cartesian strain

xx

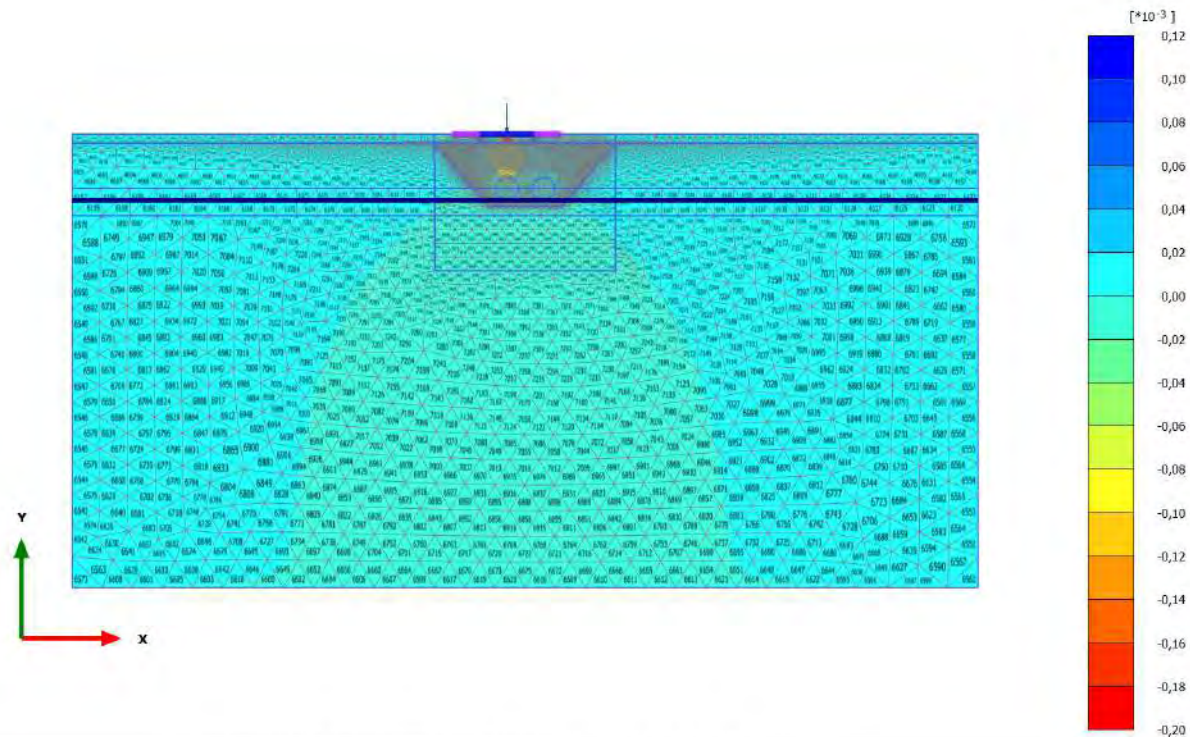


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xx}$ (scaled up $10,0 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,1540 \cdot 10^{-3}$ (Element 840 at Node 48323)

Minimum value = $-0,1696 \cdot 10^{-3}$ (Element 5537 at Node 38020)

2.1.2.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Incremental cartesian strain ϵ_{yy}



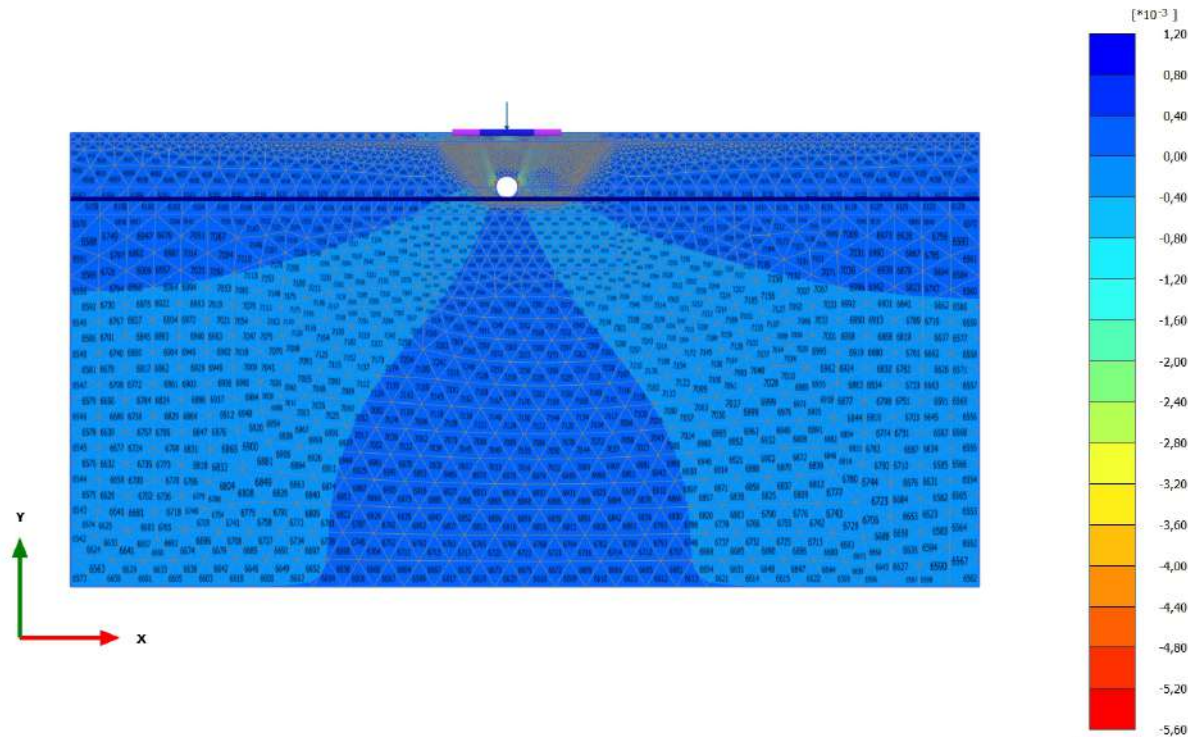
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{yy}$ (scaled up $10,0*10^3$ times)

Maximum value = $0,1075*10^{-3}$ (Element 324 at Node 41077)

Minimum value = $-0,1986*10^{-3}$ (Element 178 at Node 53135)

2.1.2.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Incremental cartesian strain

yy

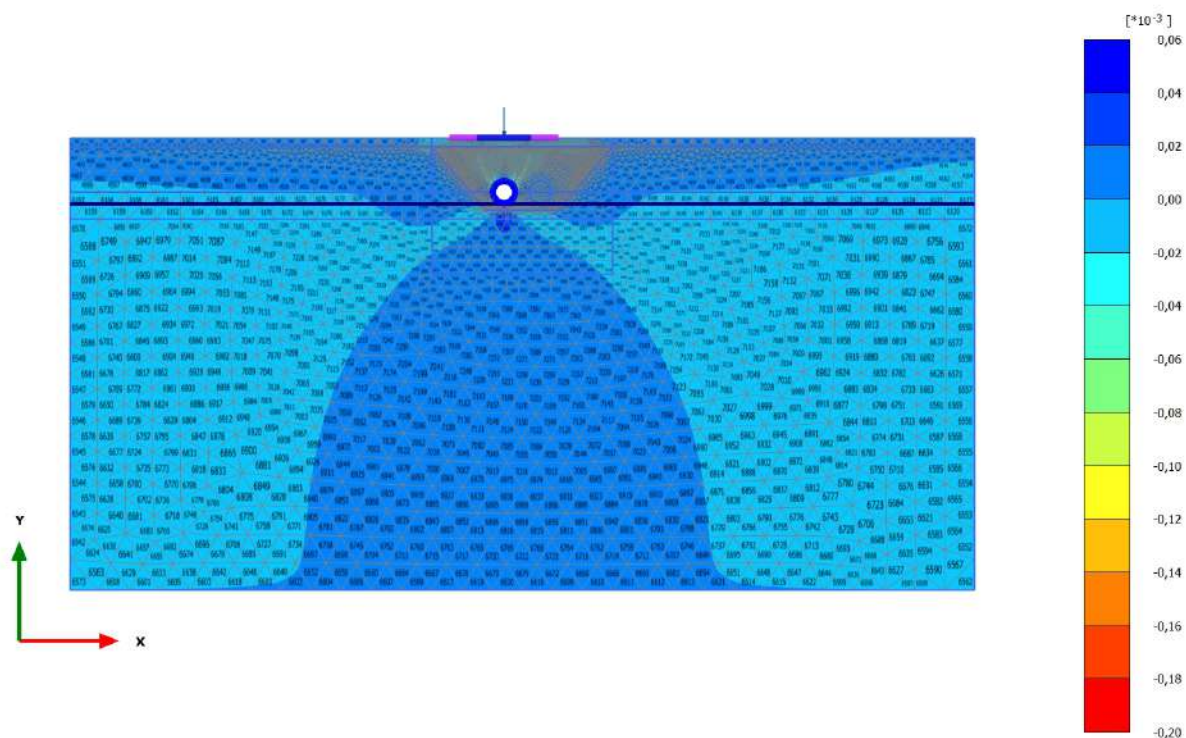


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{yy}$ (scaled up 500 times)

Maximum value = $0,8560 \cdot 10^{-3}$ (Element 407 at Node 57552)

Minimum value = $-5,315 \cdot 10^{-3}$ (Element 841 at Node 38735)

2.1.2.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Incremental cartesian strain ϵ_{yy}

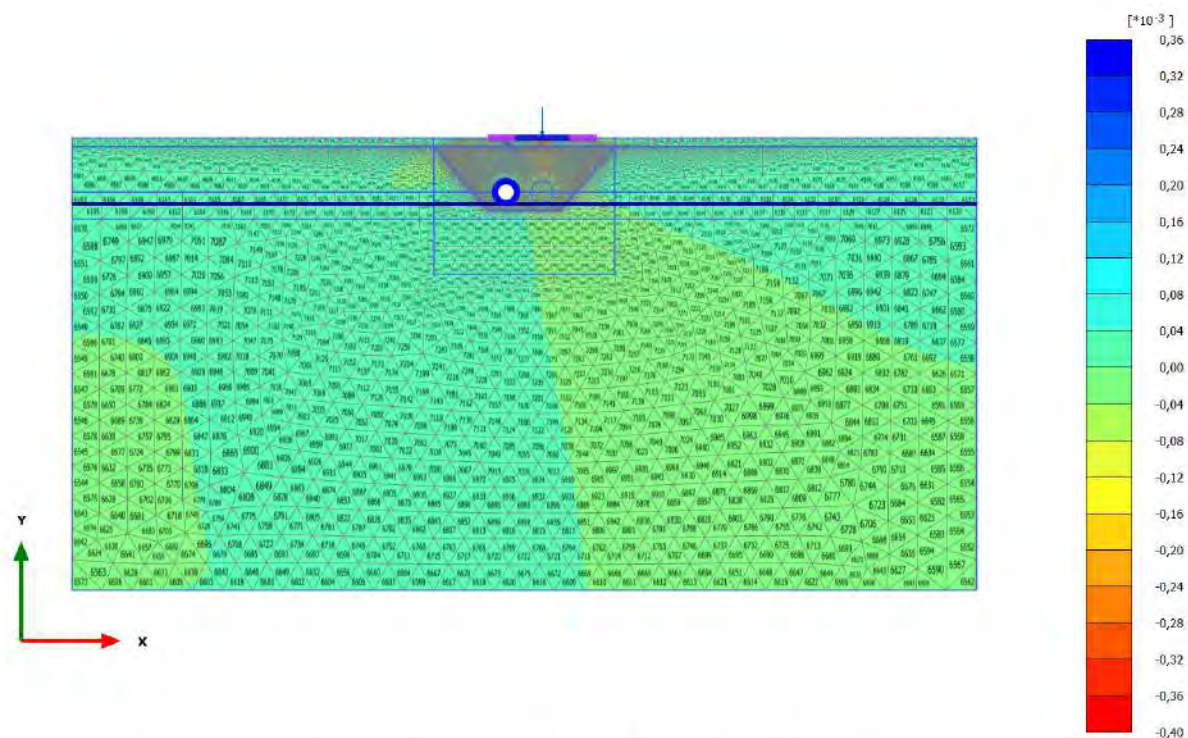


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{yy}$ (scaled up $10,0 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,05665 \cdot 10^{-3}$ (Element 849 at Node 29882)

Minimum value = $-0,1994 \cdot 10^{-3}$ (Element 54 at Node 59527)

2.1.2.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Incremental cartesian strain ϵ_{yy}



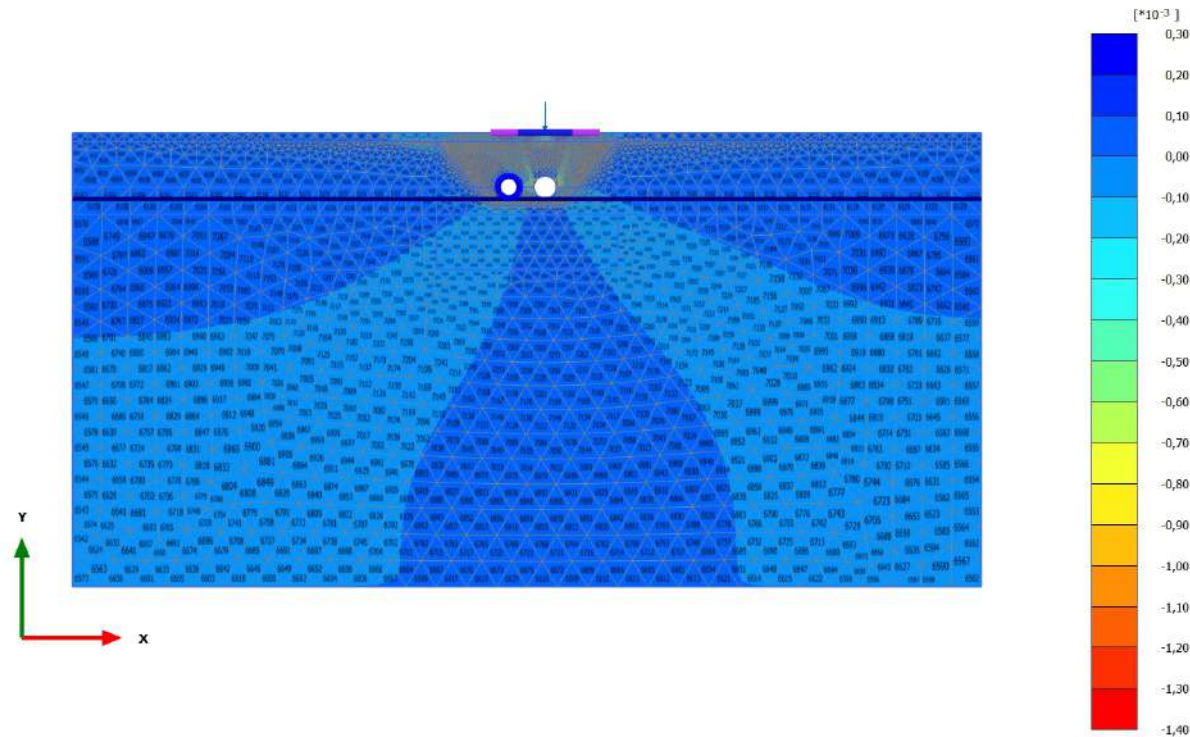
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{yy}$ (scaled up $5,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,3427 \cdot 10^{-3}$ (Element 3446 at Node 54372)

Minimum value = $-0,3731 \cdot 10^{-3}$ (Element 499 at Node 59771)

2.1.2.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Incremental cartesian strain

yy

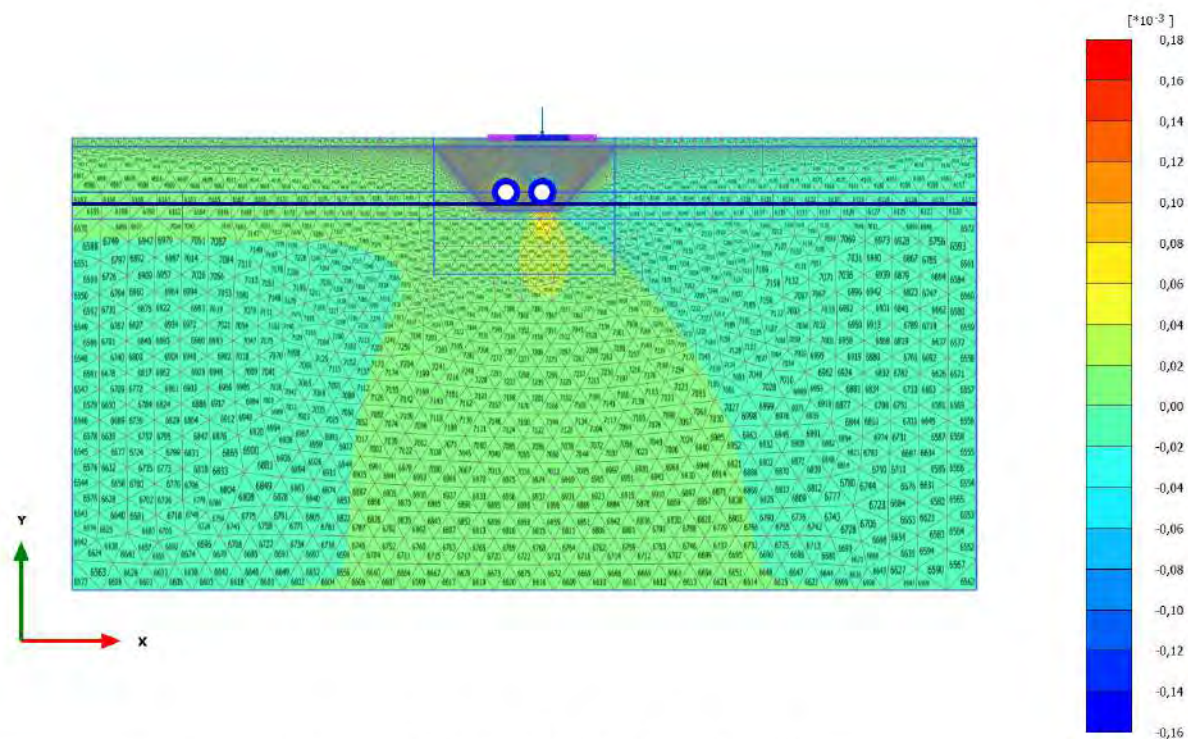


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{yy}$ (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,2750 \cdot 10^{-3}$ (Element 286 at Node 60294)

Minimum value = $-1,315 \cdot 10^{-3}$ (Element 852 at Node 47186)

2.1.2.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Incremental cartesian strain ϵ_{yy}

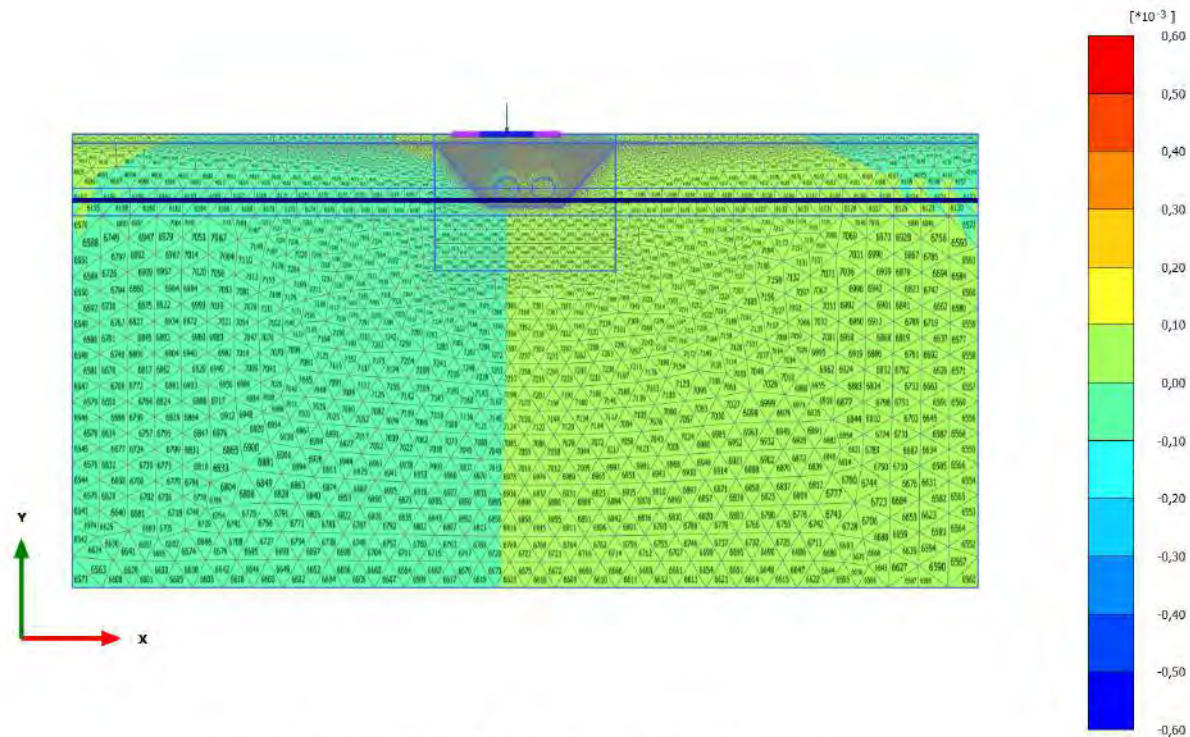


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{yy}$ (scaled up $10,0 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,1671 \cdot 10^{-3}$ (Element 5537 at Node 38020)

Minimum value = $-0,1529 \cdot 10^{-3}$ (Element 840 at Node 48322)

2.1.2.3.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$



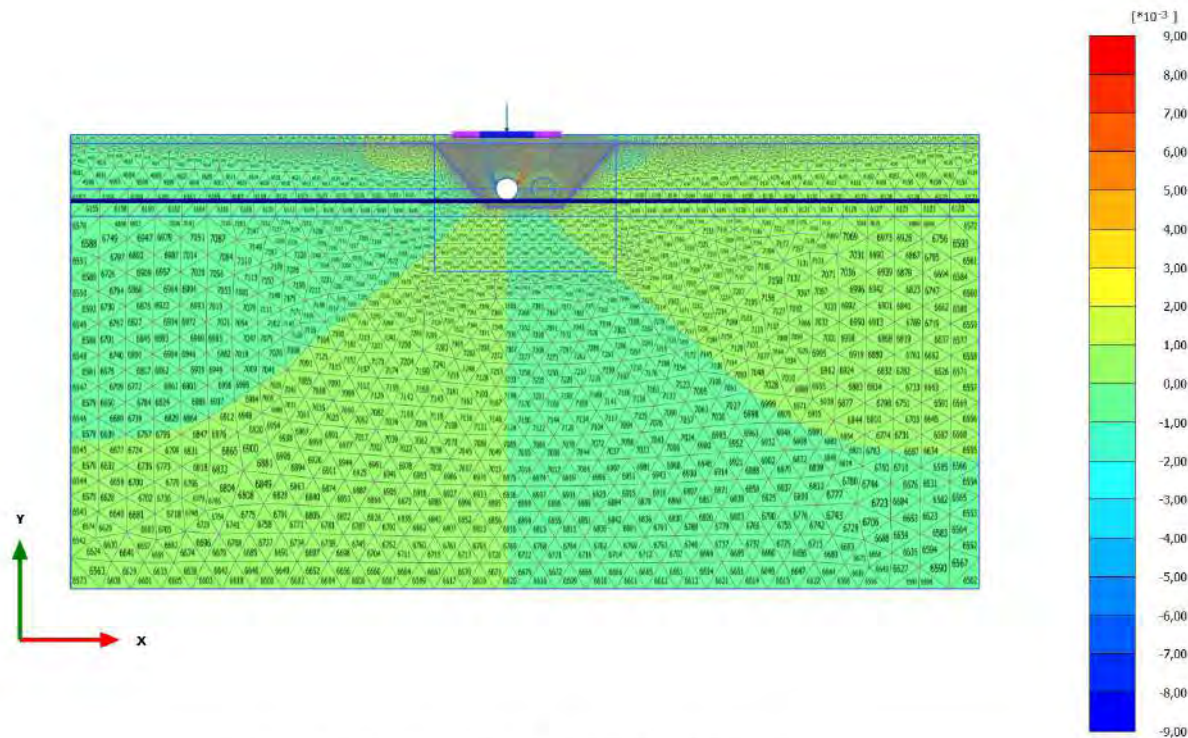
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$ (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,5833 \cdot 10^{-3}$ (Element 70 at Node 42101)

Minimum value = $-0,5854 \cdot 10^{-3}$ (Element 44 at Node 59040)

2.1.2.3.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Incremental cartesian strain

xy

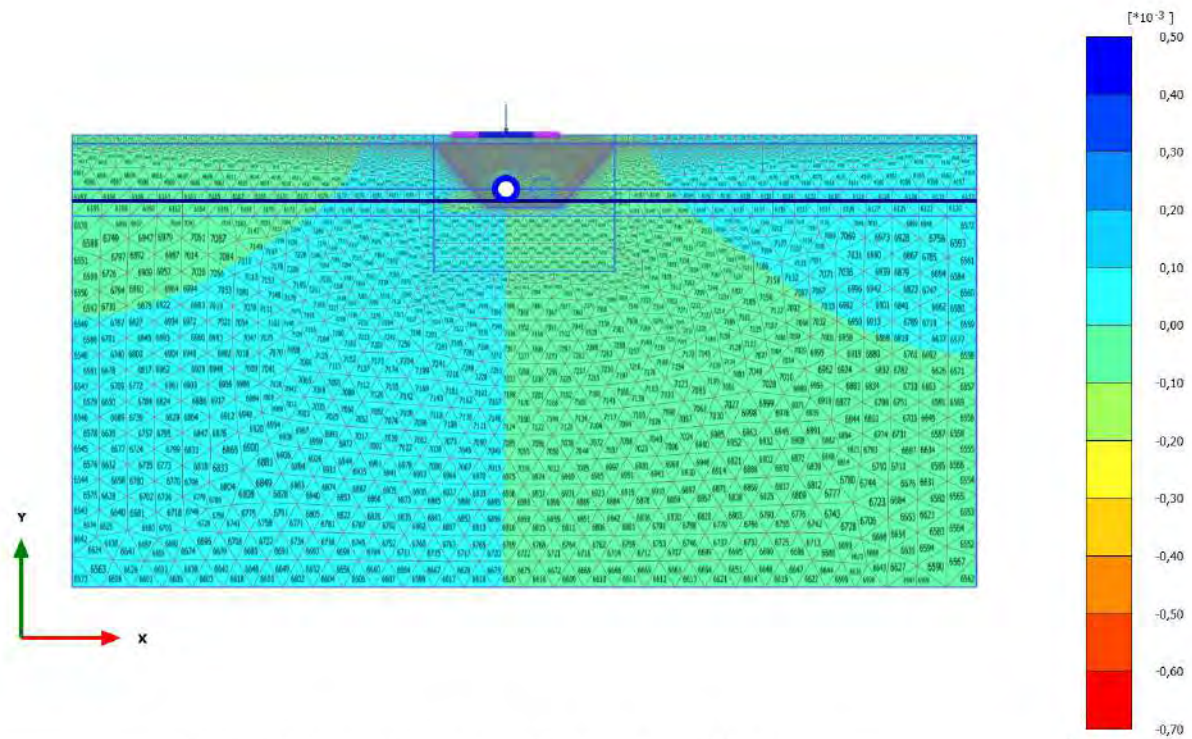


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$ (scaled up 200 times)

Maximum value = $8,616 \cdot 10^{-3}$ (Element 843 at Node 38772)

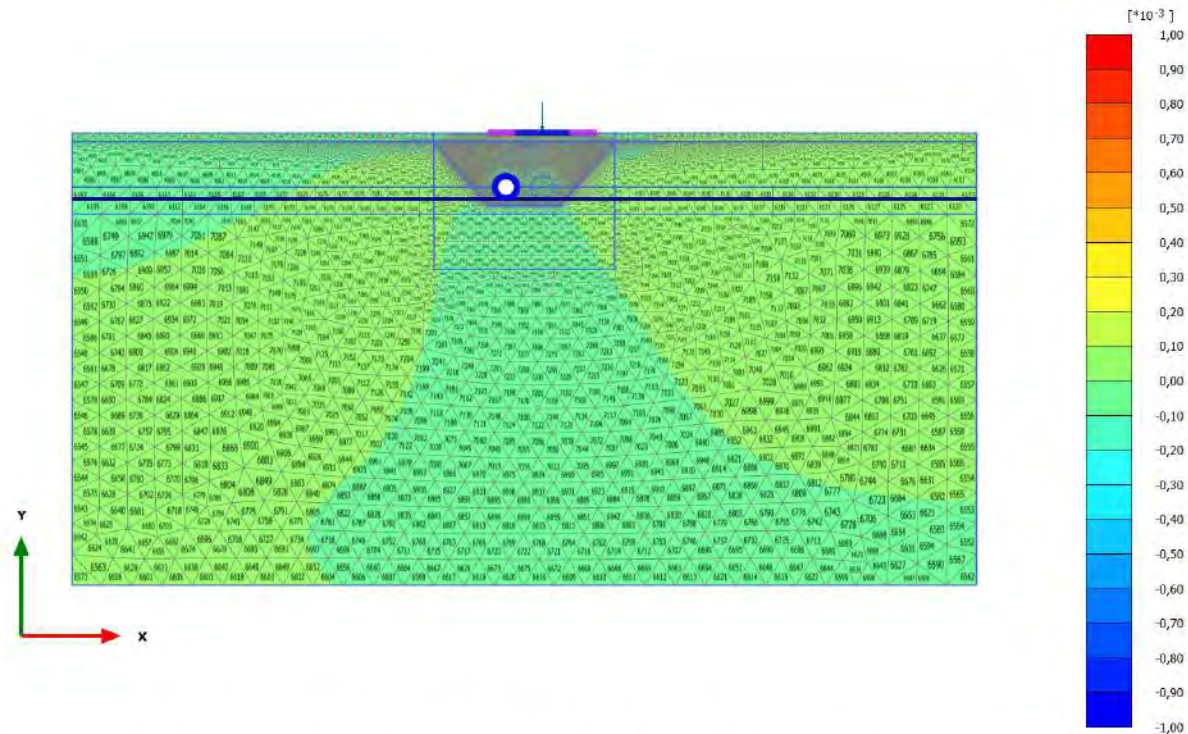
Minimum value = $-8,500 \cdot 10^{-3}$ (Element 874 at Node 29067)

2.1.2.3.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Incremental cartesian strain ϵ_{xy}



Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$ (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $0,4705 \cdot 10^{-3}$ (Element 24 at Node 25310)
 Minimum value = $-0,6026 \cdot 10^{-3}$ (Element 53 at Node 59896)

2.1.2.3.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$



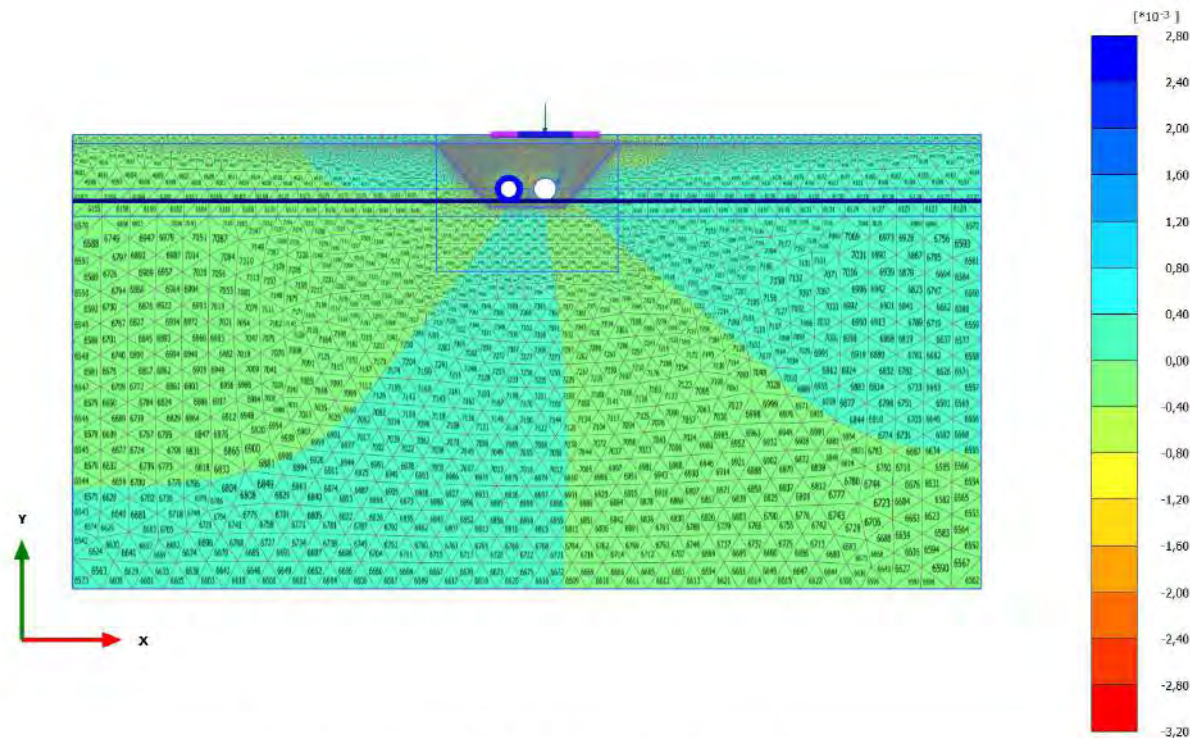
Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$ (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times)

Maximum value = $0,9684 \cdot 10^{-3}$ (Element 40 at Node 56675)

Minimum value = $-0,9140 \cdot 10^{-3}$ (Element 2697 at Node 57178)

2.1.2.3.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Incremental cartesian strain

xy

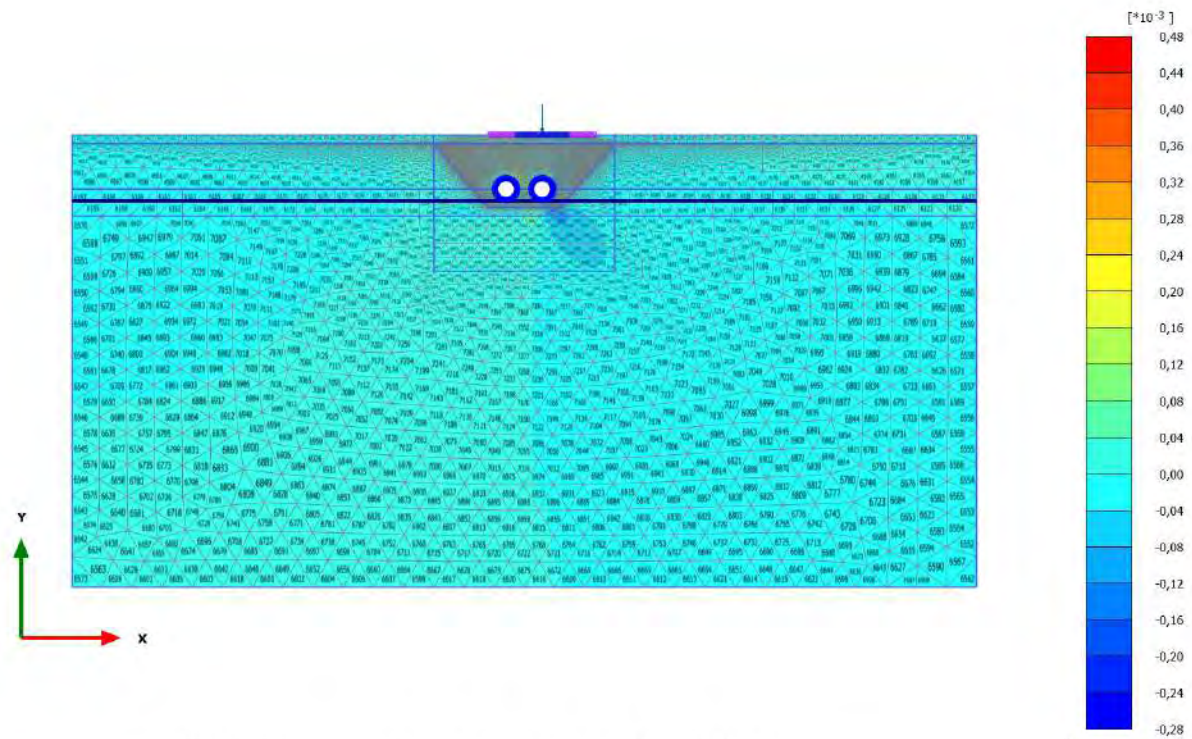


Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$ (scaled up 500 times)

Maximum value = $2,487 \cdot 10^{-3}$ (Element 840 at Node 48317)

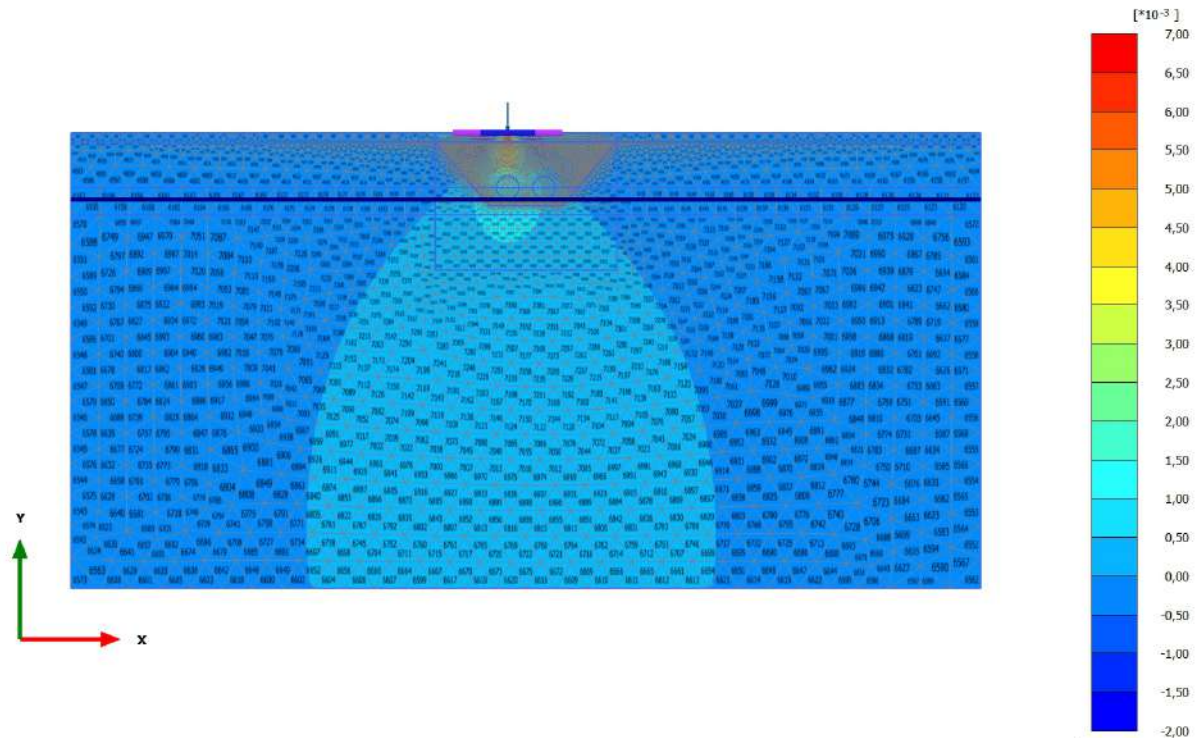
Minimum value = $-3,041 \cdot 10^{-3}$ (Element 846 at Node 46306)

2.1.2.3.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Incremental cartesian strain ϵ_{xy}



Incremental cartesian strain $\Delta\epsilon_{xy}$ (scaled up $5,00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $0,4665 \cdot 10^{-3}$ (Element 37 at Node 54400)
 Minimum value = $-0,2434 \cdot 10^{-3}$ (Element 829 at Node 45746)

2.1.3.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total cartesian strain ϵ_{xx}

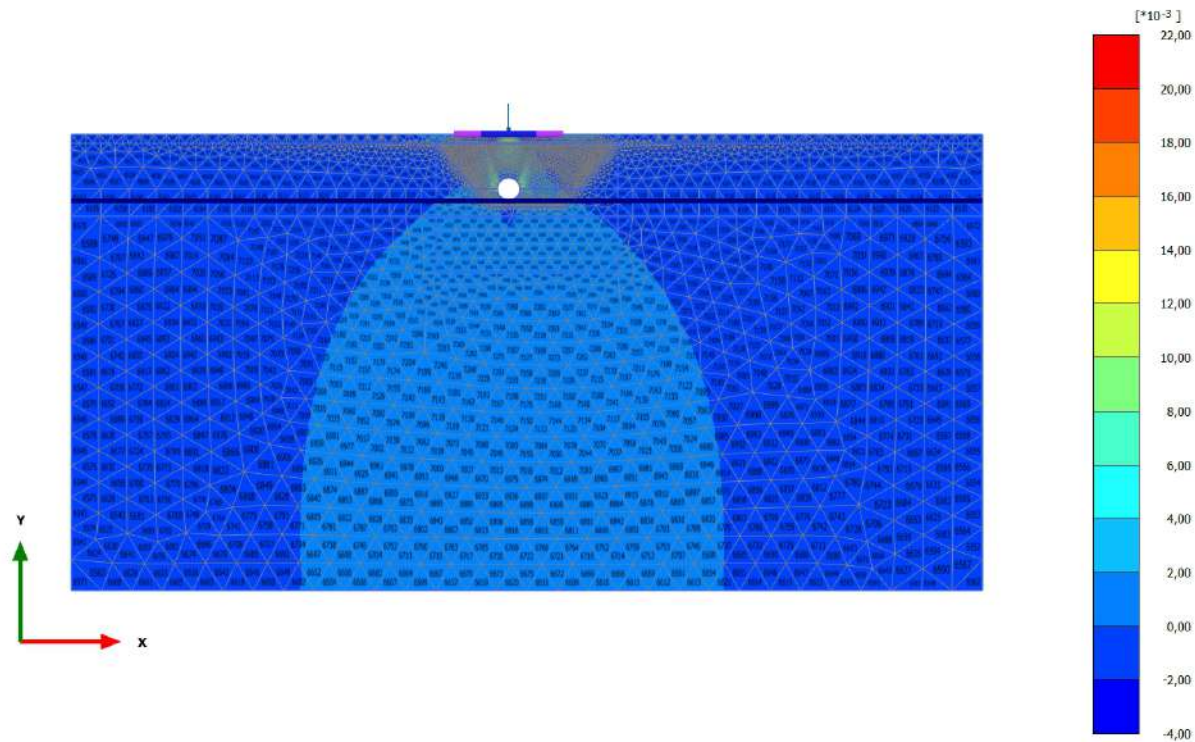


Total cartesian strain ϵ_{xx} (scaled up 500 times)

Maximum value = $6,972 \cdot 10^{-3}$ (Element 260 at Node 53354)

Minimum value = $-1,822 \cdot 10^{-3}$ (Element 269 at Node 59301)

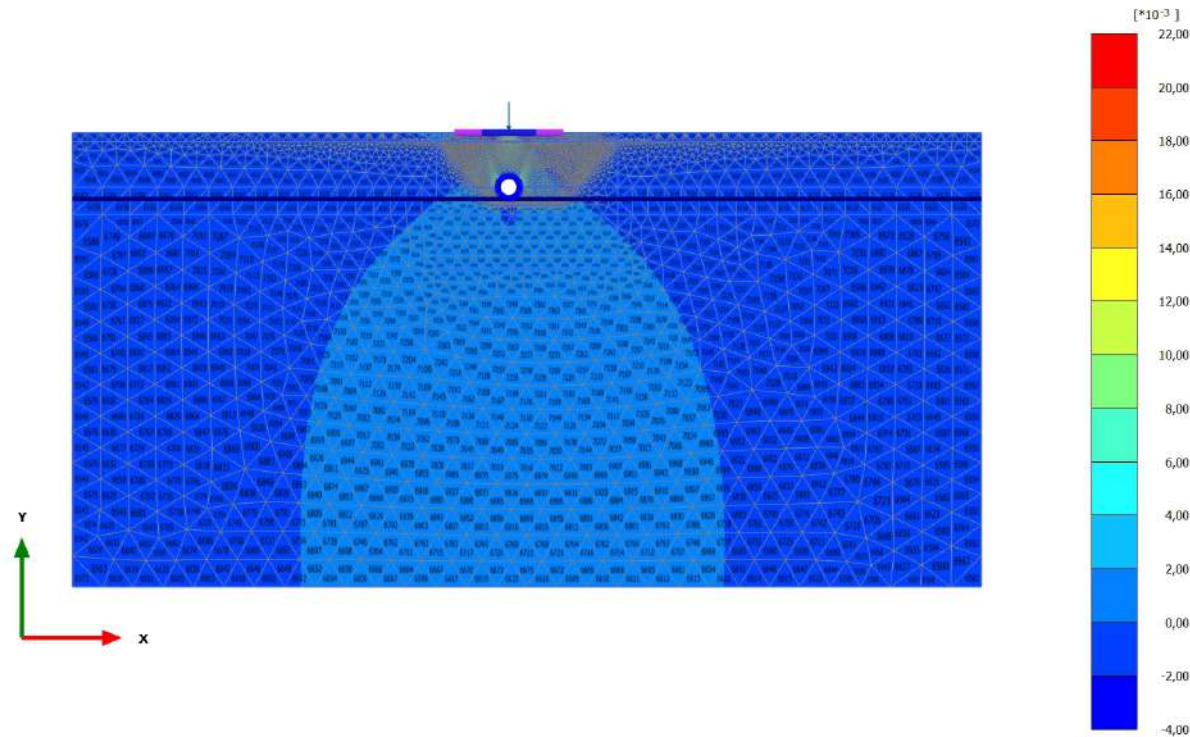
2.1.3.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total cartesian strain ϵ_{xx}



Total cartesian strain ϵ_{xx} (scaled up 100 times)
 Maximum value = 0,02029 (Element 841 at Node 38740)
 Minimum value = $-3,866 \cdot 10^{-3}$ (Element 318 at Node 57669)

2.1.3.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total cartesian strain

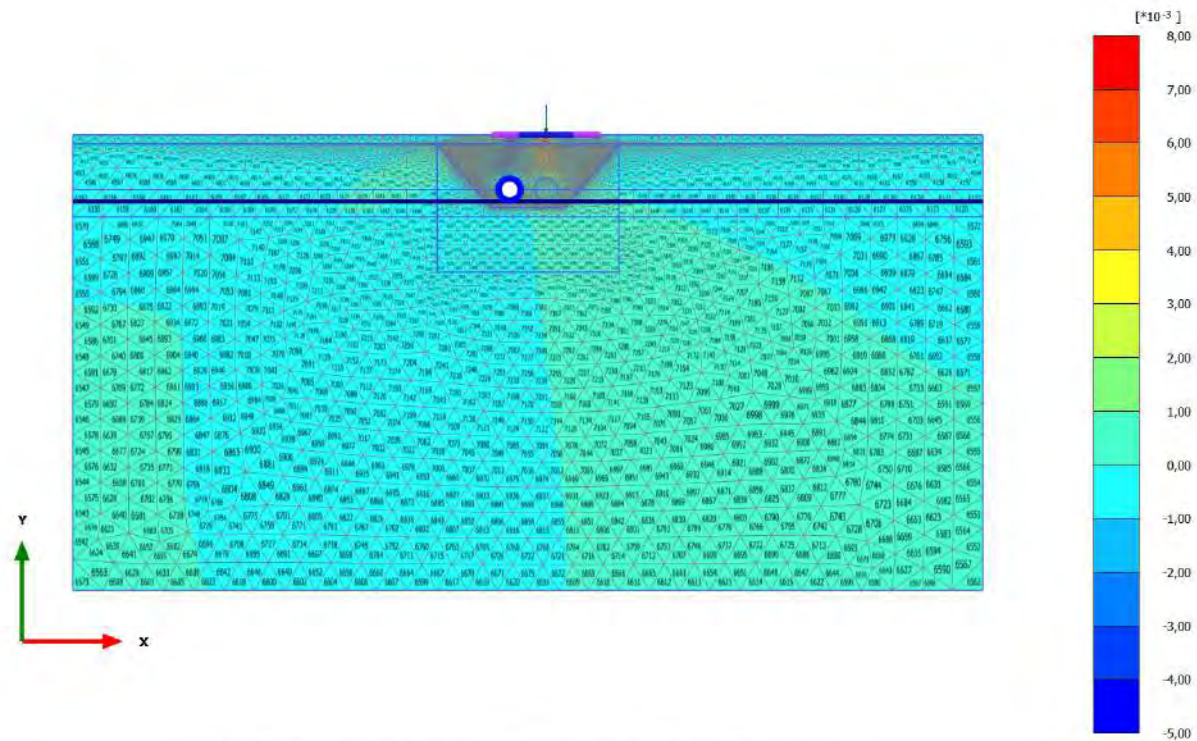
xx



Total cartesian strain ϵ_{xx} (scaled up 100 times)
 Maximum value = 0,02026 (Element 841 at Node 38740)
 Minimum value = $-3,852 \cdot 10^{-3}$ (Element 318 at Node 57669)

2.1.3.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total cartesian strain

xx

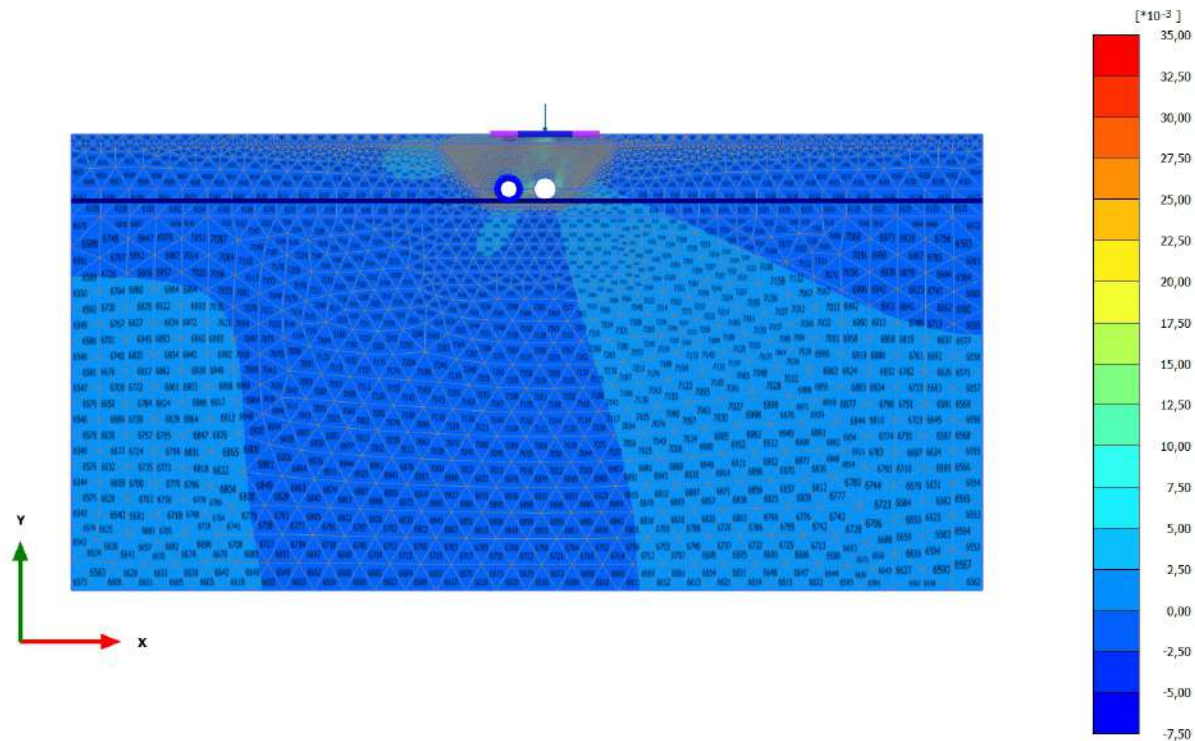


Total cartesian strain ϵ_{xx} (scaled up 200 times)

Maximum value = $7,257 \cdot 10^{-3}$ (Element 181 at Node 60460)

Minimum value = $-4,831 \cdot 10^{-3}$ (Element 262 at Node 54194)

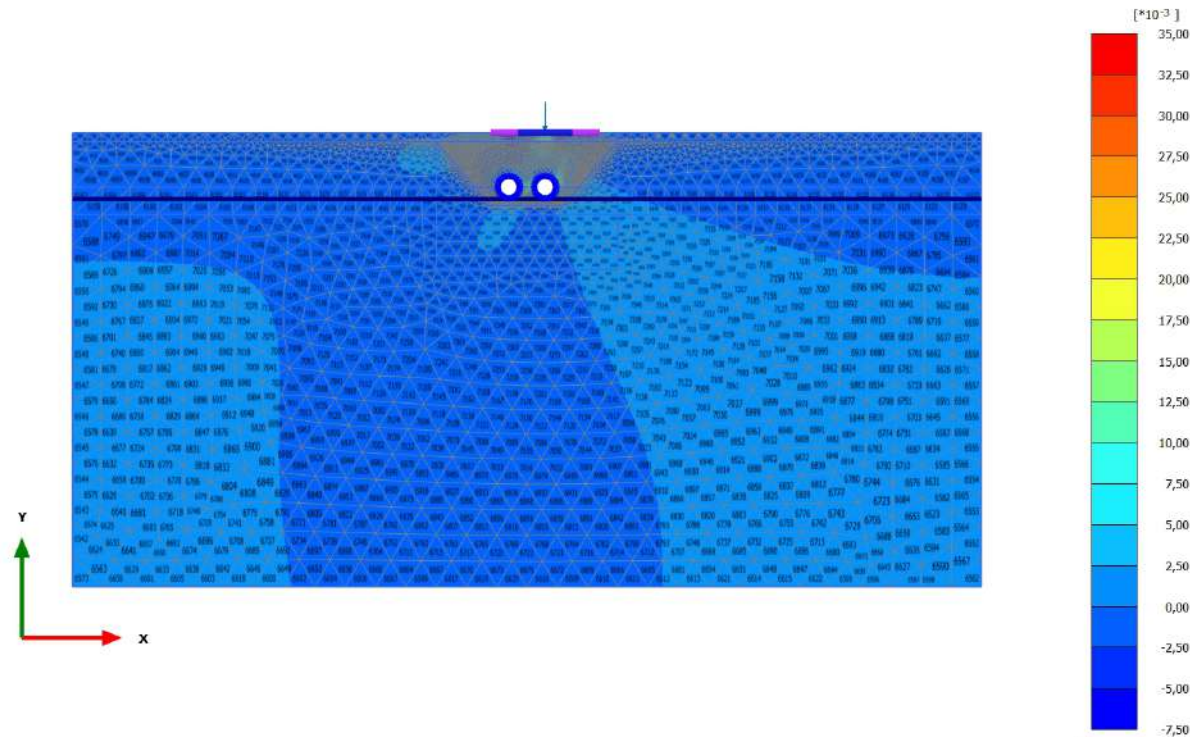
2.1.3.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total cartesian strain ϵ_{xx}



Total cartesian strain ϵ_{xx} (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 0,03305 (Element 5537 at Node 38020)
 Minimum value = -7,234*10⁻³ (Element 493 at Node 53364)

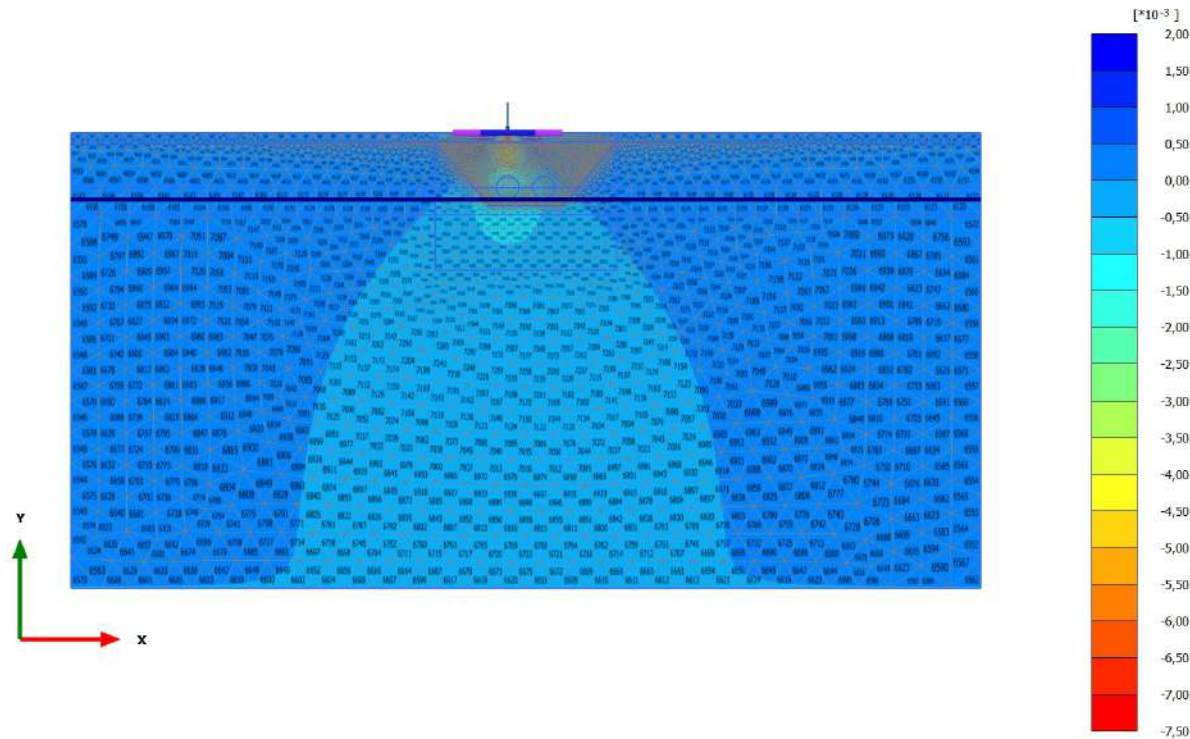
2.1.3.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total cartesian strain

xx



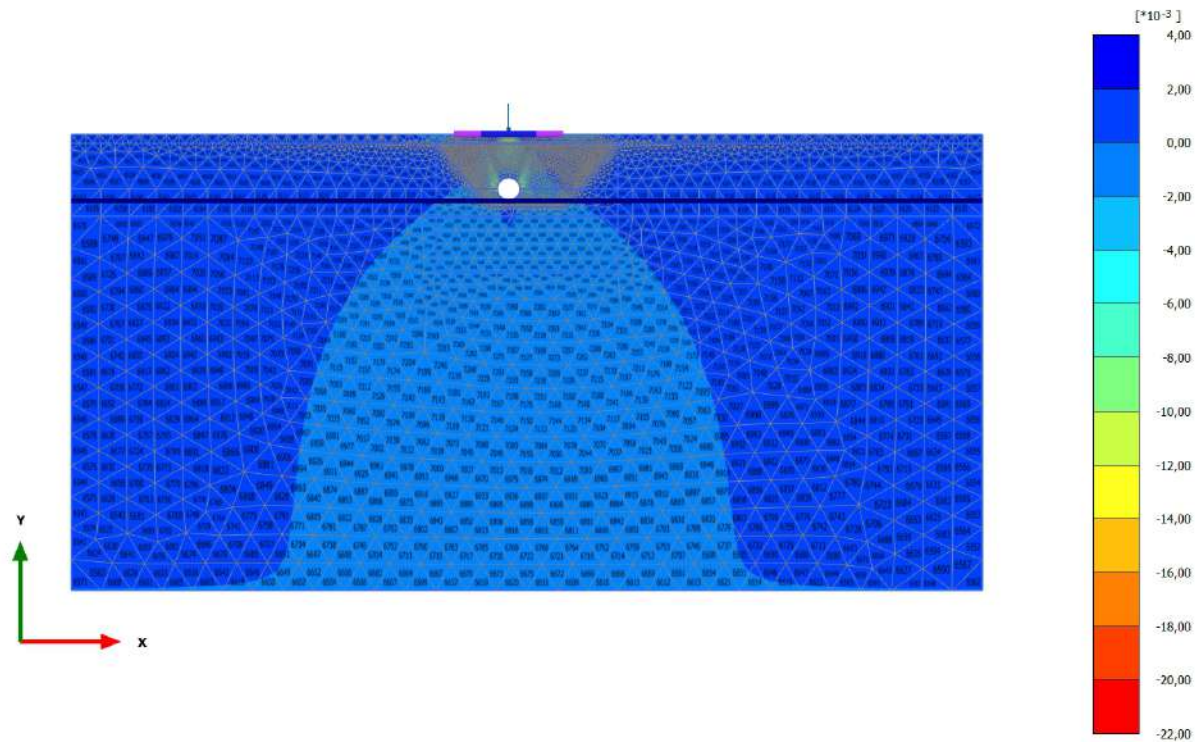
Total cartesian strain ϵ_{xx} (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 0,03271 (Element 5537 at Node 38020)
 Minimum value = $-7,233 \times 10^{-3}$ (Element 493 at Node 53364)

2.1.3.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total cartesian strain ϵ_{yy}



Total cartesian strain ϵ_{yy} (scaled up 500 times)
 Maximum value = $1,793 \cdot 10^{-3}$ (Element 269 at Node 59301)
 Minimum value = $-7,079 \cdot 10^{-3}$ (Element 260 at Node 53354)

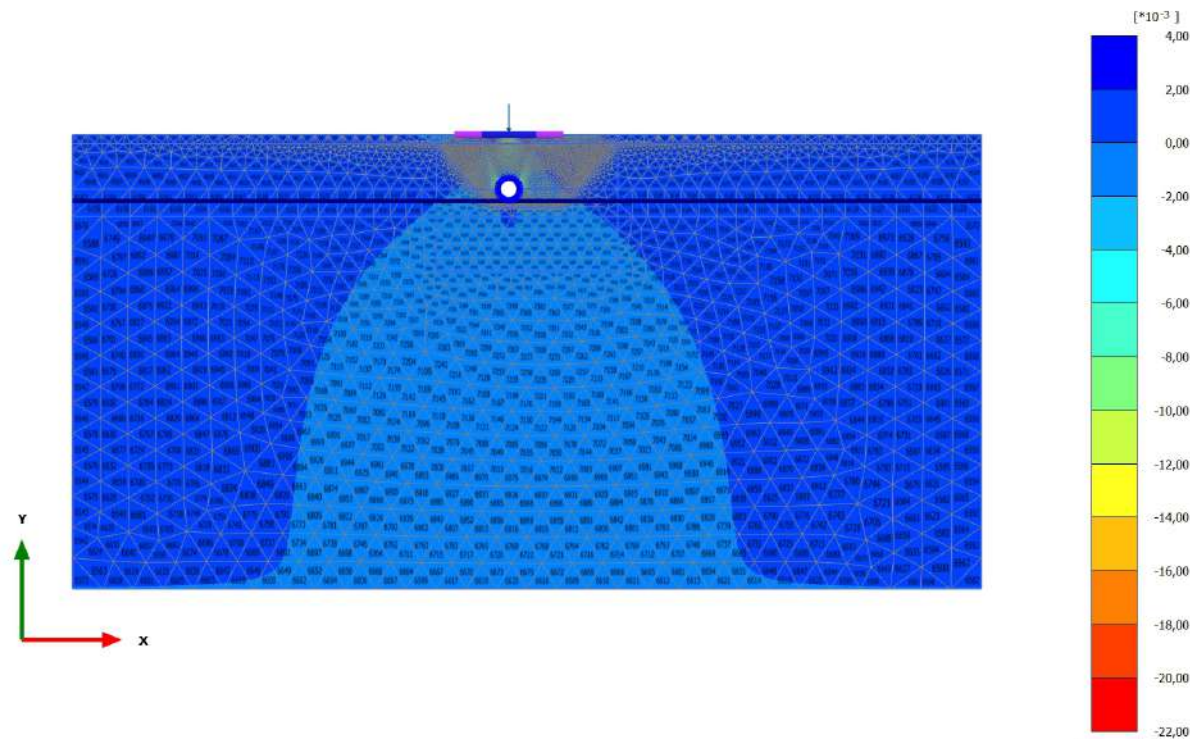
2.1.3.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total cartesian strain ϵ_{yy}



Total cartesian strain ϵ_{yy} (scaled up 100 times)
 Maximum value = $3,818 \cdot 10^{-3}$ (Element 318 at Node 57669)
 Minimum value = $-0,02029$ (Element 841 at Node 38740)

2.1.3.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total cartesian strain

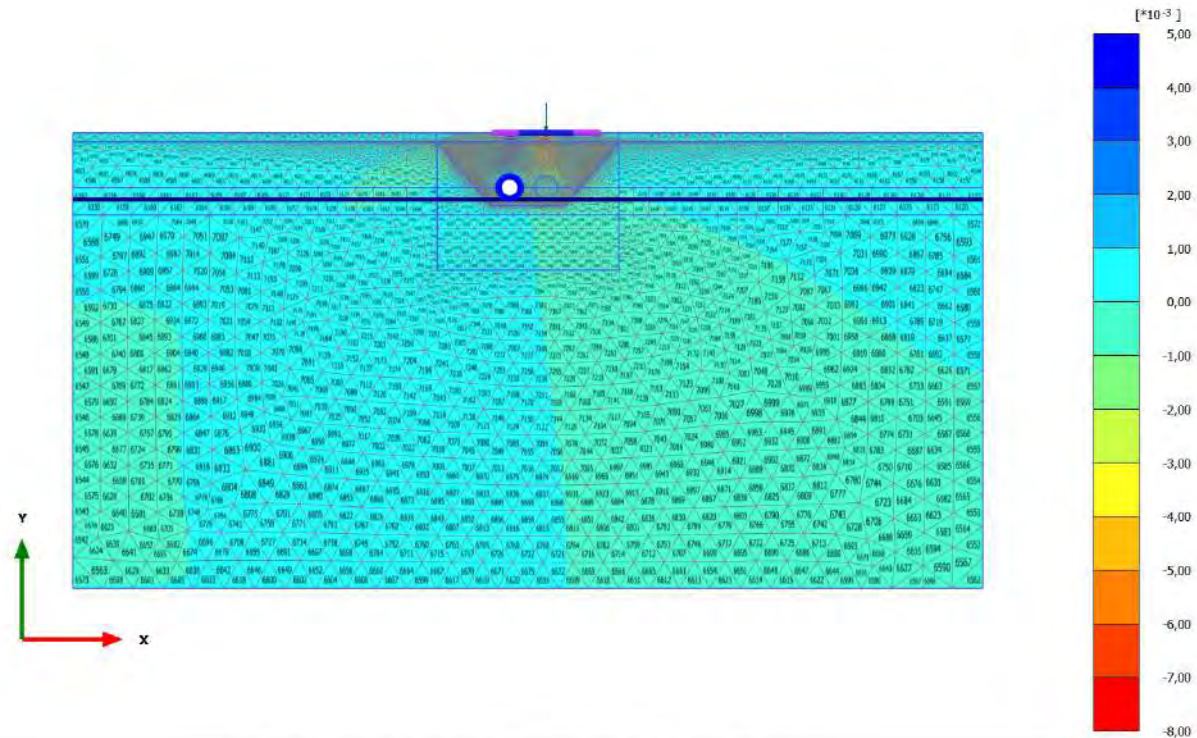
yy



Total cartesian strain ϵ_{yy} (scaled up 100 times)
 Maximum value = $3,804 \cdot 10^{-3}$ (Element 318 at Node 57669)
 Minimum value = $-0,02027$ (Element 841 at Node 38740)

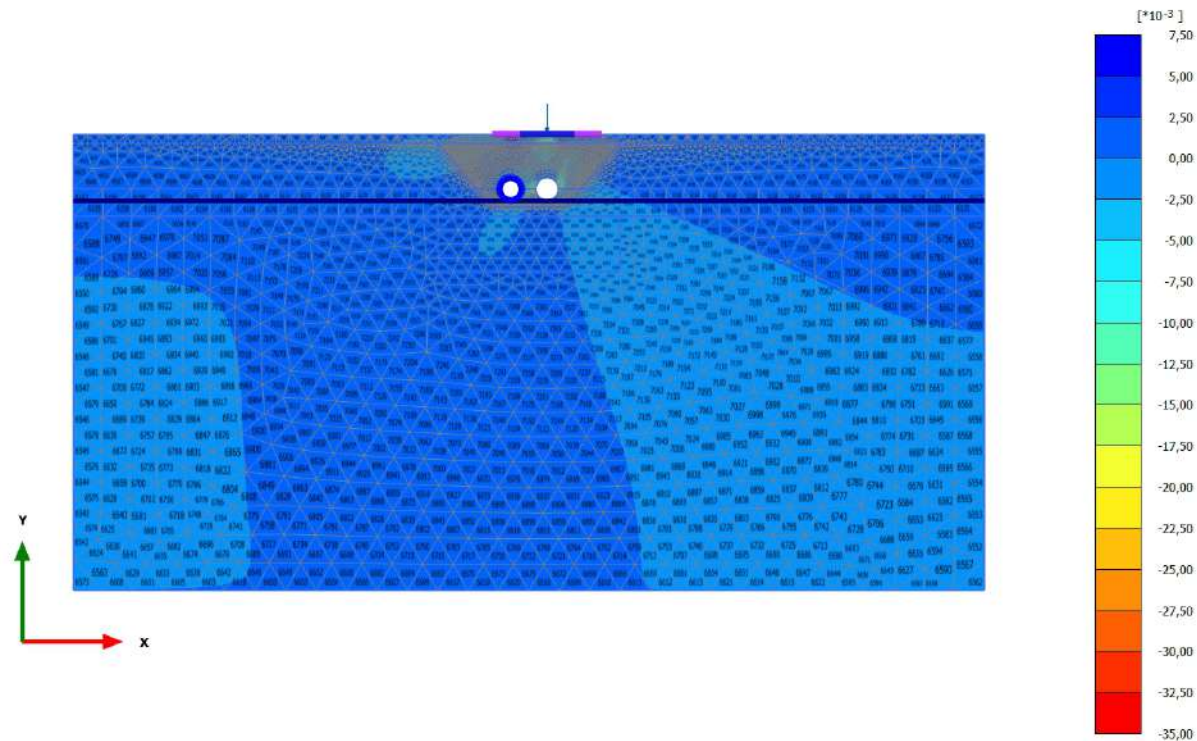
2.1.3.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total cartesian strain

yy



Total cartesian strain ϵ_{yy} (scaled up 200 times)
 Maximum value = $4,935 \cdot 10^{-3}$ (Element 262 at Node 54194)
 Minimum value = $-7,365 \cdot 10^{-3}$ (Element 181 at Node 60460)

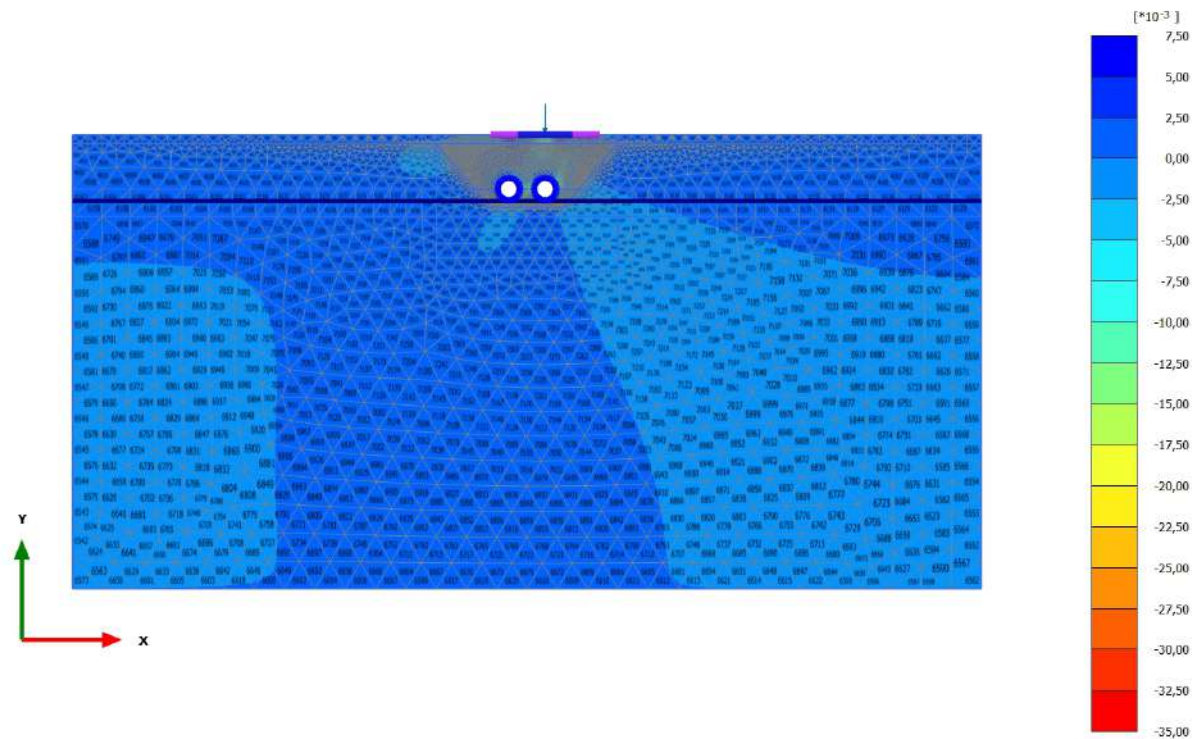
2.1.3.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total cartesian strain ϵ_{yy}



Total cartesian strain ϵ_{yy} (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 7,323*10⁻³ (Element 493 at Node 53364)
 Minimum value = -0,03297 (Element 5537 at Node 38020)

2.1.3.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total cartesian strain

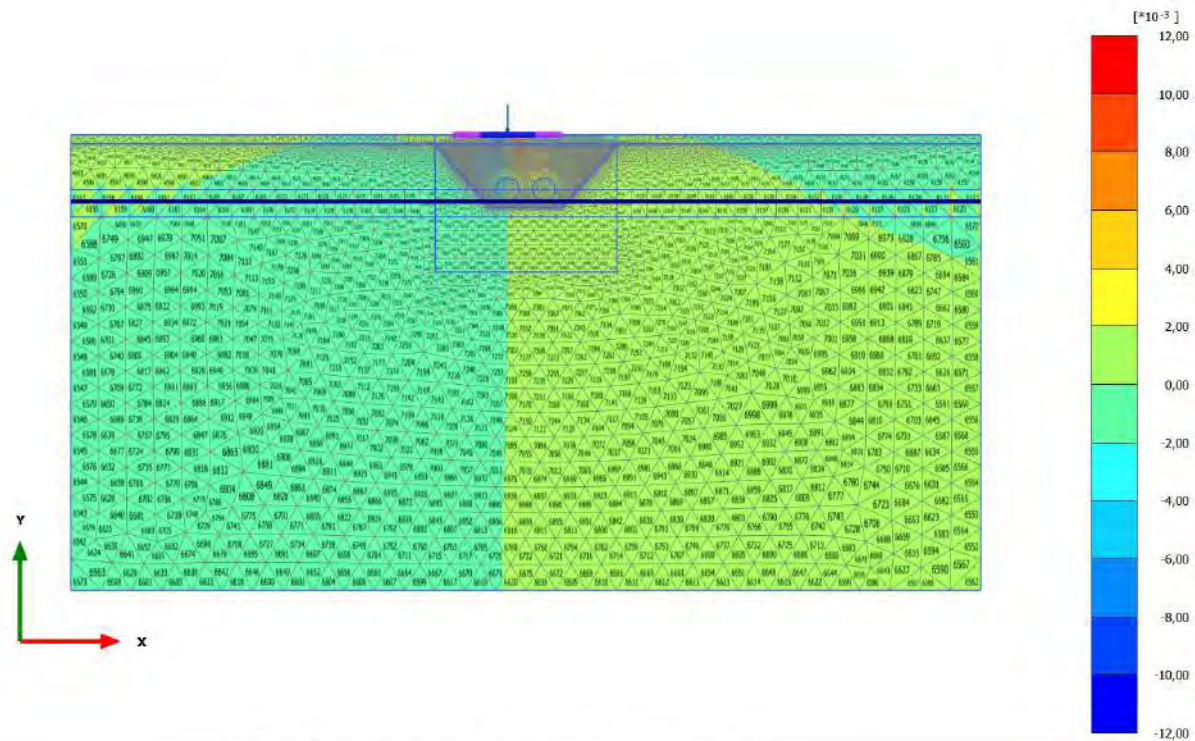
yy



Total cartesian strain ϵ_{yy} (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 7,321*10⁻³ (Element 493 at Node 53364)
 Minimum value = -0,03263 (Element 5537 at Node 38020)

2.1.3.3.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total cartesian strain

xy

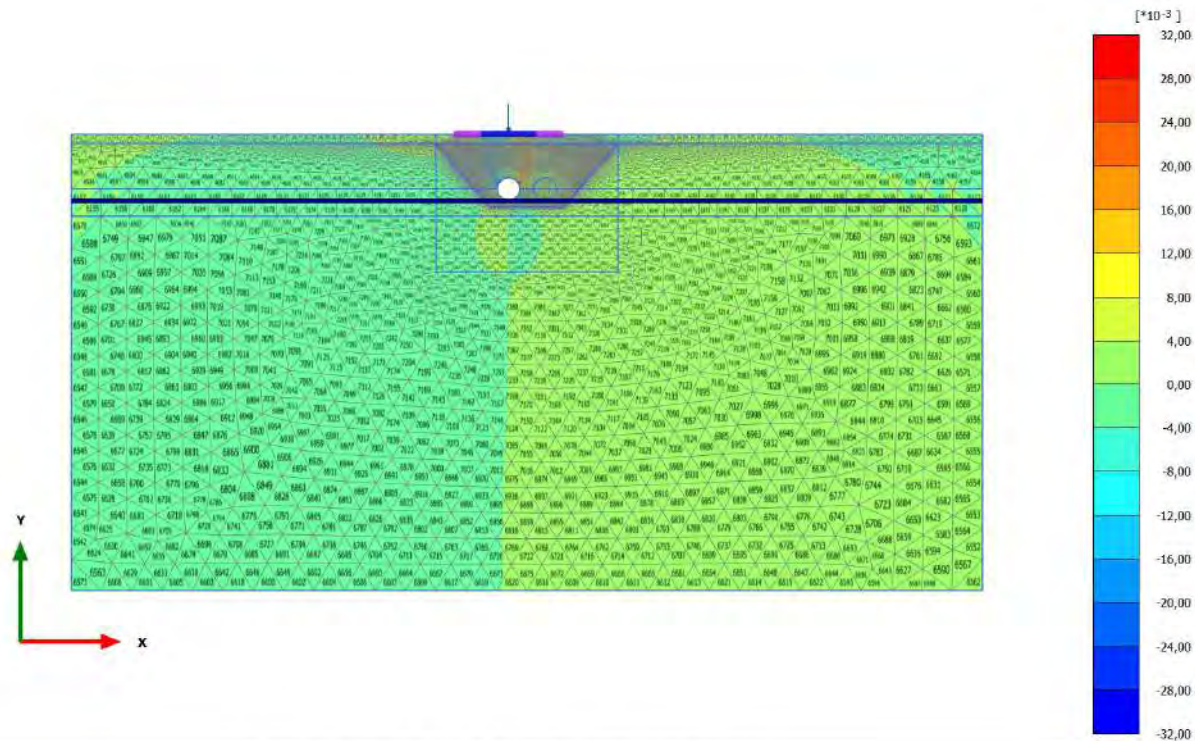


Total cartesian strain γ_{xy} (scaled up 200 times)

Maximum value = 0,01080 (Element 266 at Node 55827)

Minimum value = -0,01075 (Element 330 at Node 50119)

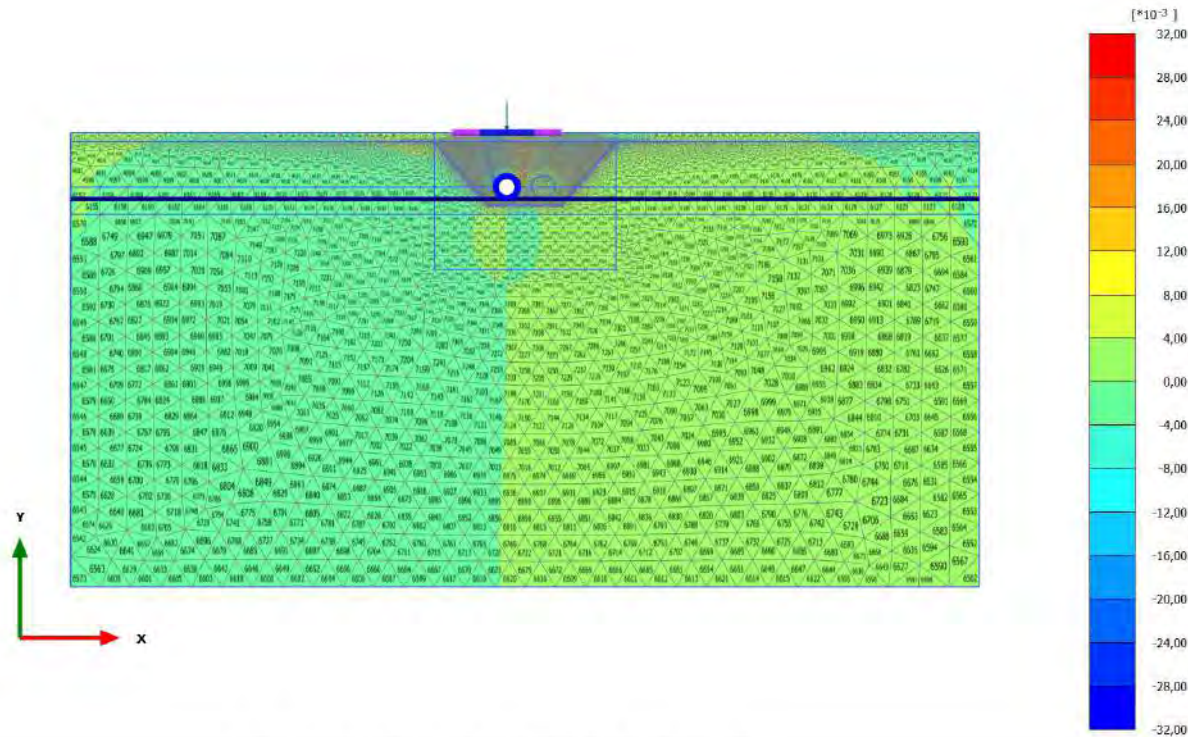
2.1.3.3.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total cartesian strain ϵ_{xy}



Total cartesian strain ϵ_{xy} (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 0,02884 (Element 843 at Node 38743)
 Minimum value = -0,02909 (Element 849 at Node 29883)

2.1.3.3.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total cartesian strain

xy



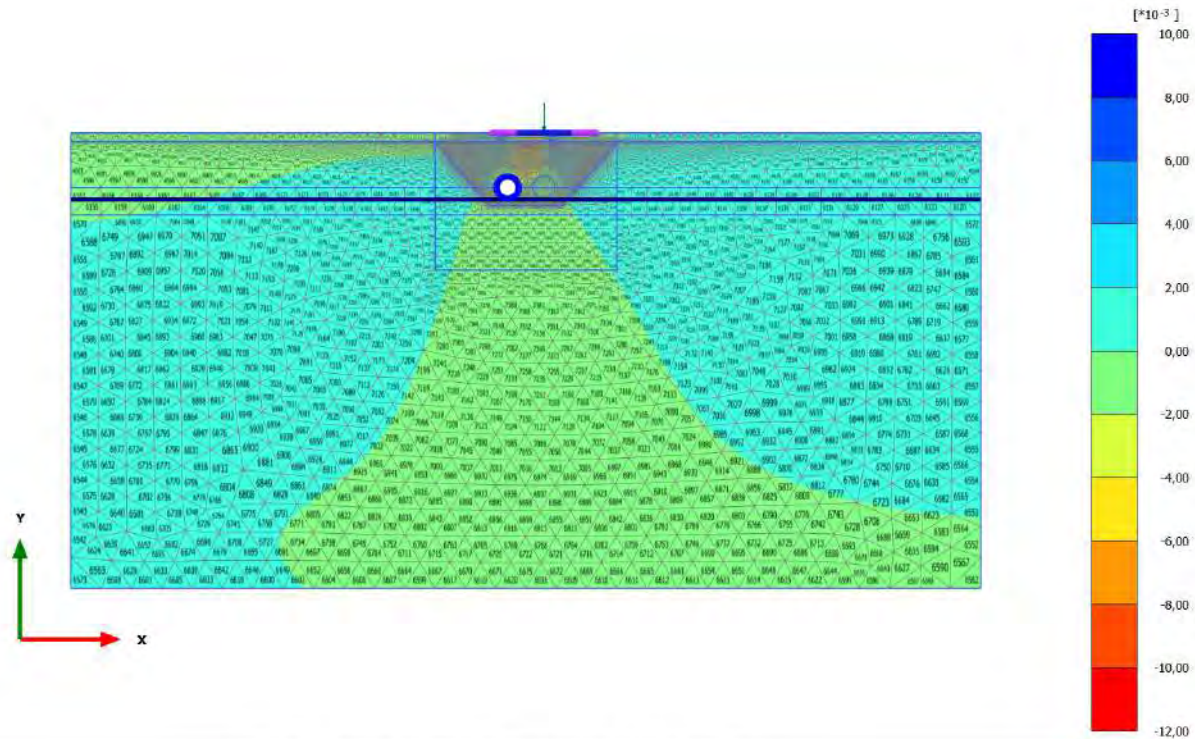
Total cartesian strain γ_{xy} (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,02886 (Element 843 at Node 38743)

Minimum value = -0,02910 (Element 849 at Node 29883)

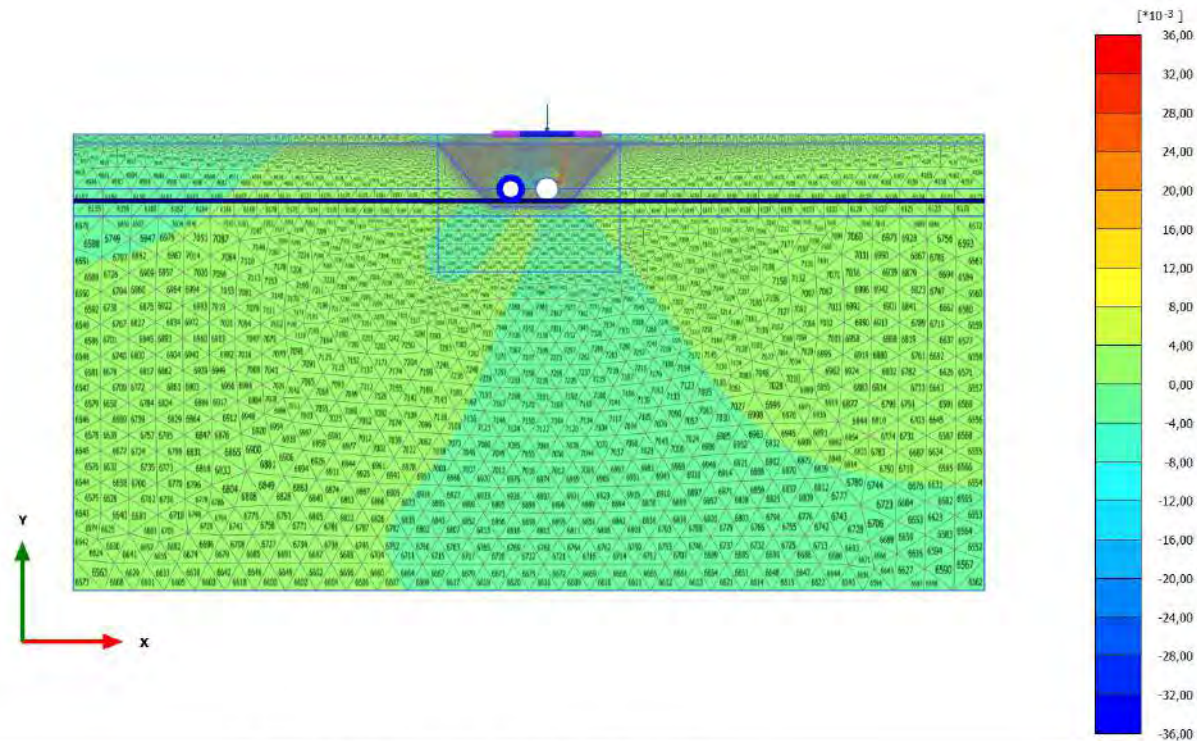
2.1.3.3.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total cartesian strain

xy



Total cartesian strain γ_{xy} (scaled up 200 times)
 Maximum value = $9,120 \cdot 10^{-3}$ (Element 331 at Node 60479)
 Minimum value = $-0,01156$ (Element 3246 at Node 57913)

2.1.3.3.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total cartesian strain ϵ_{xy}



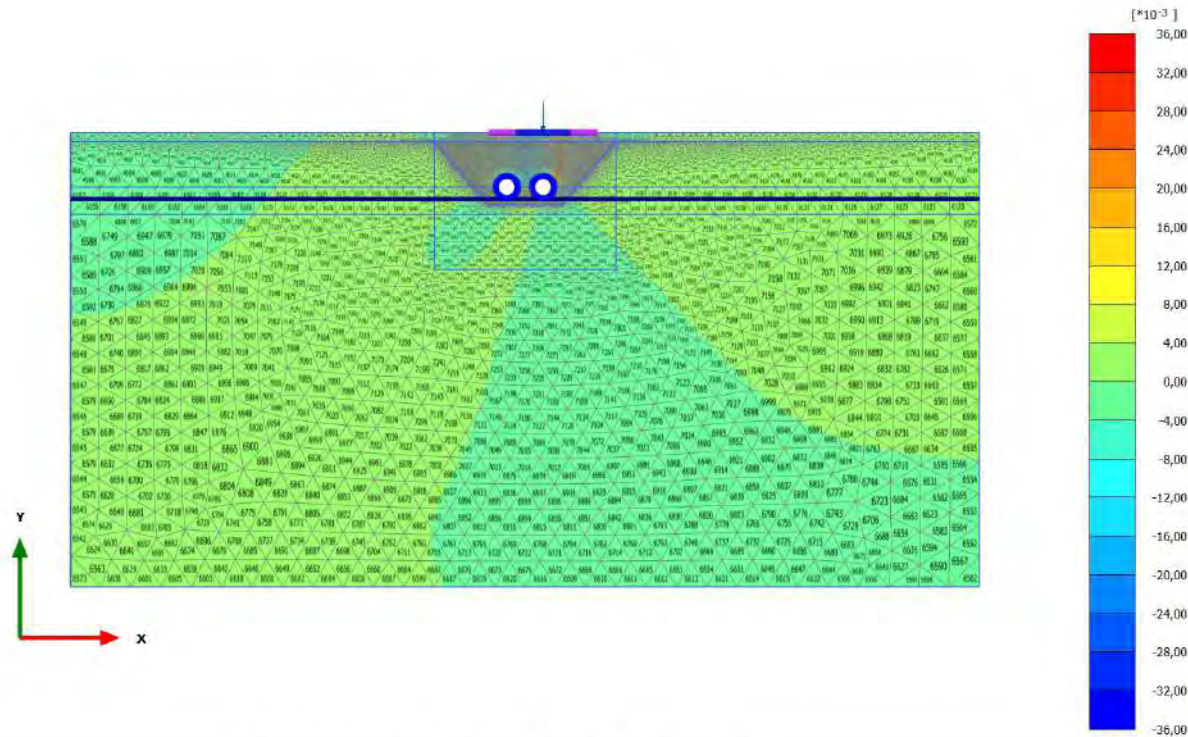
Total cartesian strain ϵ_{xy} (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,03530 (Element 850 at Node 47050)

Minimum value = -0,03418 (Element 846 at Node 46306)

2.1.3.3.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total cartesian strain

xy

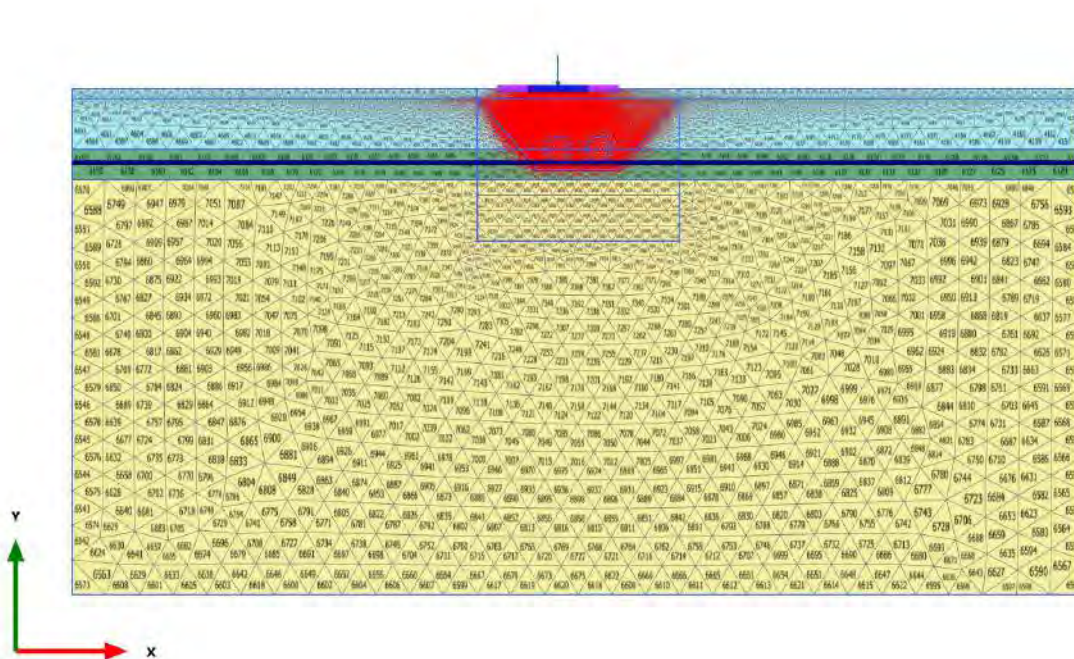


Total cartesian strain γ_{xy} (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,03504 (Element 850 at Node 47050)

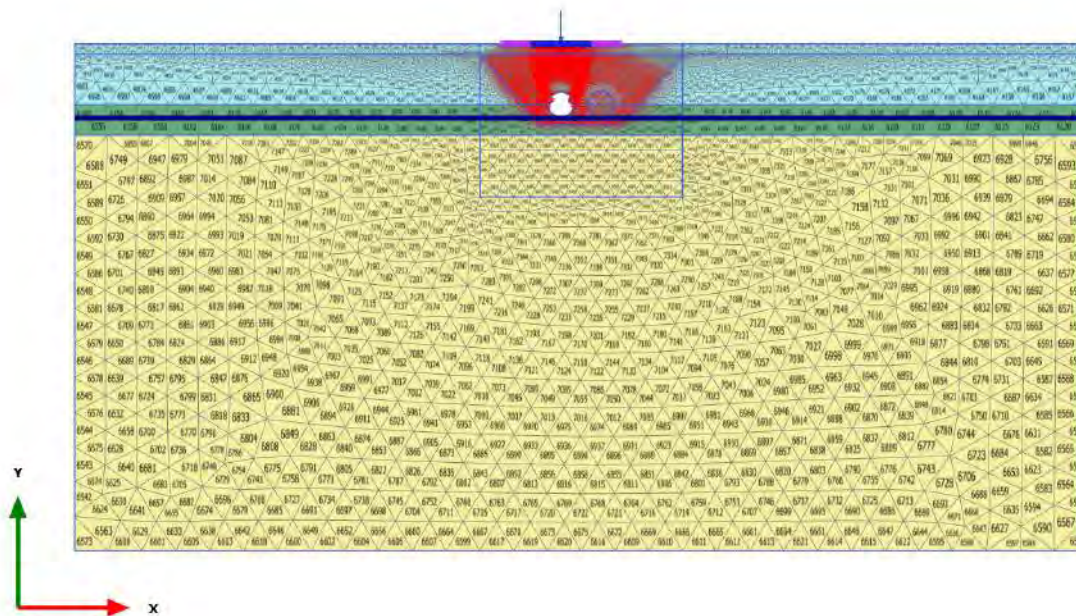
Minimum value = -0,03426 (Element 846 at Node 46306)

2.1.4.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total principal strain directions



Total principal strain directions (scaled up 200 times)
 Maximum value = $6,975 \cdot 10^{-3}$ (Element 305 at Stress point 3651)
 Minimum value = $-7,082 \cdot 10^{-3}$ (Element 305 at Stress point 3651)

2.1.4.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total principal strain directions

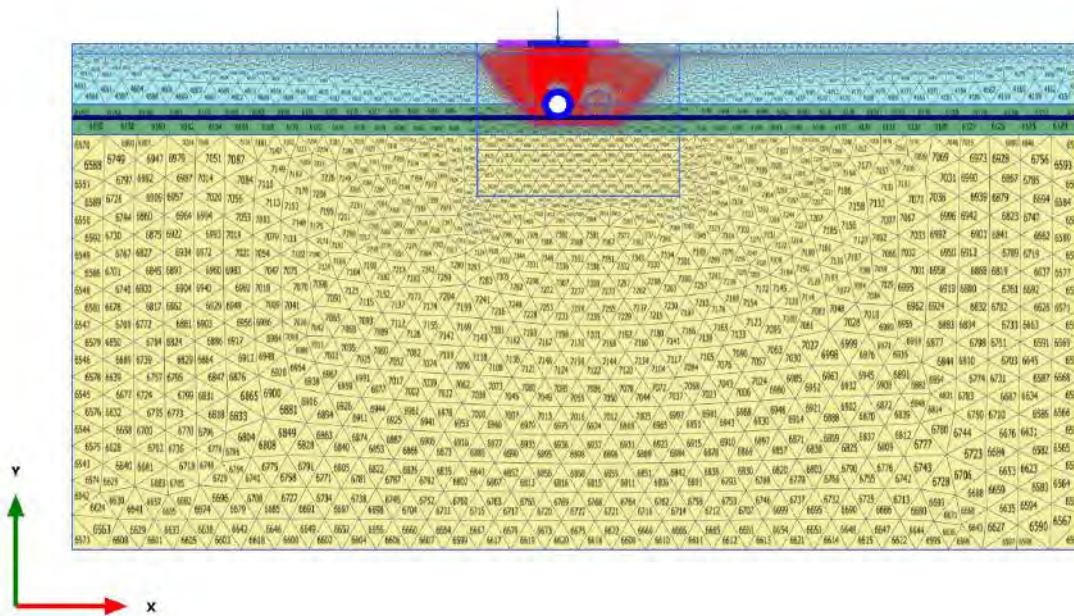


Total principal strain directions (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,02296 (Element 865 at Stress point 10371)

Minimum value = -0,02295 (Element 865 at Stress point 10371)

2.1.4.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total principal strain directions

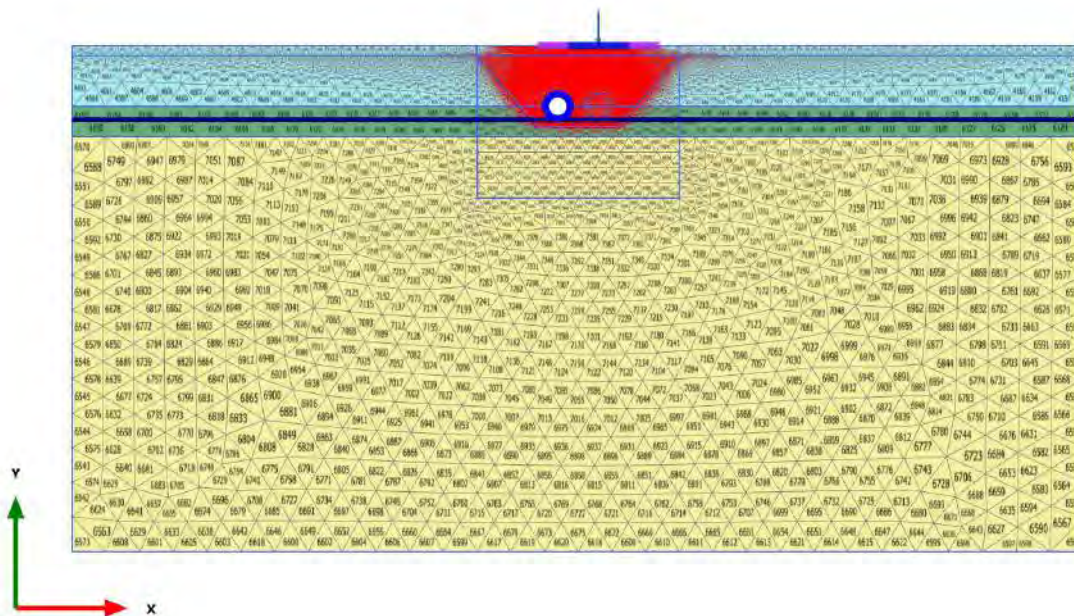


Total principal strain directions (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,02291 (Element 865 at Stress point 10371)

Minimum value = -0,02290 (Element 865 at Stress point 10371)

2.1.4.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total principal strain directions

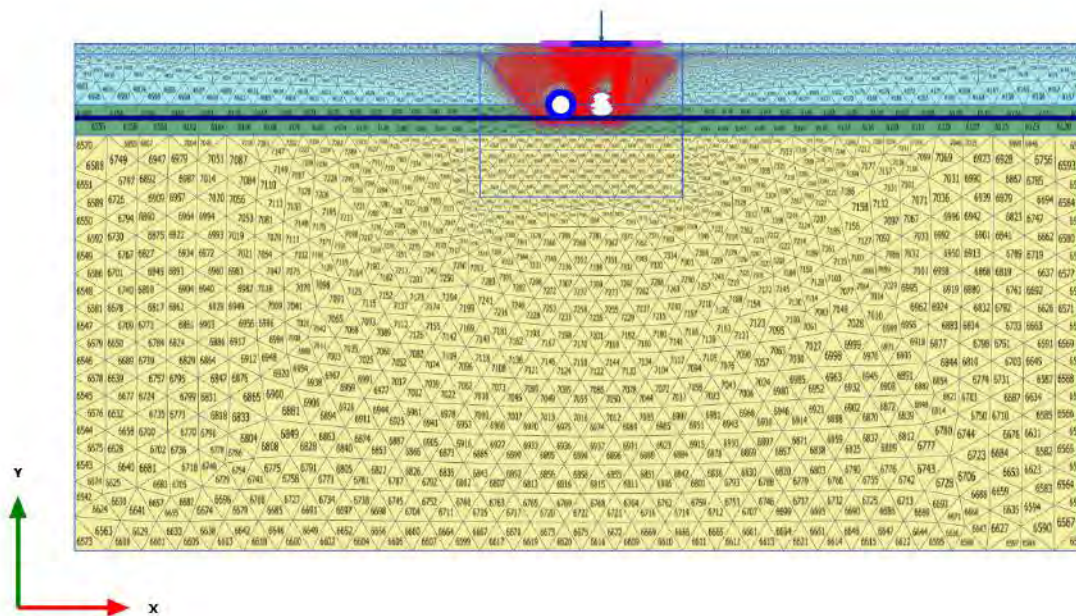


Total principal strain directions (scaled up 200 times)

Maximum value = $7,453 \cdot 10^{-3}$ (Element 309 at Stress point 3703)

Minimum value = $-7,543 \cdot 10^{-3}$ (Element 309 at Stress point 3703)

2.1.4.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total principal strain directions

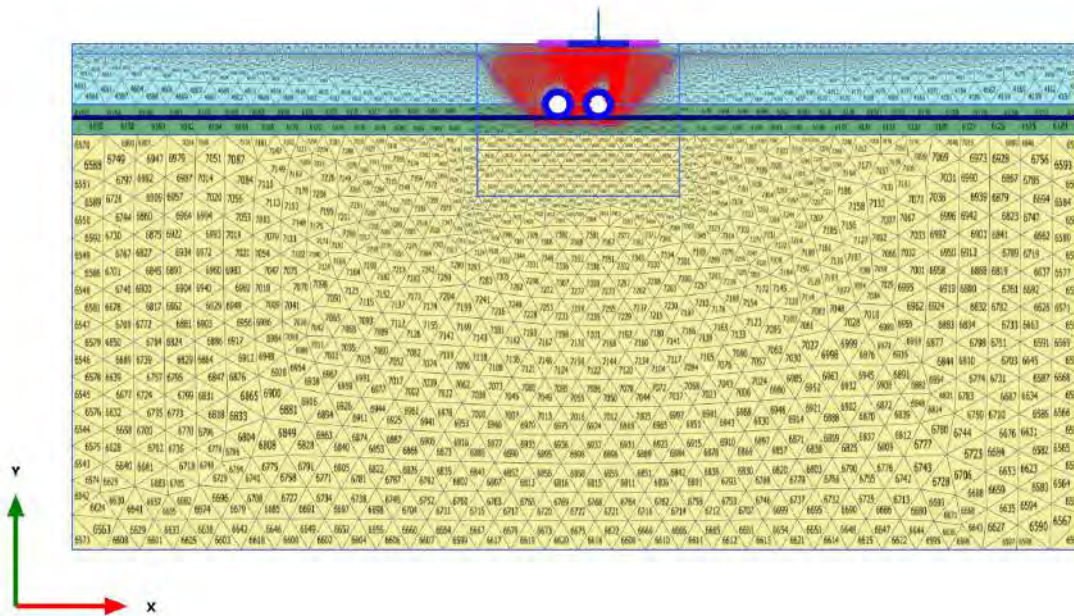


Total principal strain directions (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,03091 (Element 5537 at Stress point 66435)

Minimum value = -0,03082 (Element 5537 at Stress point 66435)

2.1.4.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total principal strain directions

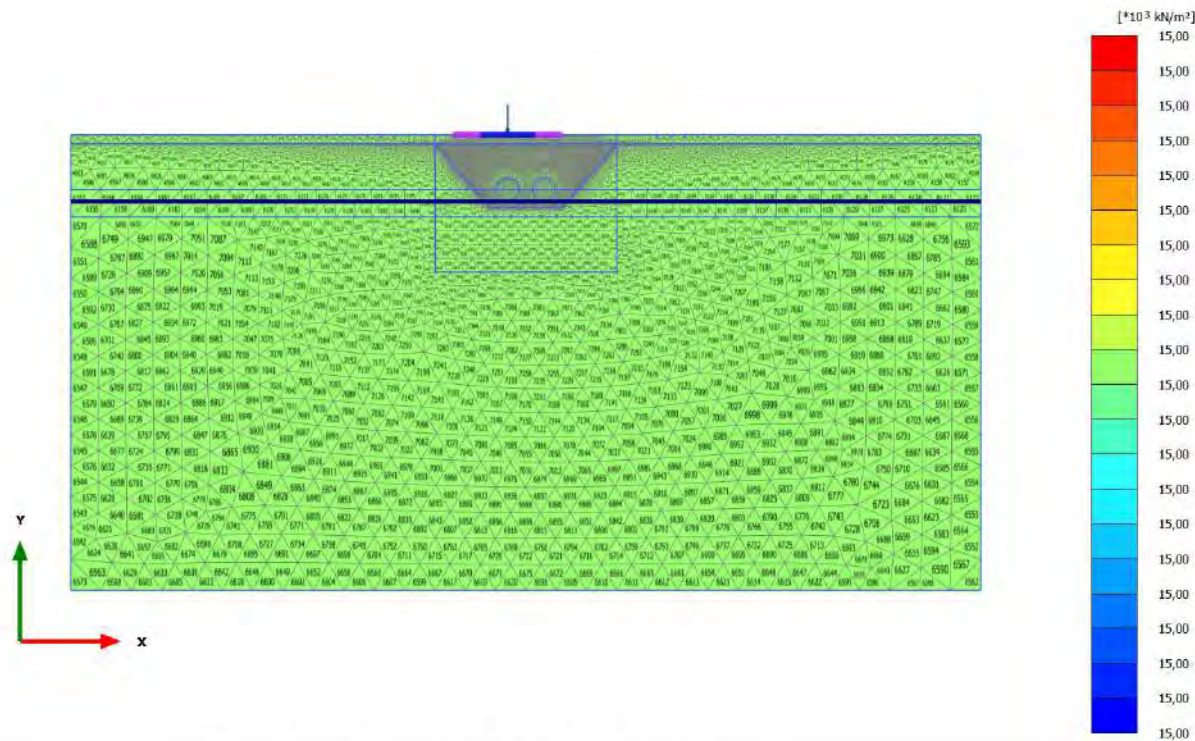


Total principal strain directions (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,03070 (Element 5537 at Stress point 66435)

Minimum value = -0,03062 (Element 5537 at Stress point 66435)

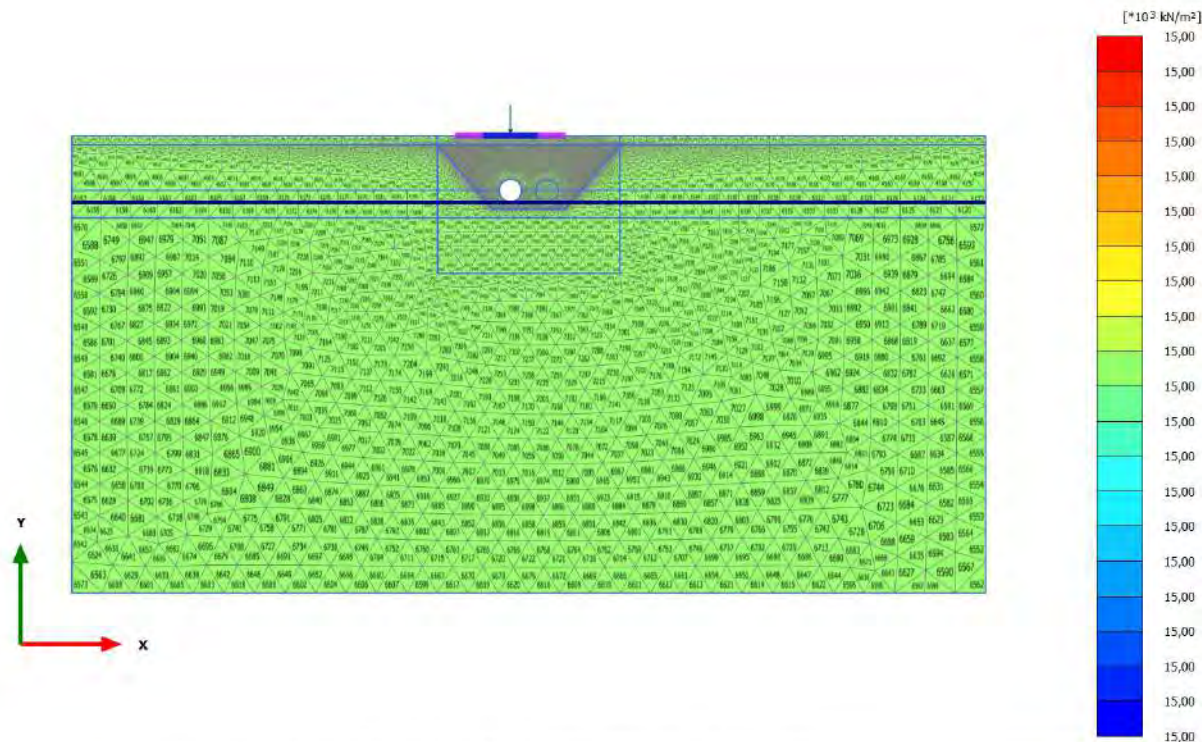
2.2.1.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Current young's modulus E



Current young's modulus E (scaled up $0,200 \cdot 10^{-3}$ times)

Uniform value of $15,00 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$

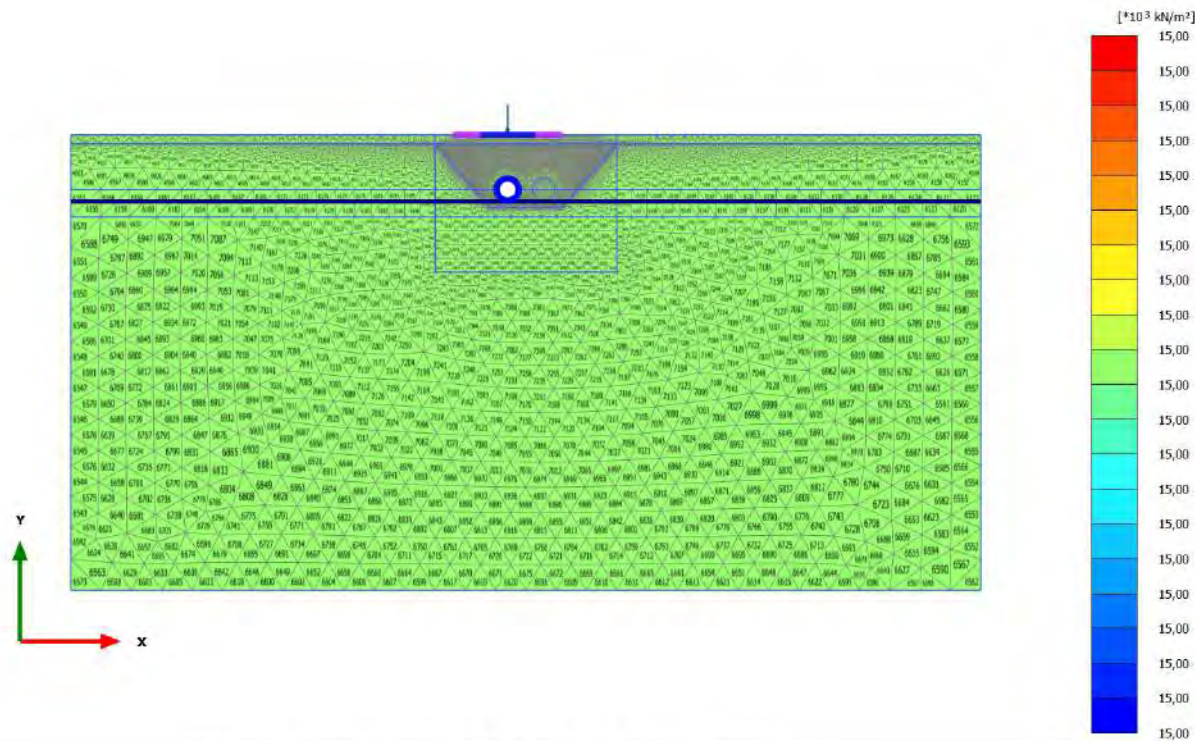
2.2.1.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Current young's modulus E



Current young's modulus E (scaled up $0,200 \cdot 10^{-3}$ times)

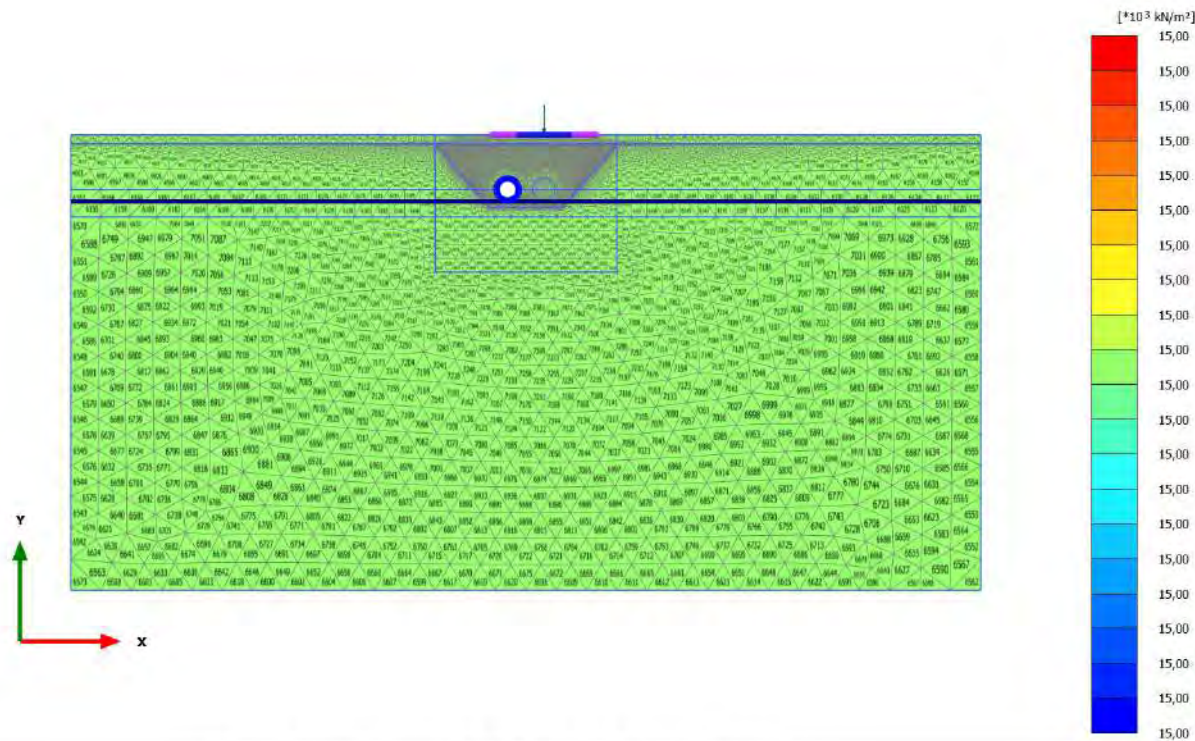
Uniform value of $15,00 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$

2.2.1.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Current young's modulus E



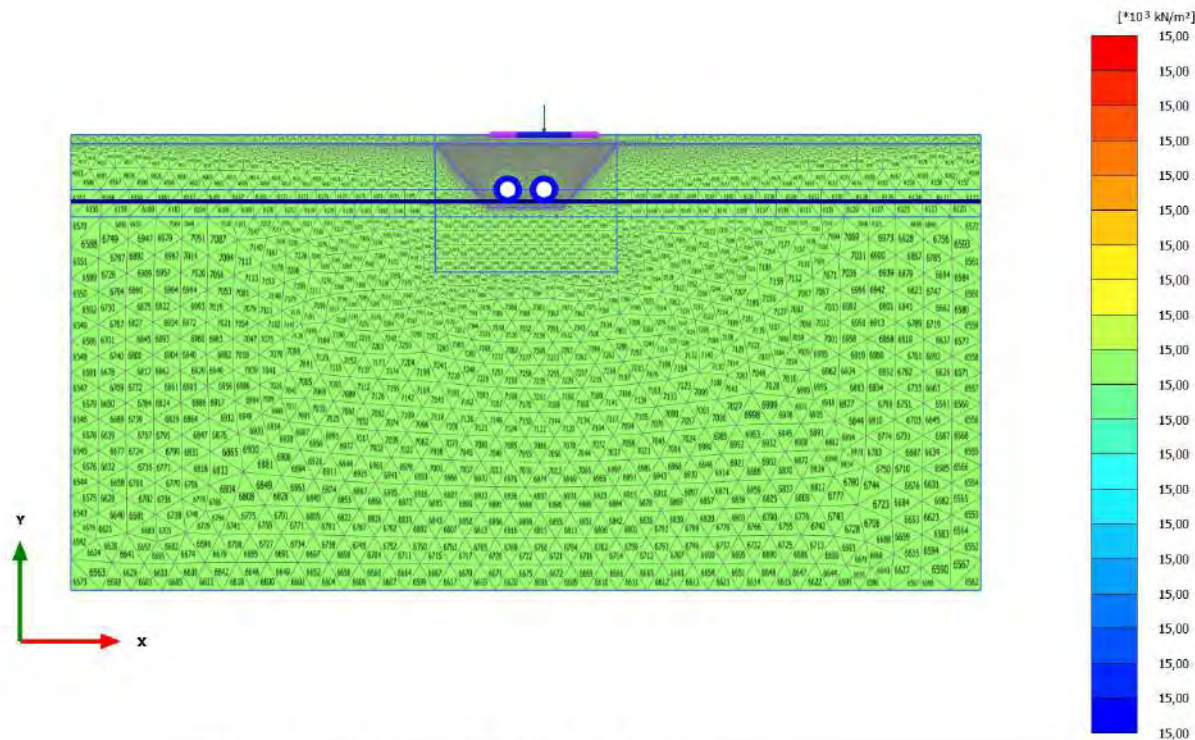
Current young's modulus E (scaled up 0,200*10⁻³ times)
 Uniform value of 15,00*10³ kN/m²

2.2.1.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Current young's modulus E



Current young's modulus E (scaled up 0,200*10⁻³ times)
 Uniform value of 15,00*10³ kN/m²

2.2.1.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Current young's modulus E

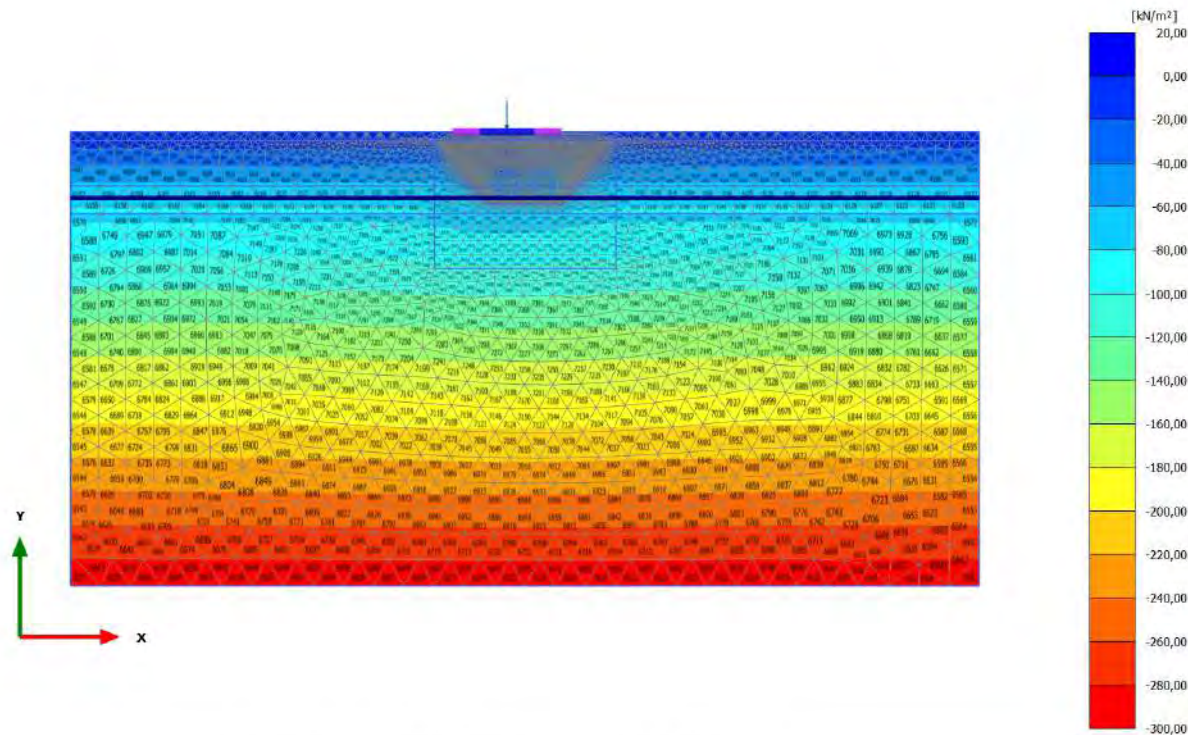


Current young's modulus E (scaled up $0,200 \cdot 10^{-3}$ times)

Uniform value of $15,00 \cdot 10^3$ kN/m²

2.2.2.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Cartesian effective stress

σ'_{xx}



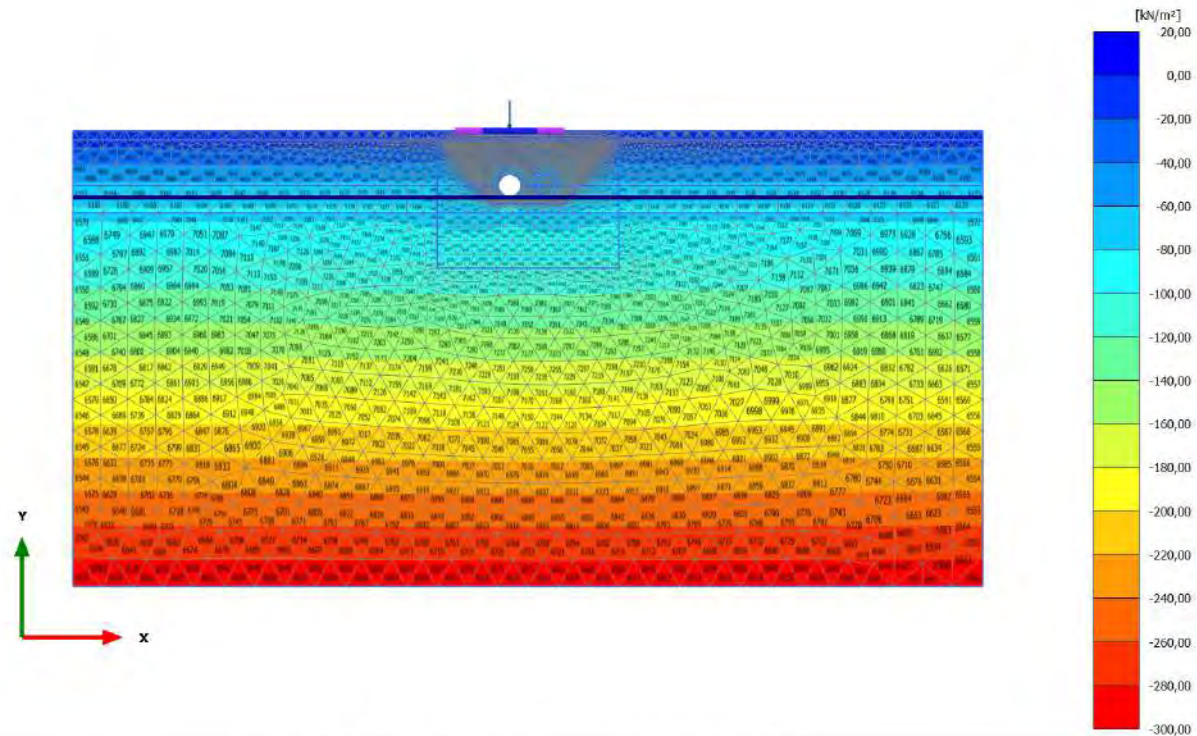
Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 0,4971 kN/m² (Element 1 at Node 20851)

Minimum value = -295,6 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.2.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Cartesian effective stress

σ_{xx}

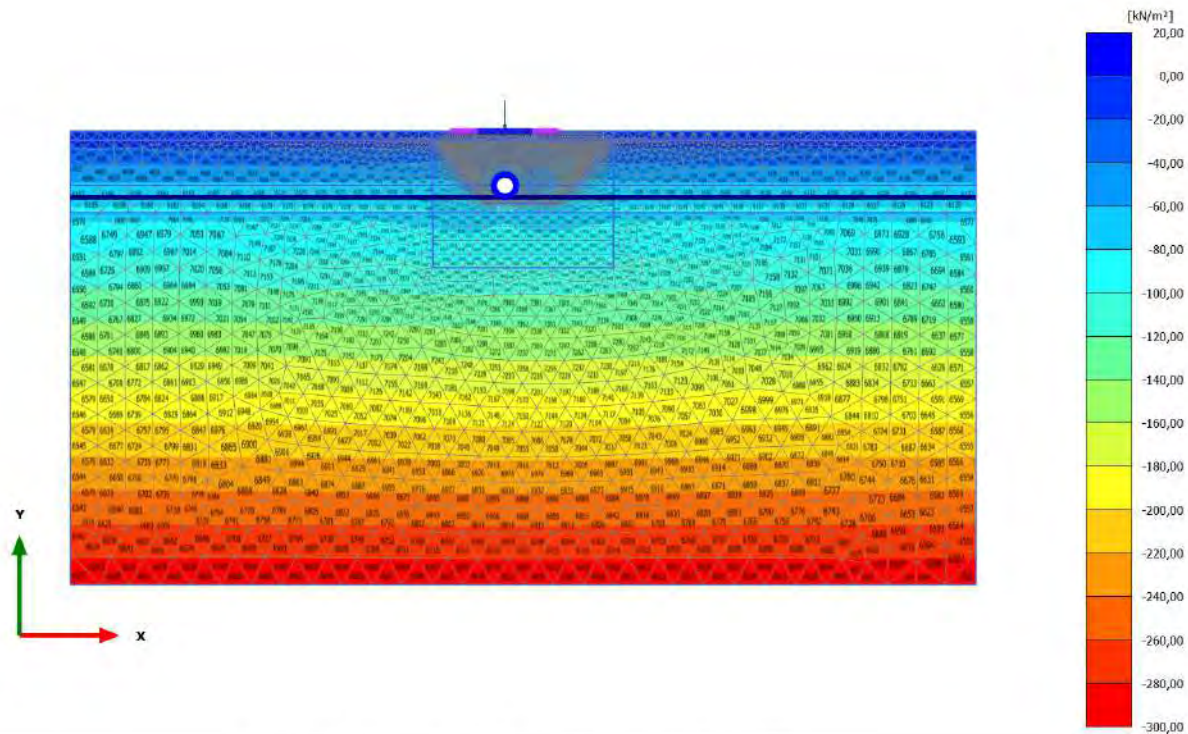


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 0,7064 kN/m² (Element 1 at Node 20851)

Minimum value = -295,6 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.2.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Cartesian effective stress σ'_{xx}



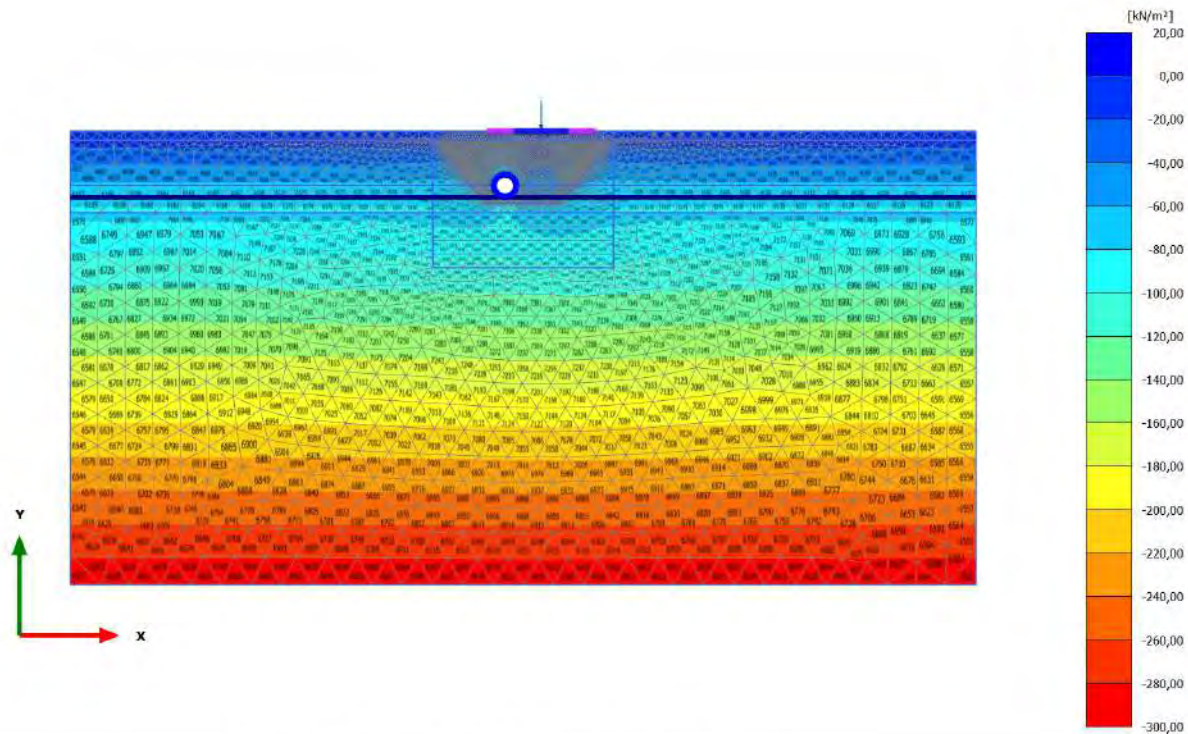
Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 0,6807 kN/m² (Element 1 at Node 20851)

Minimum value = -295,6 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.2.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Cartesian effective stress

σ'_{xx}



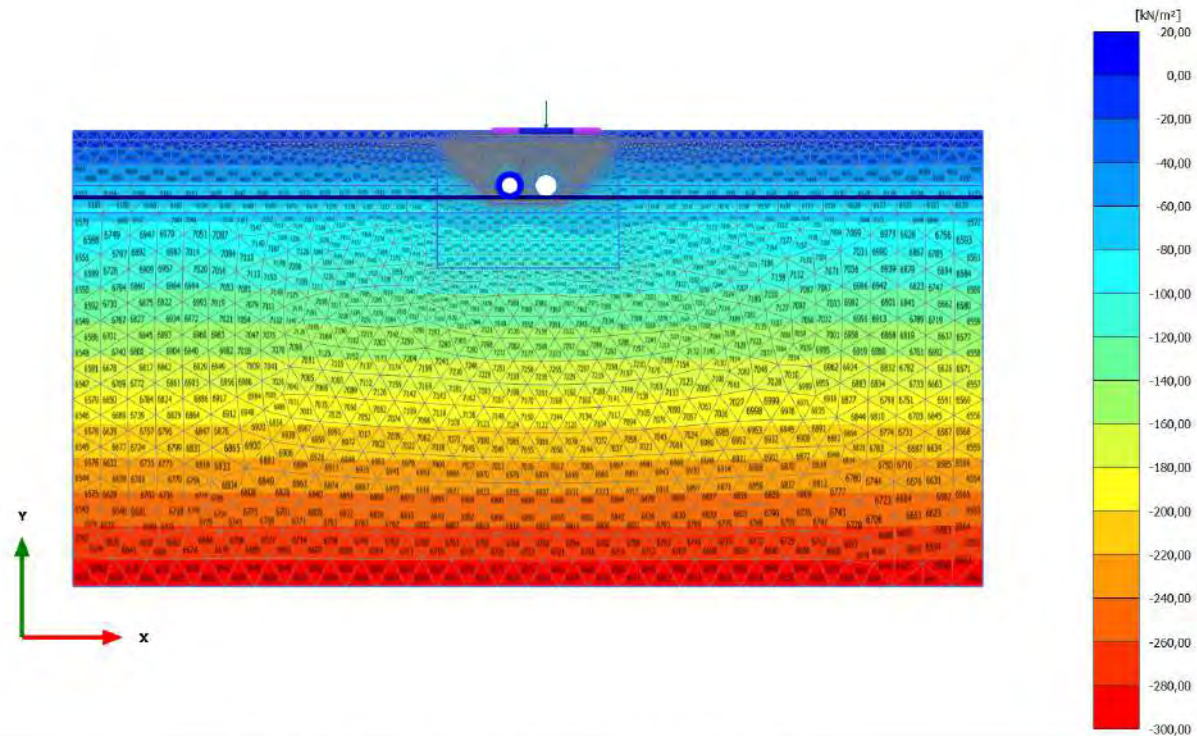
Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 0,2272 kN/m² (Element 71 at Node 40327)

Minimum value = -295,6 kN/m² (Element 6609 at Node 5080)

2.2.2.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Cartesian effective stress

σ'_{xx}

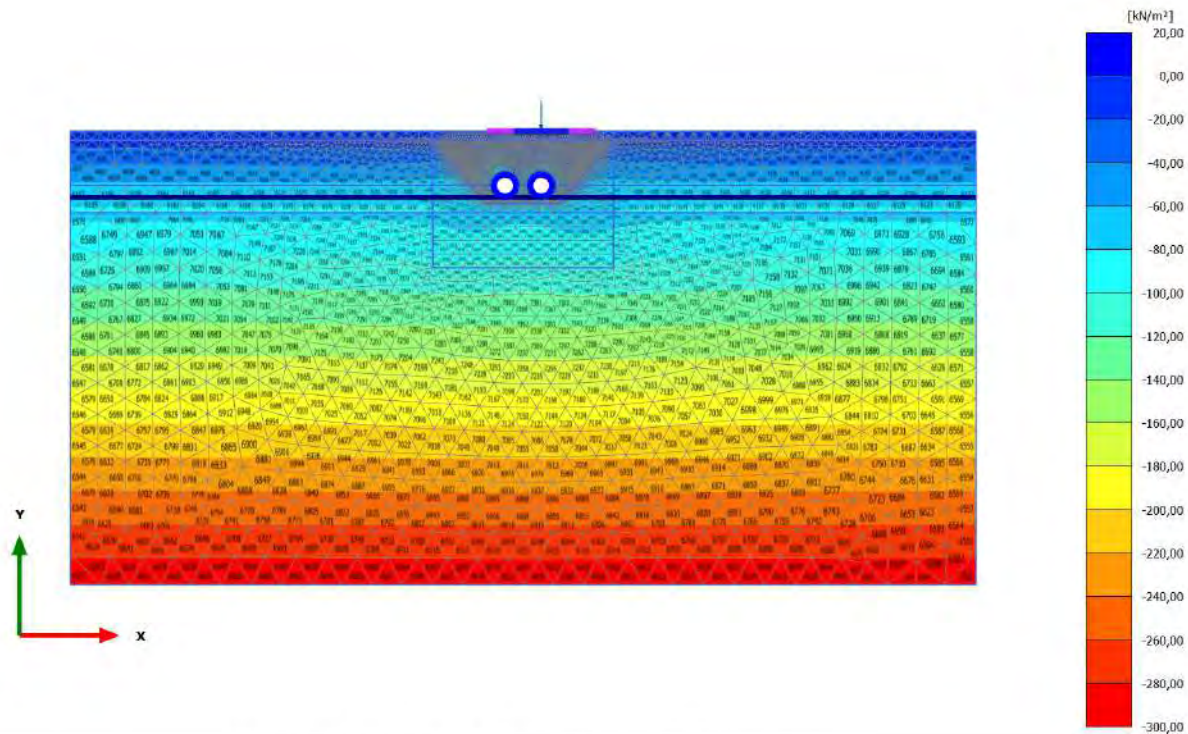


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 0,4882 kN/m² (Element 2 at Node 50169)

Minimum value = -295,6 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.2.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Cartesian effective stress σ'_{xx}



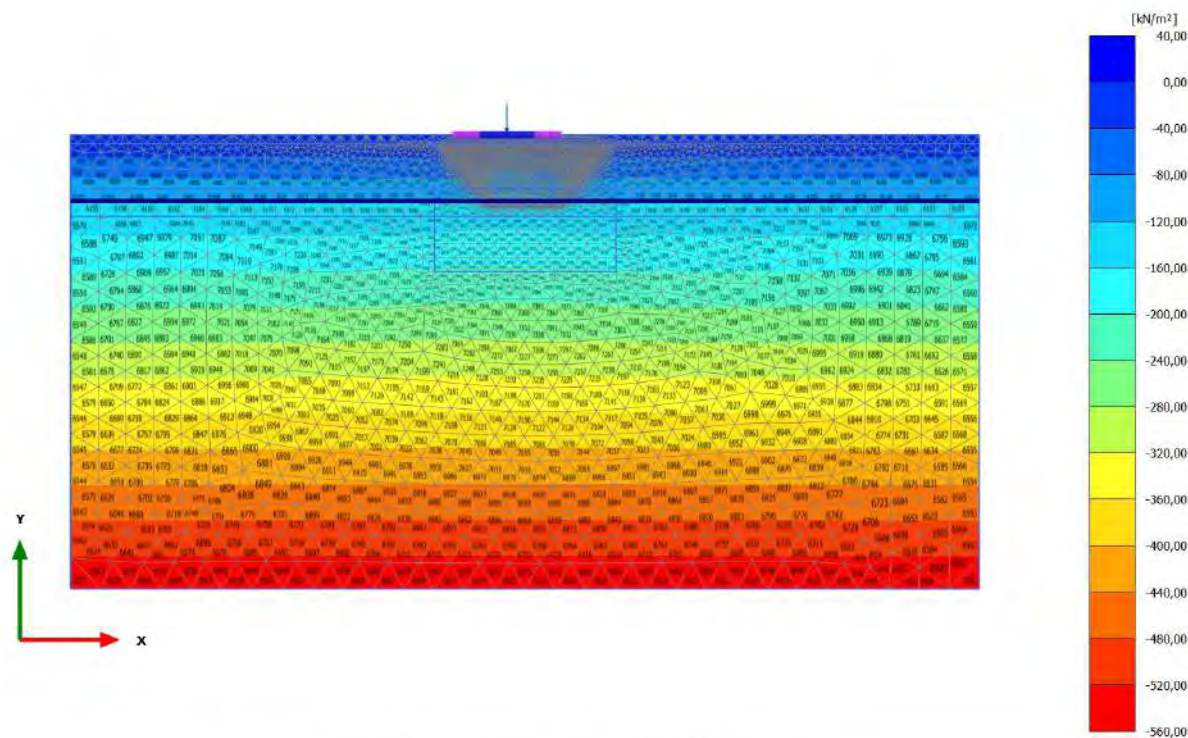
Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 0,5025 kN/m² (Element 2 at Node 50169)

Minimum value = -295,5 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.2.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Cartesian effective stress

yy



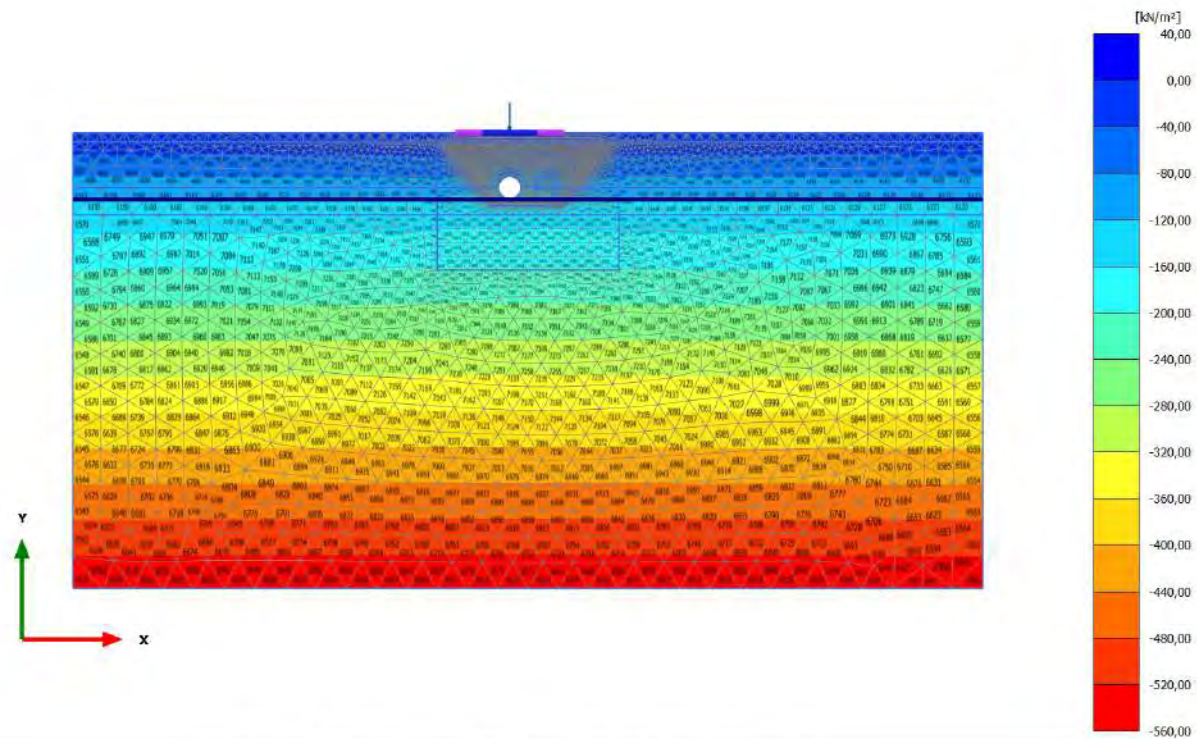
Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,4282 kN/m² (Element 541 at Node 11375)

Minimum value = -557,2 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.2.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Cartesian effective stress

yy

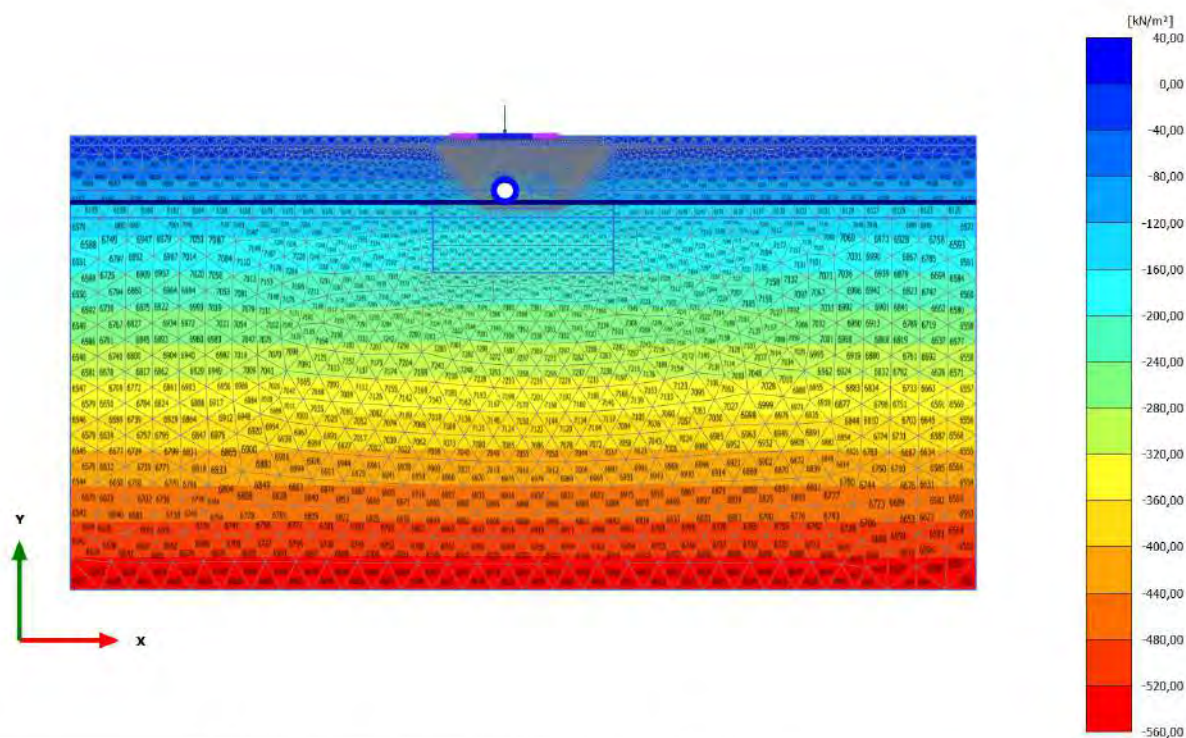


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,5737 kN/m² (Element 518 at Node 43898)

Minimum value = -557,1 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.2.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Cartesian effective stress σ'_{yy}



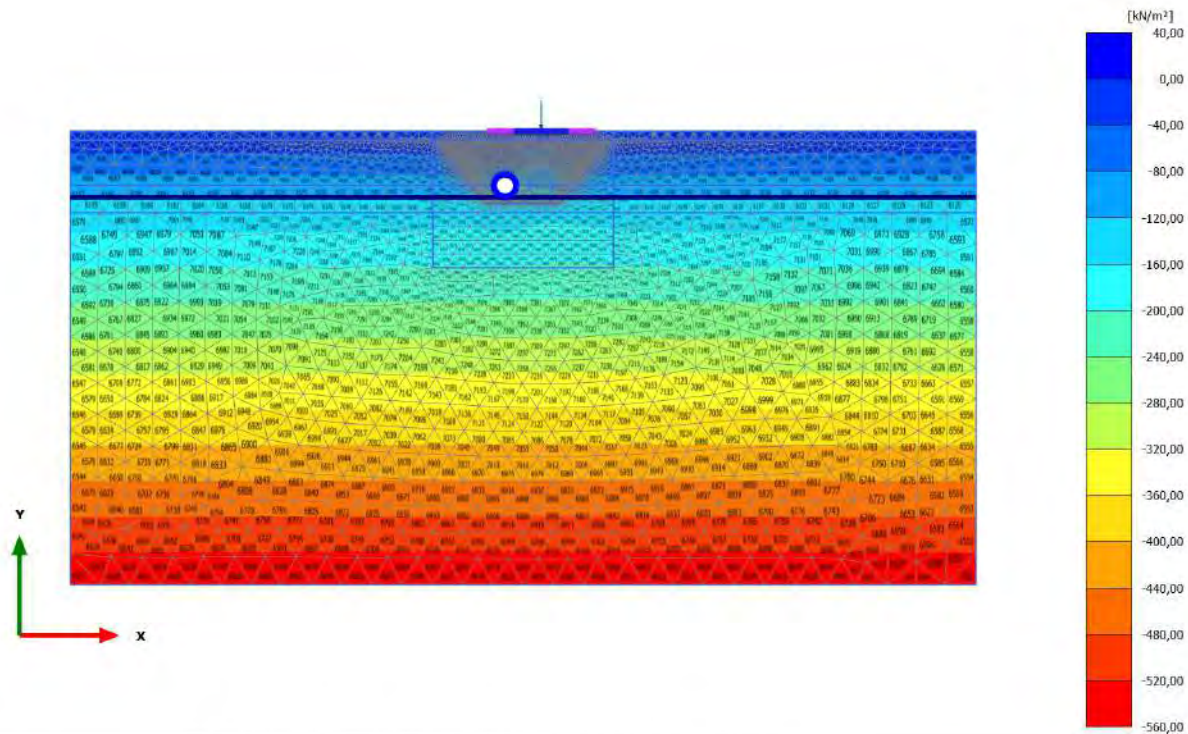
Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,6187 kN/m² (Element 518 at Node 43898)

Minimum value = -557,1 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.2.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Cartesian effective stress

yy



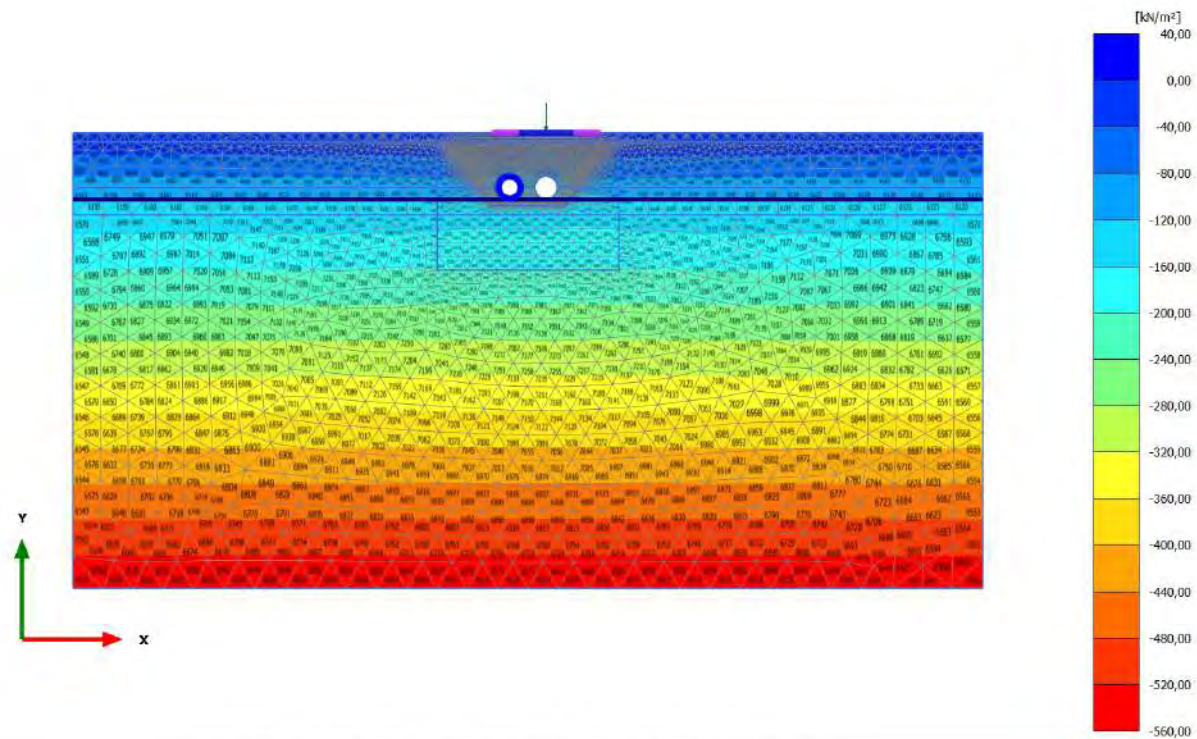
Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 1,183 kN/m² (Element 518 at Node 43898)

Minimum value = -557,1 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.2.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Cartesian effective stress

yy

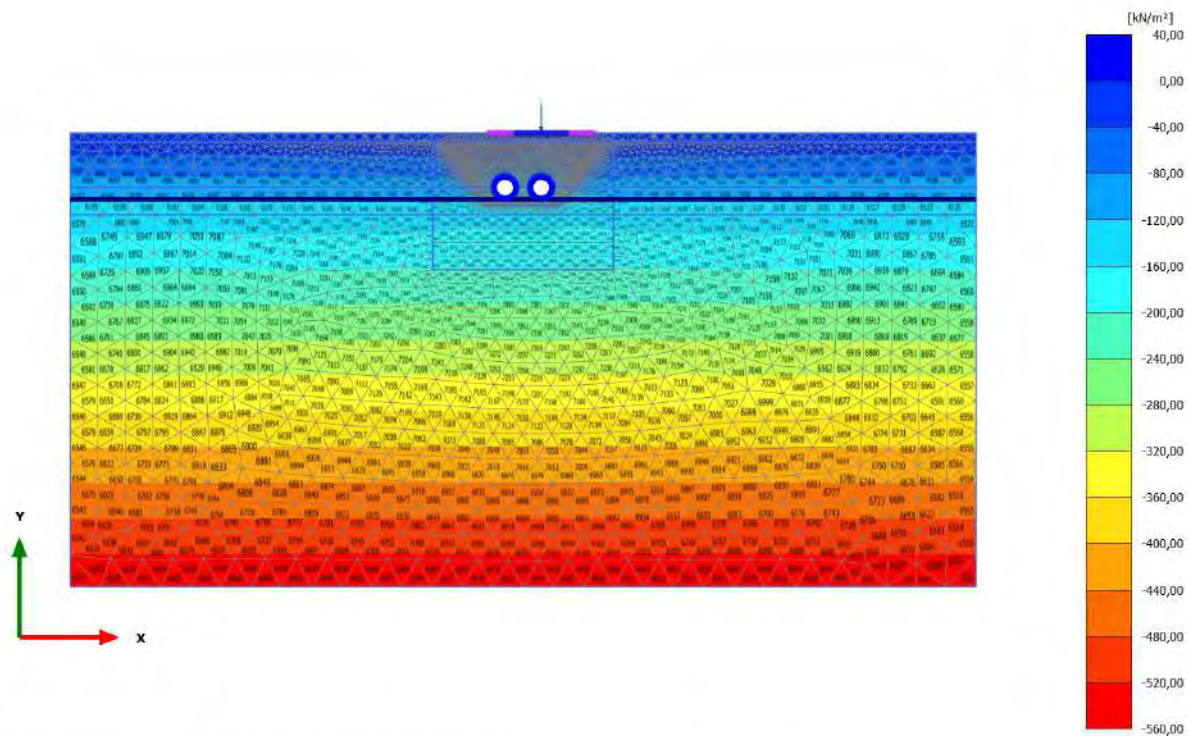


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 1,817 kN/m² (Element 518 at Node 43898)

Minimum value = -557,1 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.2.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Cartesian effective stress σ'_{yy}



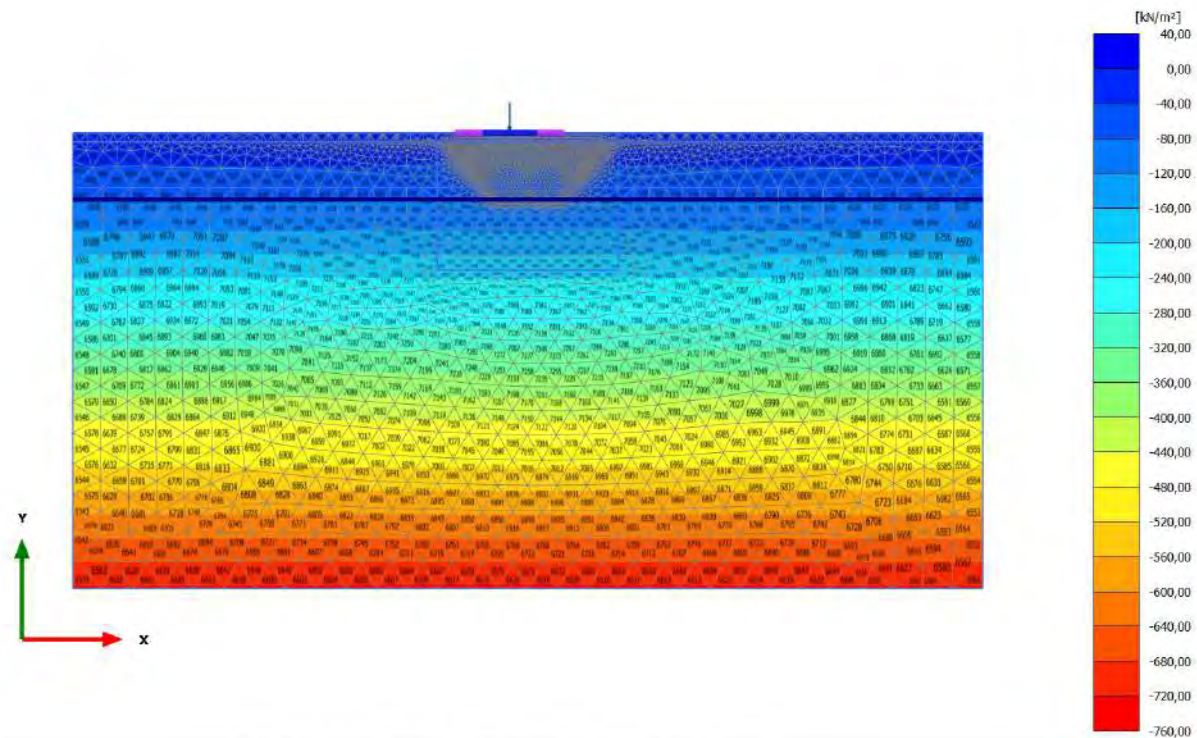
Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 1,791 kN/m² (Element 518 at Node 43898)

Minimum value = -557,1 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.3.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Cartesian total stress

xx

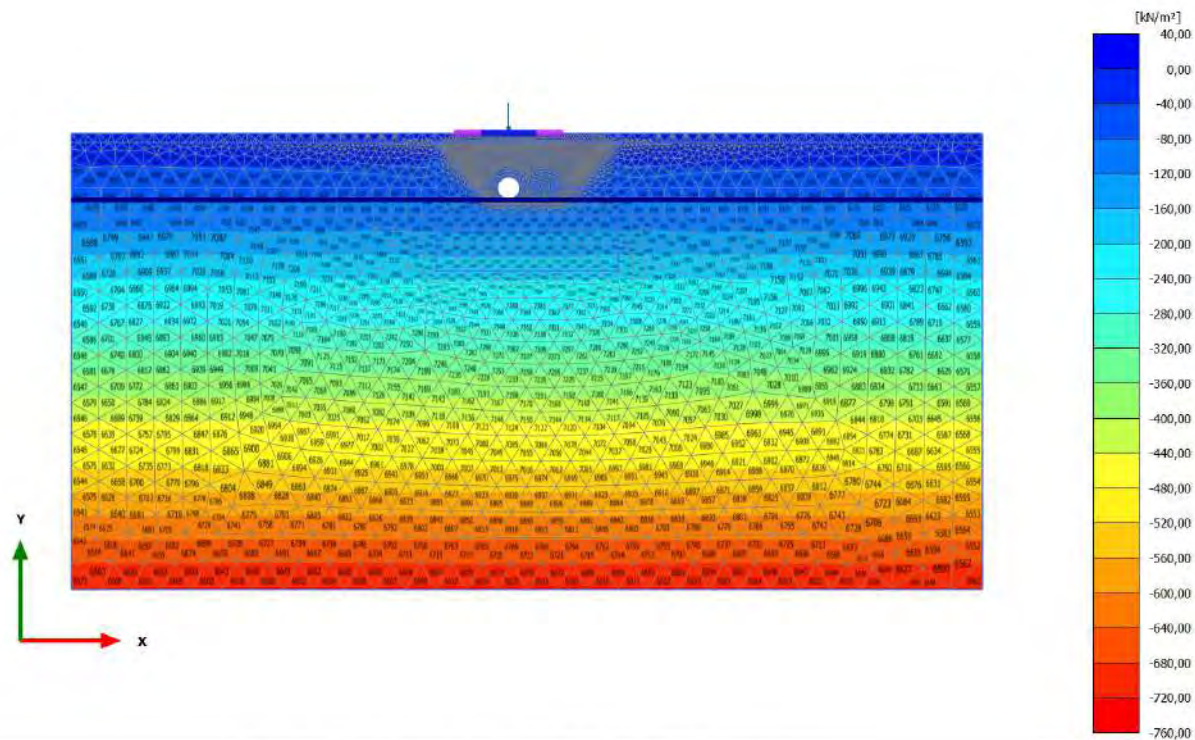


Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 24,44 kN/m² (Element 24 at Node 23692)

Minimum value = -726,2 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

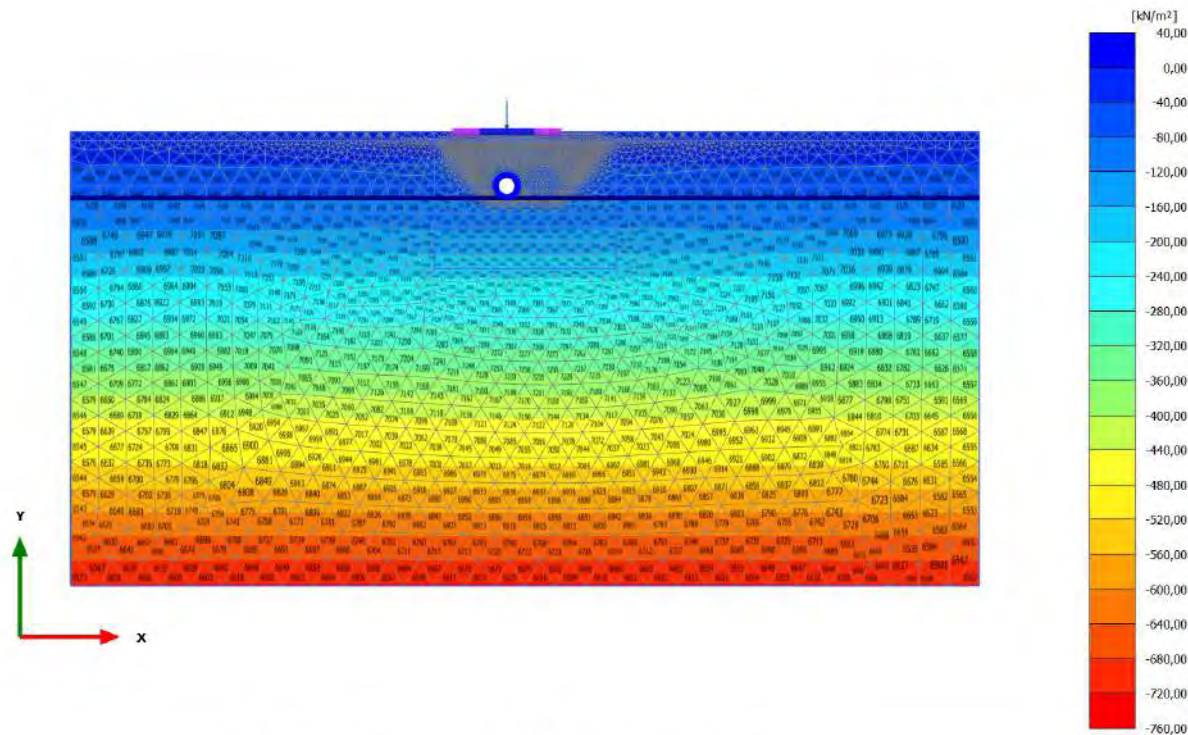
2.2.3.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Cartesian total stress σ_{xx}



Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = 30,78 kN/m² (Element 24 at Node 23692)
 Minimum value = -725,6 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.3.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Cartesian total stress

xx



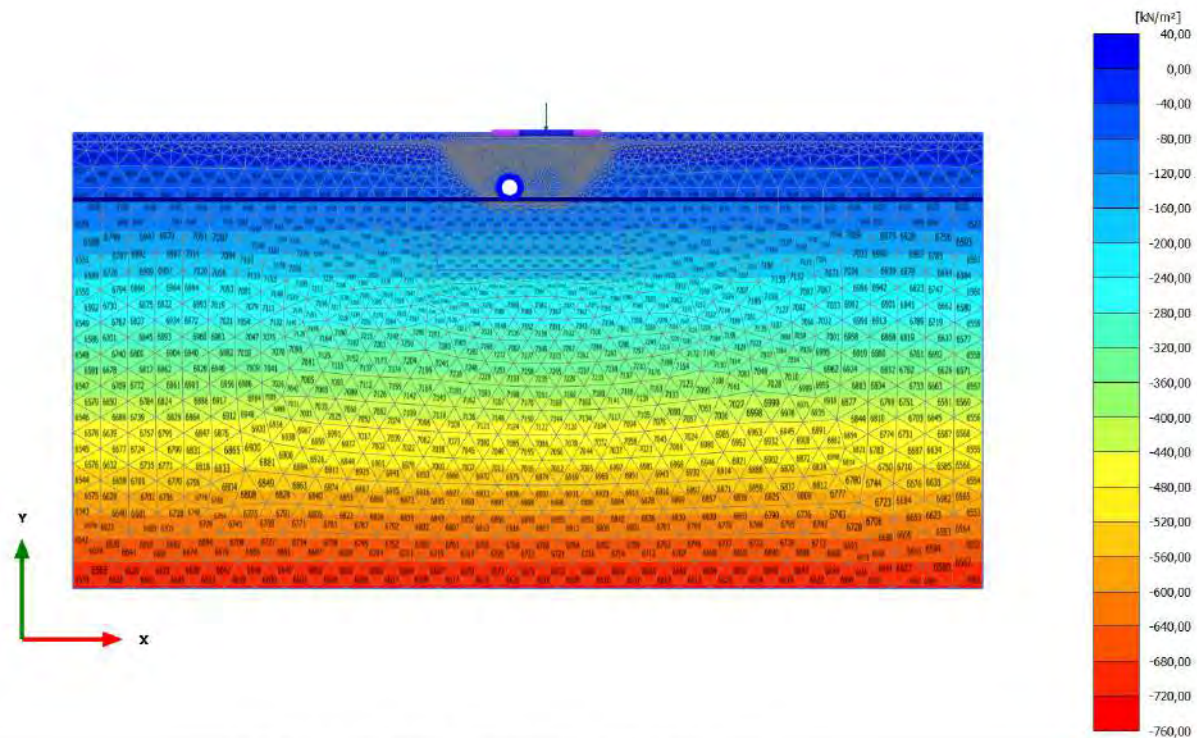
Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 31,44 kN/m² (Element 24 at Node 23692)

Minimum value = -725,4 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.3.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Cartesian total stress

xx

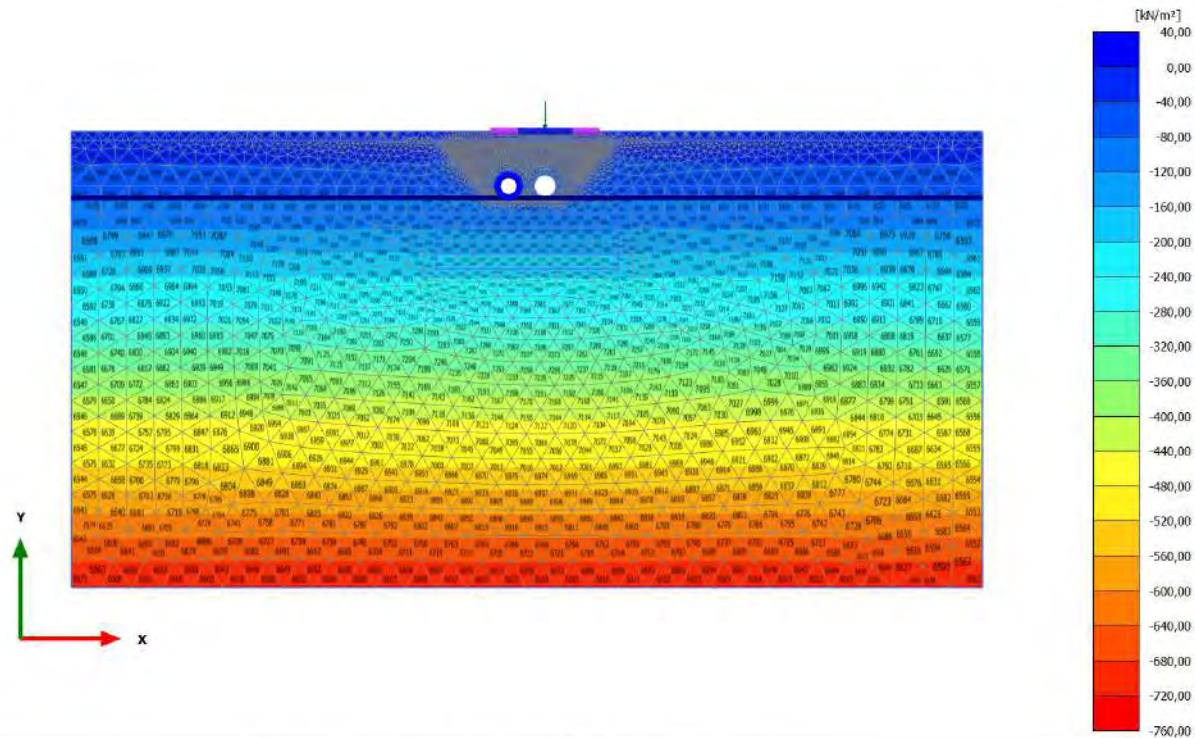


Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 28,18 kN/m² (Element 36 at Node 53516)

Minimum value = -725,3 kN/m² (Element 6609 at Node 5080)

2.2.3.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Cartesian total stress σ_{xx}



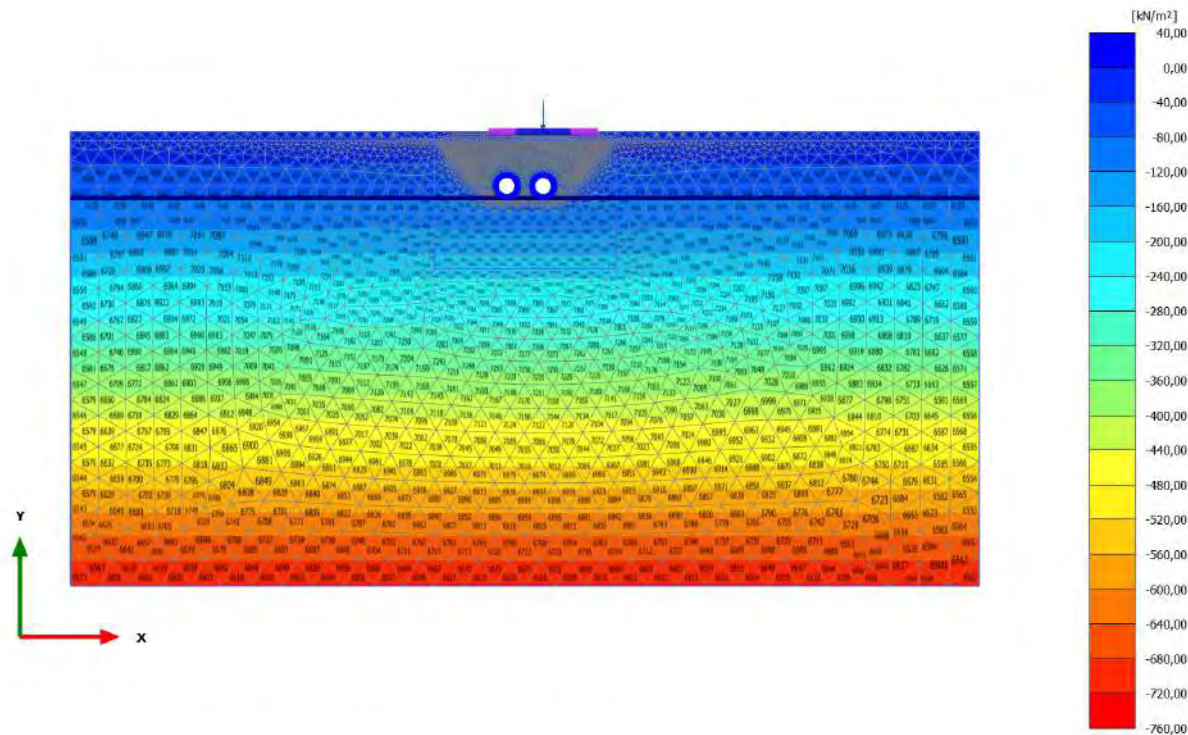
Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 24,29 kN/m² (Element 71 at Node 40325)

Minimum value = -724,9 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.3.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Cartesian total stress

xx



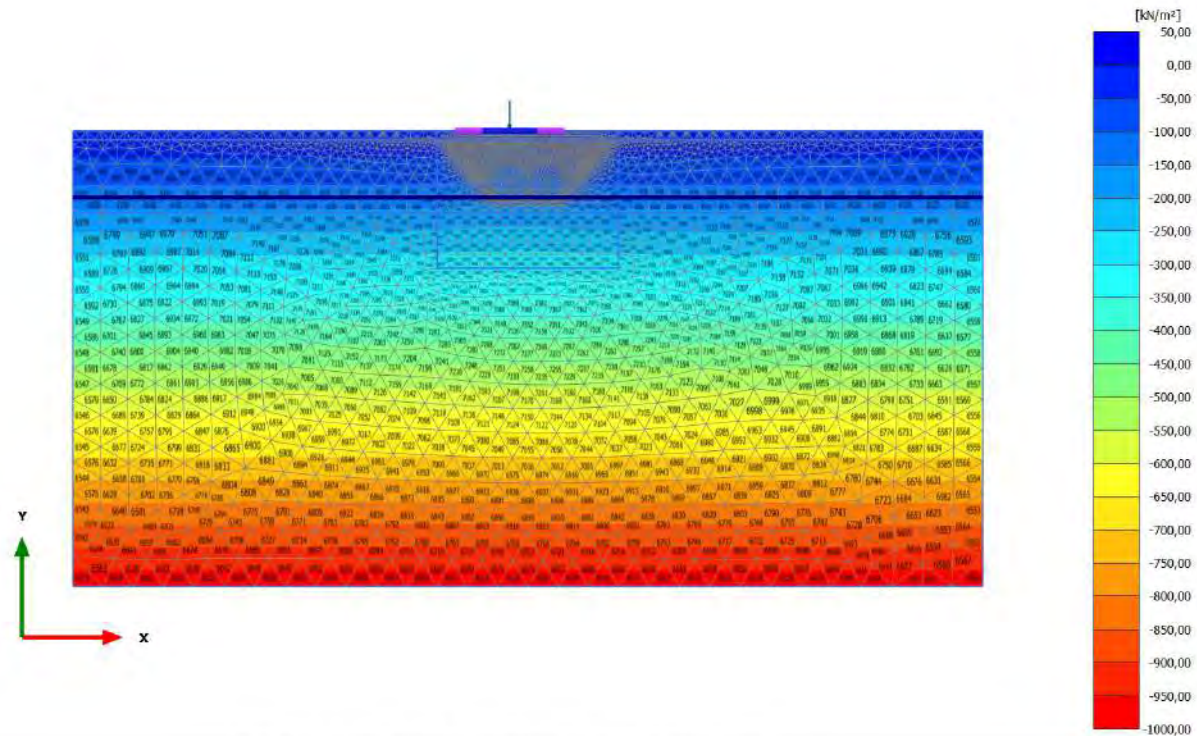
Cartesian total stress σ_{xx} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 24,90 kN/m² (Element 72 at Node 45493)

Minimum value = -724,5 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.3.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Cartesian total stress

yy

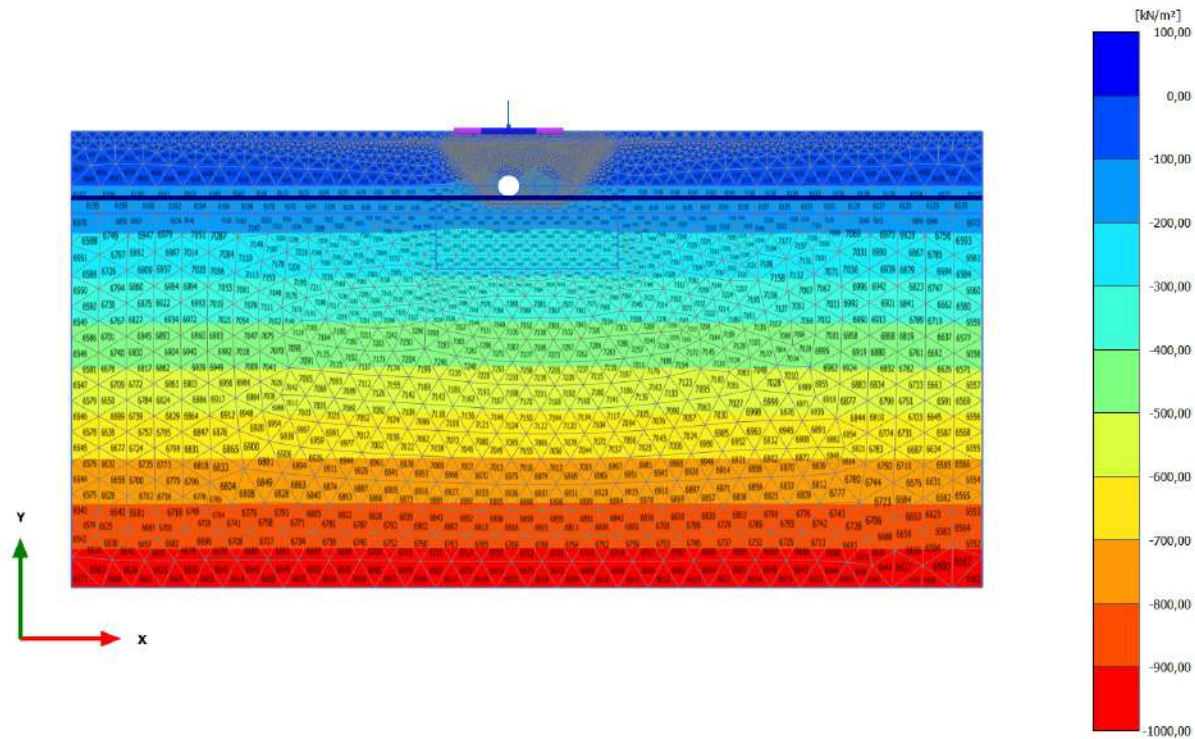


Cartesian total stress σ_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 8,539 kN/m² (Element 71 at Node 40324)

Minimum value = -987,8 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.3.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Cartesian total stress σ_{yy}



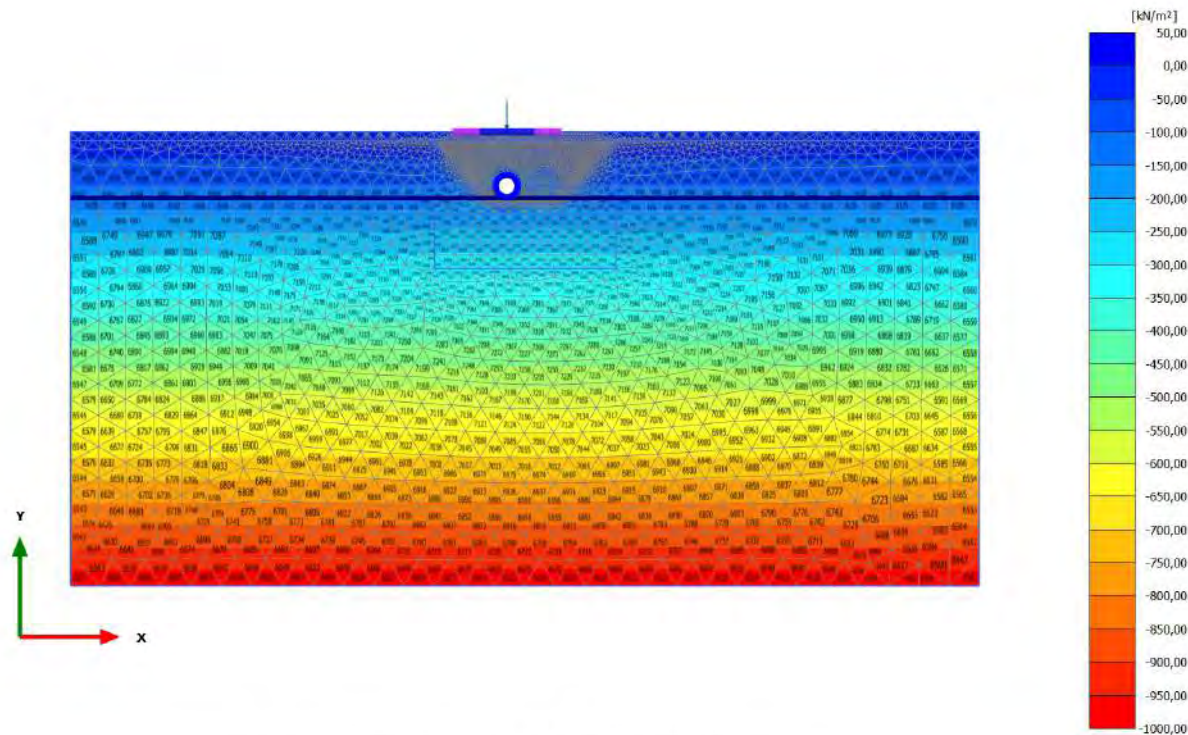
Cartesian total stress σ_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 10,98 kN/m² (Element 46 at Node 60180)

Minimum value = -987,1 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.3.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Cartesian total stress

yy



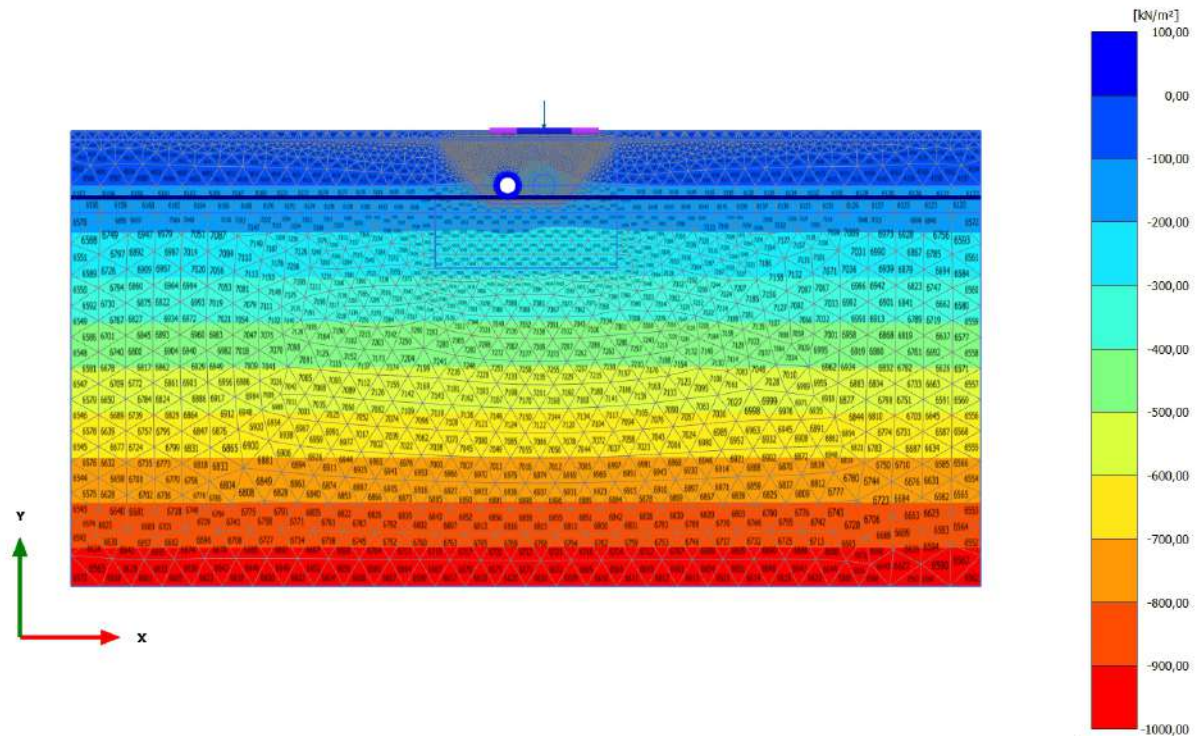
Cartesian total stress σ_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 10,71 kN/m² (Element 46 at Node 60180)

Minimum value = -987,0 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.3.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Cartesian total stress

yy

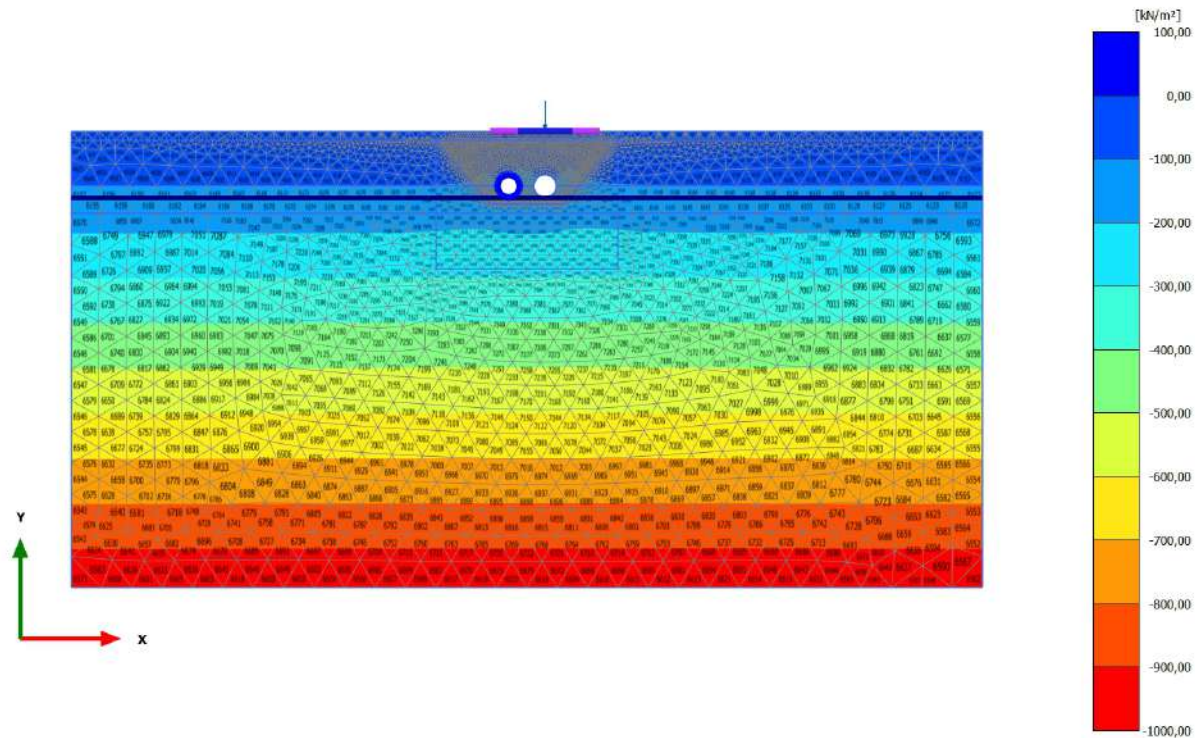


Cartesian total stress σ_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 21,03 kN/m² (Element 36 at Node 53516)

Minimum value = -986,9 kN/m² (Element 6609 at Node 5080)

2.2.3.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Cartesian total stress σ_{yy}



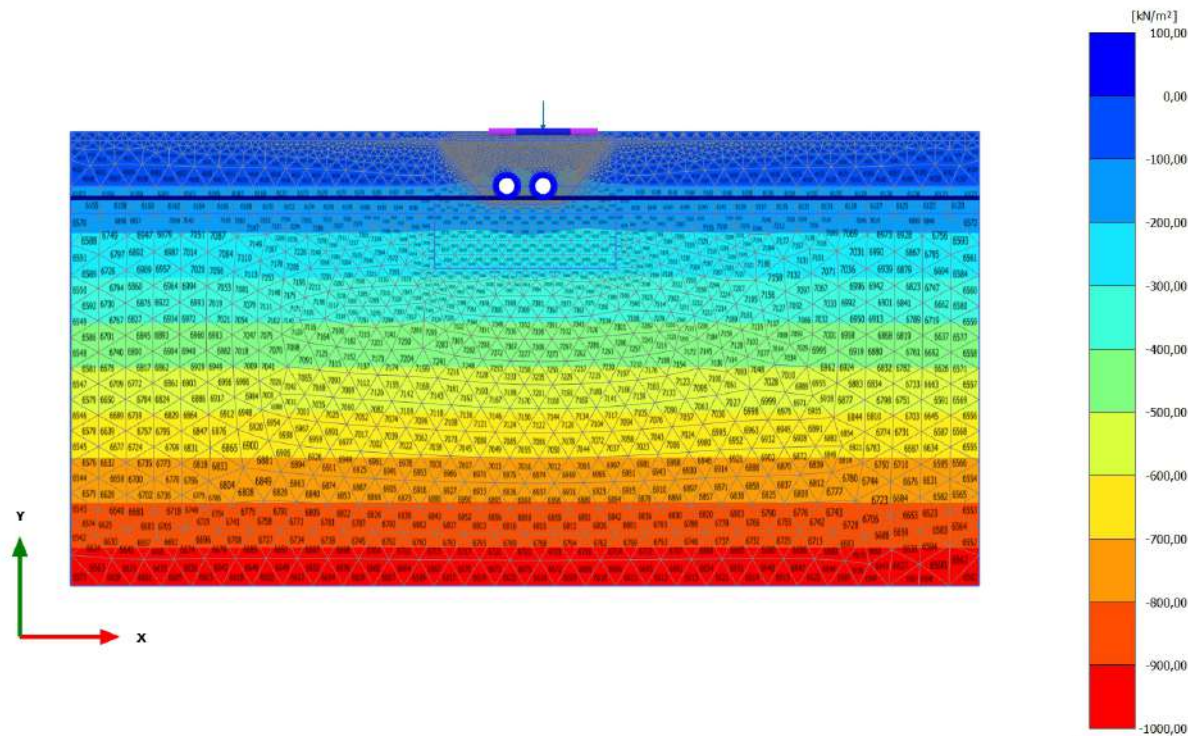
Cartesian total stress σ_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 21,43 kN/m² (Element 34 at Node 51572)

Minimum value = -986,5 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.3.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Cartesian total stress

yy

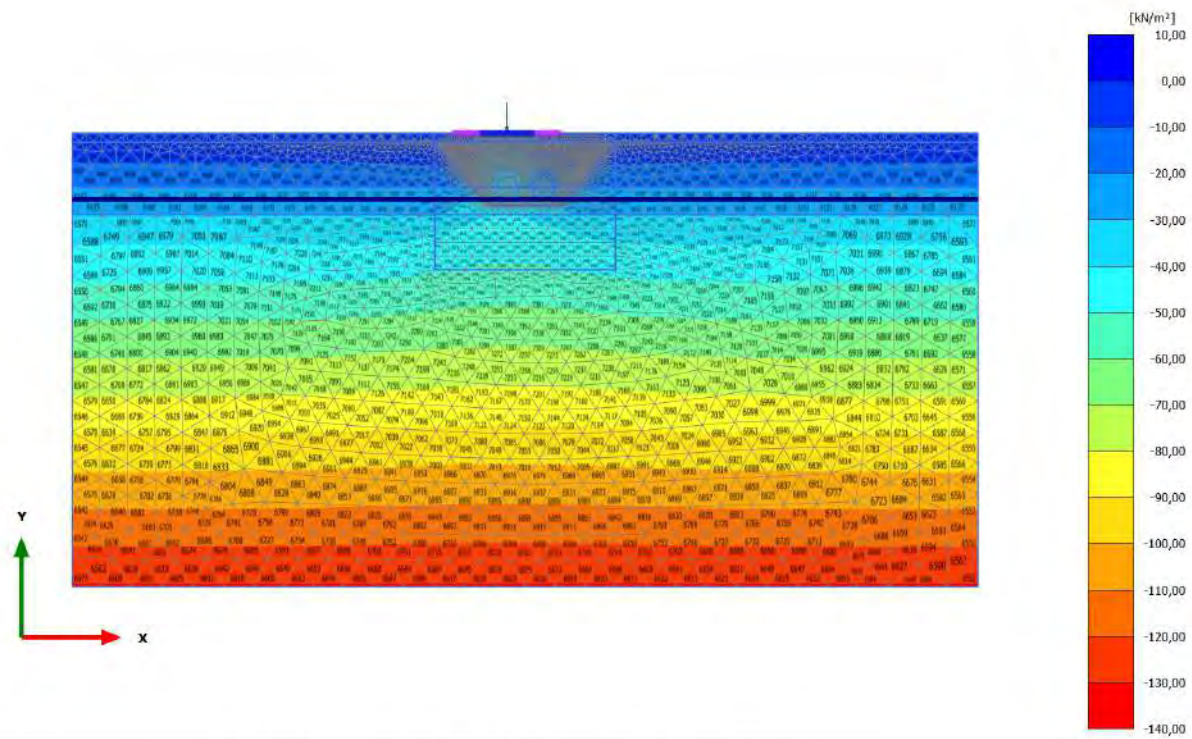


Cartesian total stress σ_{yy} (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 21,17 kN/m² (Element 34 at Node 51572)

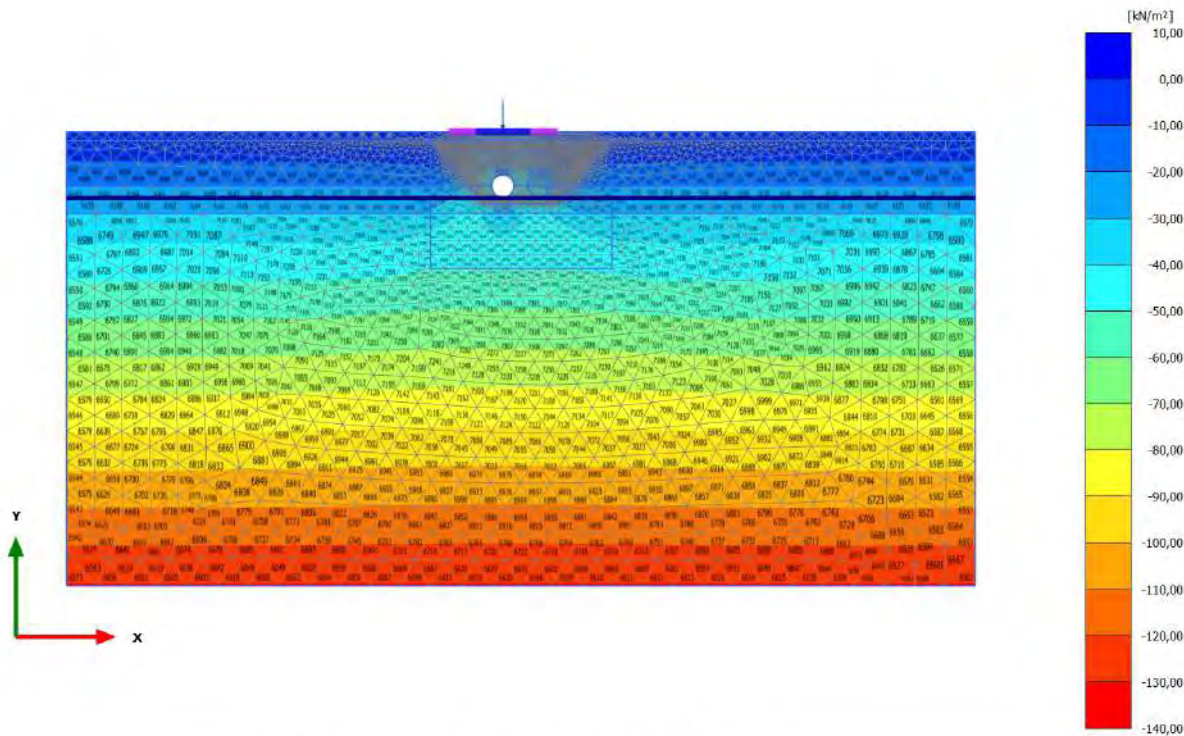
Minimum value = -986,1 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.4.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$



Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (scaled up 0,0200 times)
 Maximum value = $-0,7456 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 63 at Node 52620)
 Minimum value = -130,8 kN/m² (Element 6616 at Node 5021)

2.2.4.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$

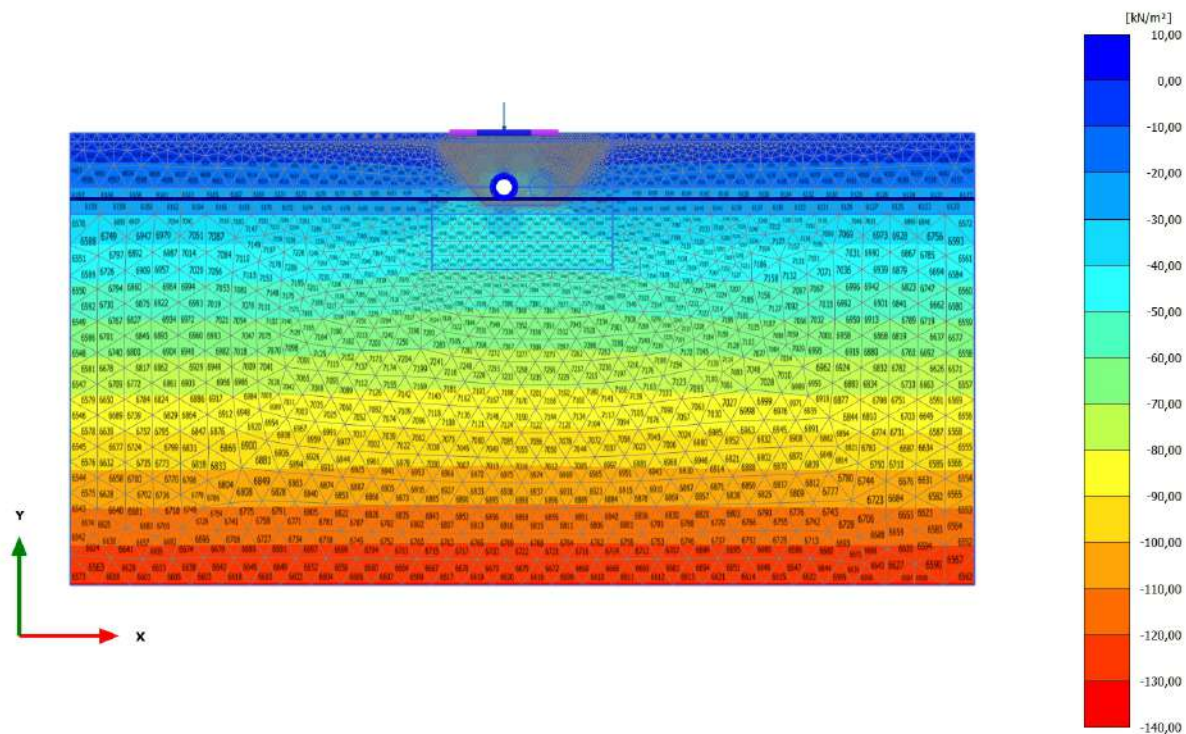


Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,01436 kN/m² (Element 10 at Node 50172)

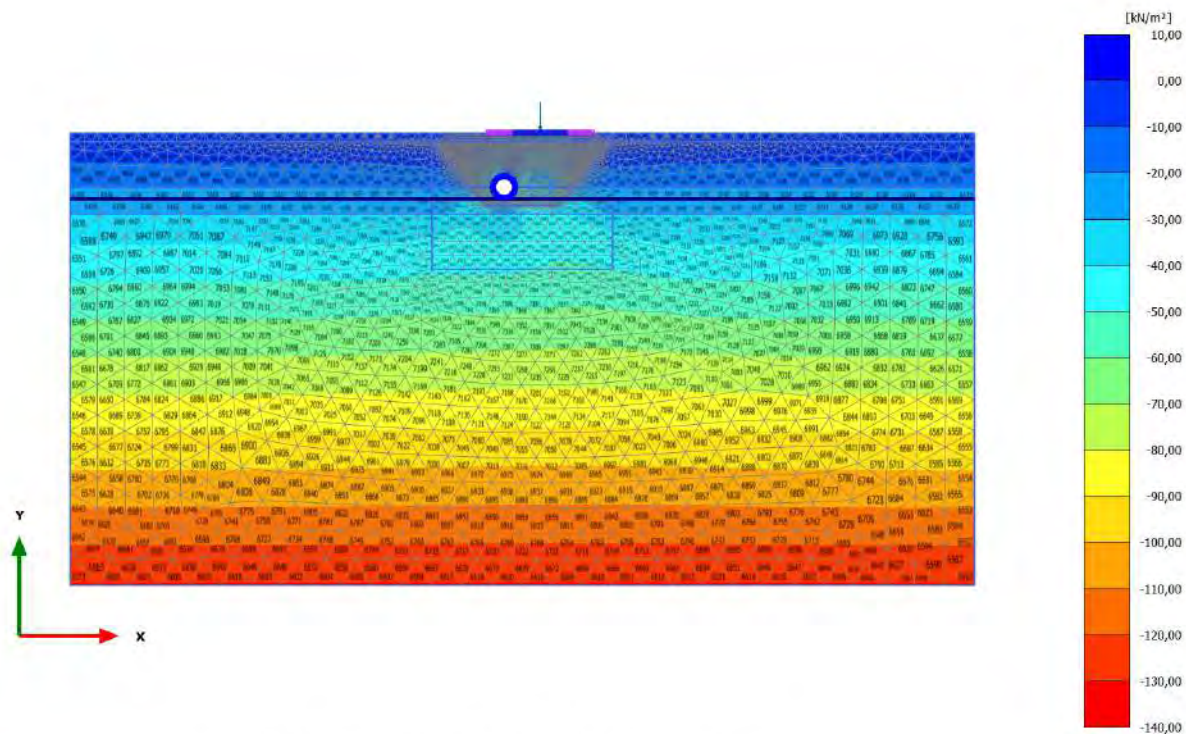
Minimum value = -130,8 kN/m² (Element 6616 at Node 5021)

2.2.4.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$



Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (scaled up 0,0200 times)
 Maximum value = $-4,162 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 10 at Node 50172)
 Minimum value = -130,8 kN/m² (Element 6616 at Node 5021)

2.2.4.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$

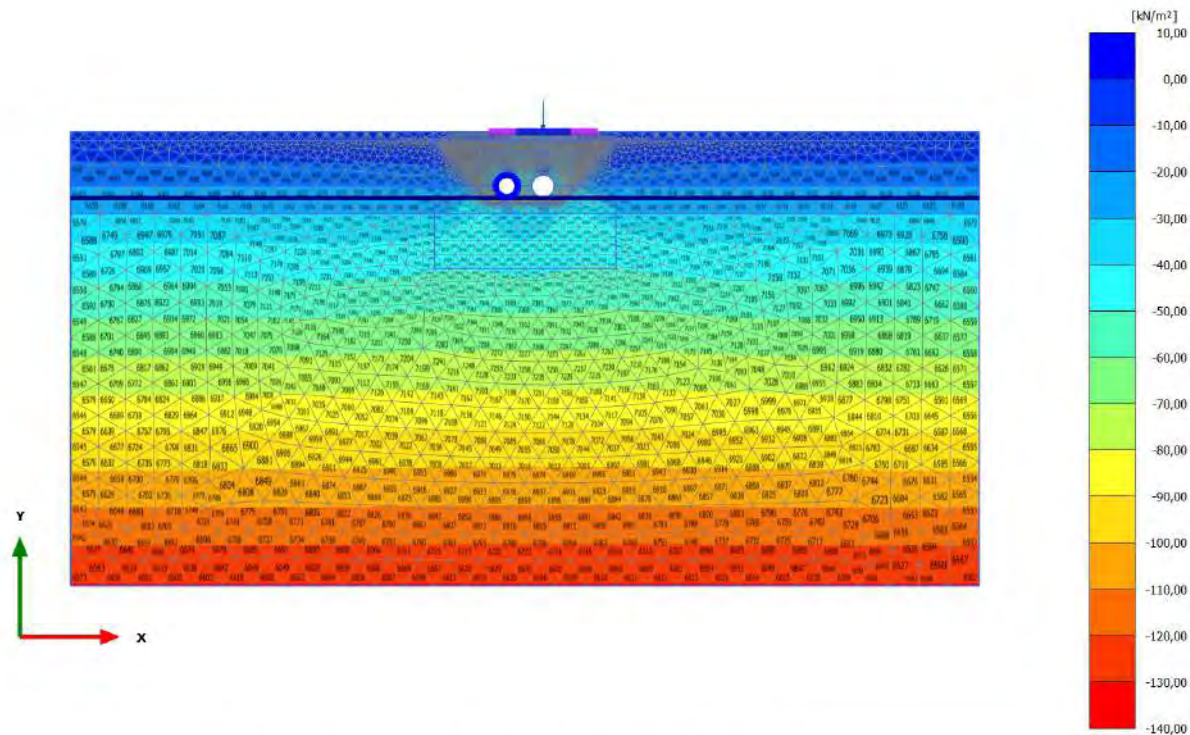


Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,05018 kN/m² (Element 2 at Node 50169)

Minimum value = -130,8 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.4.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$

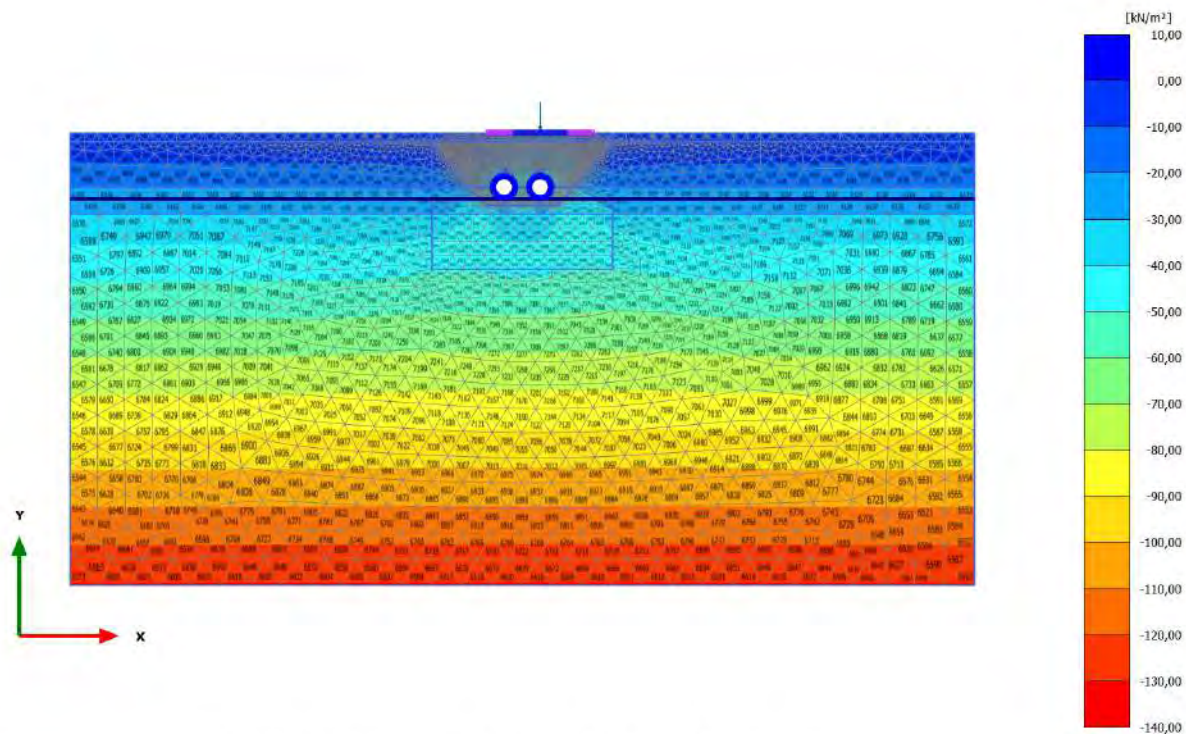


Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,04312 kN/m² (Element 695 at Node 17631)

Minimum value = -130,8 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.4.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$

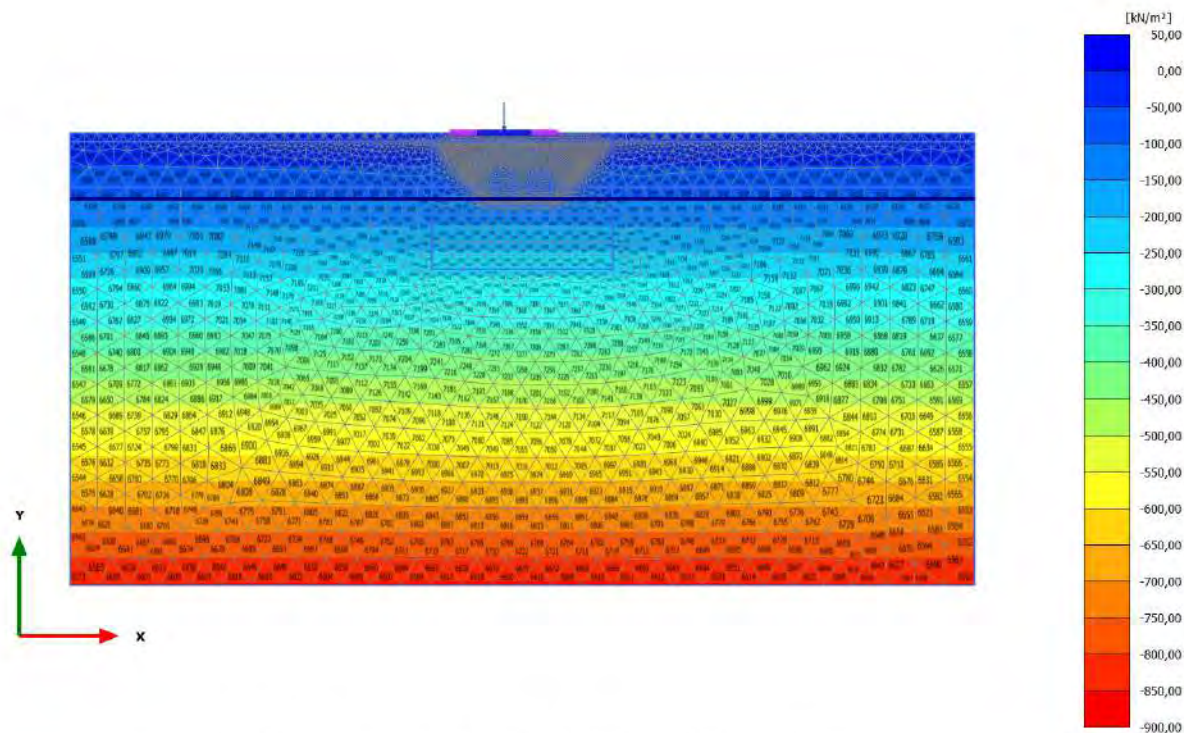


Principal total stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = -0,03270 kN/m² (Element 695 at Node 17629)

Minimum value = -130,8 kN/m² (Element 6610 at Node 5725)

2.2.4.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$

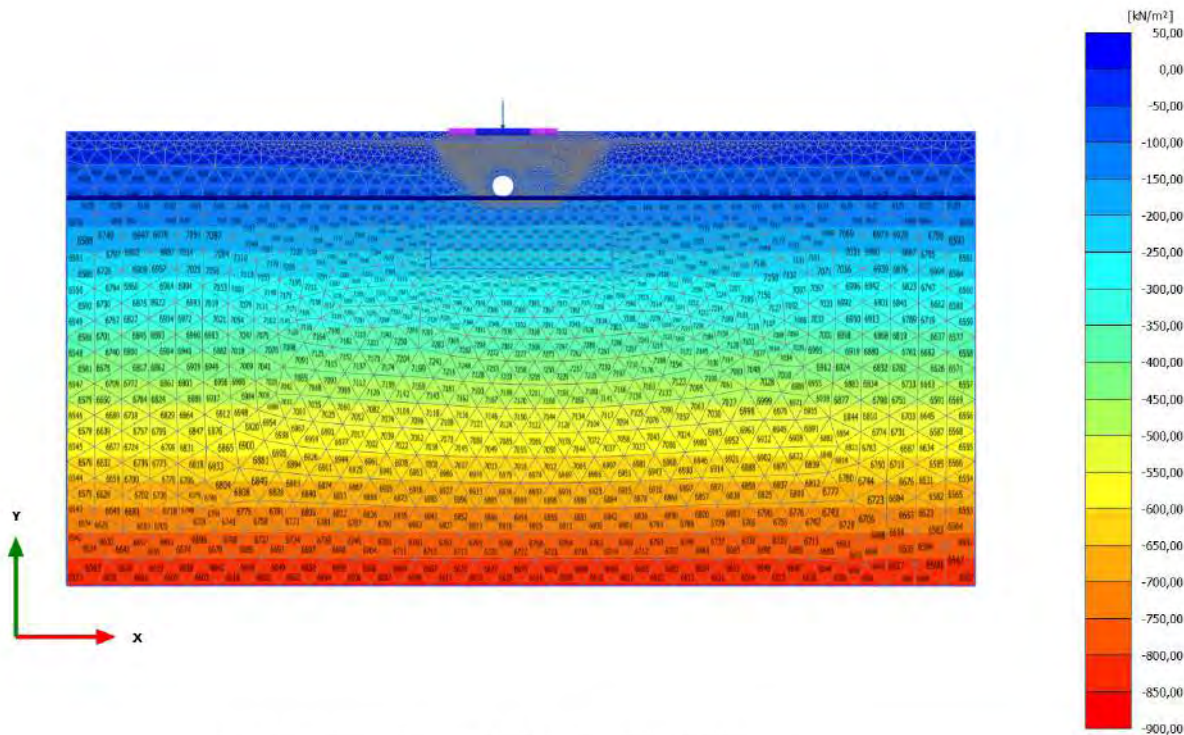


Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 13,90 kN/m^2 (Element 24 at Node 23692)

Minimum value = -857,0 kN/m^2 (Element 6620 at Node 4858)

2.2.4.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$

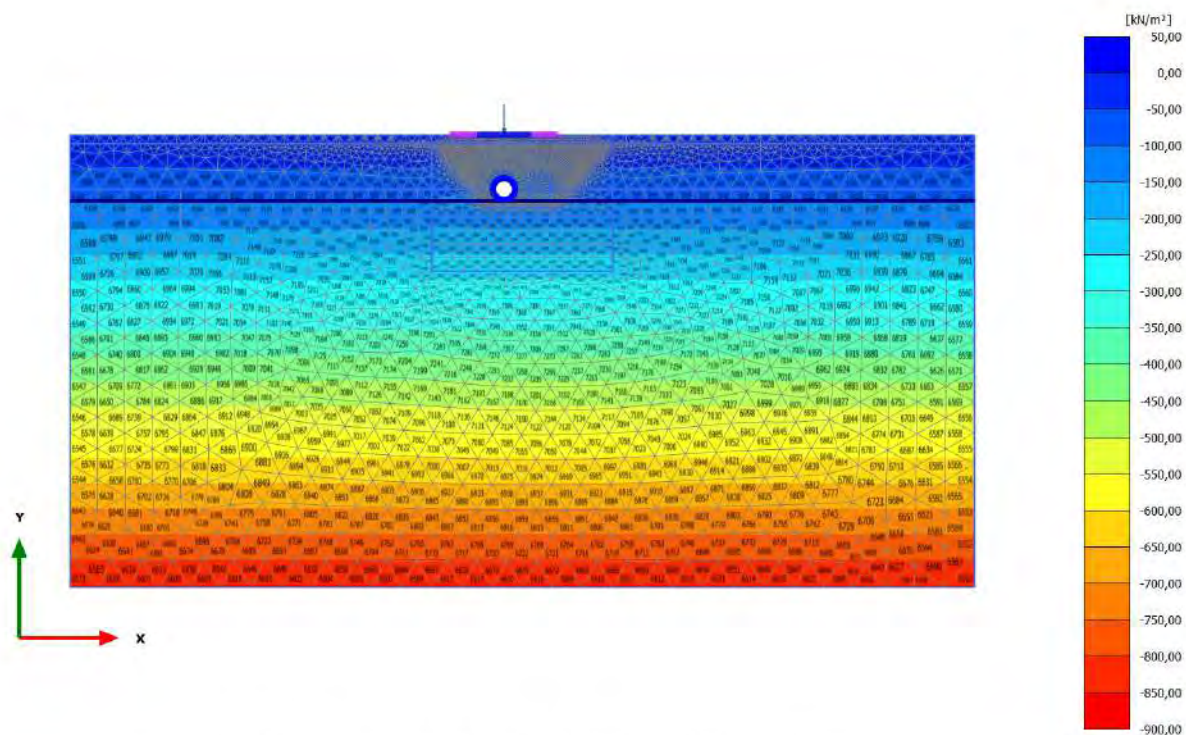


Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 19,85 kN/m² (Element 24 at Node 23692)

Minimum value = -856,4 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.4.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$

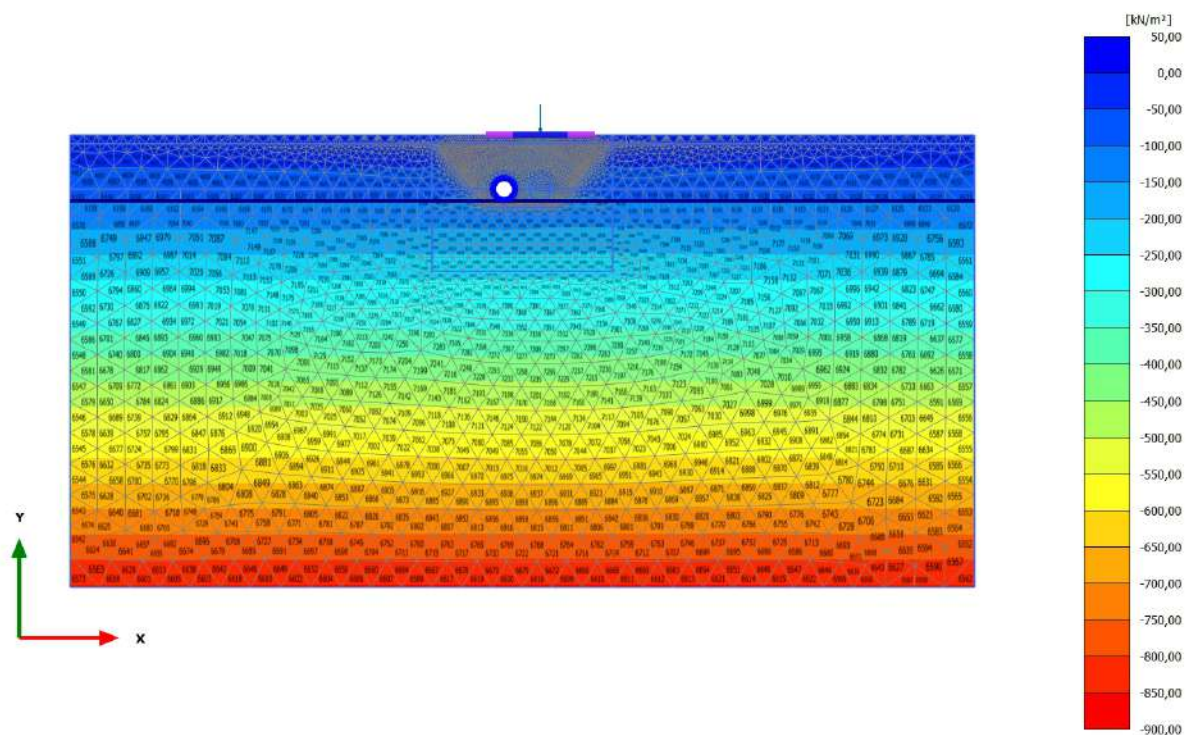


Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 20,61 kN/m² (Element 24 at Node 23692)

Minimum value = -856,2 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.4.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$

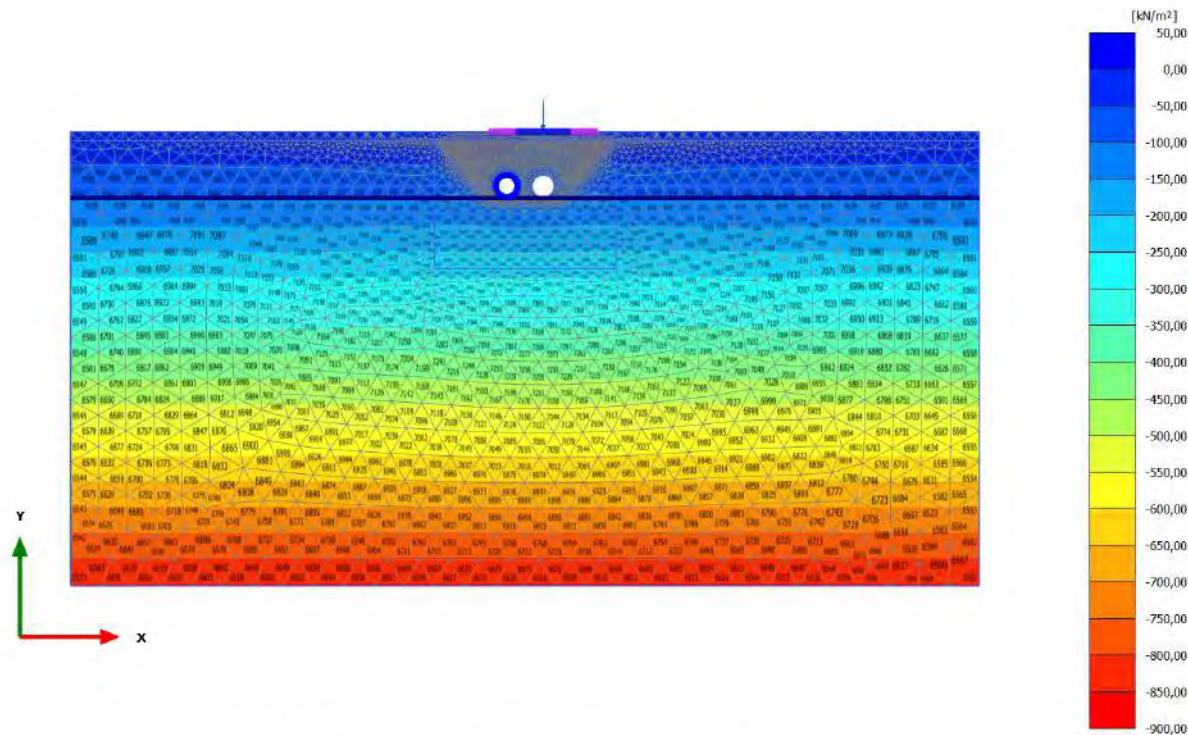


Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 24,61 kN/m² (Element 36 at Node 53516)

Minimum value = -856,1 kN/m² (Element 6609 at Node 5080)

2.2.4.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$

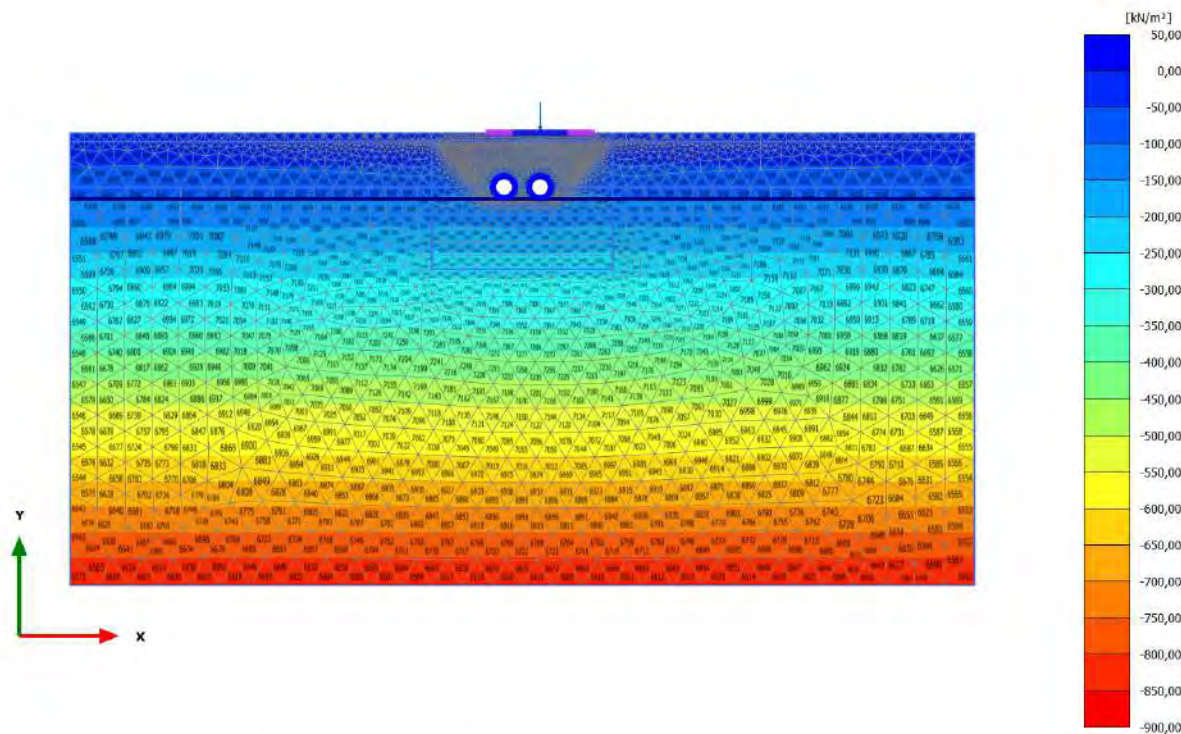


Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 20,22 kN/m² (Element 34 at Node 51573)

Minimum value = -855,7 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.4.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$

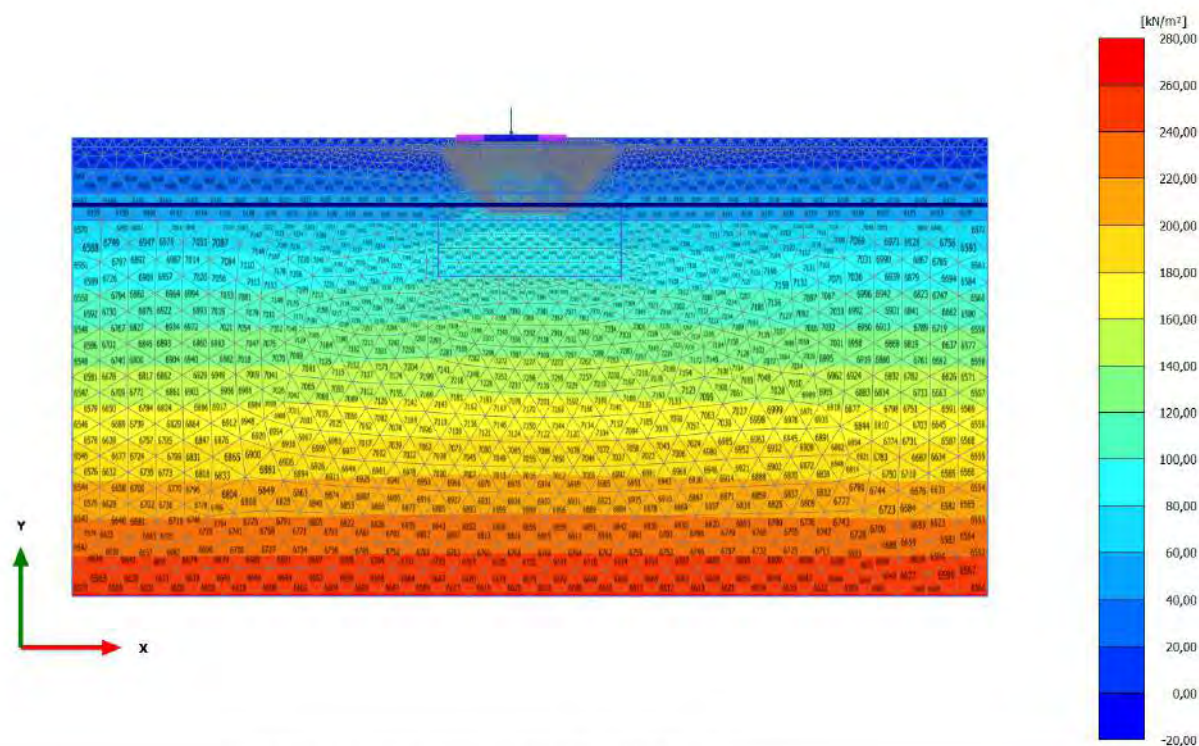


Principal total stress $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 20,03 kN/m² (Element 34 at Node 51573)

Minimum value = -855,3 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

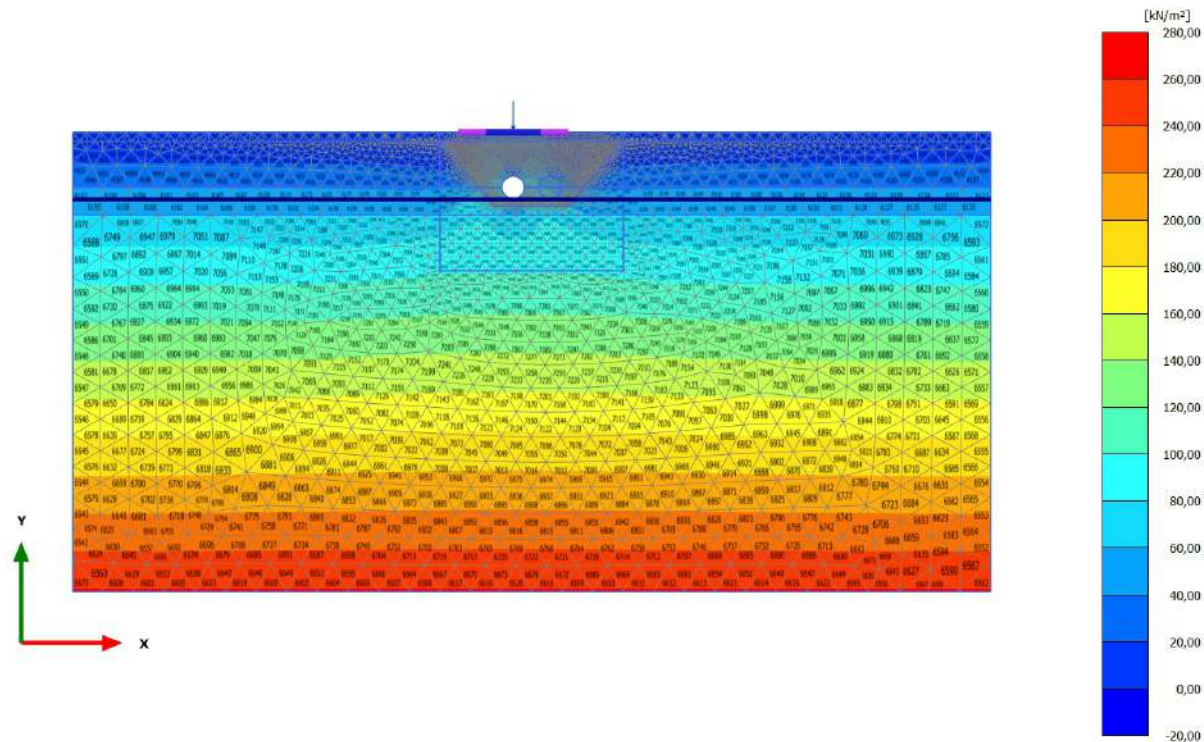
2.2.4.3.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Deviatoric stress q



Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

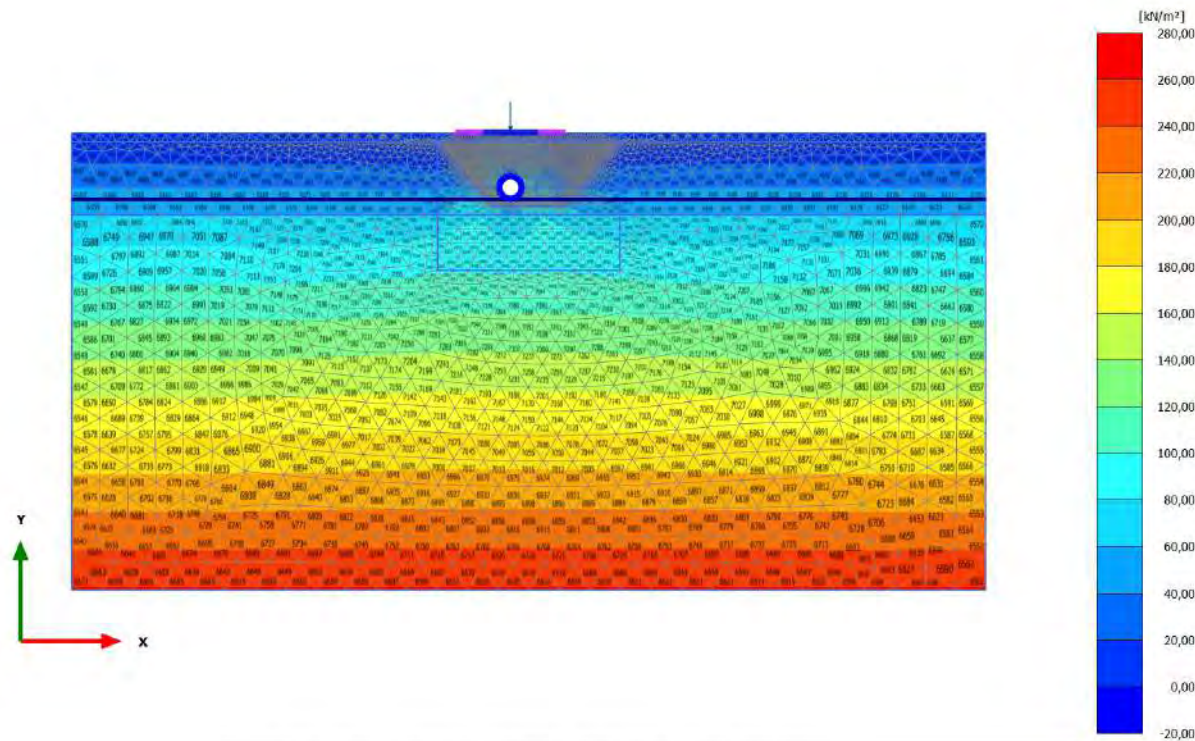
Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6616 at Node 5021)
 Minimum value = 1,296*10⁻³ kN/m² (Element 63 at Node 52620)

2.2.4.3.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Deviatoric stress q



Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)
 Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)
 Minimum value = 0,02488 kN/m² (Element 10 at Node 50172)

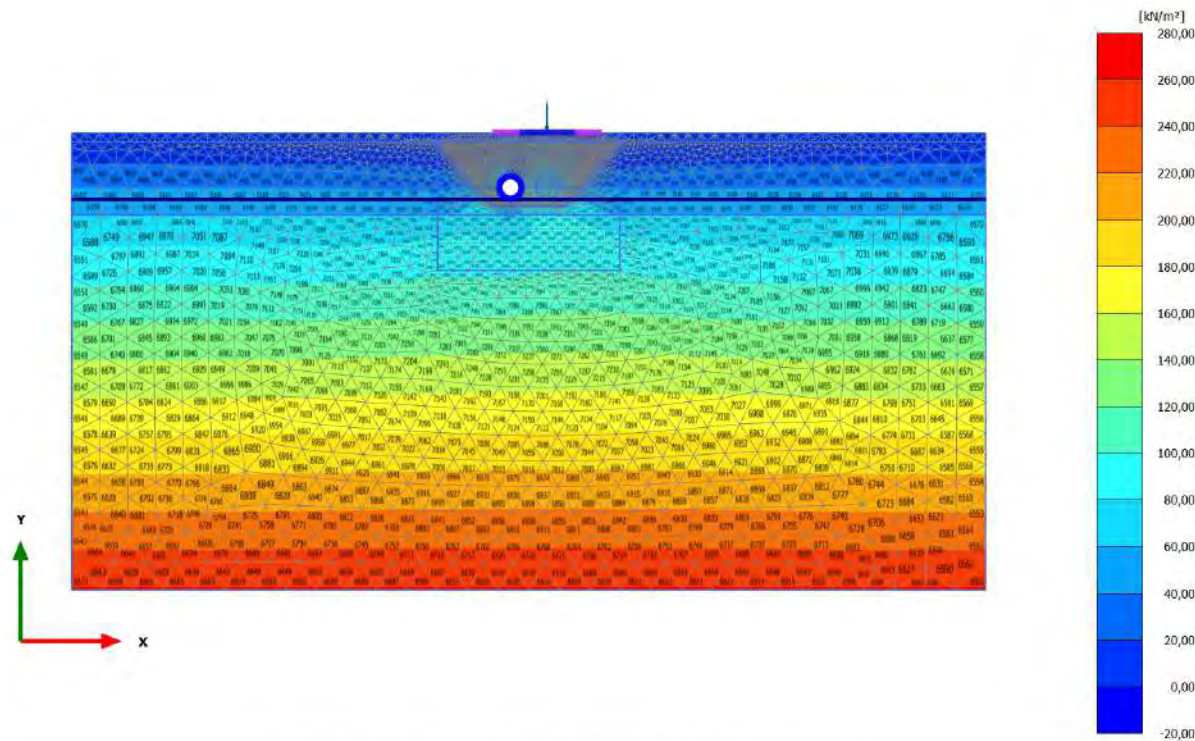
2.2.4.3.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Deviatoric stress q



Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)
 Minimum value = 7,211*10⁻³ kN/m² (Element 10 at Node 50172)

2.2.4.3.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Deviatoric stress q

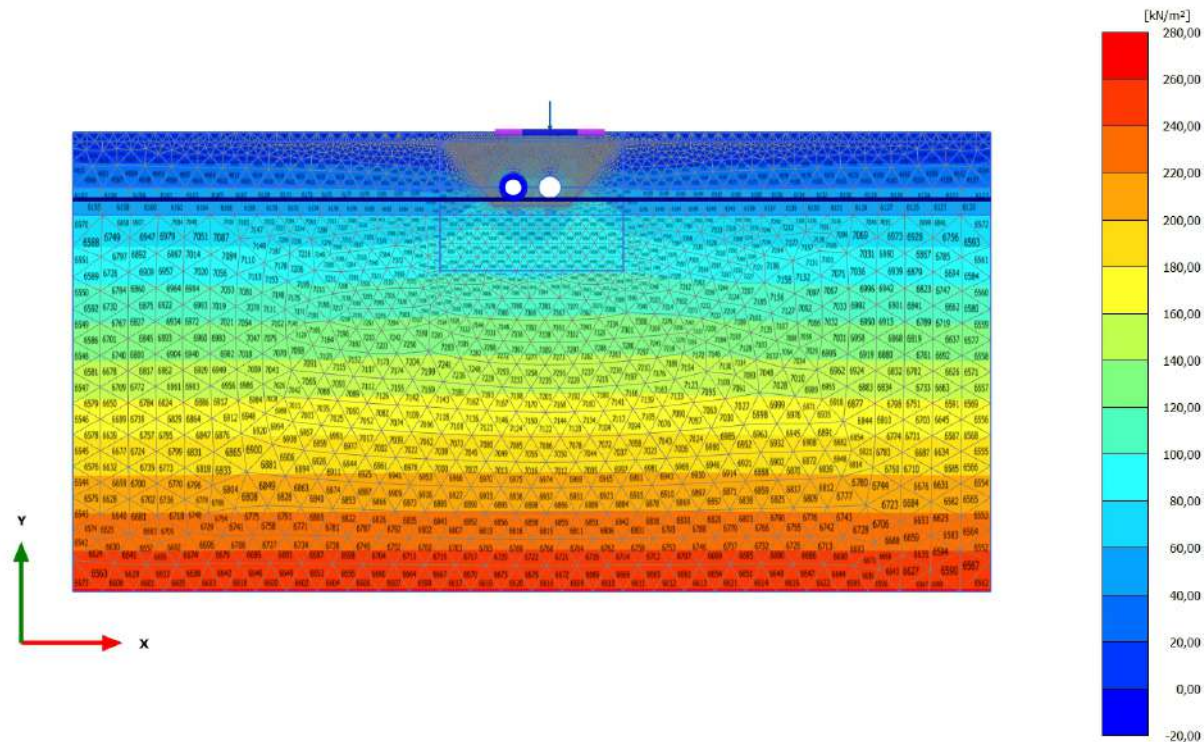


Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

Minimum value = 0,09962 kN/m² (Element 2 at Node 50169)

2.2.4.3.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Deviatoric stress q

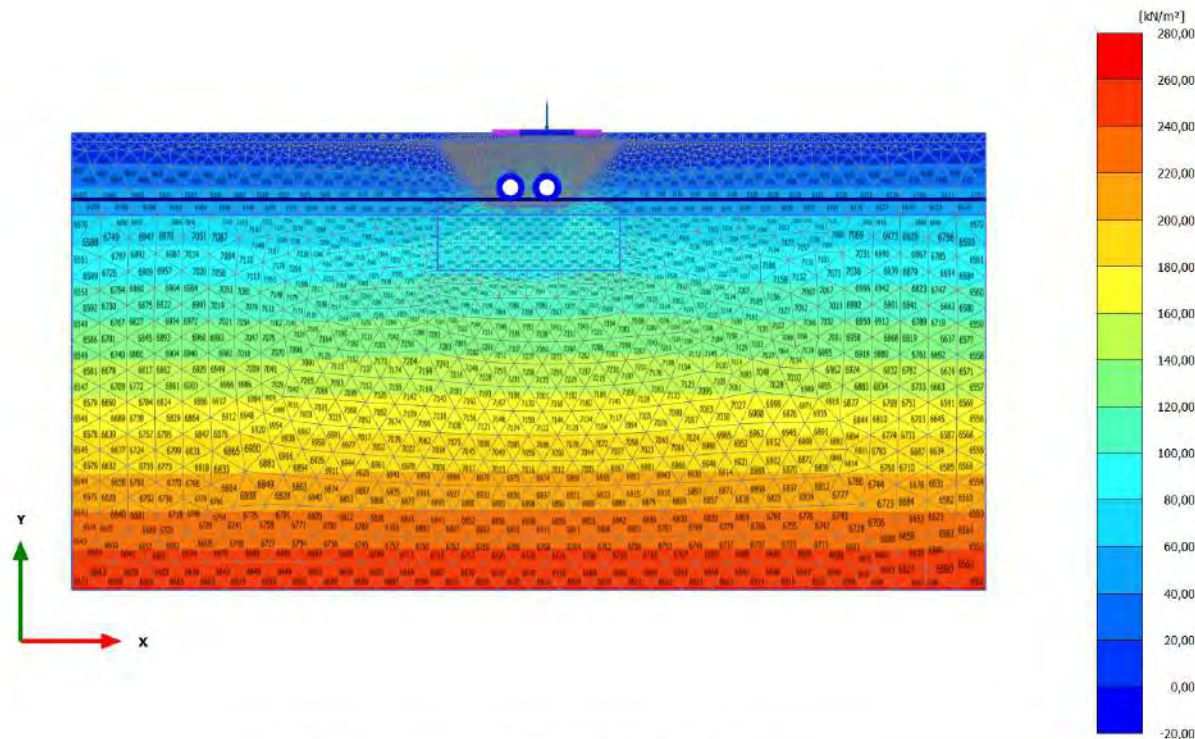


Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,5 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

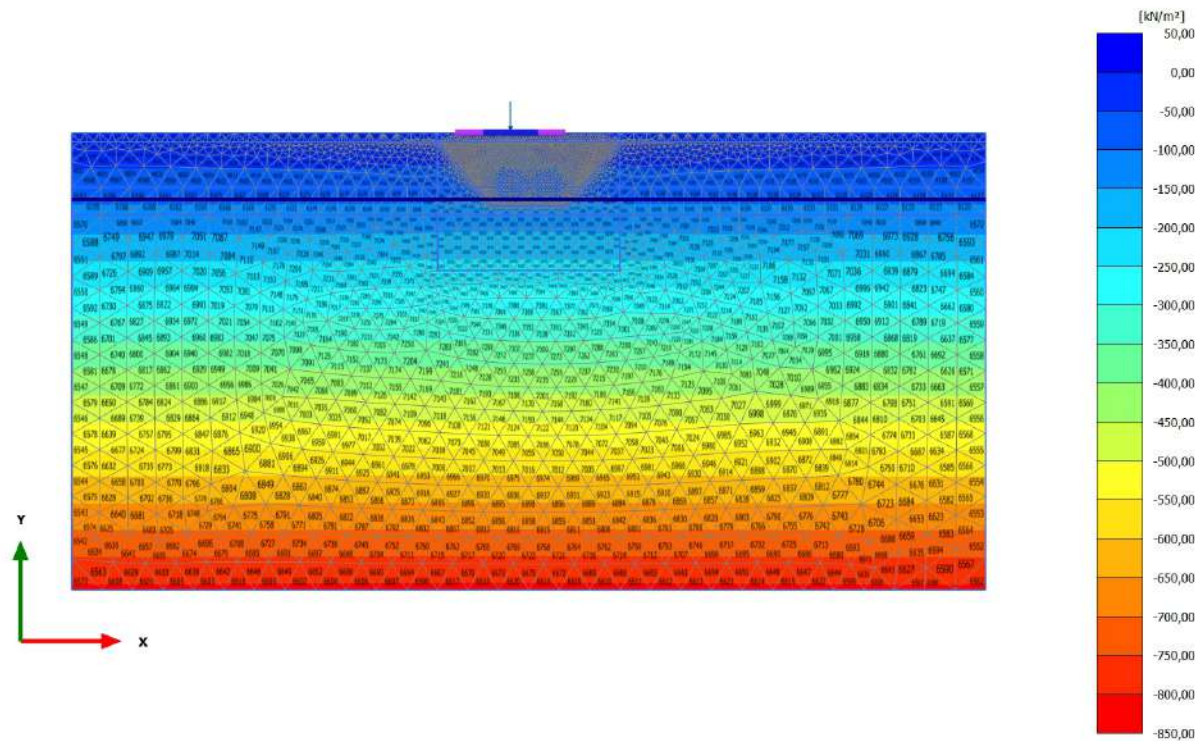
Minimum value = 0,07507 kN/m² (Element 695 at Node 17631)

2.2.4.3.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Deviatoric stress q



Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)
 Maximum value = 261,5 kN/m² (Element 6610 at Node 5725)
 Minimum value = 0,06127 kN/m² (Element 695 at Node 17629)

2.2.4.4.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total mean stress p

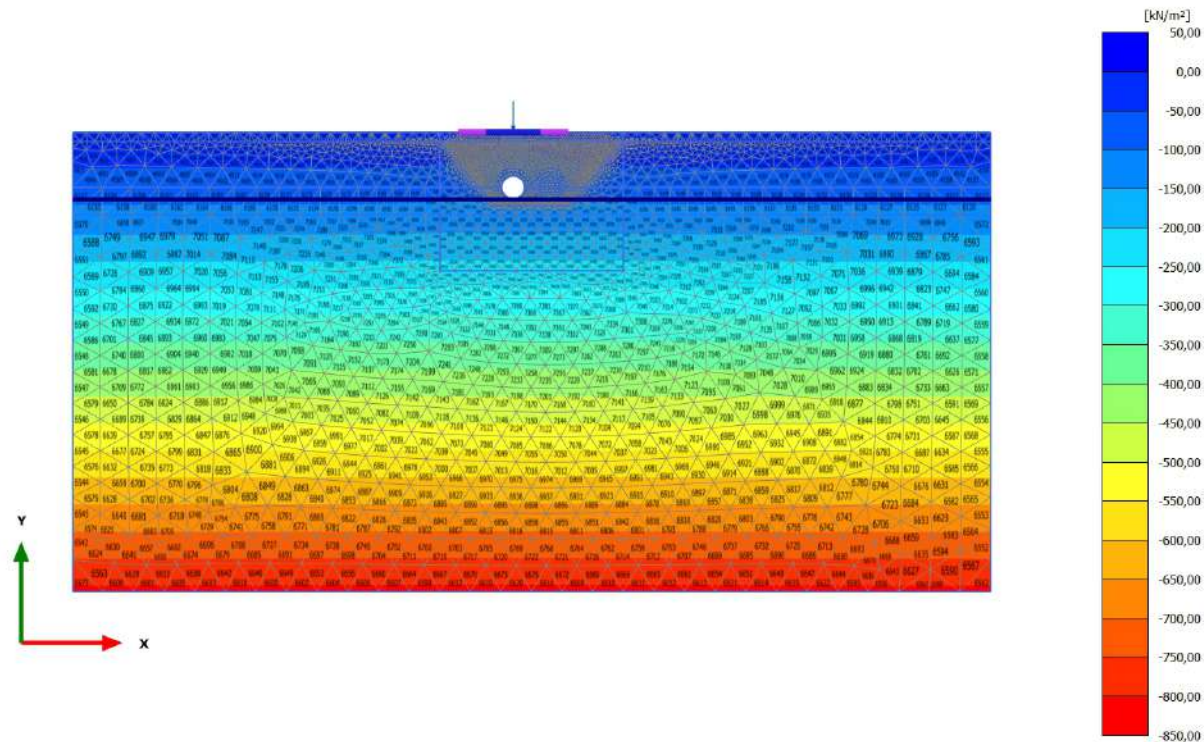


Total mean stress p (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 15,21 kN/m² (Element 24 at Node 23692)

Minimum value = -813,4 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.4.4.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total mean stress p

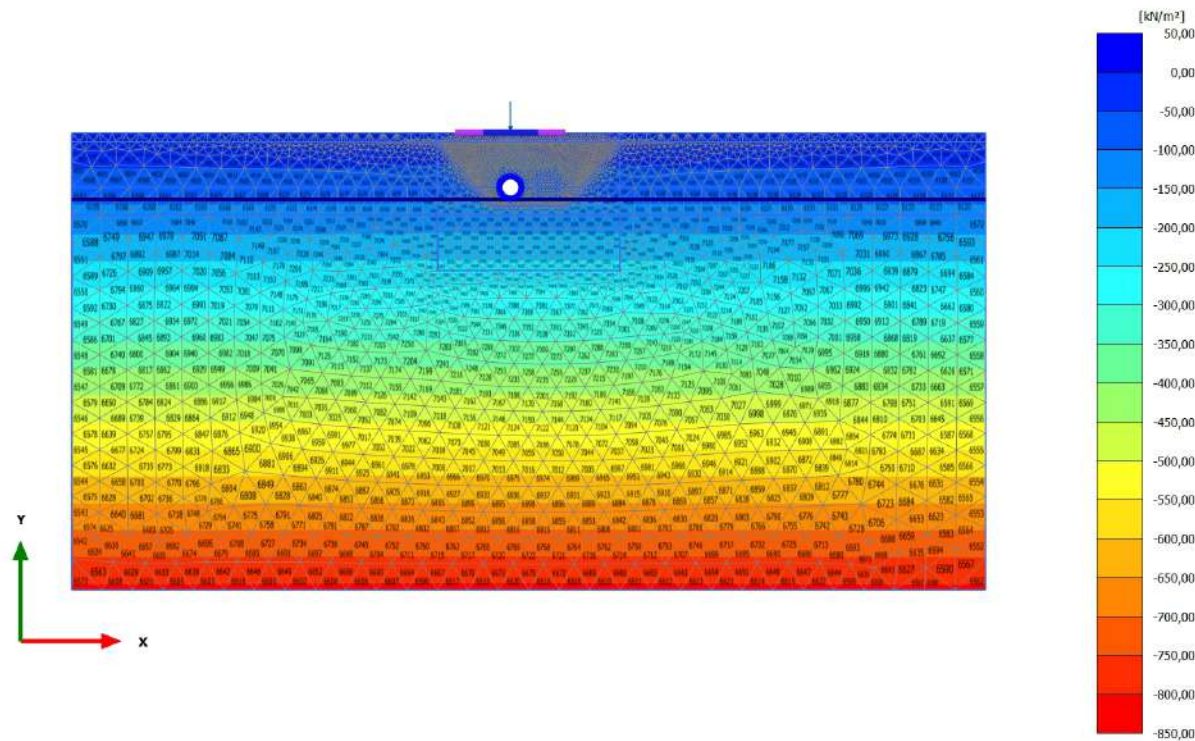


Total mean stress p (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 21,26 kN/m² (Element 24 at Node 23692)

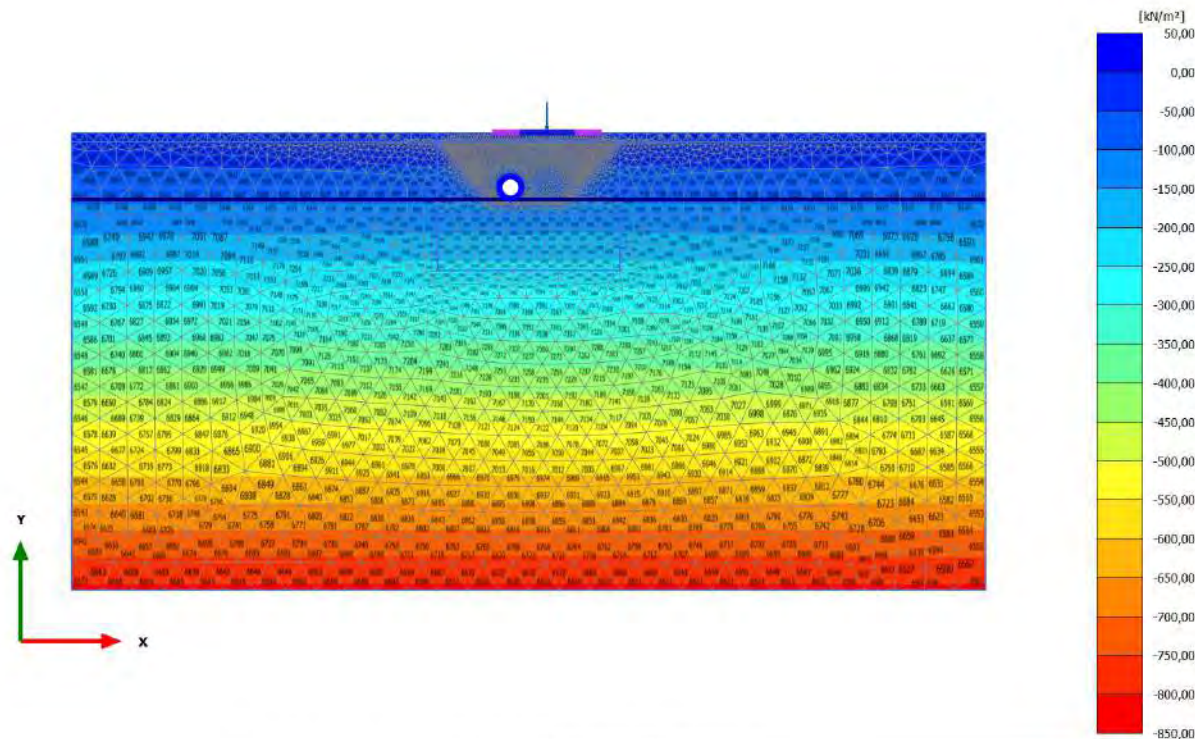
Minimum value = -812,8 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.4.4.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total mean stress p



Total mean stress p (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = 22,01 kN/m² (Element 24 at Node 23692)
 Minimum value = -812,6 kN/m² (Element 6620 at Node 4858)

2.2.4.4.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total mean stress p

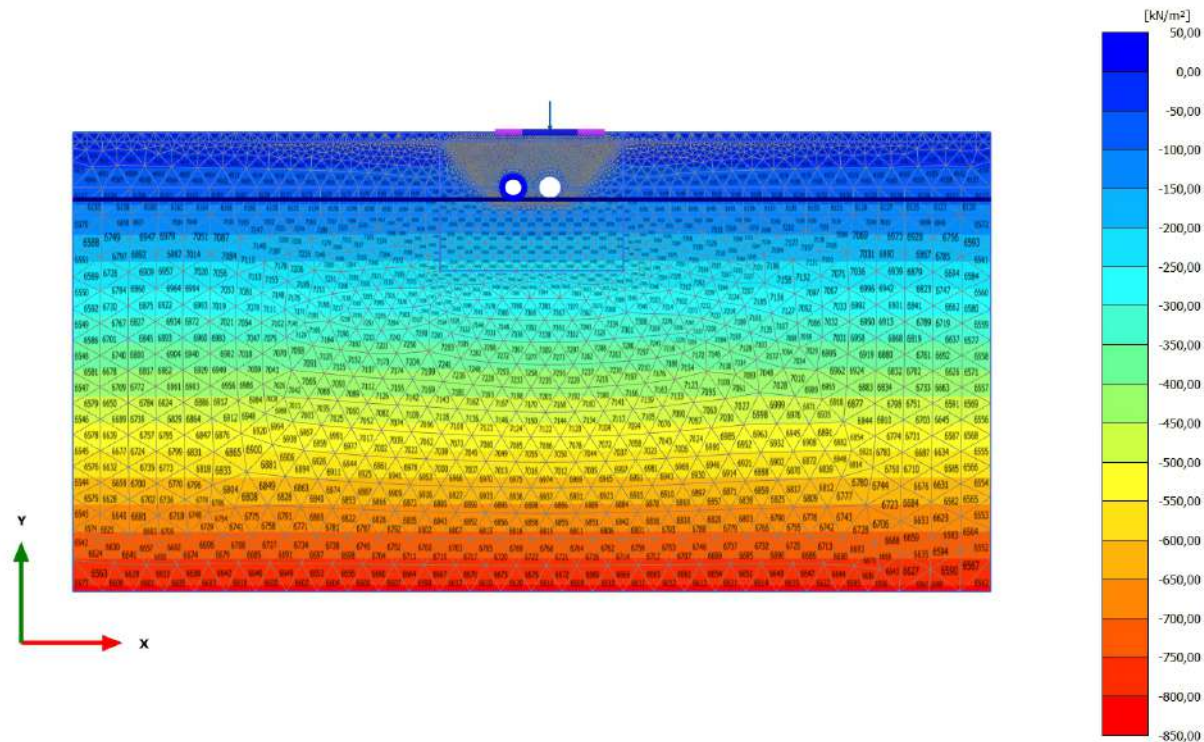


Total mean stress p (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 25,60 kN/m² (Element 36 at Node 53516)

Minimum value = -812,5 kN/m² (Element 6609 at Node 5080)

2.2.4.4.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total mean stress p

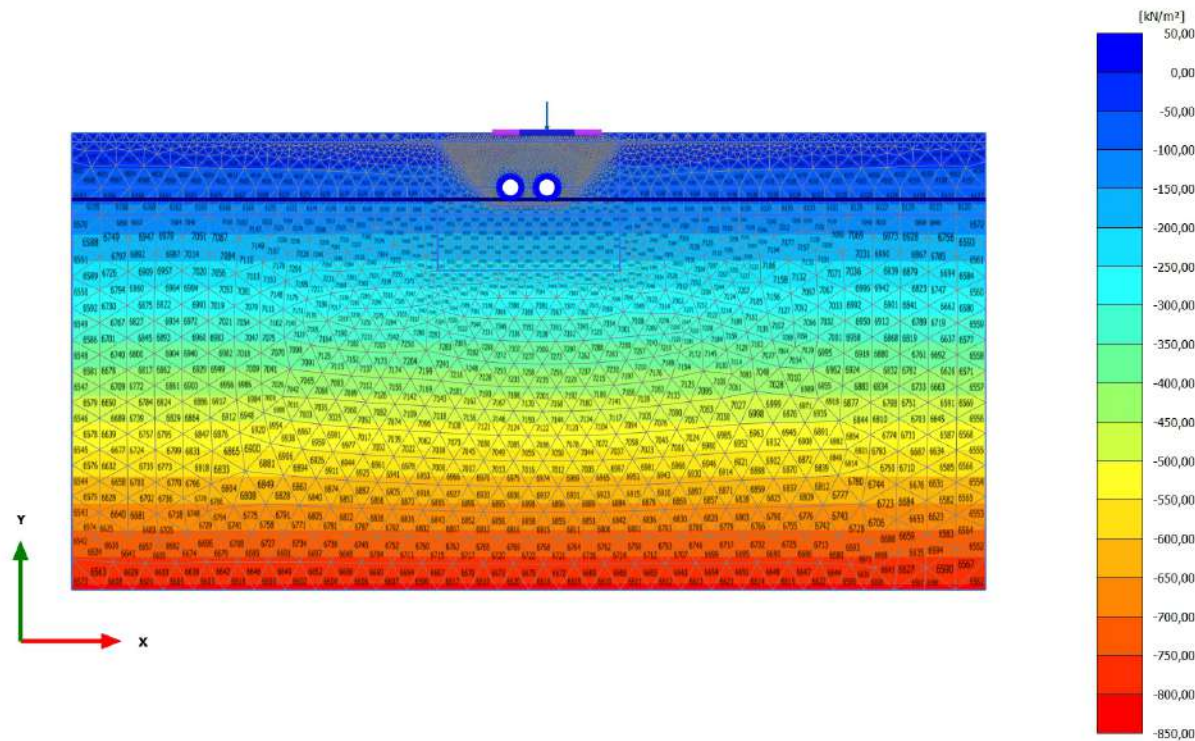


Total mean stress p (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 21,56 kN/m² (Element 34 at Node 51573)

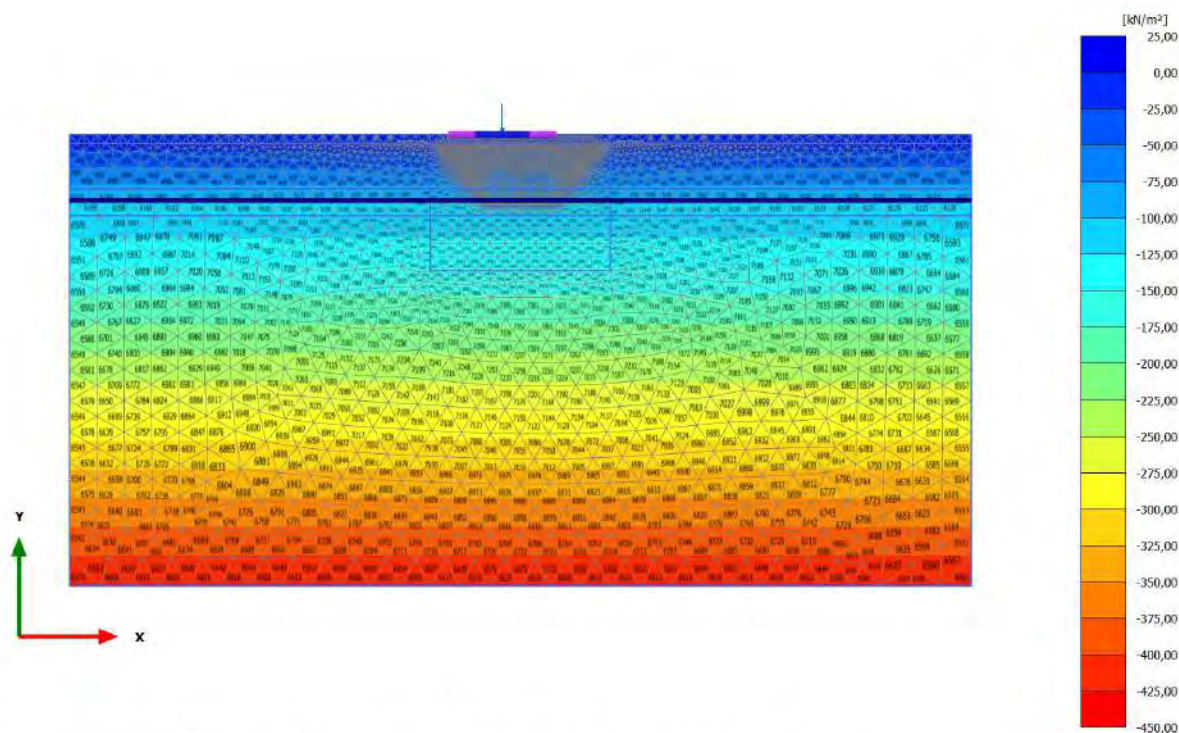
Minimum value = -812,1 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.4.4.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total mean stress p



Total mean stress p (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = 21,38 kN/m² (Element 34 at Node 51573)
 Minimum value = -811,7 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.5.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$

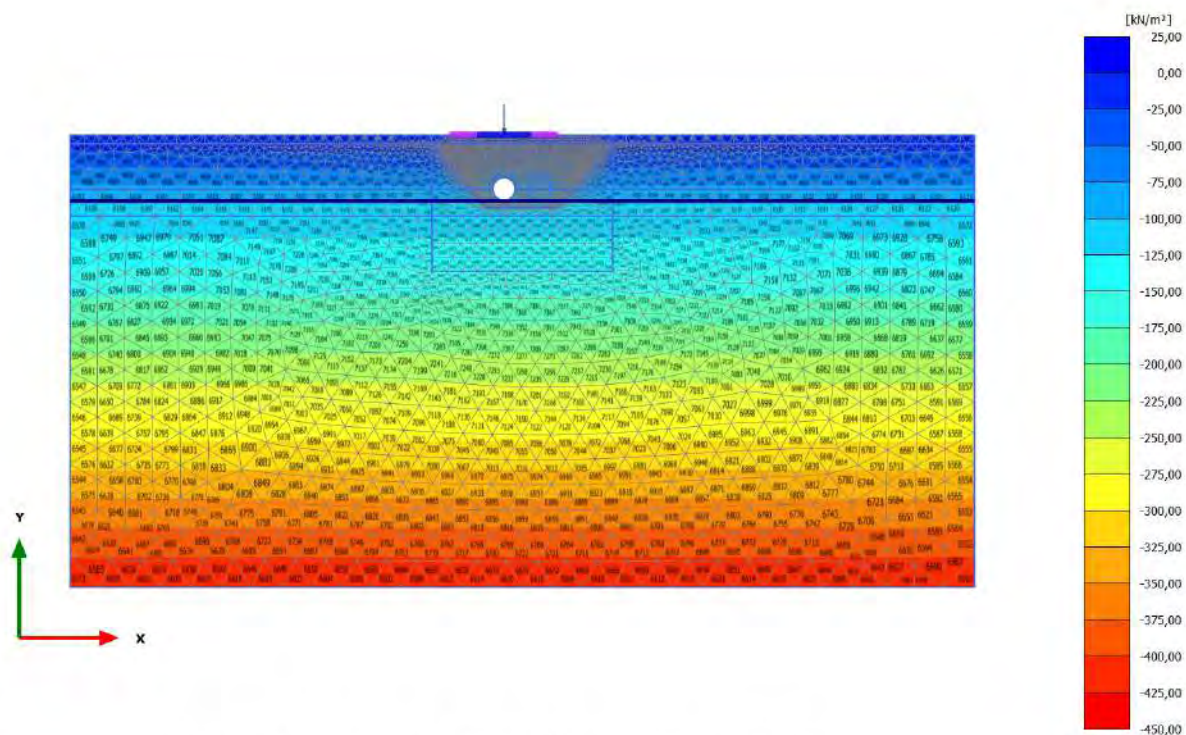


Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = $8,794 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 697 at Node 19331)

Minimum value = -426,4 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.5.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$

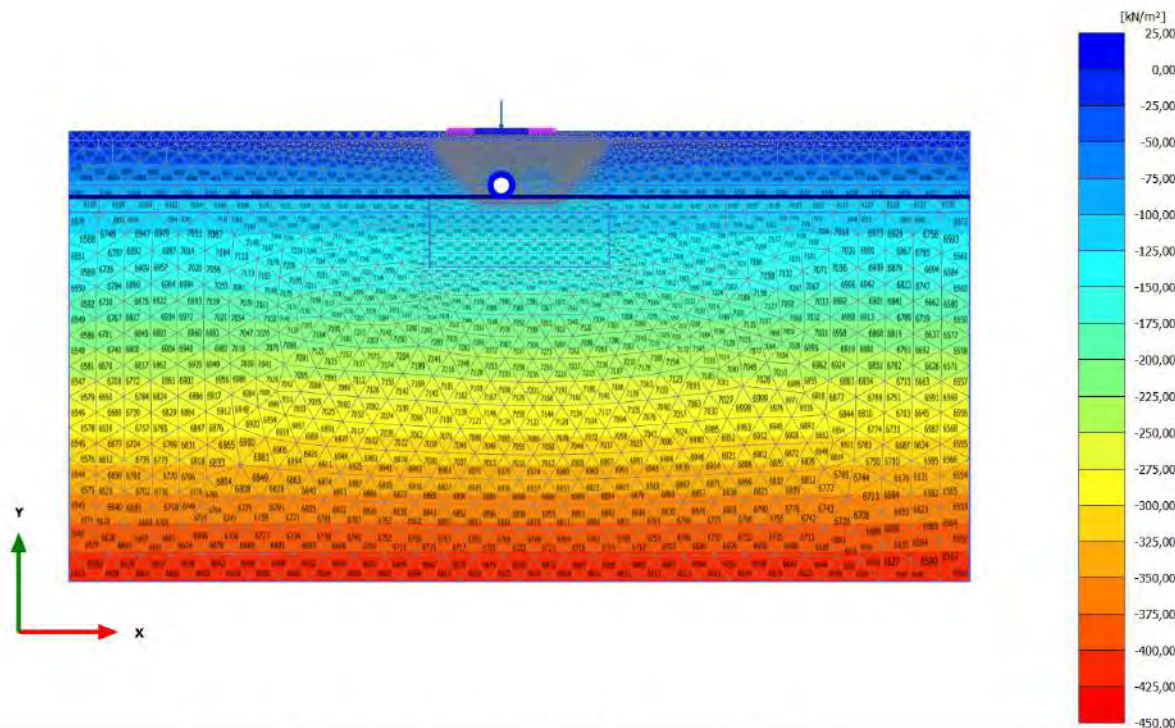


Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01824 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = -426,3 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.5.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$

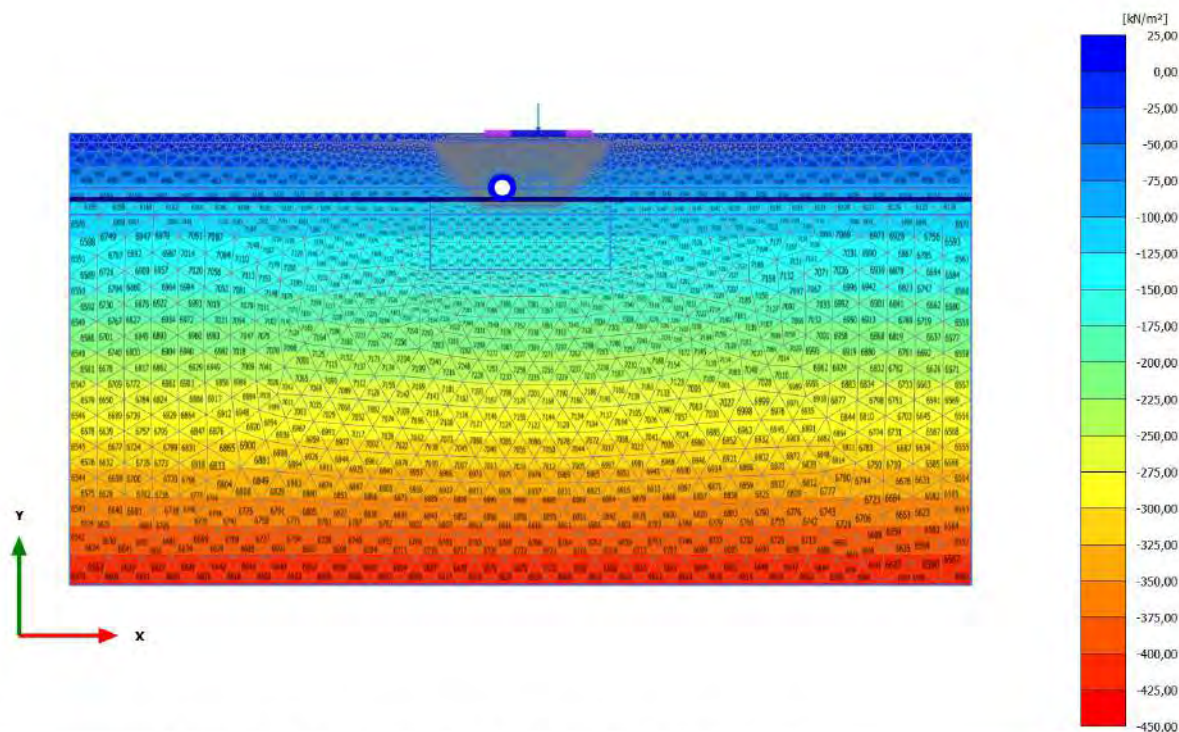


Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01688 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = -426,3 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.5.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$

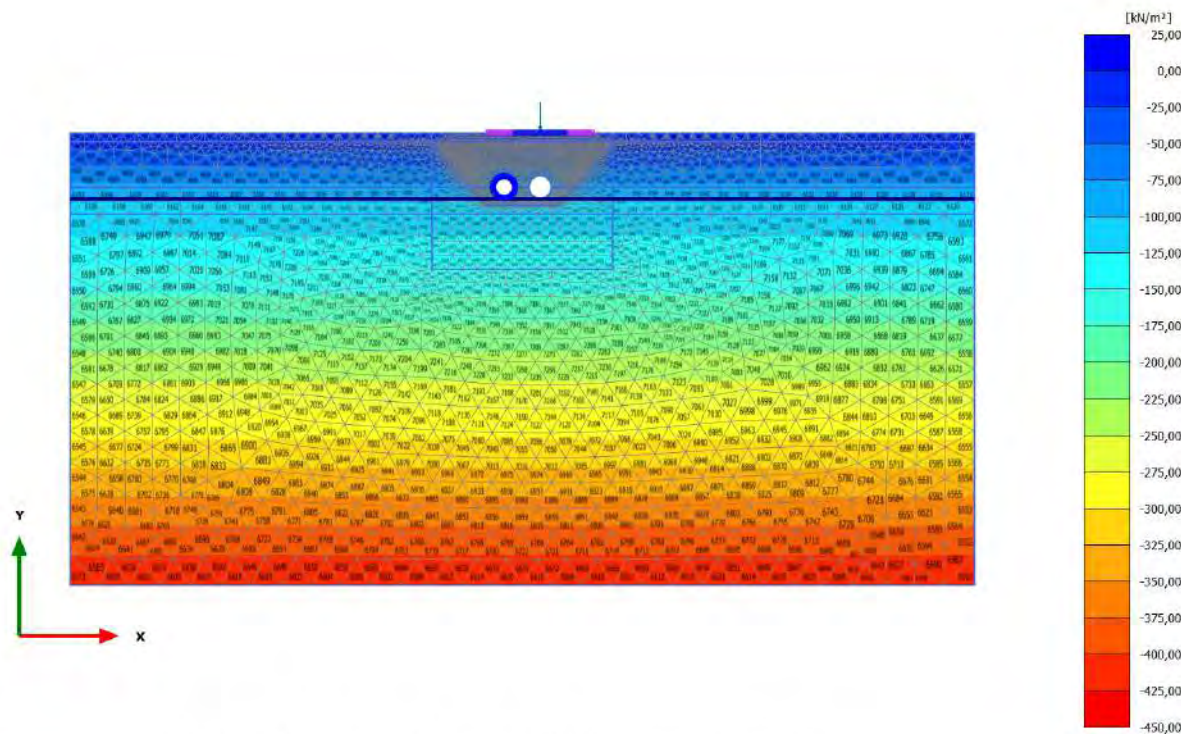


Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = $-9,638 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = $-426,3$ kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.5.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$

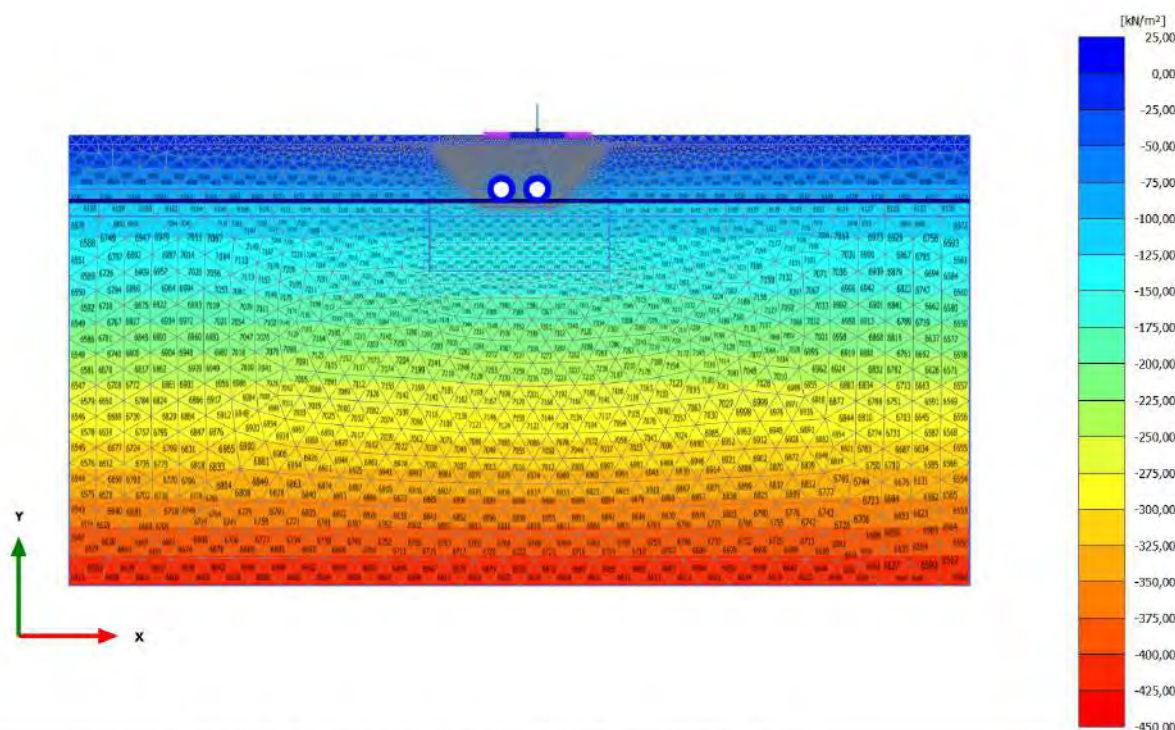


Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01931 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = -426,3 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.5.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$

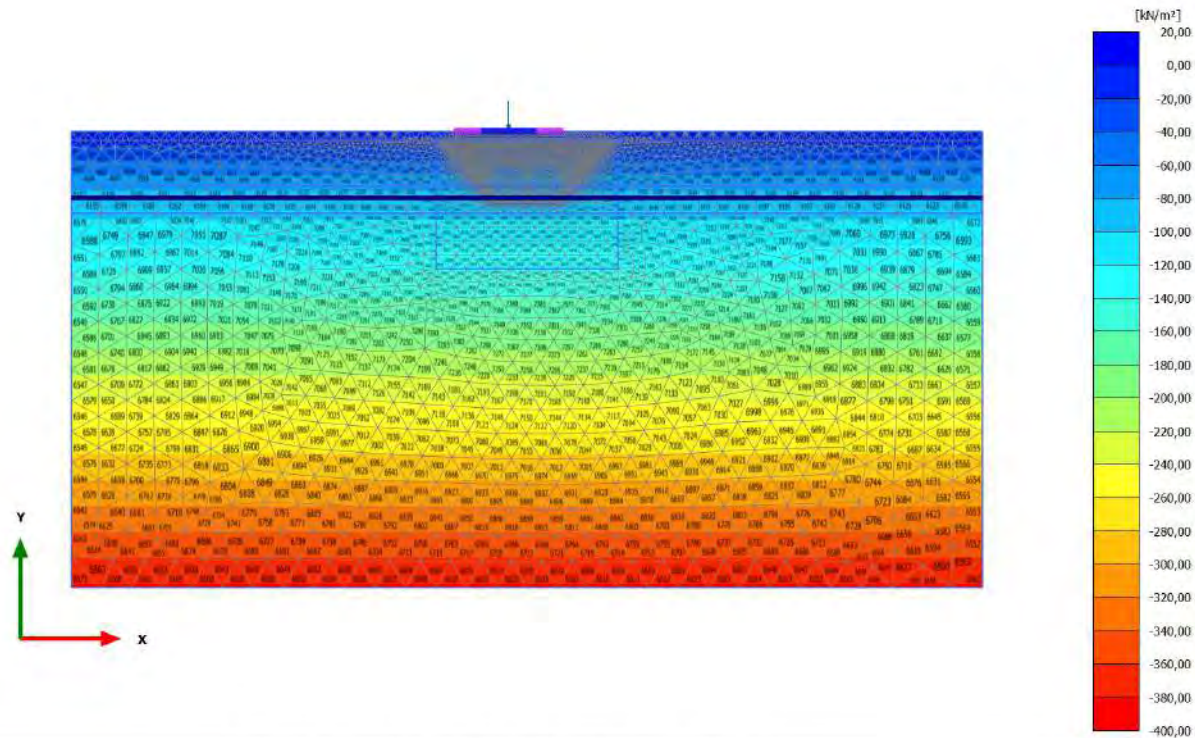


Principal effective stress $(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$ (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01355 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

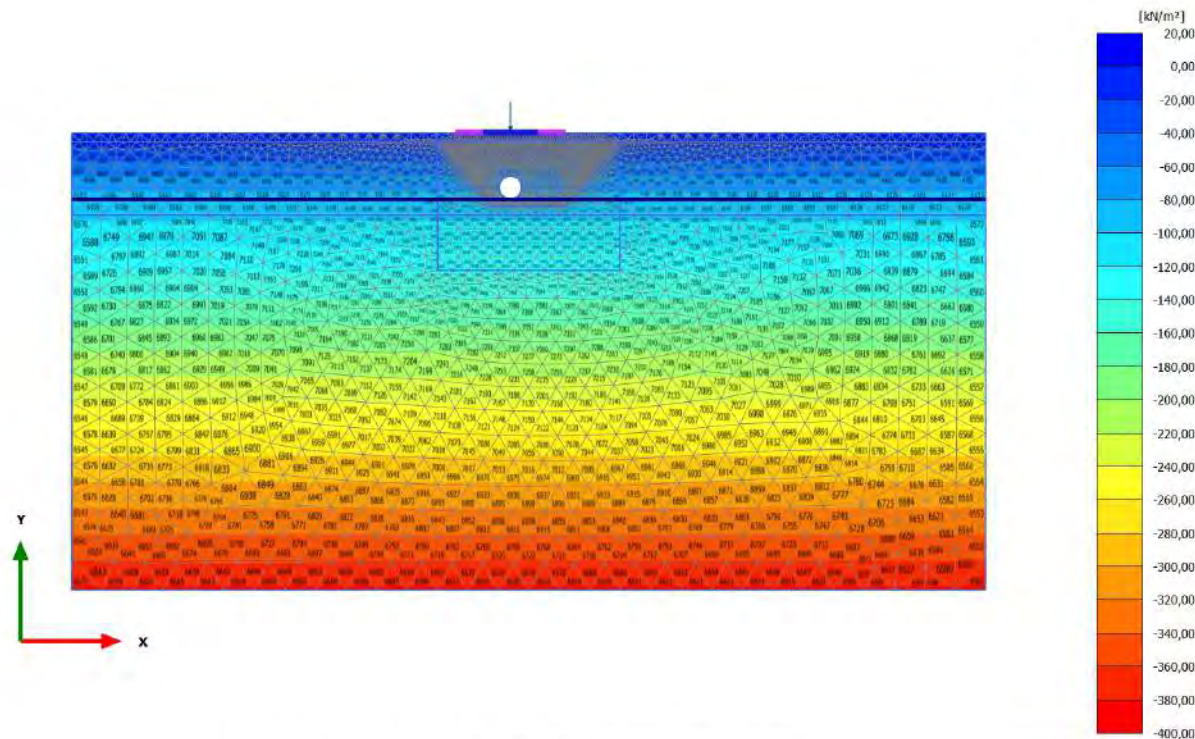
Minimum value = -426,3 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.5.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Effective mean stress p'



Effective mean stress p' (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = $7,762 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 697 at Node 19331)
 Minimum value = -382,8 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.5.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Effective mean stress p'

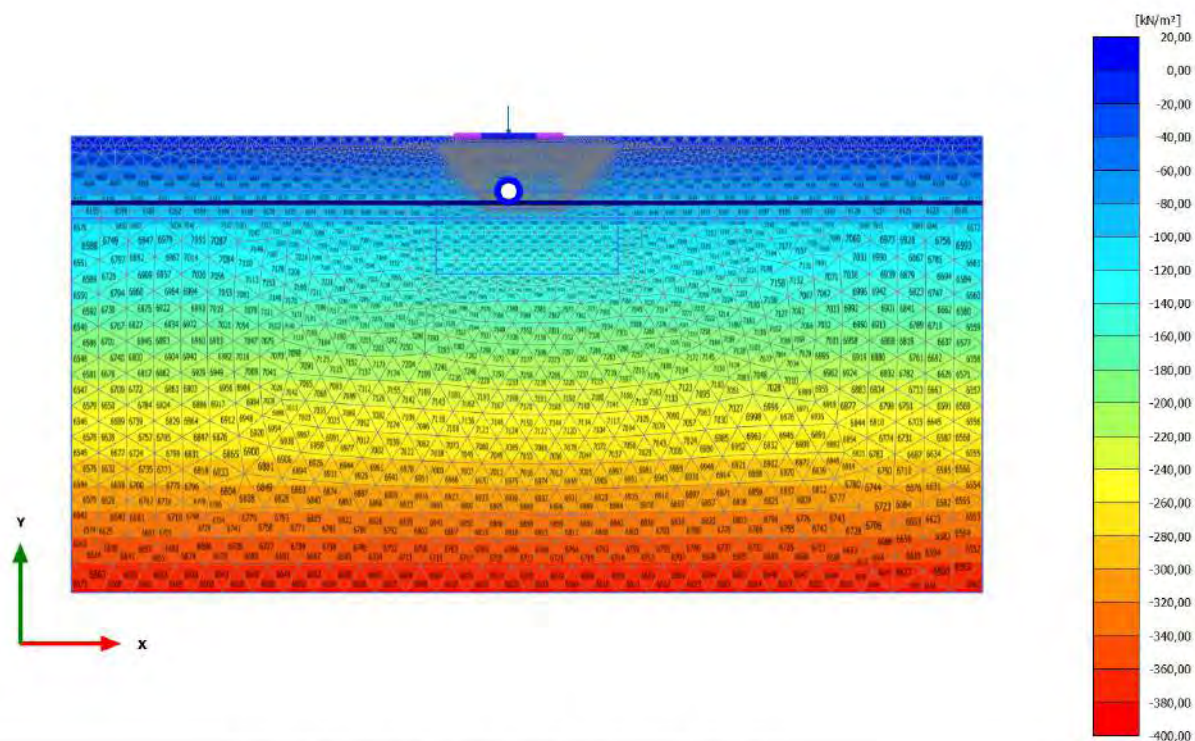


Effective mean stress p' (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01619 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = -382,8 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.5.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Effective mean stress p'

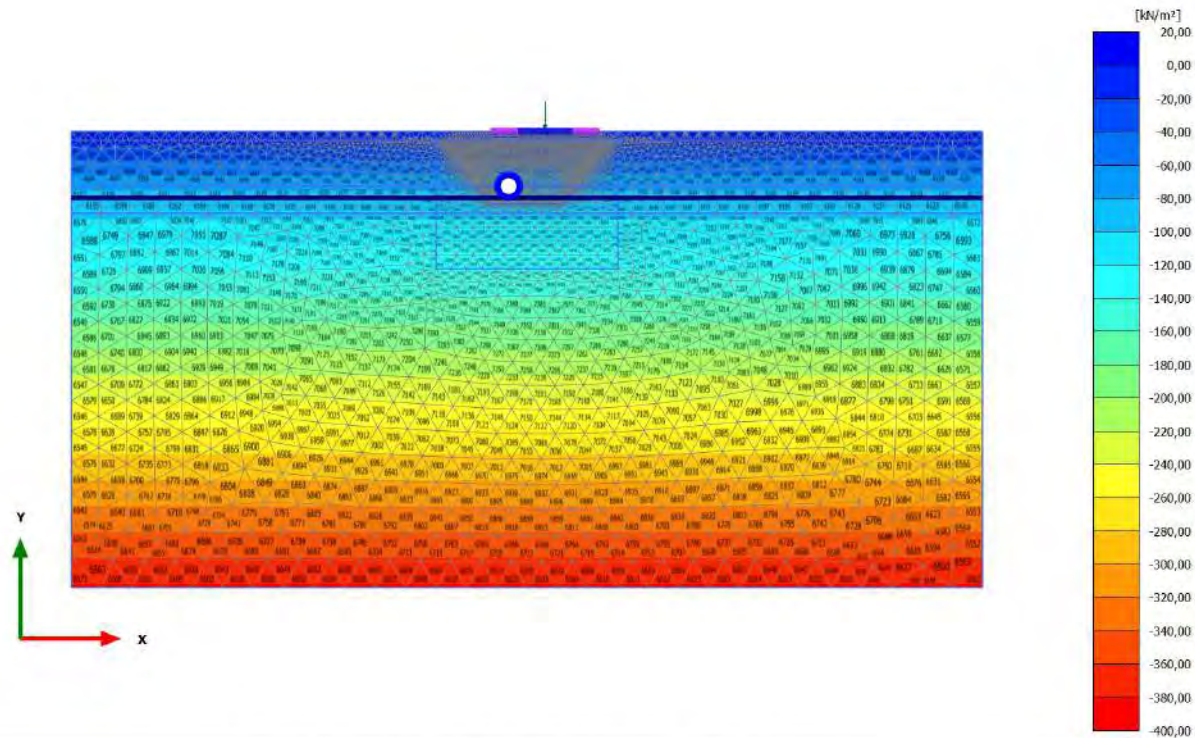


Effective mean stress p' (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01498 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

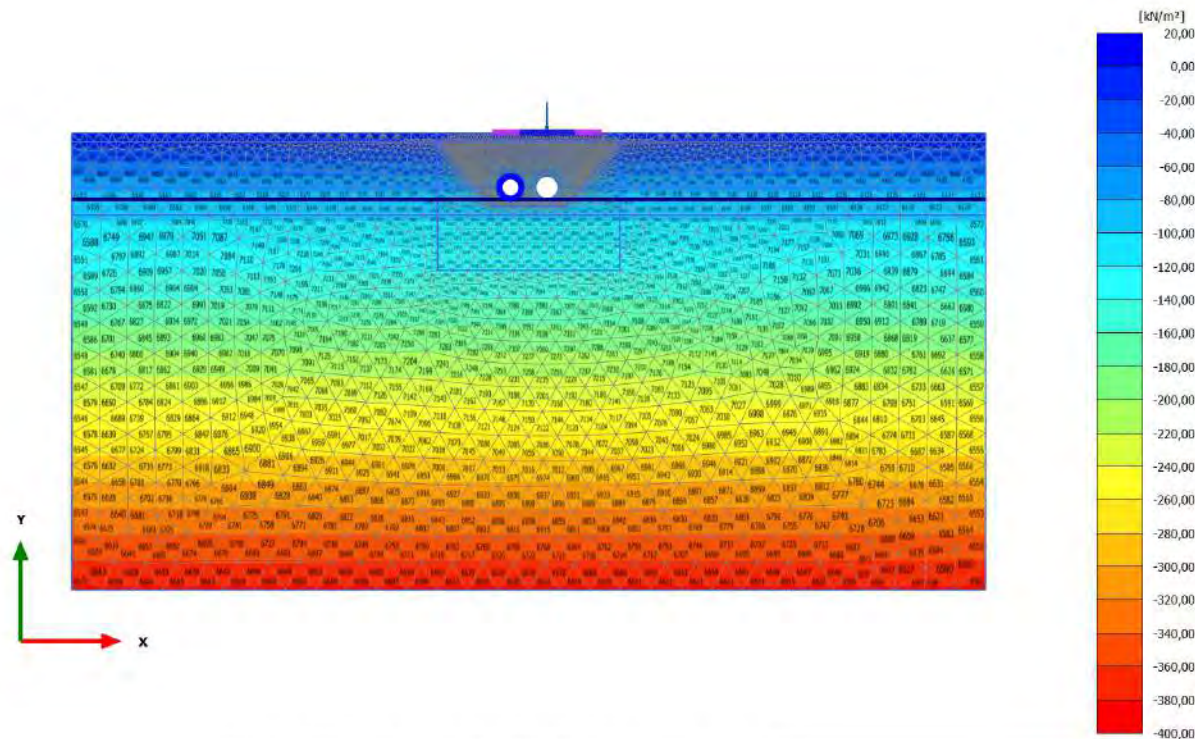
Minimum value = -382,7 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

2.2.5.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Effective mean stress p'



Effective mean stress p' (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)
 Maximum value = $-8,530 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 695 at Node 19327)
 Minimum value = -382,7 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.5.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Effective mean stress p'

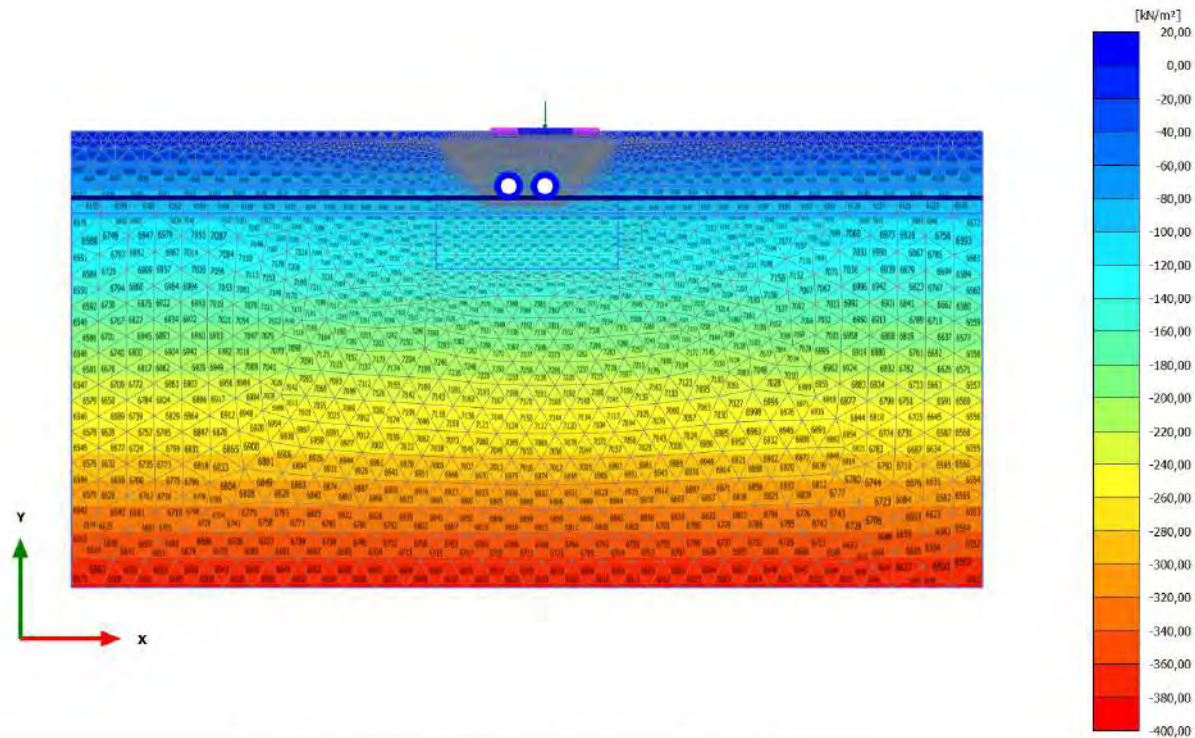


Effective mean stress p' (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01714 kN/m² (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = -382,7 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

2.2.5.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Effective mean stress p'

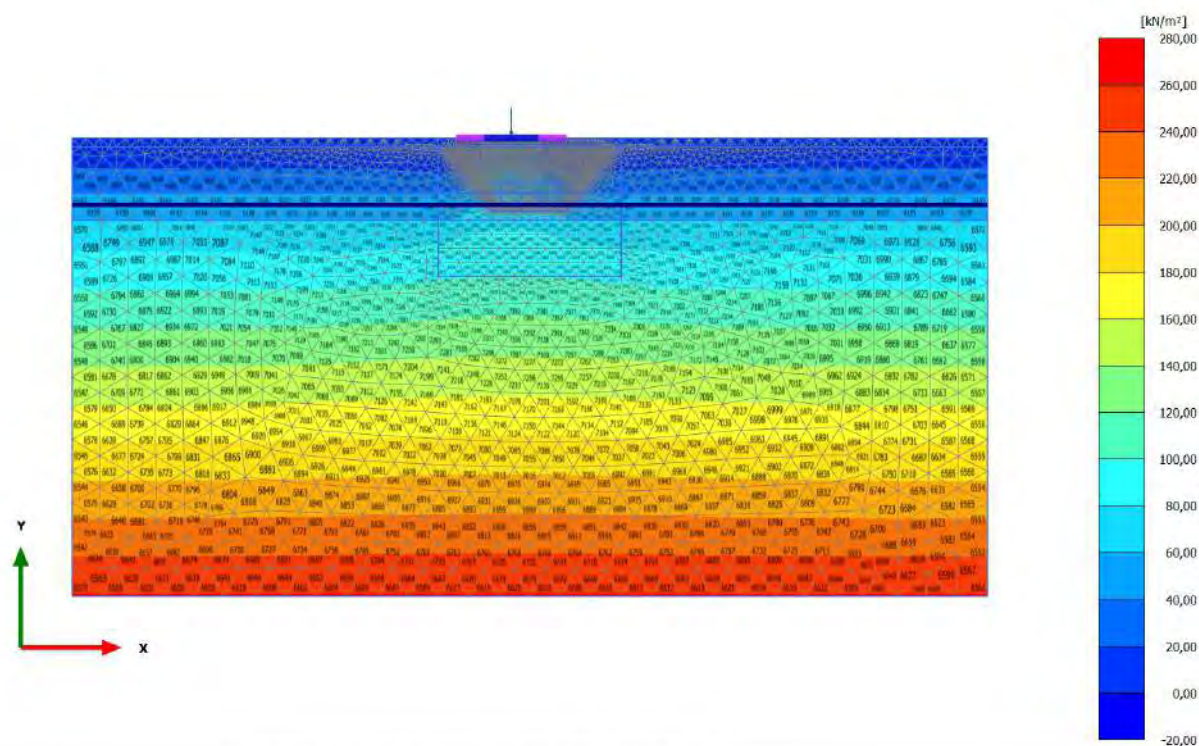


Effective mean stress p' (scaled up $5,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = 0,01203 kN/m^2 (Element 695 at Node 19327)

Minimum value = -382,7 kN/m^2 (Element 6609 at Node 5687)

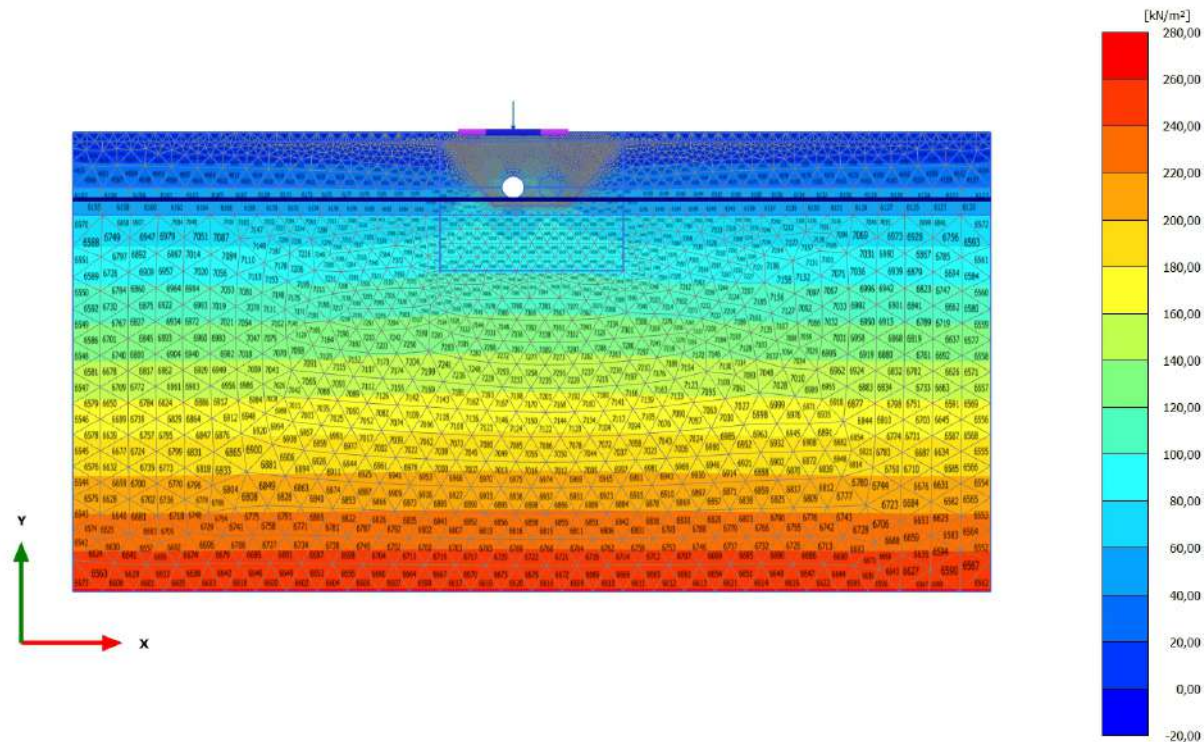
2.2.5.3.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Deviatoric stress q



Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6616 at Node 5021)
 Minimum value = 1,296*10⁻³ kN/m² (Element 63 at Node 52620)

2.2.5.3.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Deviatoric stress q

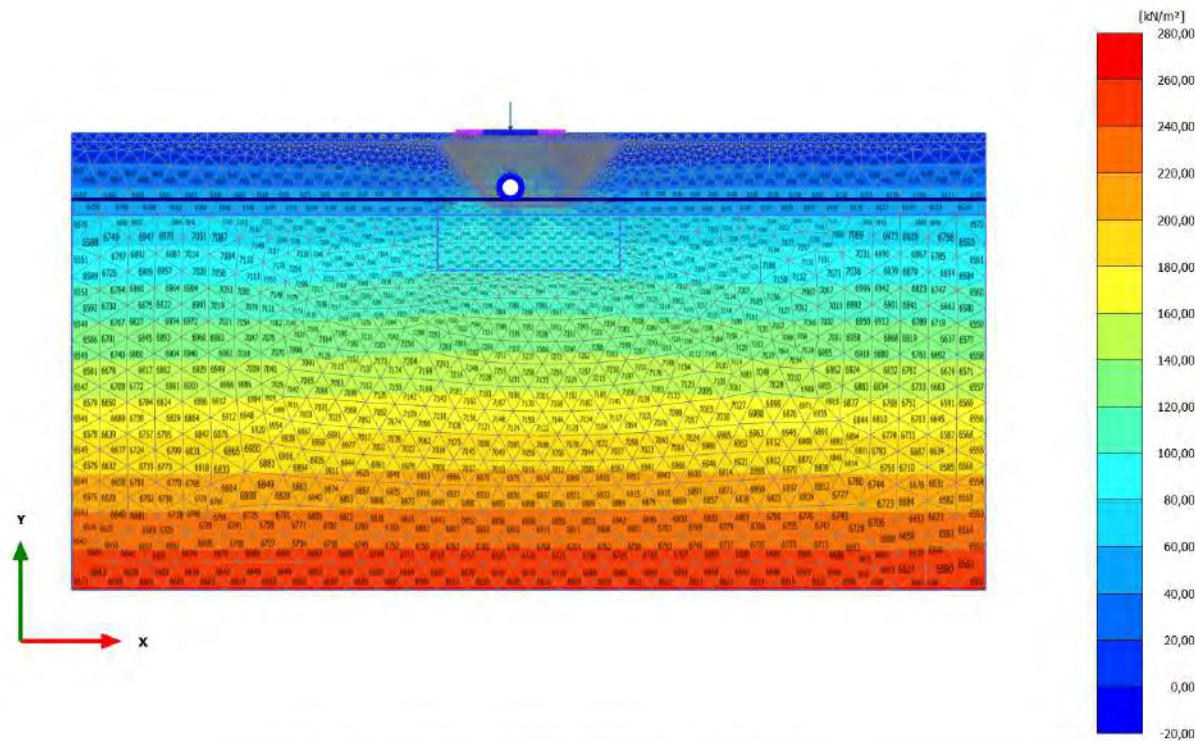


Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)

Minimum value = 0,02488 kN/m² (Element 10 at Node 50172)

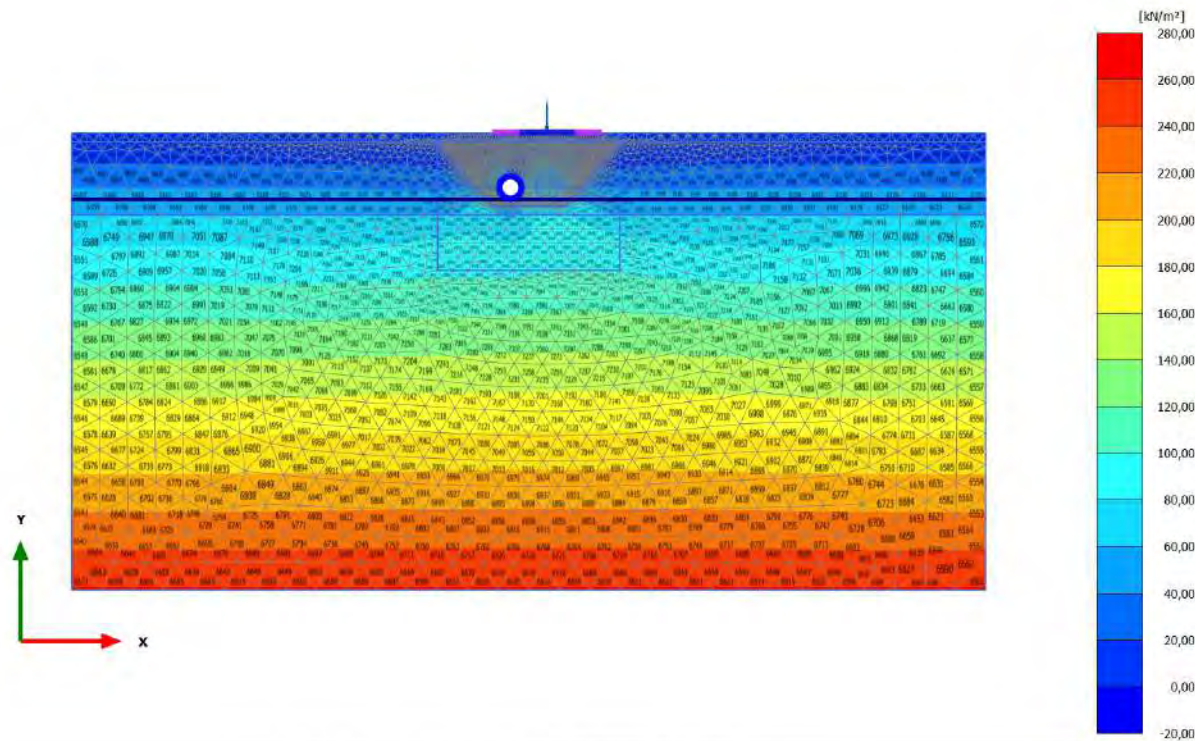
2.2.5.3.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Deviatoric stress q



Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6619 at Node 4853)
 Minimum value = 7,211*10⁻³ kN/m² (Element 10 at Node 50172)

2.2.5.3.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Deviatoric stress q

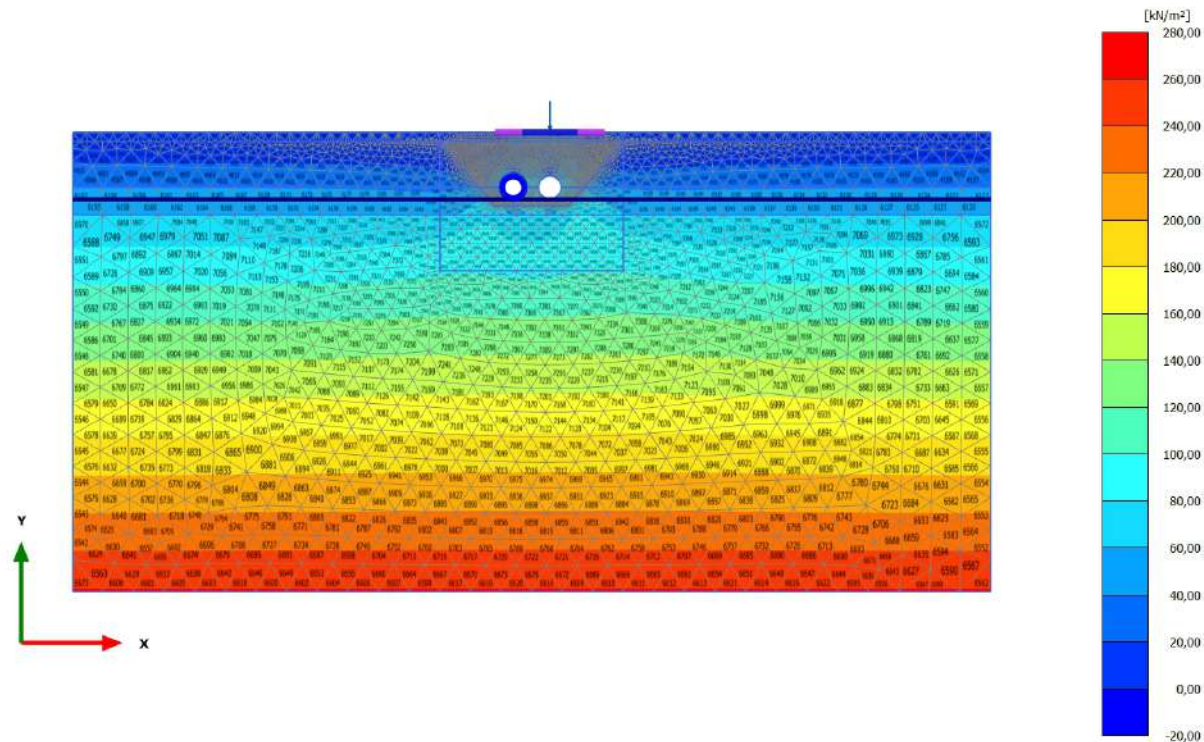


Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,6 kN/m² (Element 6609 at Node 5687)

Minimum value = 0,09962 kN/m² (Element 2 at Node 50169)

2.2.5.3.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Deviatoric stress q

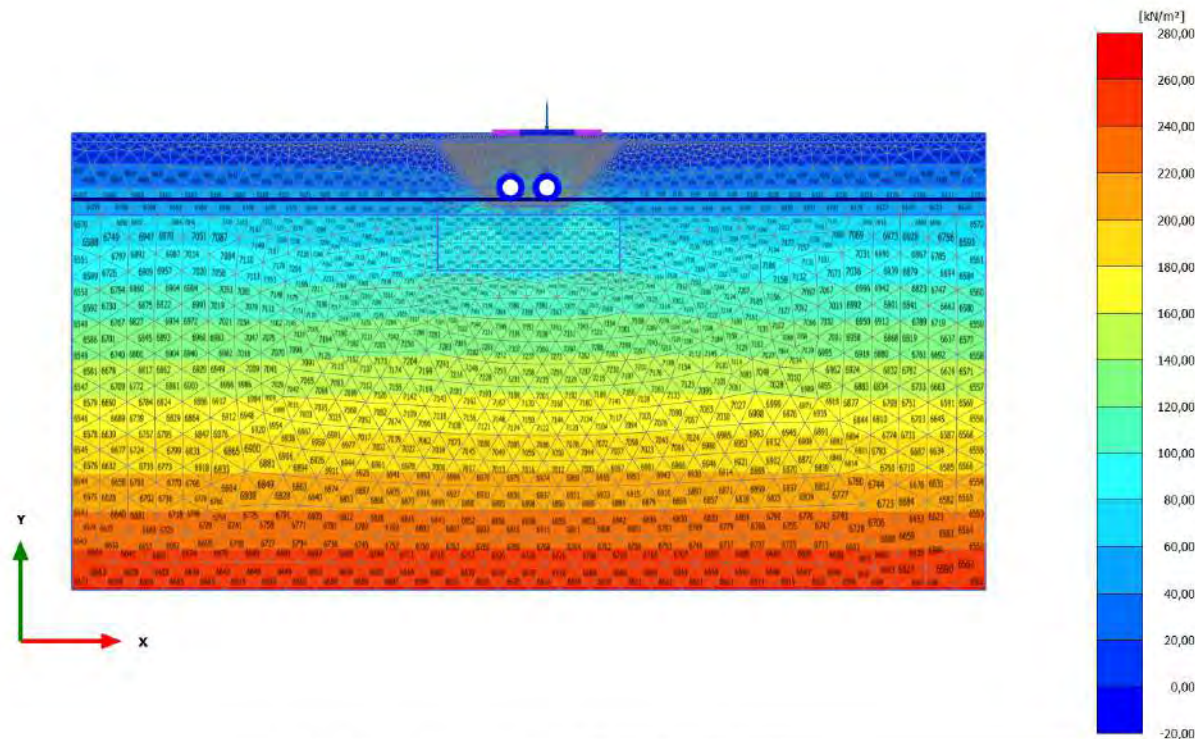


Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,5 kN/m^2 (Element 6609 at Node 5687)

Minimum value = 0,07507 kN/m^2 (Element 695 at Node 17631)

2.2.5.3.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Deviatoric stress q

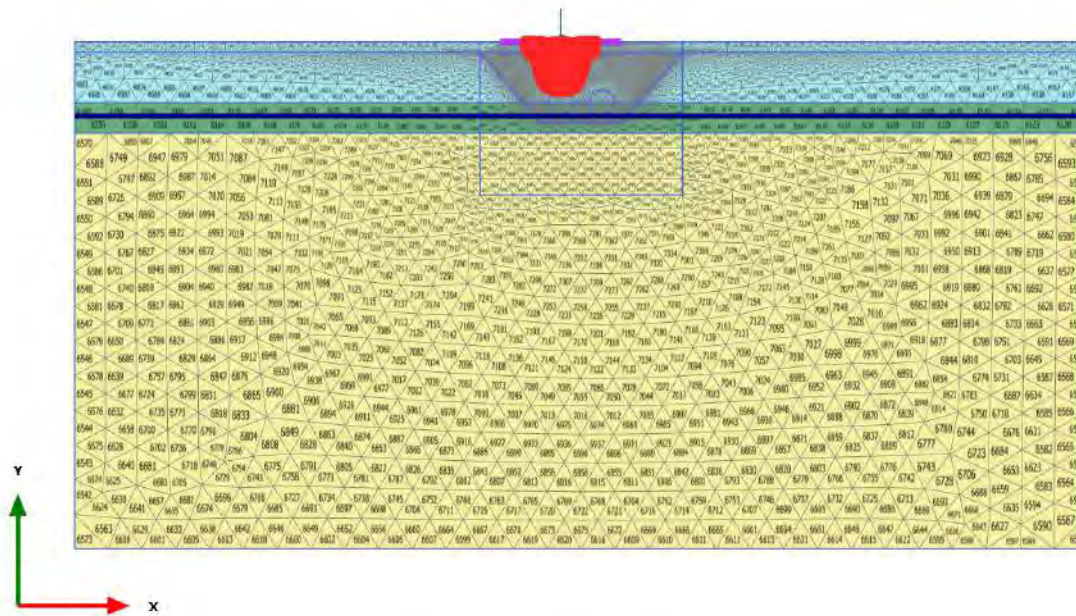


Deviatoric stress q (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = 261,5 kN/m² (Element 6610 at Node 5725)

Minimum value = 0,06127 kN/m² (Element 695 at Node 17629)

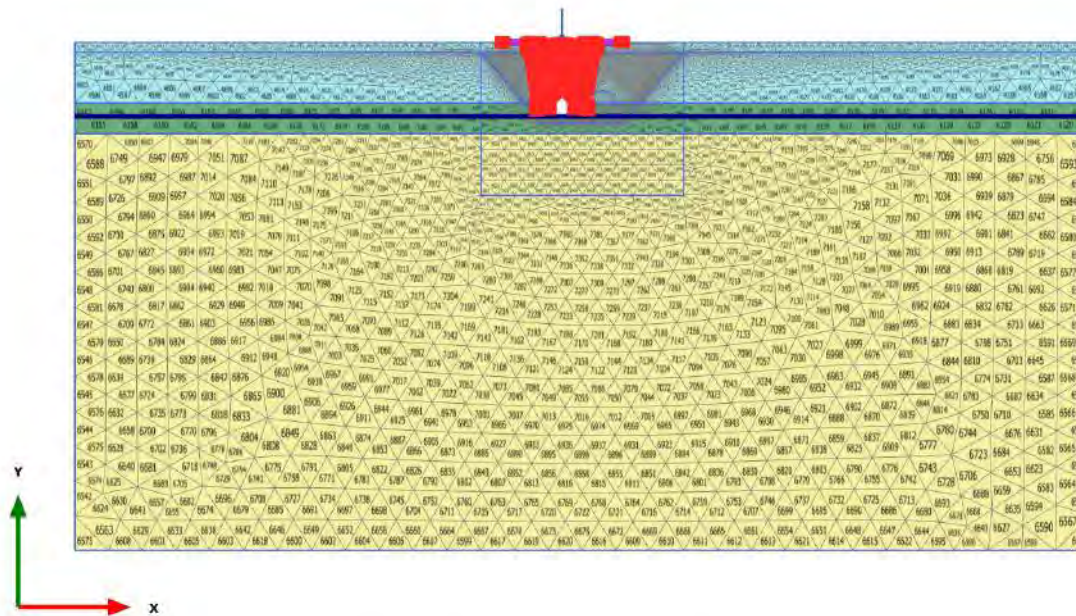
2.2.6.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

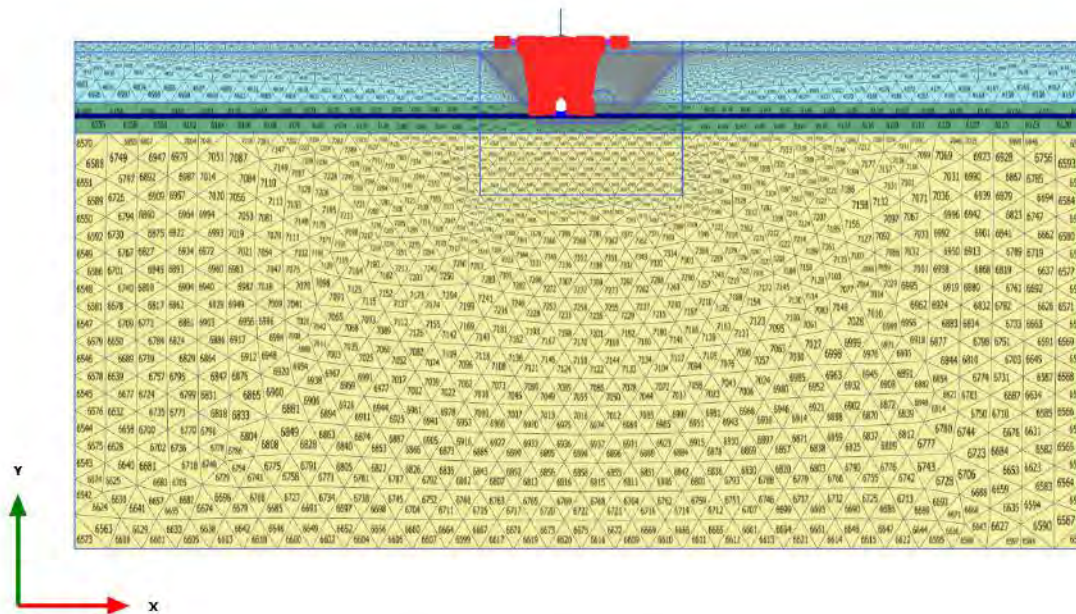
2.2.6.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- Tension cut-off point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions

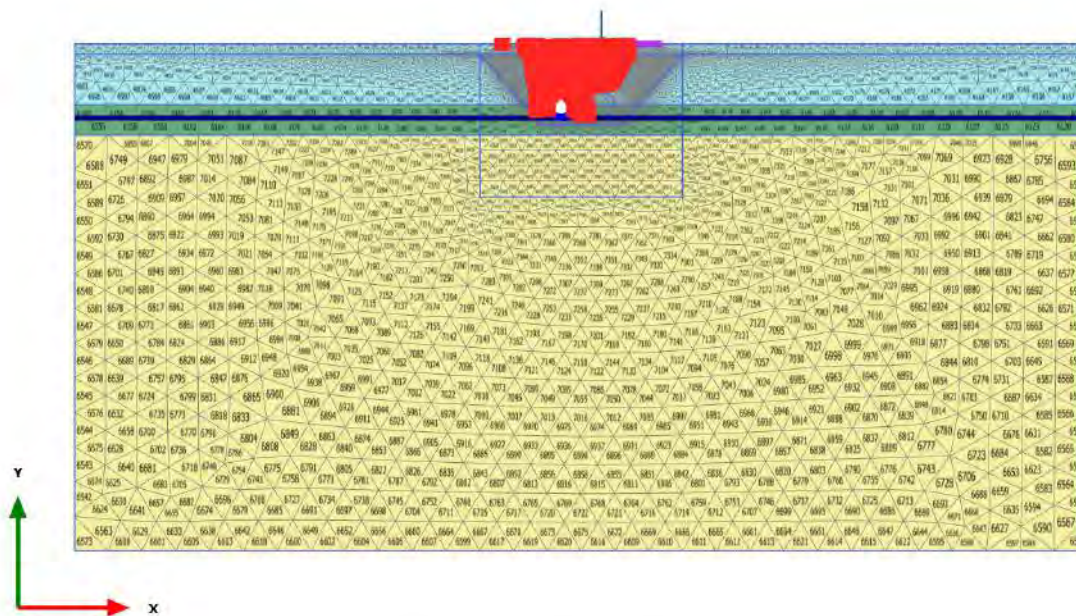
2.2.6.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

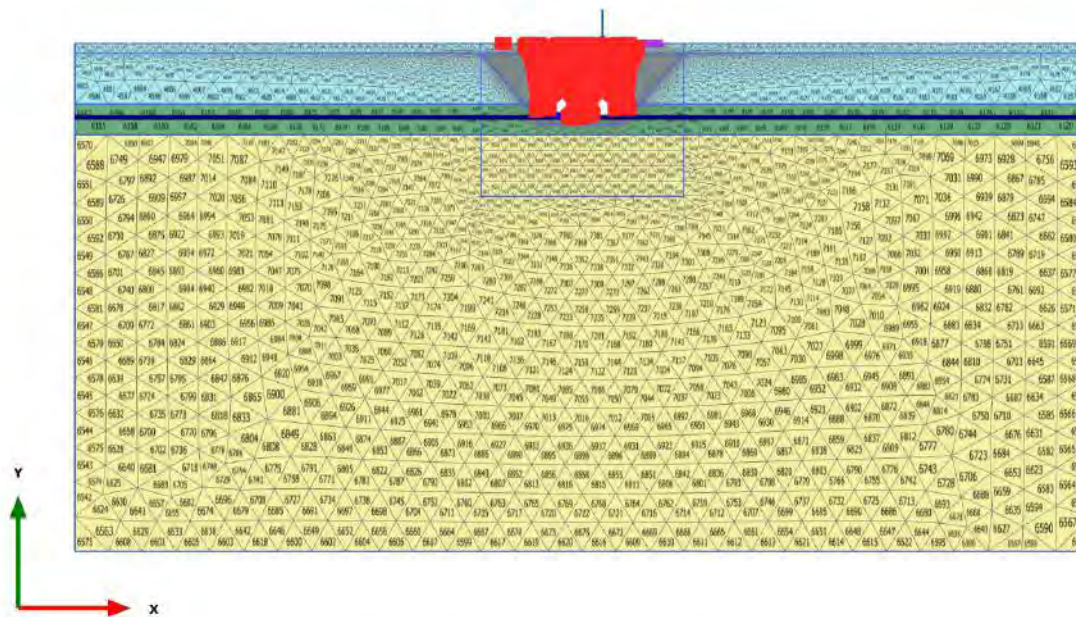
2.2.6.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

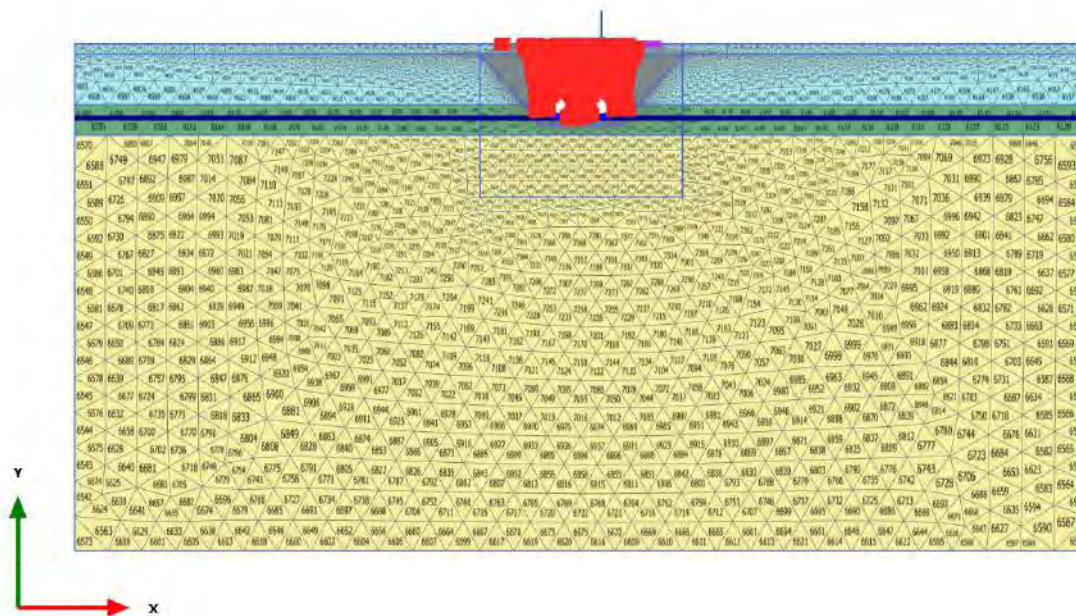
2.2.6.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- Tension cut-off point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions

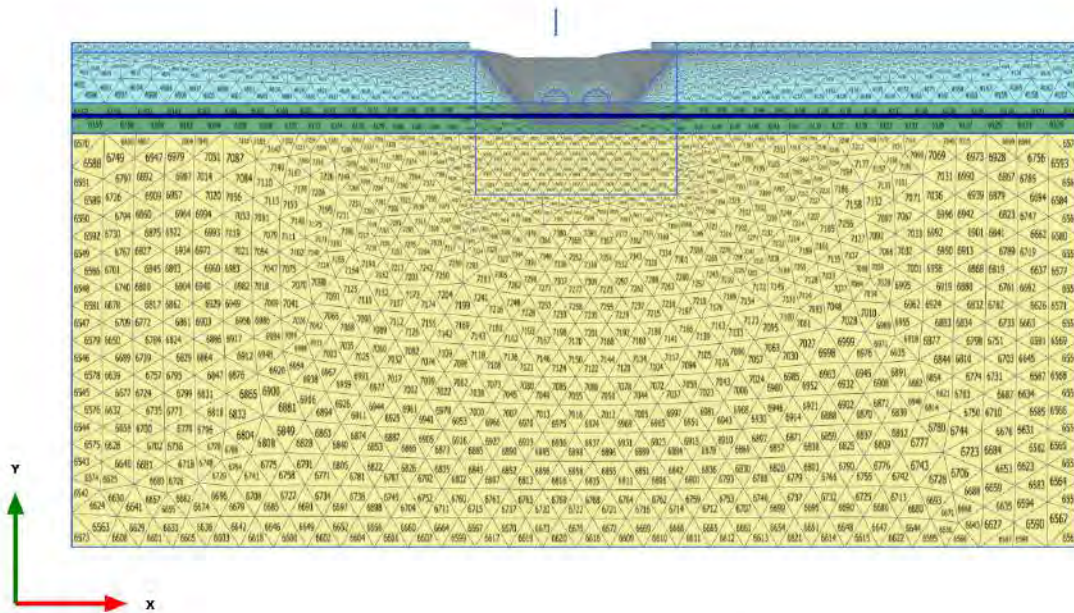
2.2.6.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

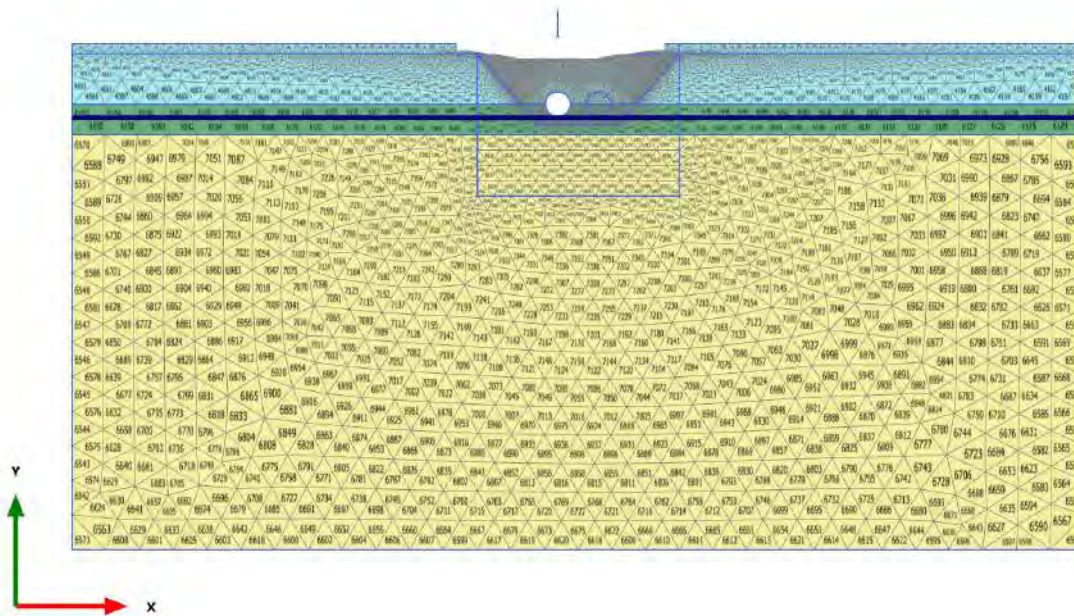
2.2.6.2.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Plastic point history Tension cut-off



Plastic point history Tension cut-off (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

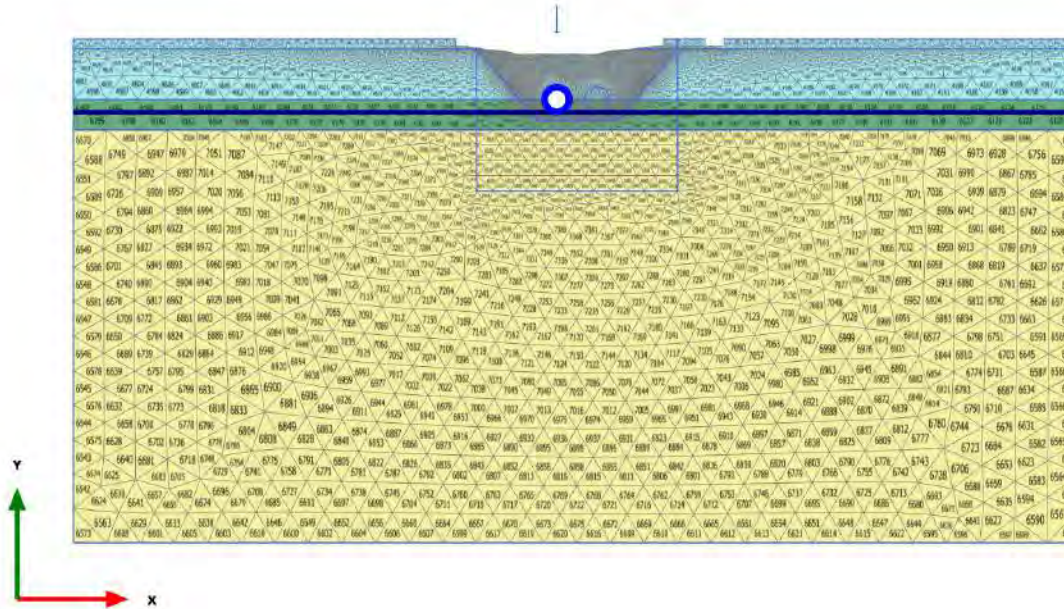
2.2.6.2.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Plastic point history Tension cut-off



Plastic point history Tension cut-off (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

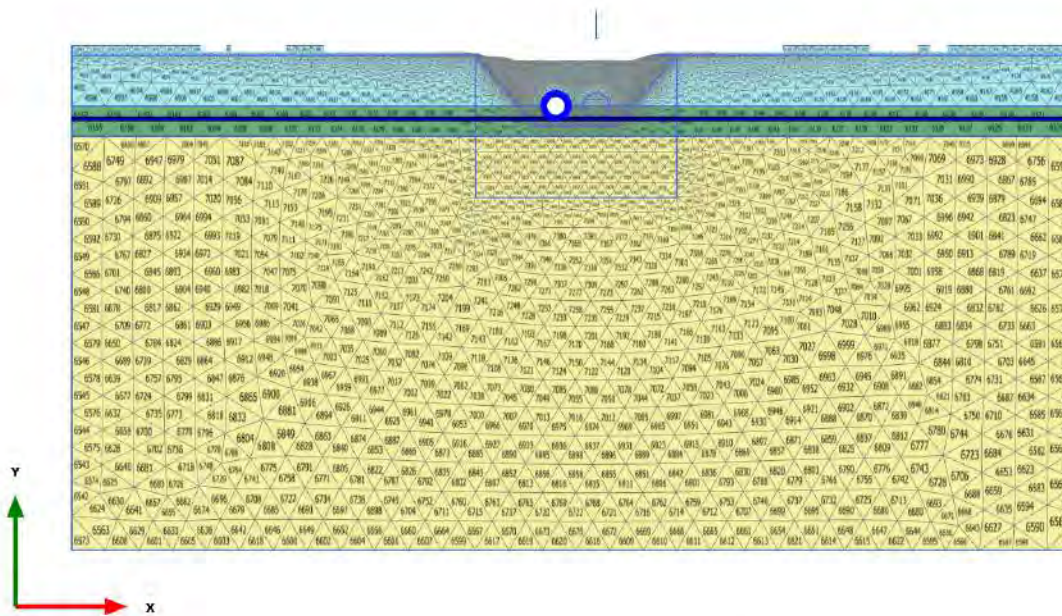
2.2.6.2.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Plastic point history Tension cut-off



Plastic point history Tension cut-off (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

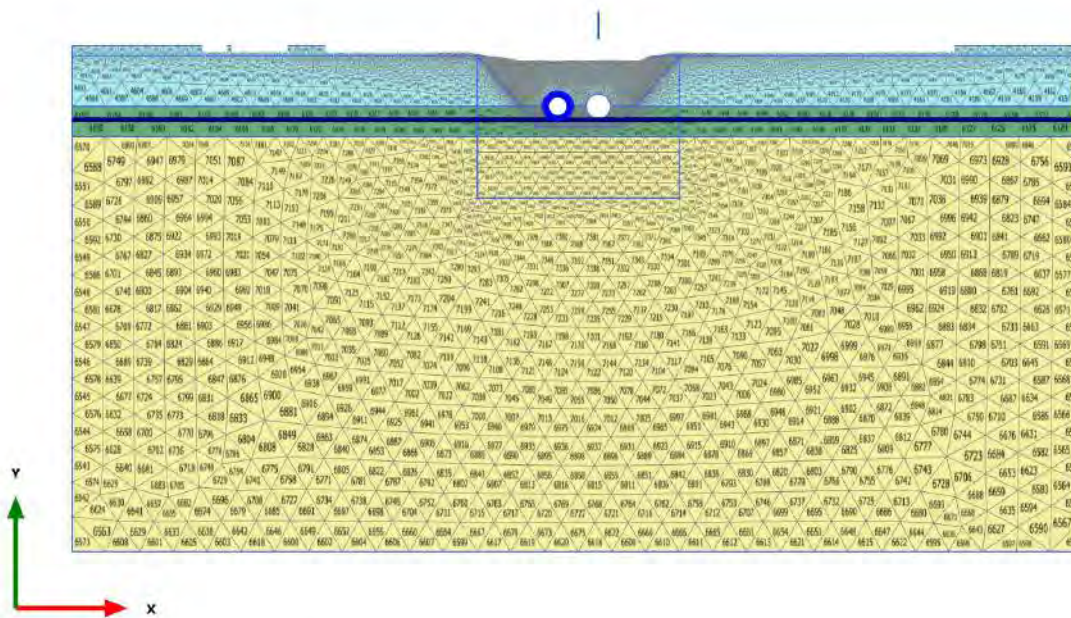
2.2.6.2.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Plastic point history Tension cut-off



Plastic point history Tension cut-off (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

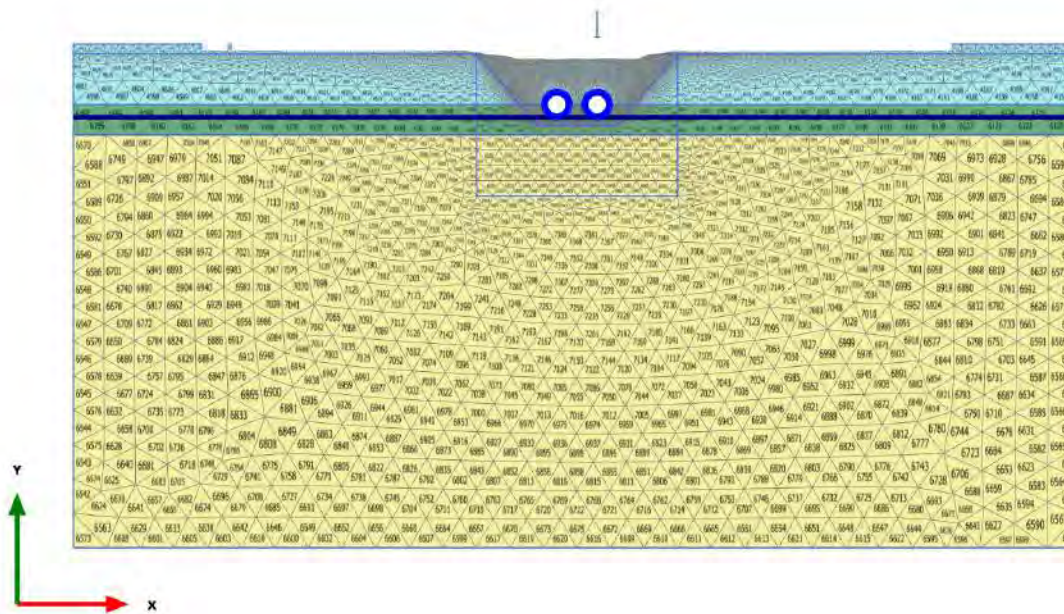
2.2.6.2.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Plastic point history Tension cut-off



Plastic point history Tension cut-off (scaled up 1,00 times)

- Failure point
- ▾ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

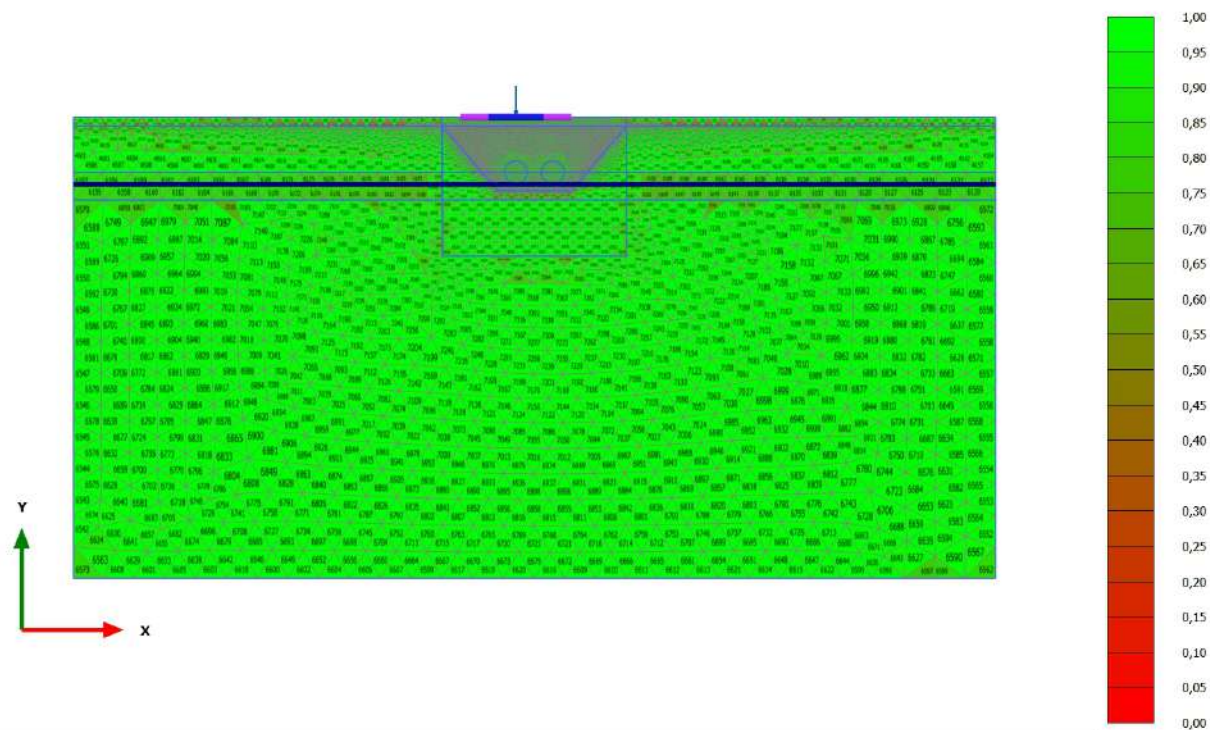
2.2.6.2.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Plastic point history Tension cut-off



Plastic point history Tension cut-off (scaled up 1,00 times)

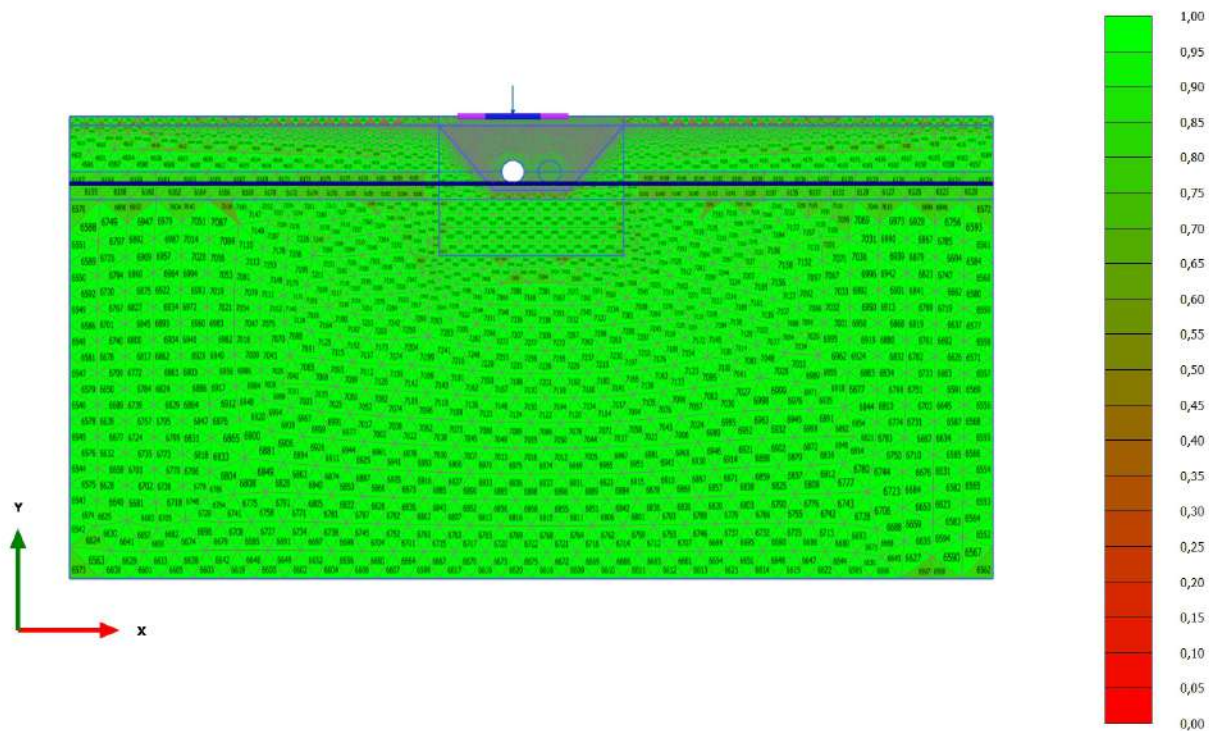
- Failure point
- ▼ Plasticity in local 2 direction only
- ◆ Plasticity in local 1 and 2 directions
- Tension cut-off point

2.3.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Quality



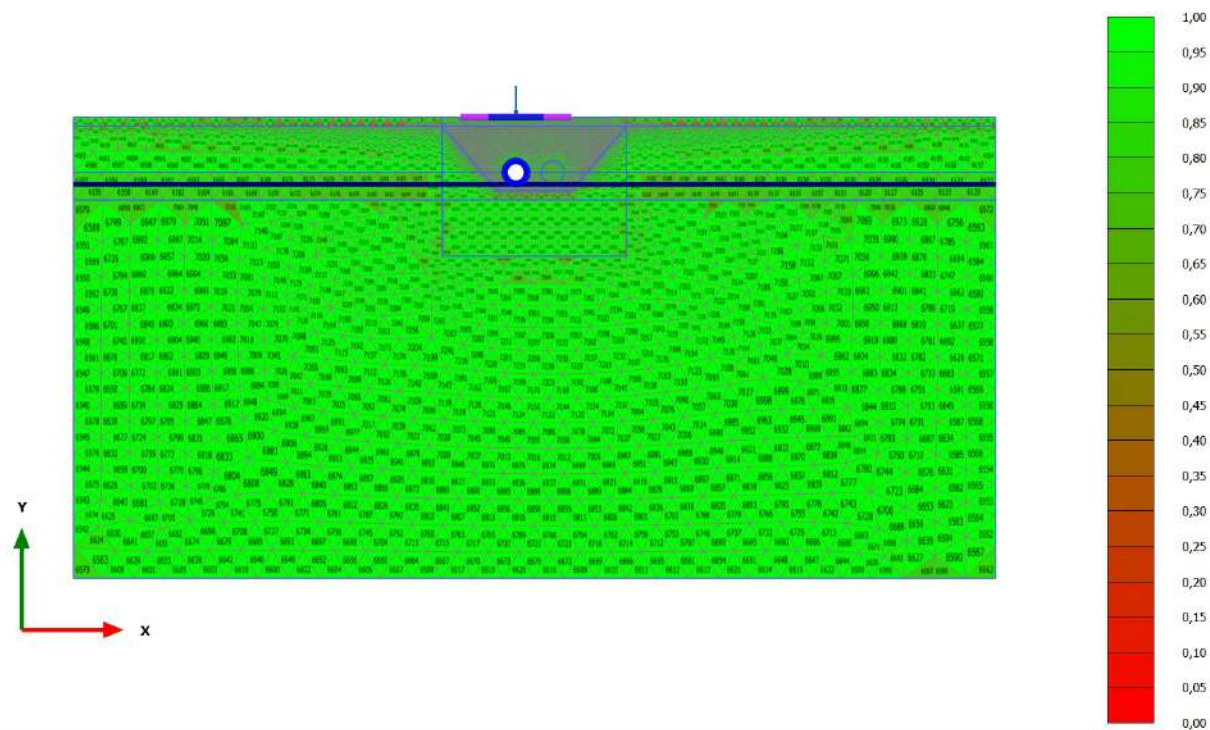
Quality (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 230)
 Minimum value = 0,01493 (Element 652)

2.3.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Quality



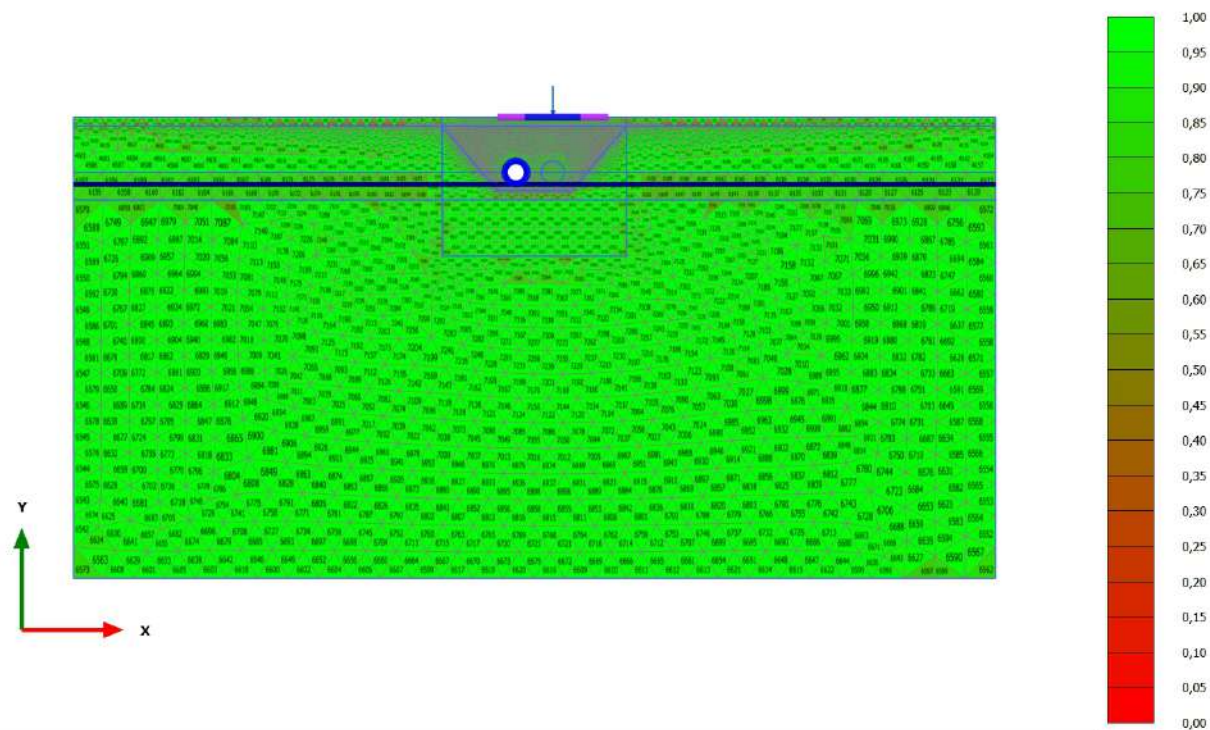
Quality (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 230)
 Minimum value = 0,01493 (Element 652)

2.3.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Quality



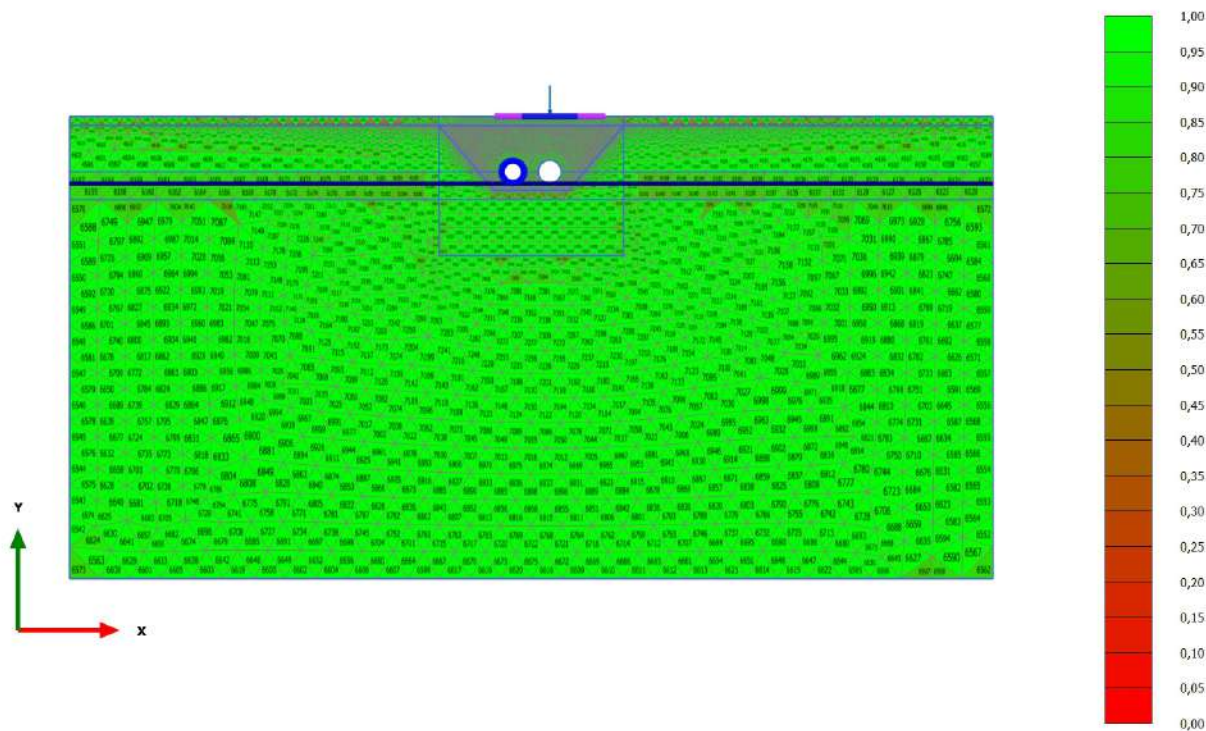
Quality (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 230)
 Minimum value = 0,01493 (Element 652)

2.3.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Quality



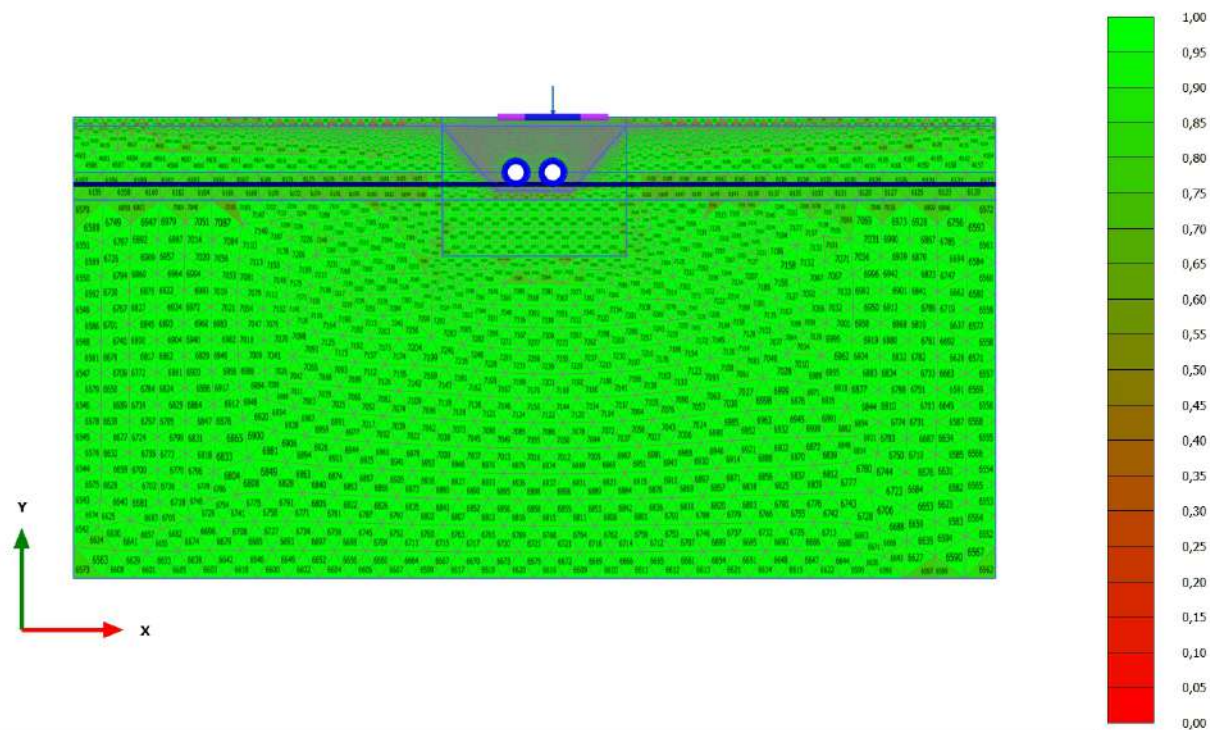
Quality (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 230)
 Minimum value = 0,01493 (Element 652)

2.3.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Quality



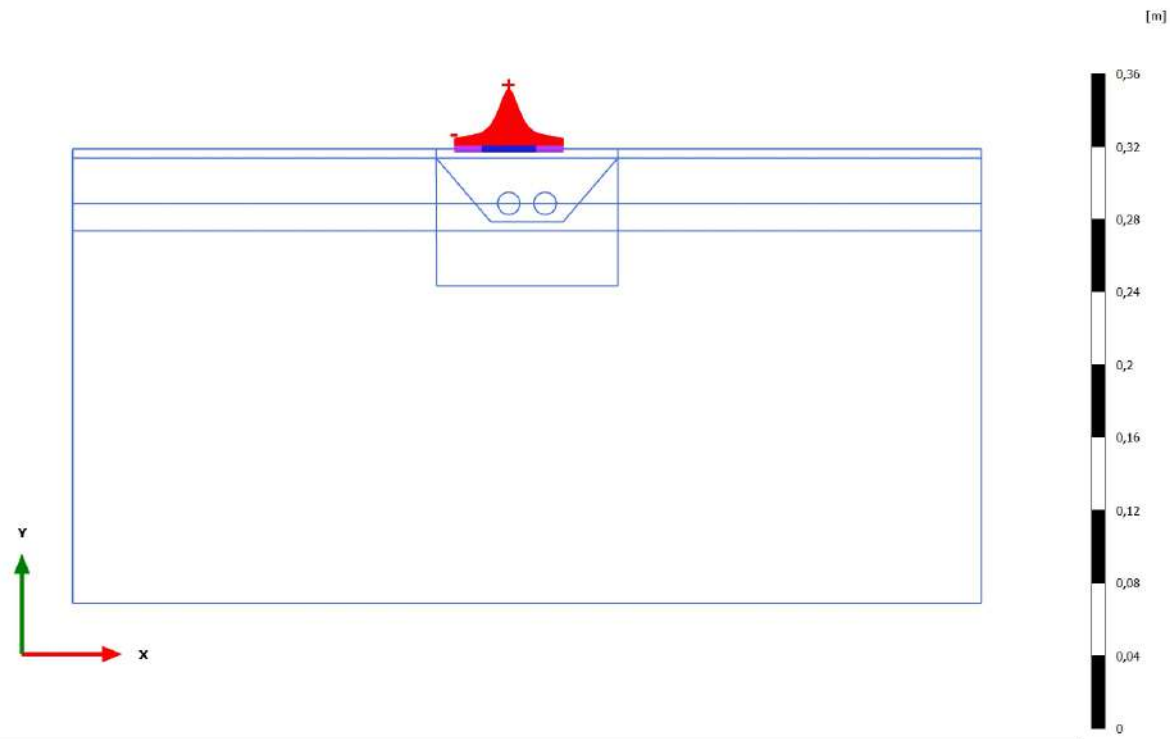
Quality (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 230)
 Minimum value = 0,01493 (Element 652)

2.3.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Quality



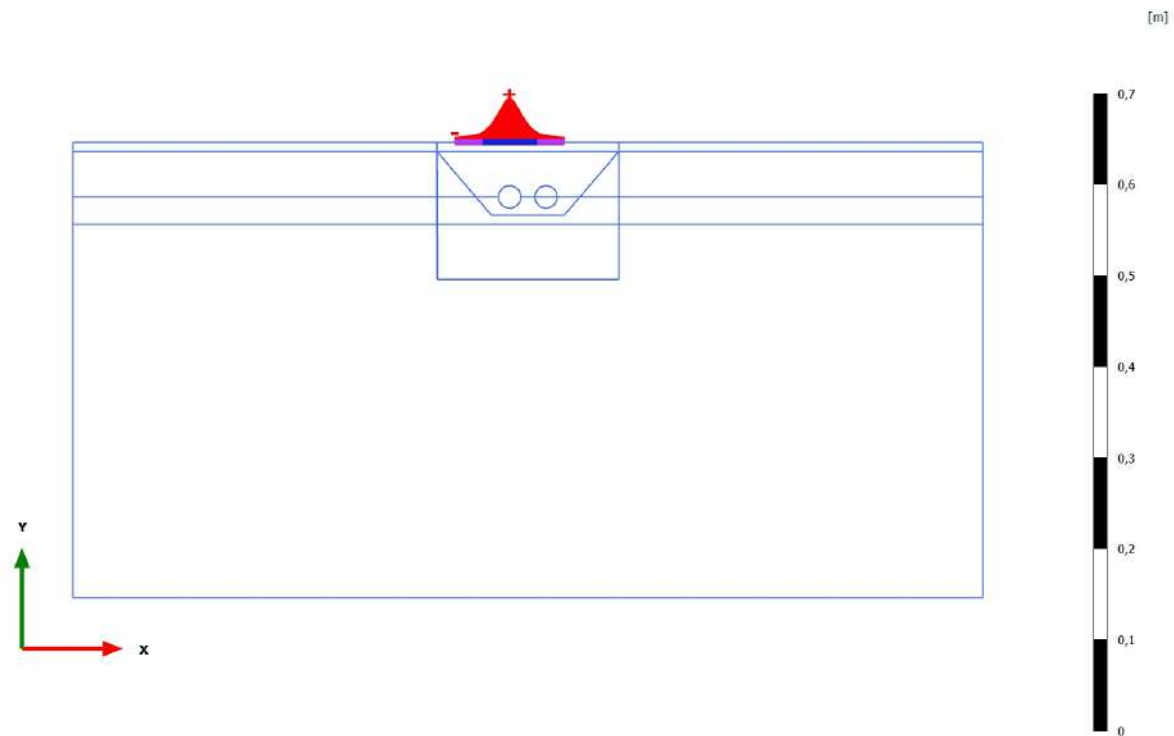
Quality (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 230)
 Minimum value = 0,01493 (Element 652)

3.1.1.1.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total displacements $|u|$



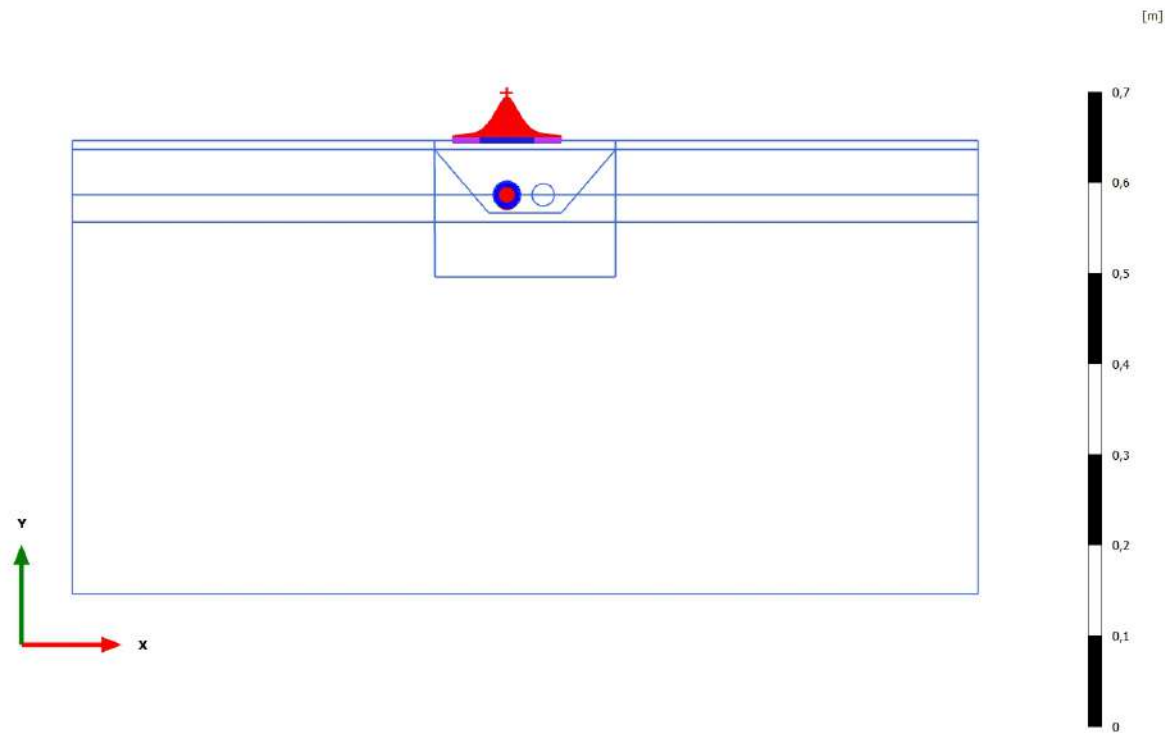
Total displacements $|u|$ (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,03307 m (Element 18 at Node 49385)

3.1.1.1.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total displacements $|u|$



Total displacements $|u|$ (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,04865 m (Element 18 at Node 49385)

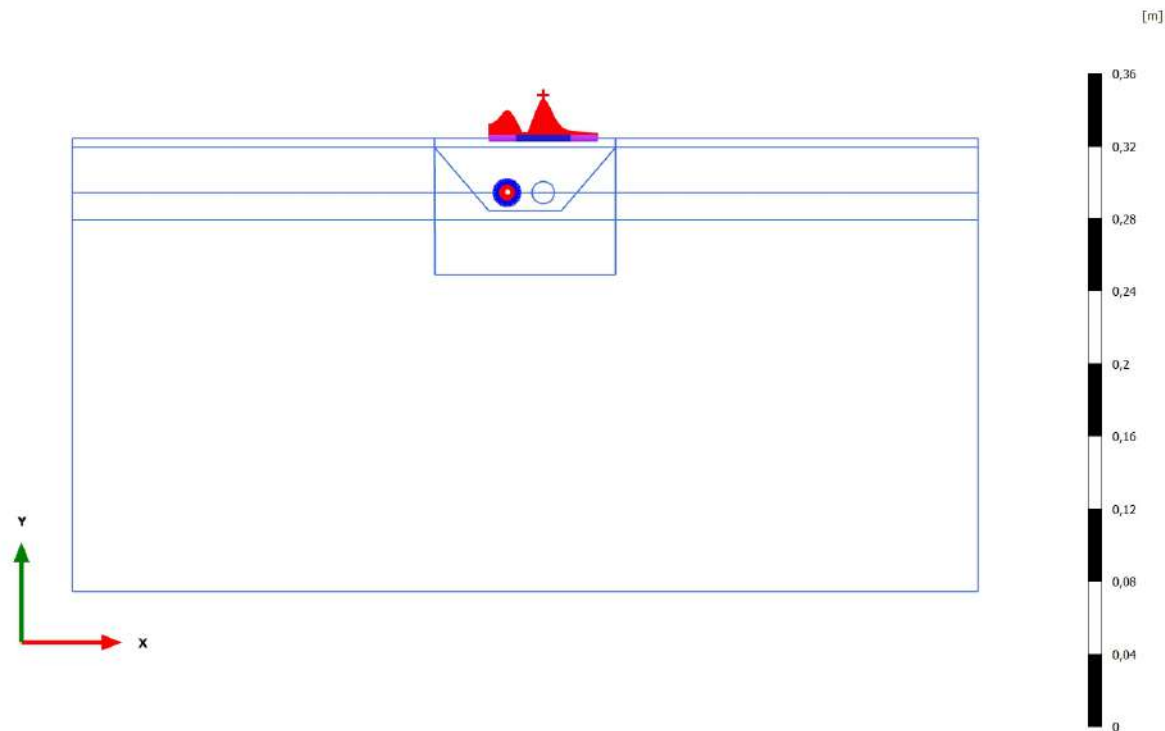
3.1.1.1.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total displacements $|u|$



Total displacements $|u|$ (scaled up 100 times)

Maximum value = 0,04842 m (Element 18 at Node 49385)

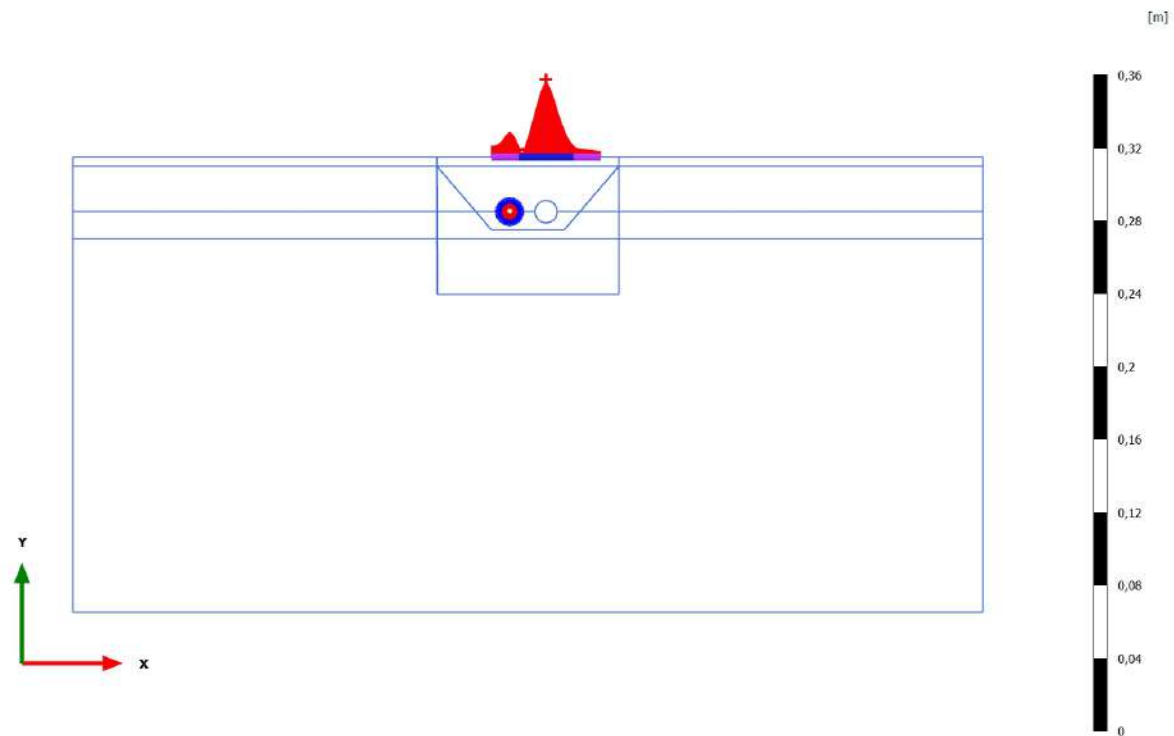
3.1.1.1.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total displacements $|u|$



Total displacements $|u|$ (scaled up 200 times)

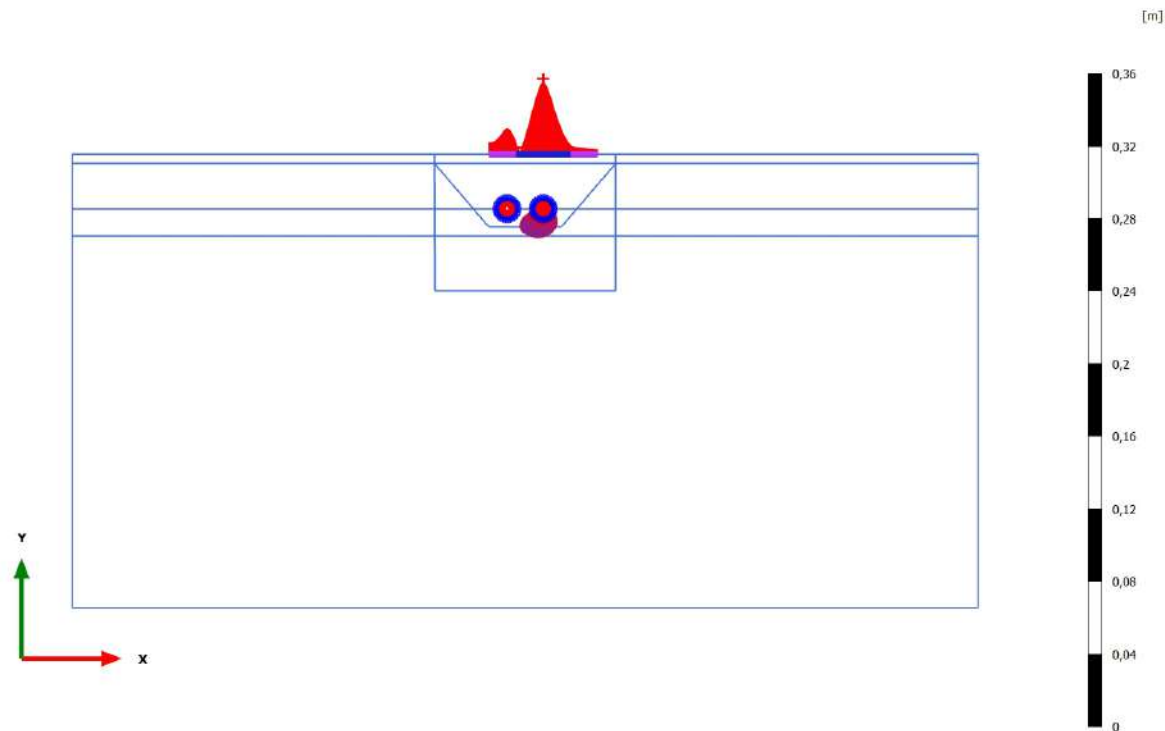
Maximum value = 0,02174 m (Element 30 at Node 59029)

3.1.1.1.1.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total displacements $|u|$



Total displacements $|u|$ (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,04049 m (Element 30 at Node 59029)

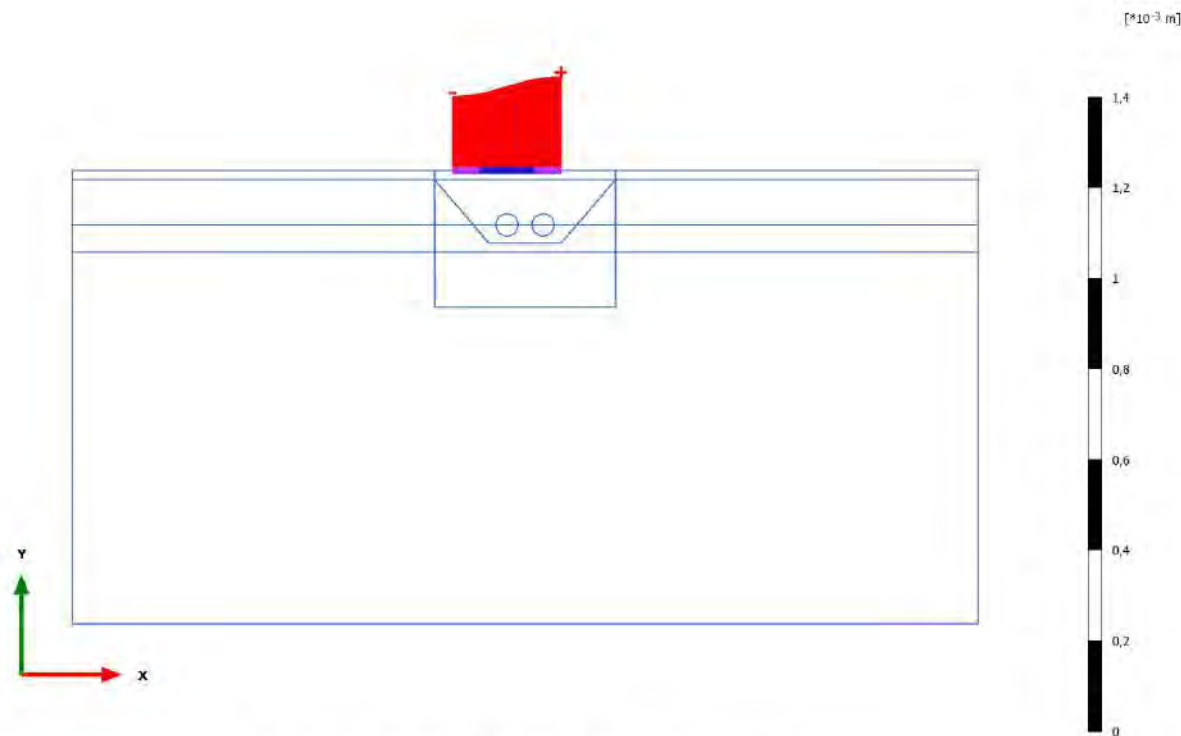
3.1.1.1.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total displacements $|u|$



Total displacements $|u|$ (scaled up 200 times)

Maximum value = 0,03958 m (Element 30 at Node 59029)

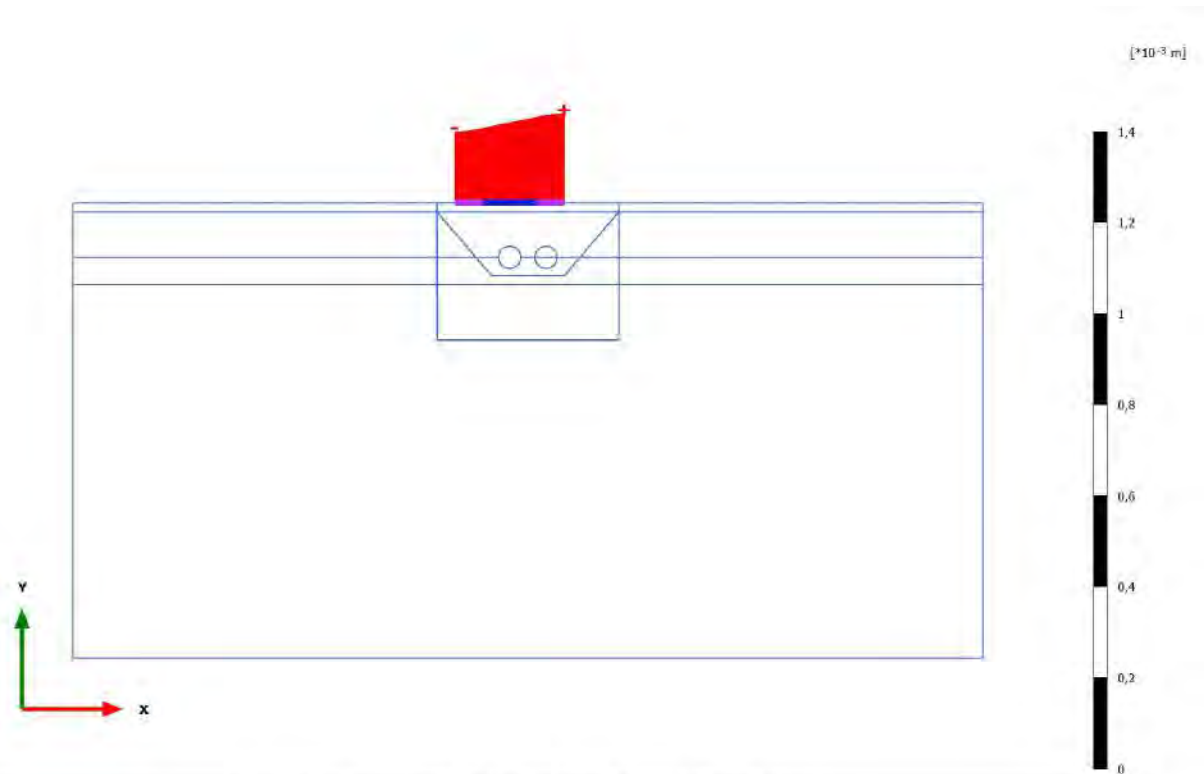
3.1.1.1.2.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total displacements u_x



Total displacements u_x (scaled up 50,0*10³ times)
 Maximum value = 0,2070*10⁻³ m (Element 36 at Node 57961)
 Minimum value = 0,1635*10⁻³ m (Element 1 at Node 23698)

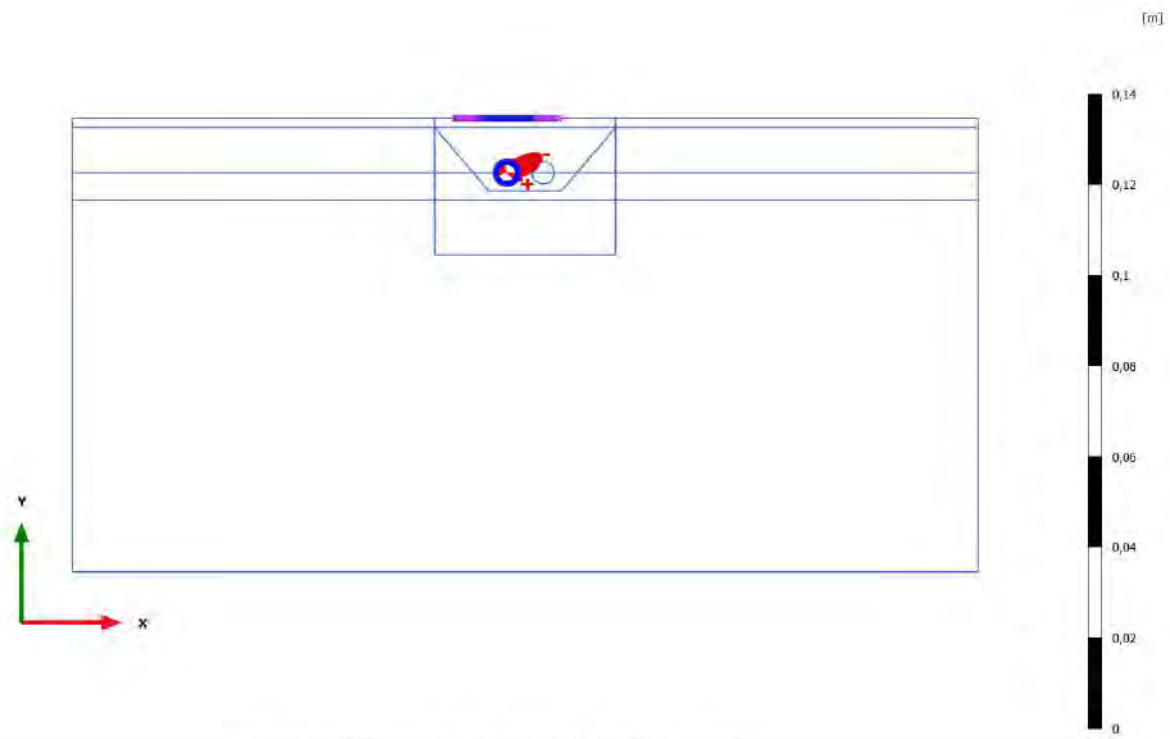
3.1.1.1.2.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total displacements

u_x



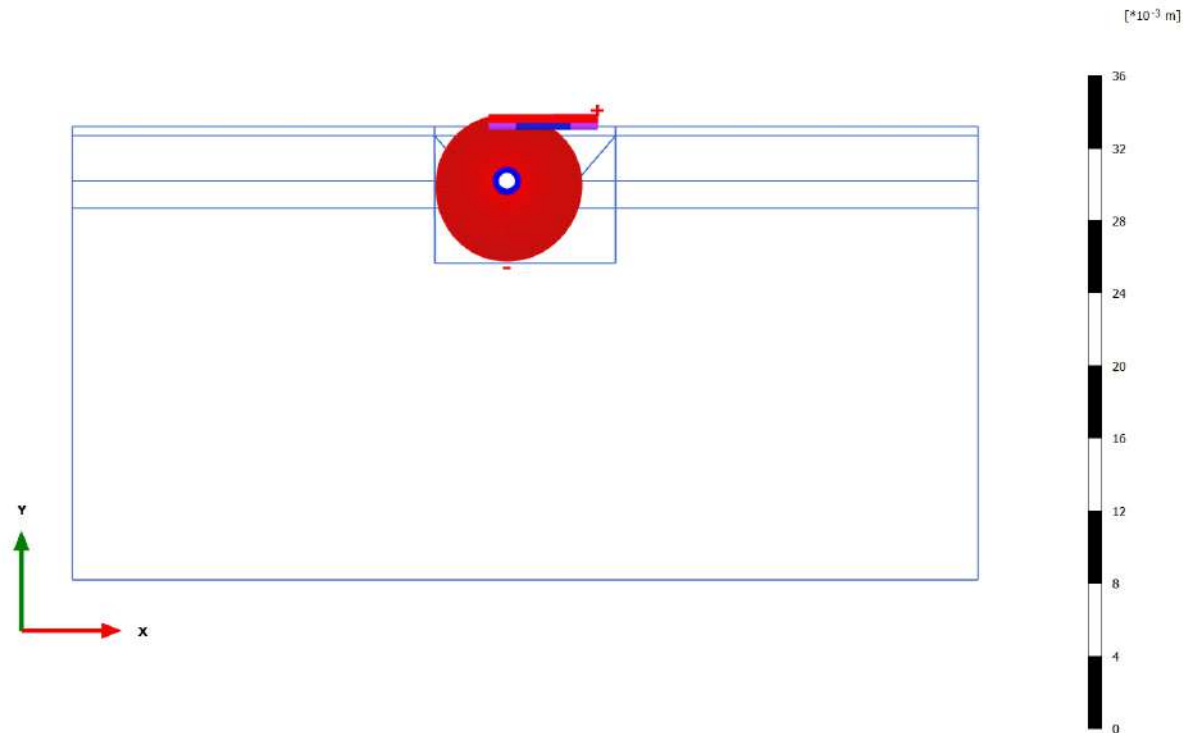
Total displacements u_x (scaled up $50,0 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $0,1957 \cdot 10^{-3}$ m (Element 36 at Node 57961)
 Minimum value = $0,1554 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1 at Node 23698)

3.1.1.1.2.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total displacements u_x



Total displacements u_x (scaled up 500 times)
 Maximum value = $6,409 \cdot 10^{-3}$ m (Element 53 at Node 27856)
 Minimum value = $-6,112 \cdot 10^{-3}$ m (Element 56 at Node 35168)

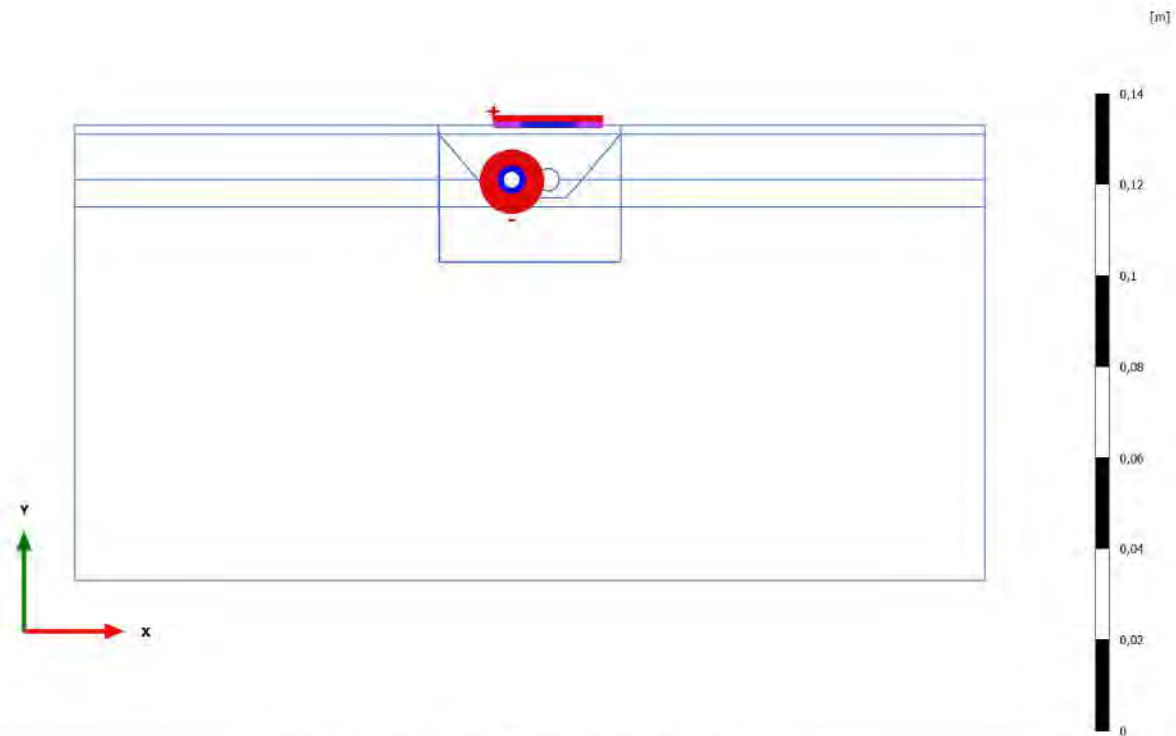
3.1.1.1.2.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total displacements u_x



Total displacements u_x (scaled up $2,00 \cdot 10^3$ times)
 Maximum value = $0,6600 \cdot 10^{-3}$ m (Element 48 at Node 50598)
 Minimum value = $-3,824 \cdot 10^{-3}$ m (Element 78 at Node 27488)

3.1.1.1.2.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total displacements

u_x

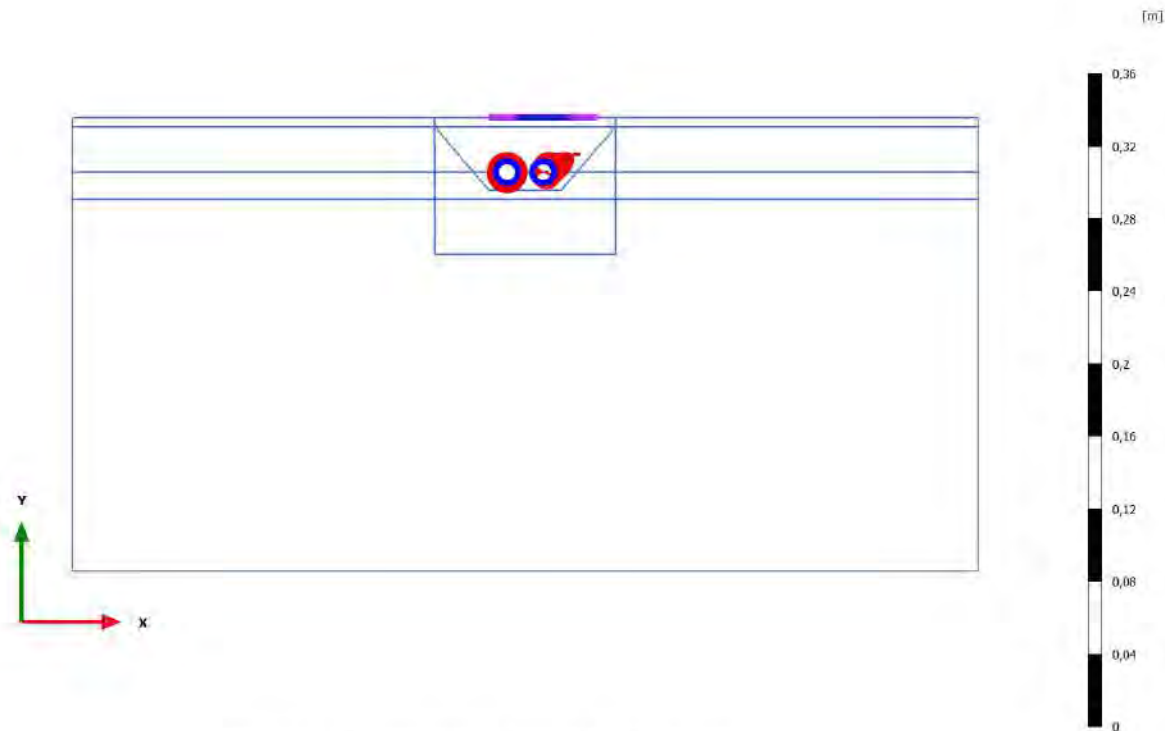


Total displacements u_x (scaled up 500 times)

Maximum value = $2,128 \cdot 10^{-3}$ m (Element 13 at Node 40314)

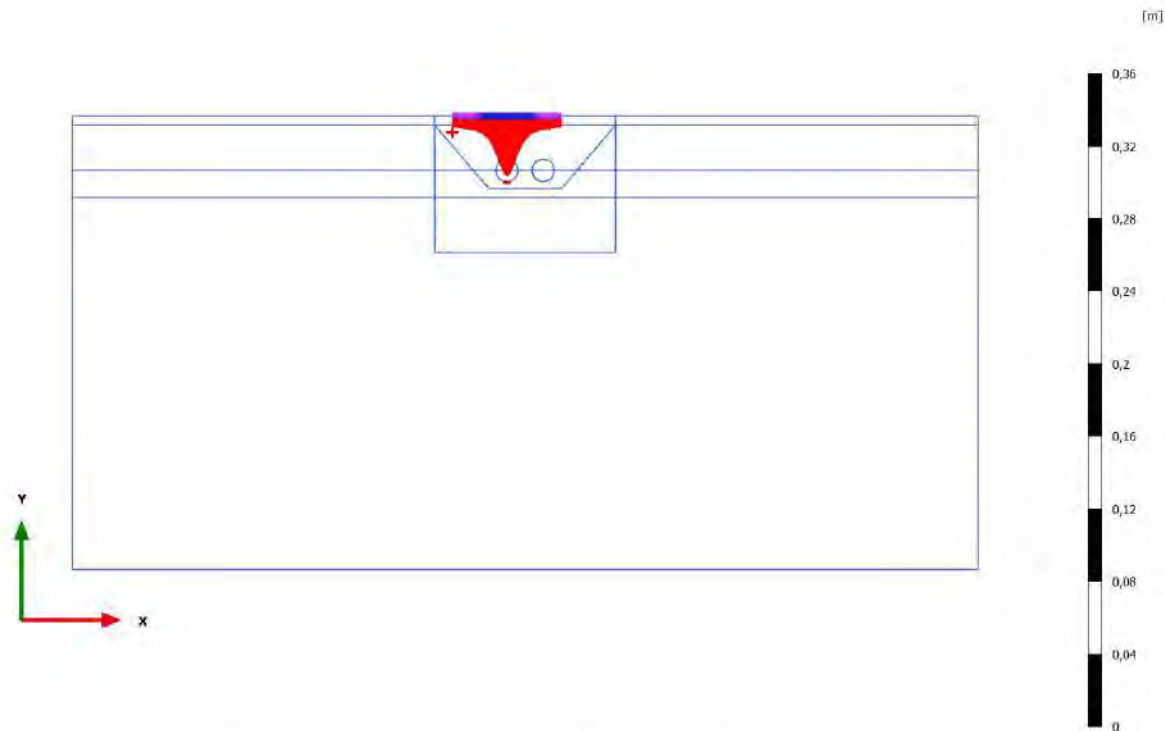
Minimum value = $-4,994 \cdot 10^{-3}$ m (Element 78 at Node 27488)

3.1.1.1.2.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total displacements u_x



Total displacements u_x (scaled up 200 times)
 Maximum value = $9,006 \cdot 10^{-3}$ m (Element 66 at Node 41123)
 Minimum value = $-0,01251$ m (Element 68 at Node 47038)

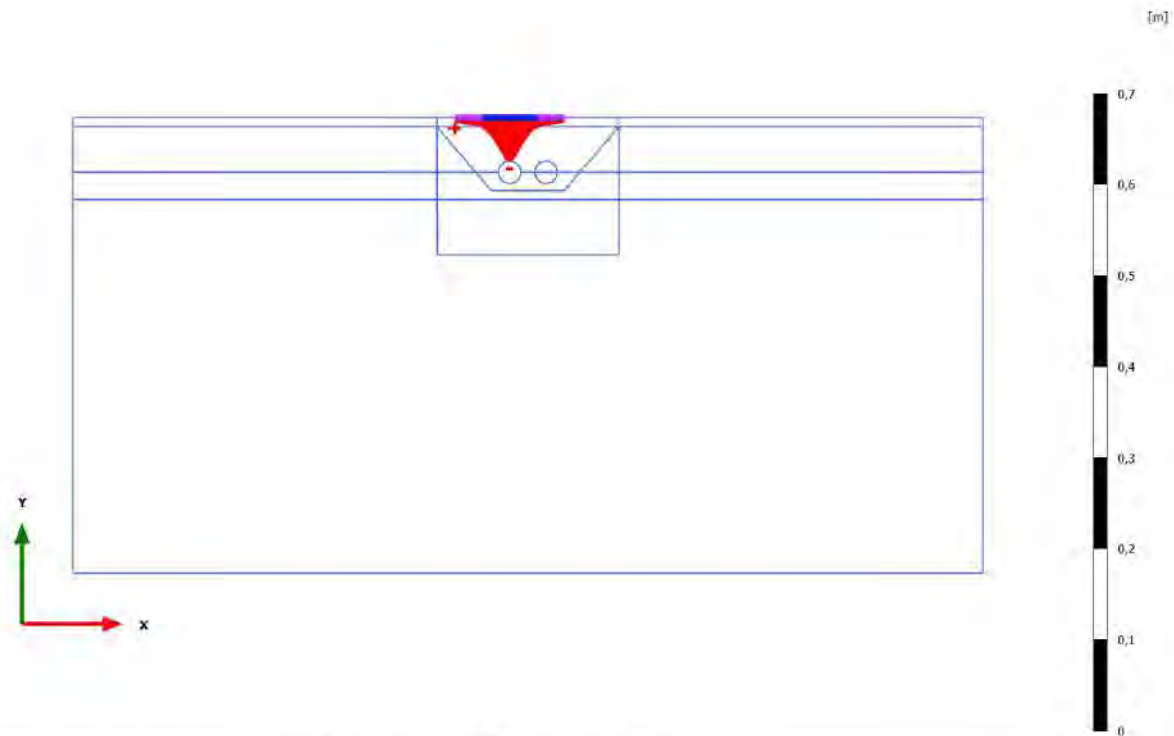
3.1.1.1.3.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 200 times)
 Maximum value = $-5,662 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1 at Node 23698)
 Minimum value = $-0,03307$ m (Element 18 at Node 49385)

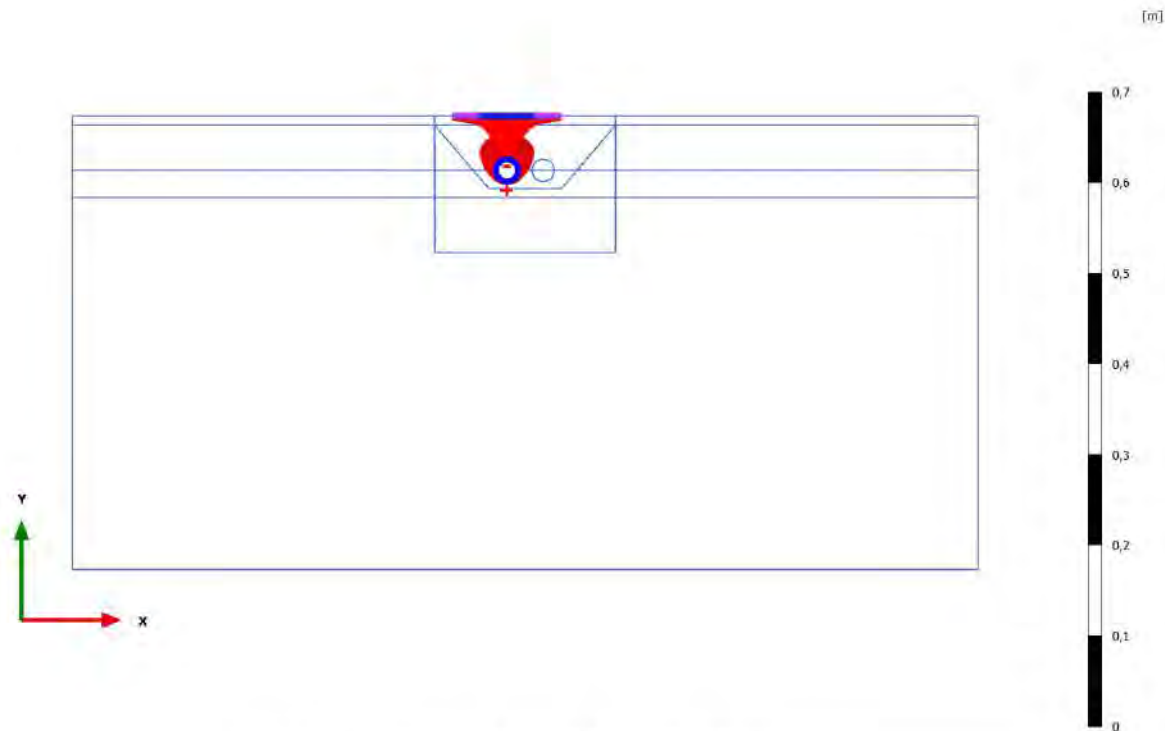
3.1.1.1.3.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Total displacements

u_y



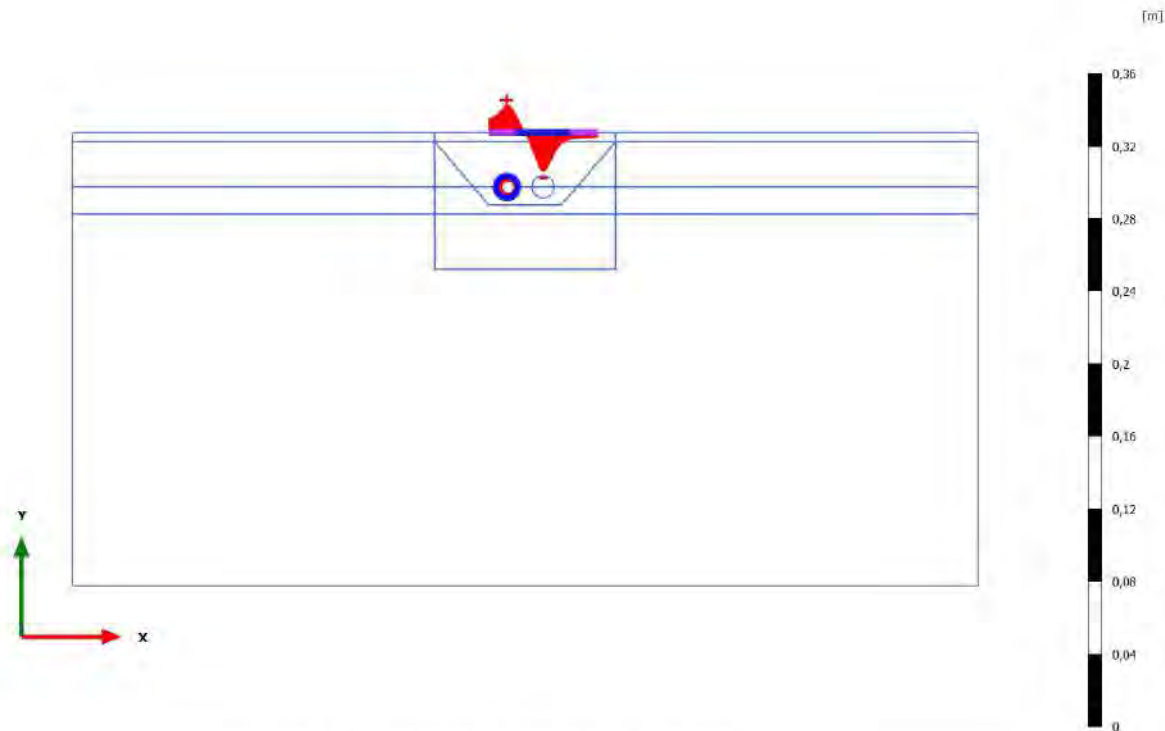
Total displacements u_y (scaled up 100 times)
 Maximum value = $-5,342 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1 at Node 23698)
 Minimum value = $-0,04865$ m (Element 18 at Node 49385)

3.1.1.1.3.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 100 times)
 Maximum value = $-3,347 \cdot 10^{-3}$ m (Element 78 at Node 27488)
 Minimum value = $-0,04842$ m (Element 18 at Node 49385)

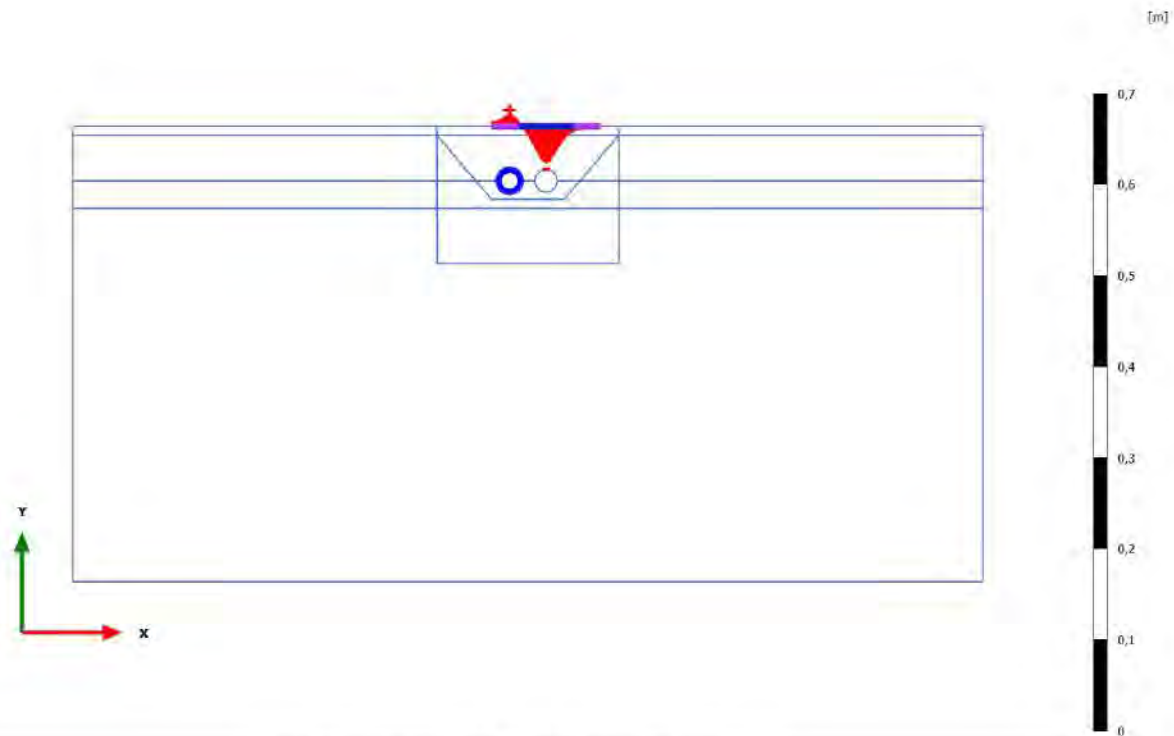
3.1.1.1.3.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 200 times)
 Maximum value = 0,01539 m (Element 18 at Node 49385)
 Minimum value = -0,02173 m (Element 30 at Node 59029)

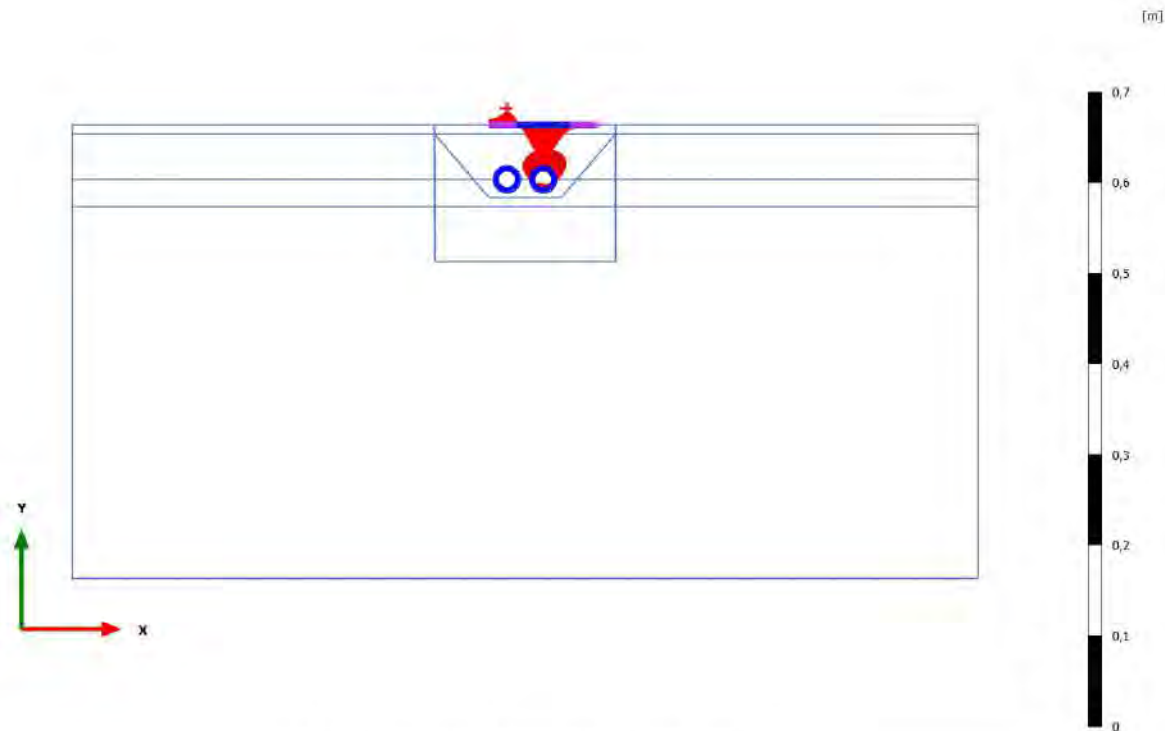
3.1.1.1.3.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Total displacements

u_y



Total displacements u_y (scaled up 100 times)
 Maximum value = 0,01331 m (Element 18 at Node 49385)
 Minimum value = -0,04044 m (Element 30 at Node 59029)

3.1.1.1.3.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Total displacements u_y

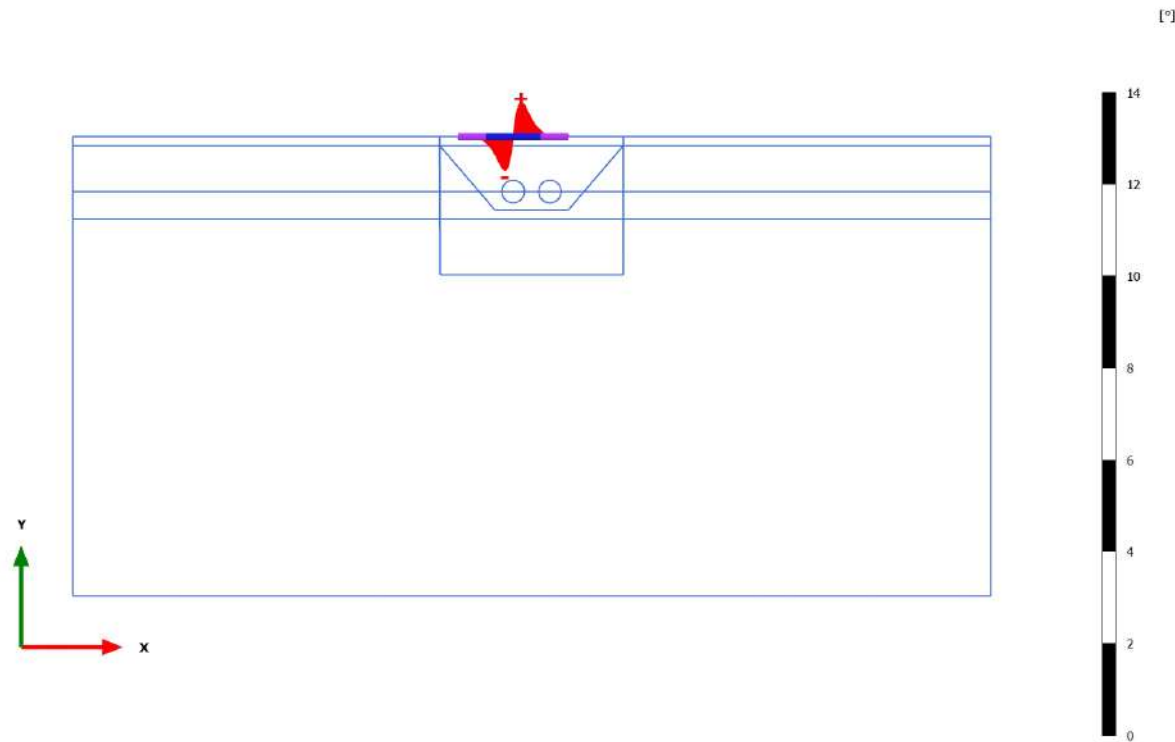


Total displacements u_y (scaled up 100 times)

Maximum value = 0,01418 m (Element 18 at Node 49385)

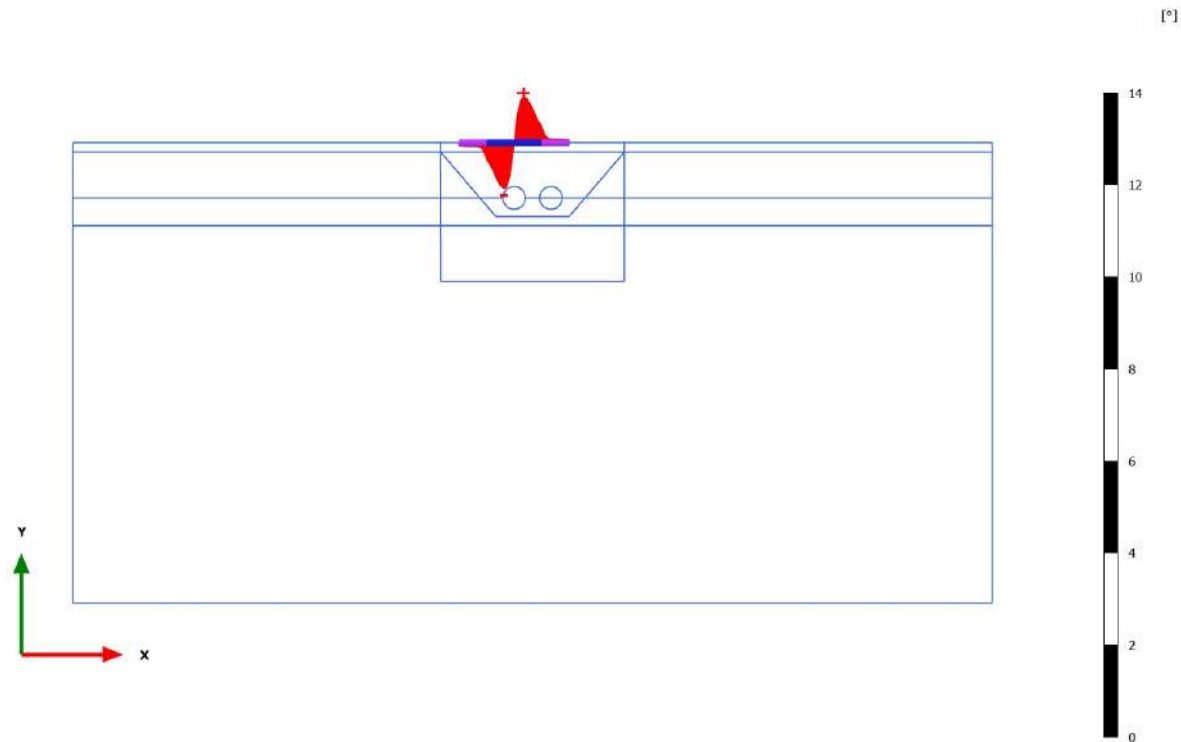
Minimum value = -0,03953 m (Element 30 at Node 59029)

3.1.1.2.1.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), z



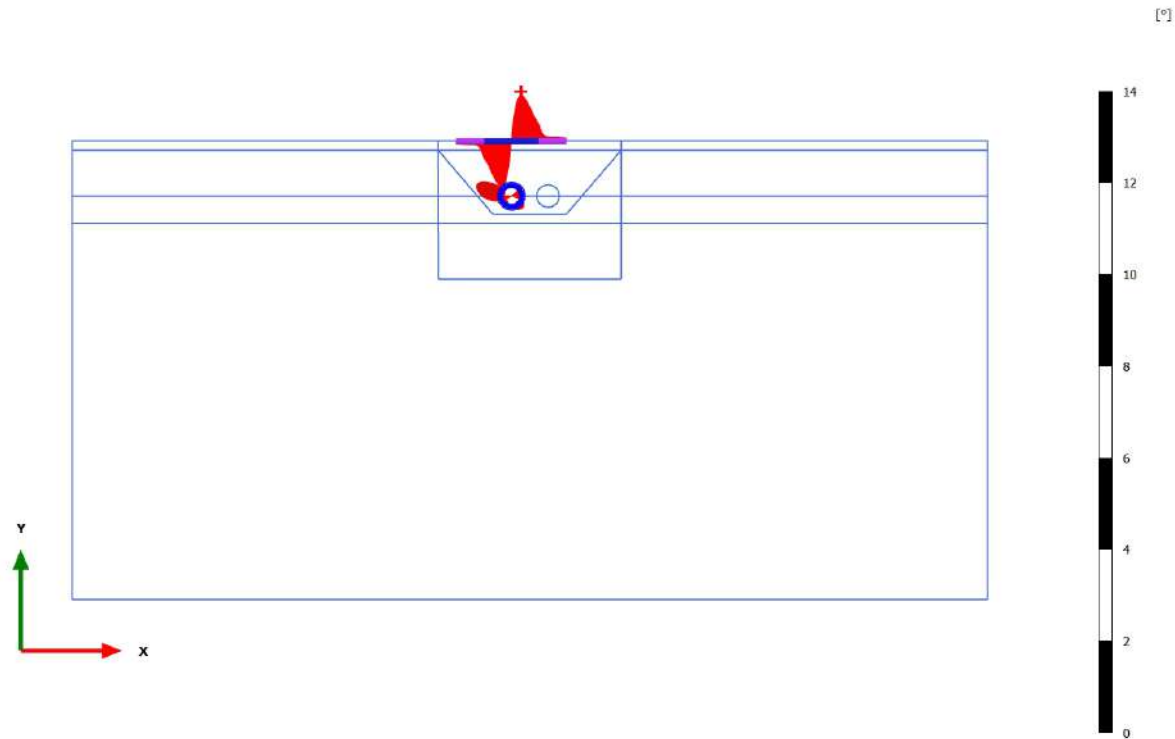
φ_z (scaled up 5,00 times)
Maximum value = 0,7415 ° (Element 21 at Node 51564)
Minimum value = -0,7422 ° (Element 16 at Node 45483)

3.1.1.2.1.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), z



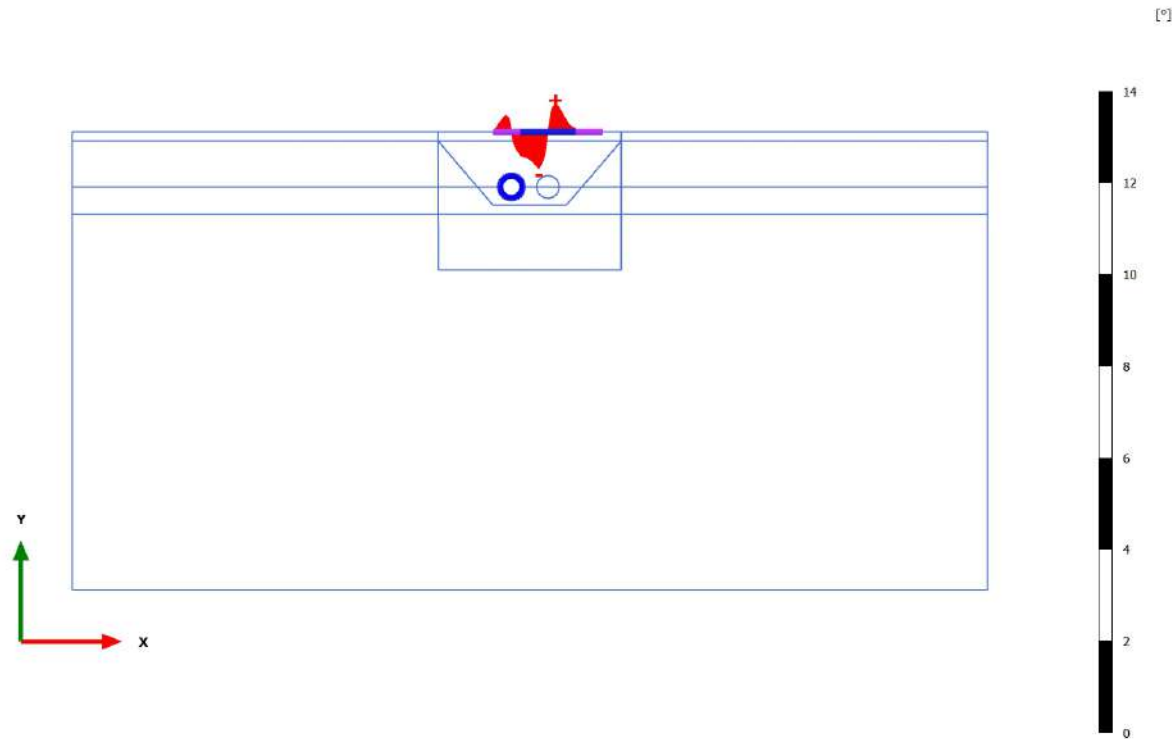
φ_z (scaled up 5,00 times)
Maximum value = 0,9978 ° (Element 22 at Node 52568)
Minimum value = -0,9985 ° (Element 15 at Node 43839)

3.1.1.2.1.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), z



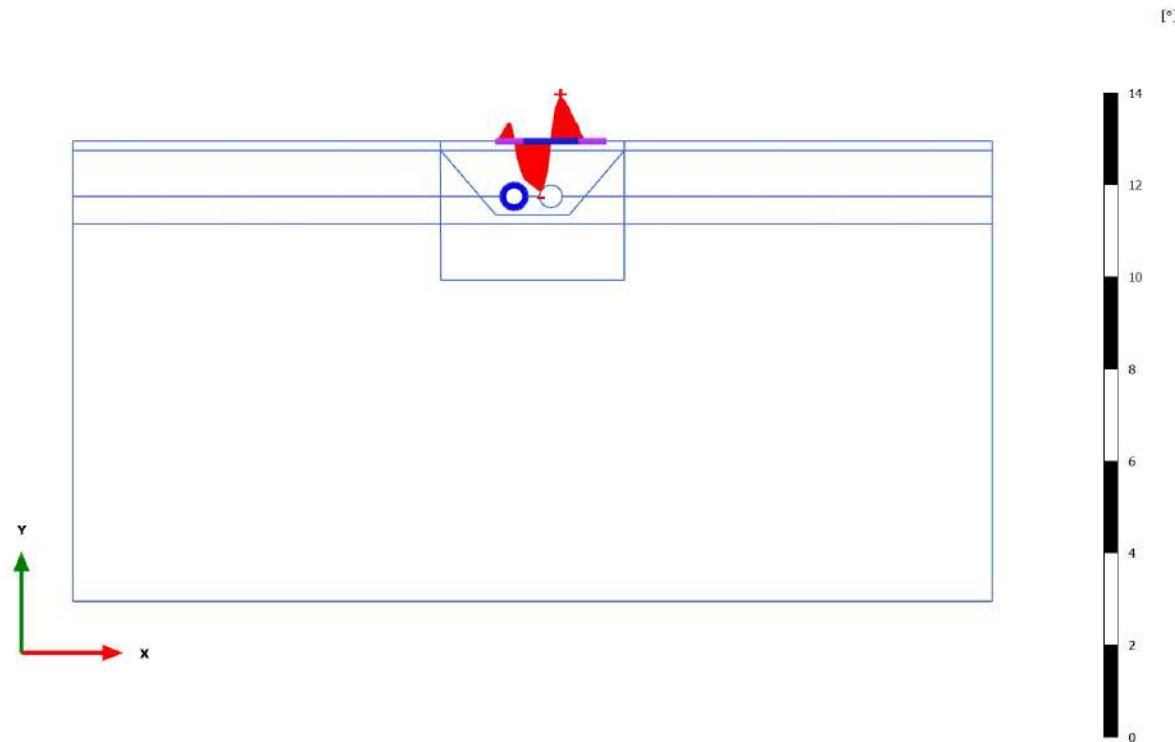
φ_z (scaled up 5,00 times)
Maximum value = 0,9991 ° (Element 22 at Node 52568)
Minimum value = -0,9998 ° (Element 15 at Node 43839)

3.1.1.2.1.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), z



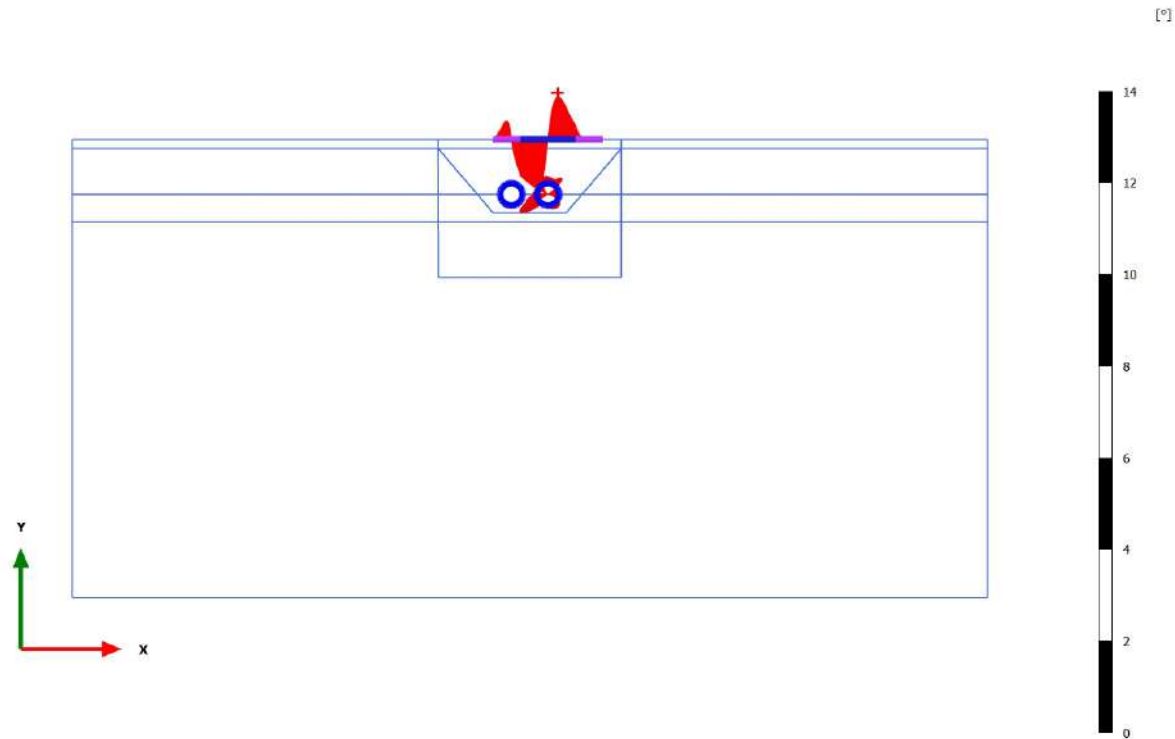
φ_z (scaled up 5,00 times)
Maximum value = 0,6002 ° (Element 33 at Node 59492)
Minimum value = -0,8045 ° (Element 27 at Node 57319)

3.1.1.2.1.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), z



φ_z (scaled up 5,00 times)
Maximum value = 0,9294 ° (Element 34 at Node 59060)
Minimum value = -1,086 ° (Element 27 at Node 56666)

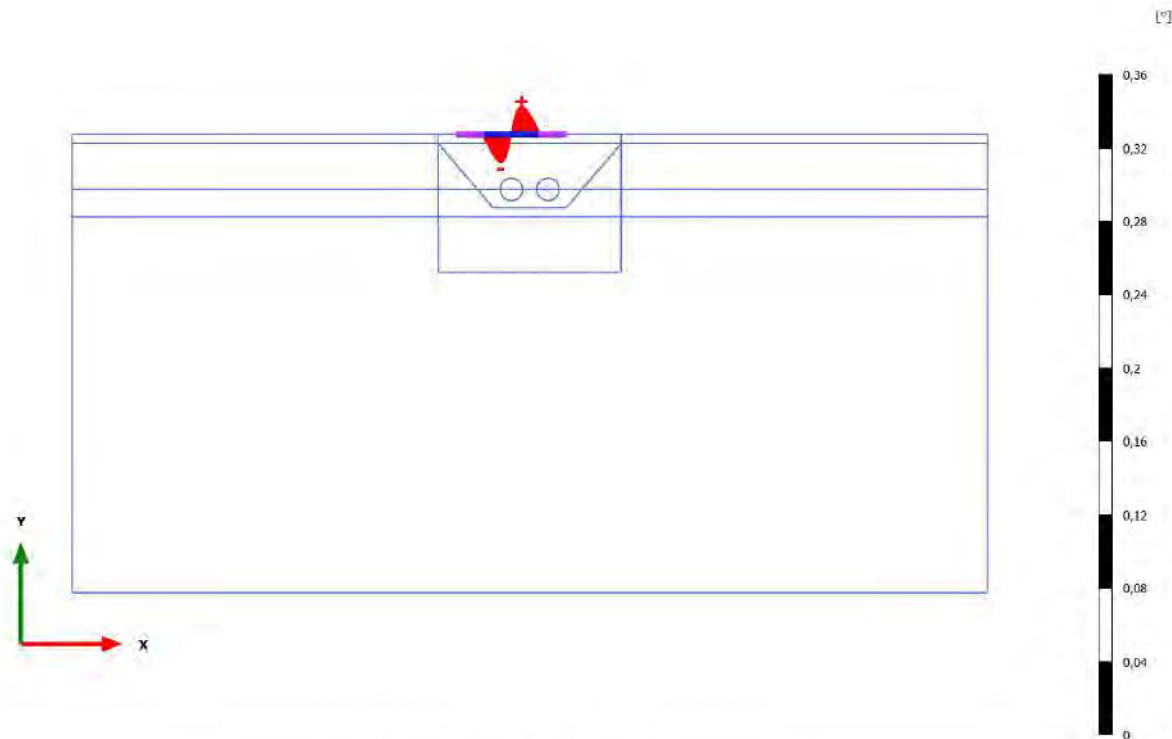
3.1.1.2.1.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), z



φ_z (scaled up 5,00 times)
Maximum value = 0,9271 $^\circ$ (Element 34 at Node 59060)
Minimum value = -1,087 $^\circ$ (Element 27 at Node 56666)

3.1.1.2.2.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9),

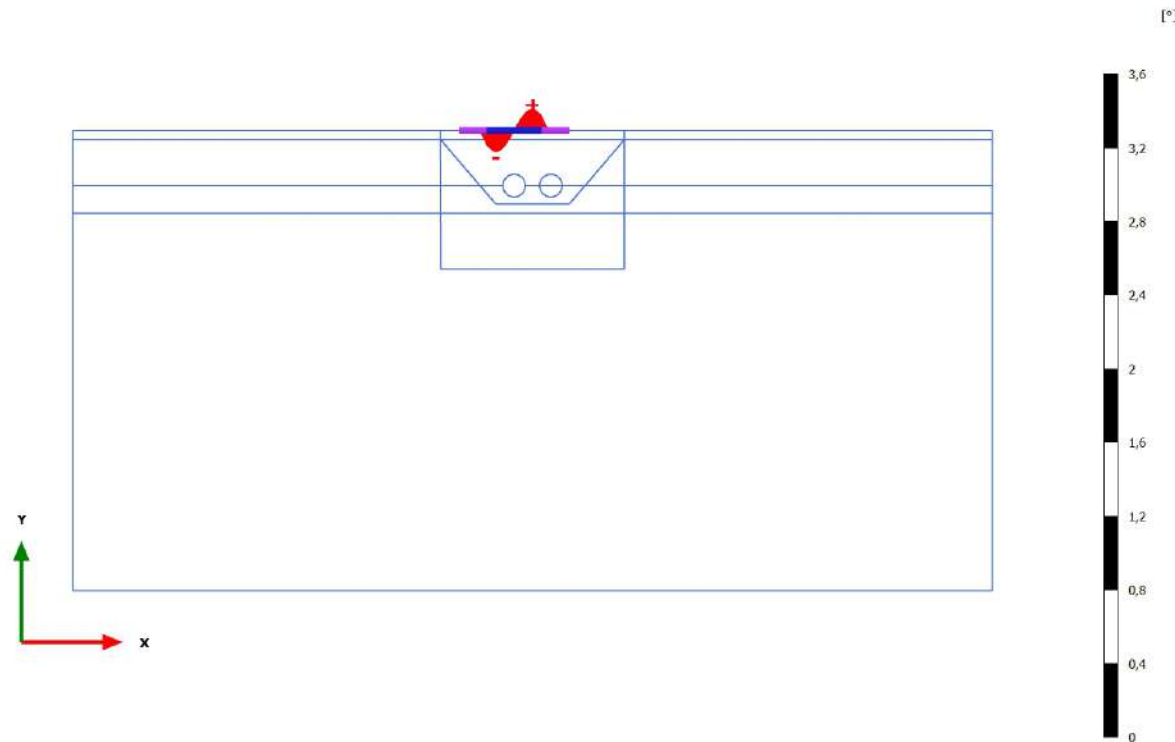
z



$\Delta\varphi_z$ (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,01549 ° (Element 22 at Node 52569)
Minimum value = -0,01550 ° (Element 15 at Node 43838)

3.1.1.2.2.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14),

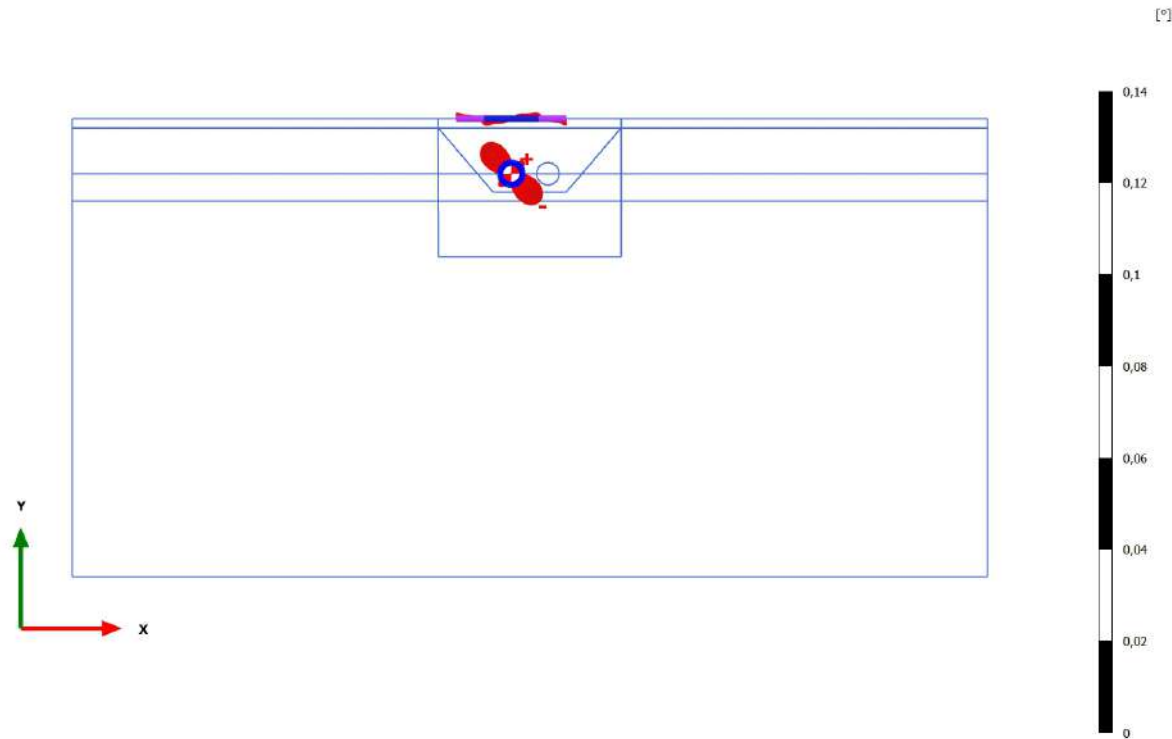
z



$\Delta\varphi_z$ (scaled up 20,0 times)
Maximum value = 0,1152 ° (Element 24 at Node 55215)
Minimum value = -0,1152 ° (Element 12 at Node 40314)

3.1.1.2.2.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16),

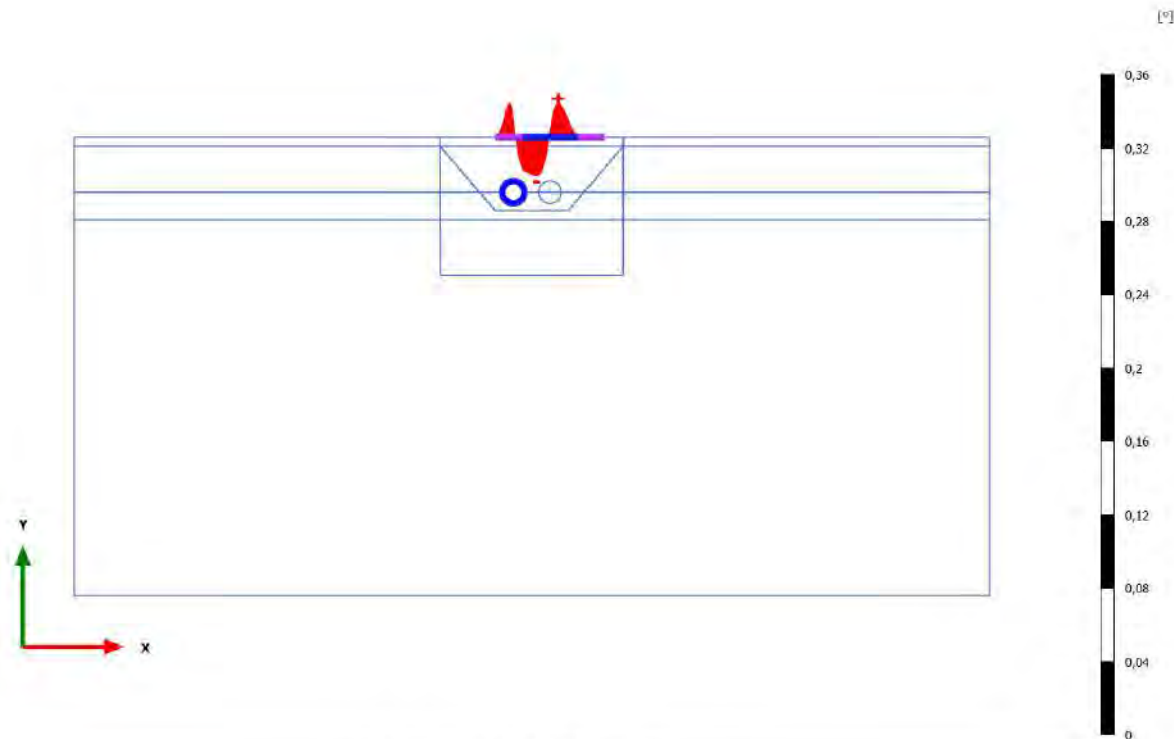
z



$\Delta\varphi_z$ (scaled up 500 times)
 Maximum value = $6,267 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ$ (Element 75 at Node 24856)
 Minimum value = $-6,262 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ$ (Element 81 at Node 32332)

3.1.1.2.2.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23),

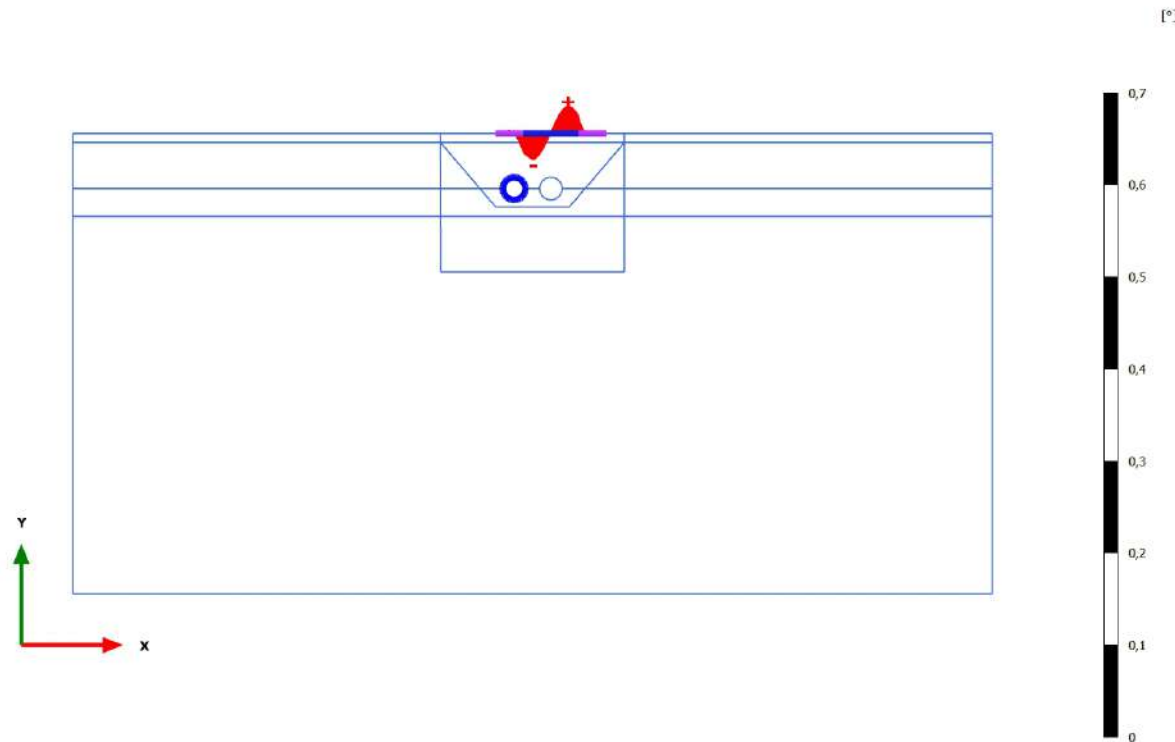
z



$\Delta\varphi_z$ (scaled up 200 times)
Maximum value = 0,01862 ° (Element 33 at Node 59493)
Minimum value = -0,02092 ° (Element 26 at Node 55977)

3.1.1.2.2.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31),

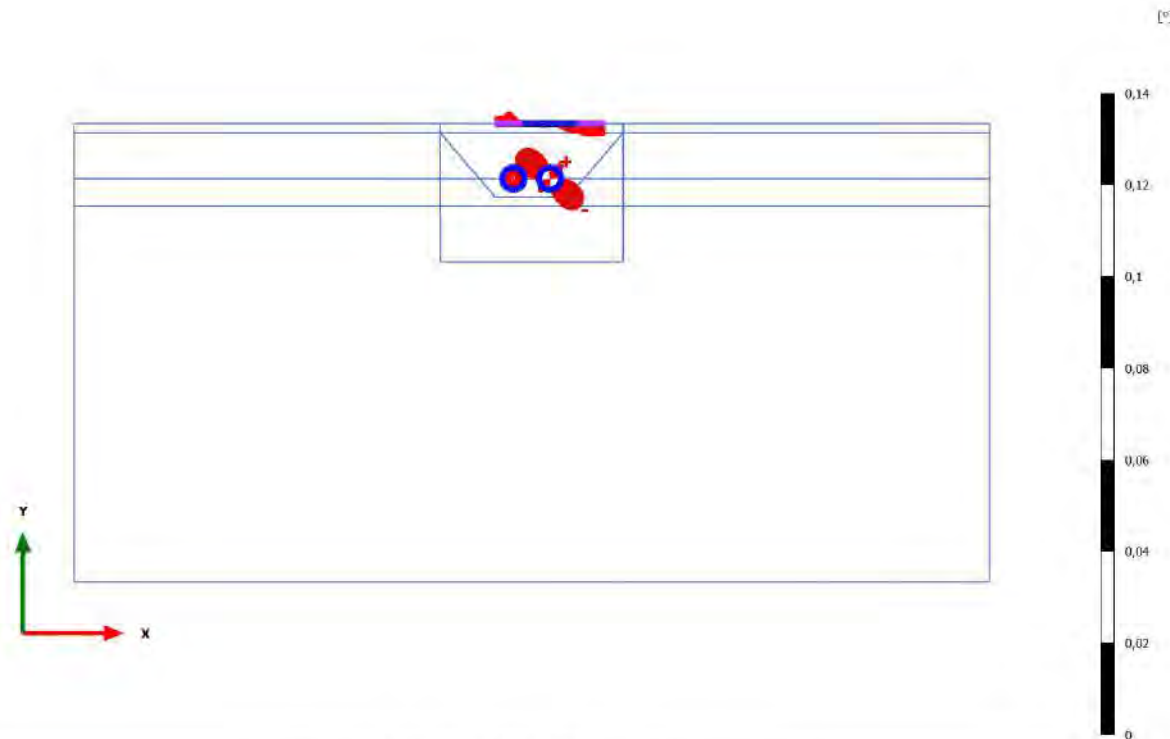
z



$\Delta\varphi_z$ (scaled up 100 times)
Maximum value = 0,02952 ° (Element 36 at Node 57964)
Minimum value = -0,02847 ° (Element 25 at Node 55216)

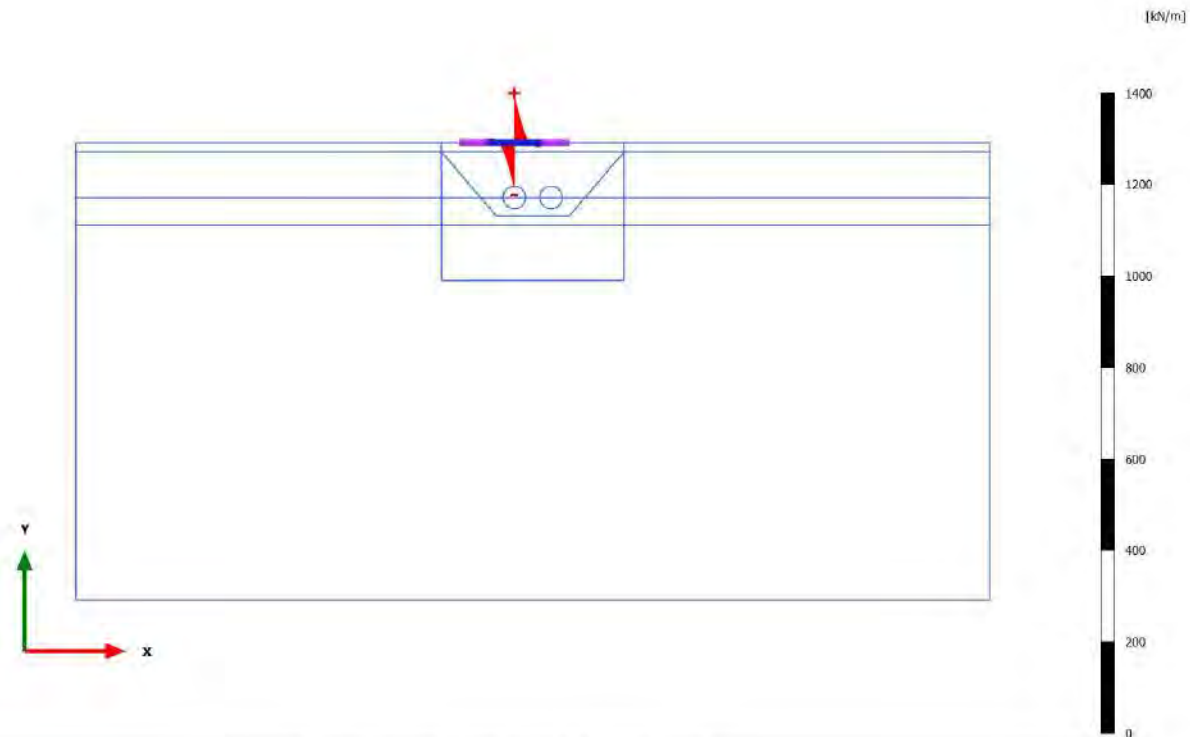
3.1.1.2.2.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33),

z



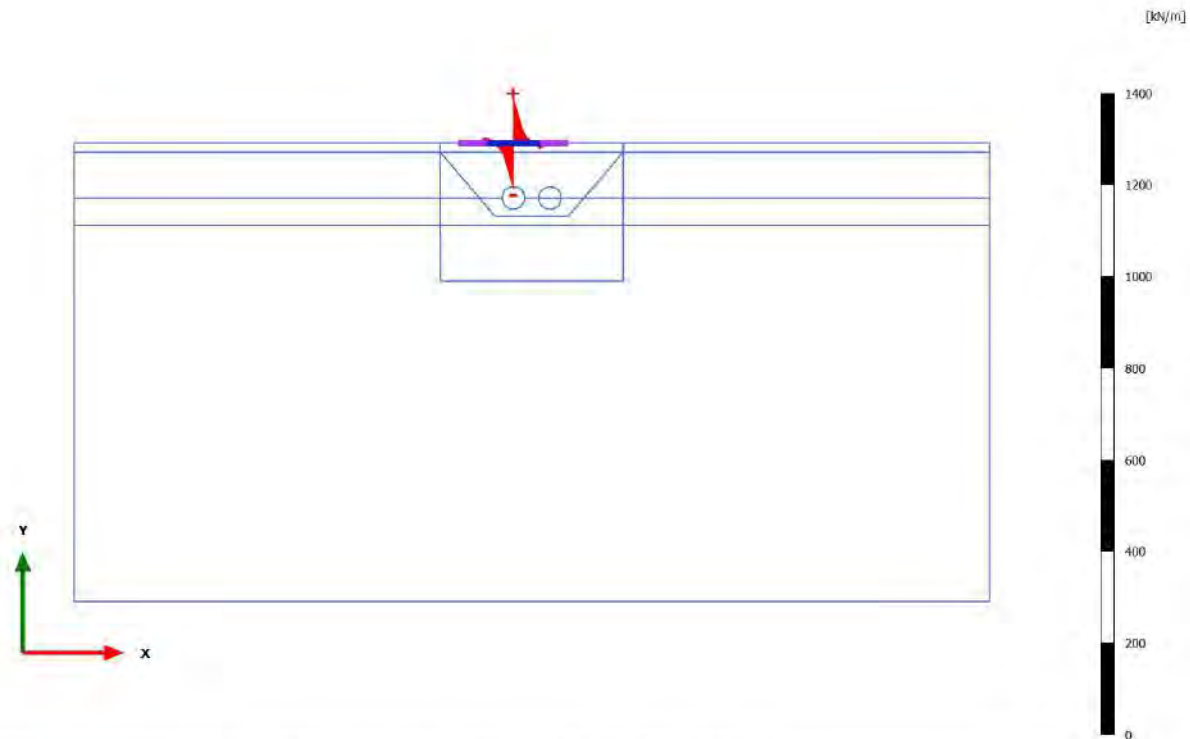
$\Delta\varphi_z$ (scaled up 500 times)
 Maximum value = $6,571 \cdot 10^{-3}$ ° (Element 88 at Node 37559)
 Minimum value = $-6,615 \cdot 10^{-3}$ ° (Element 94 at Node 38856)

3.1.2.1.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Shear forces Q



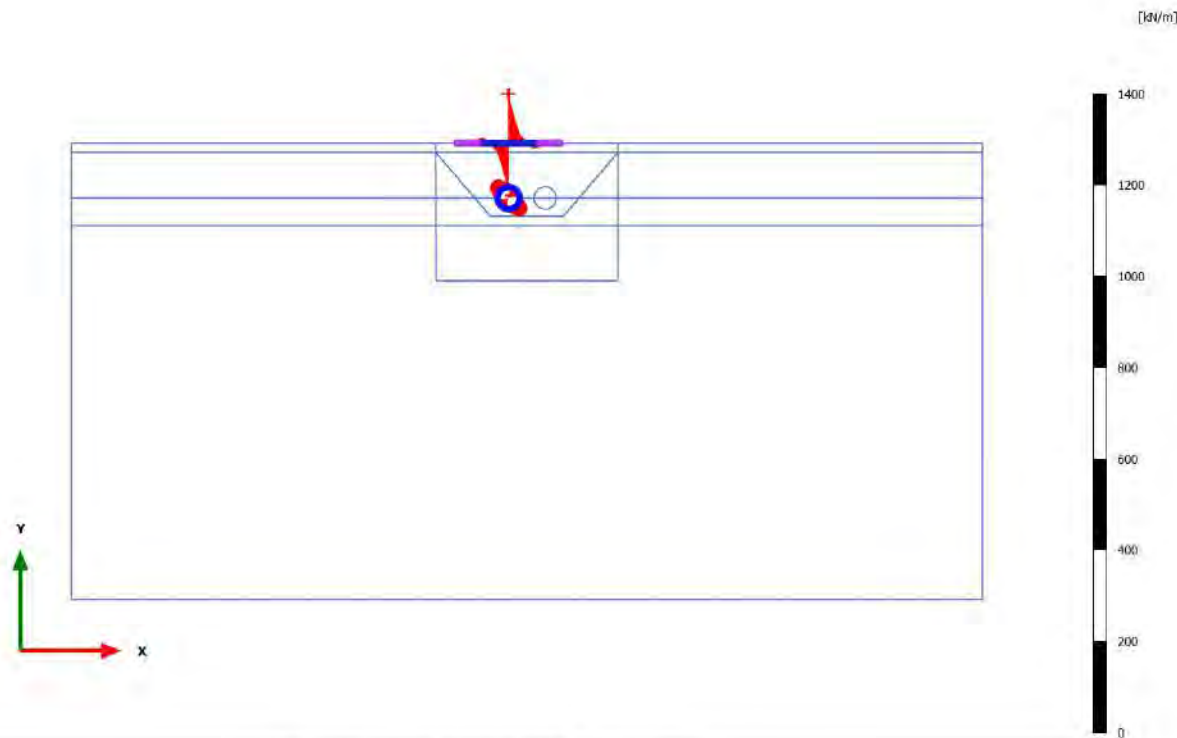
Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 99,96 kN/m (Element 19 at Node 49385)
Minimum value = -99,96 kN/m (Element 18 at Node 49385)

3.1.2.1.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Shear forces Q



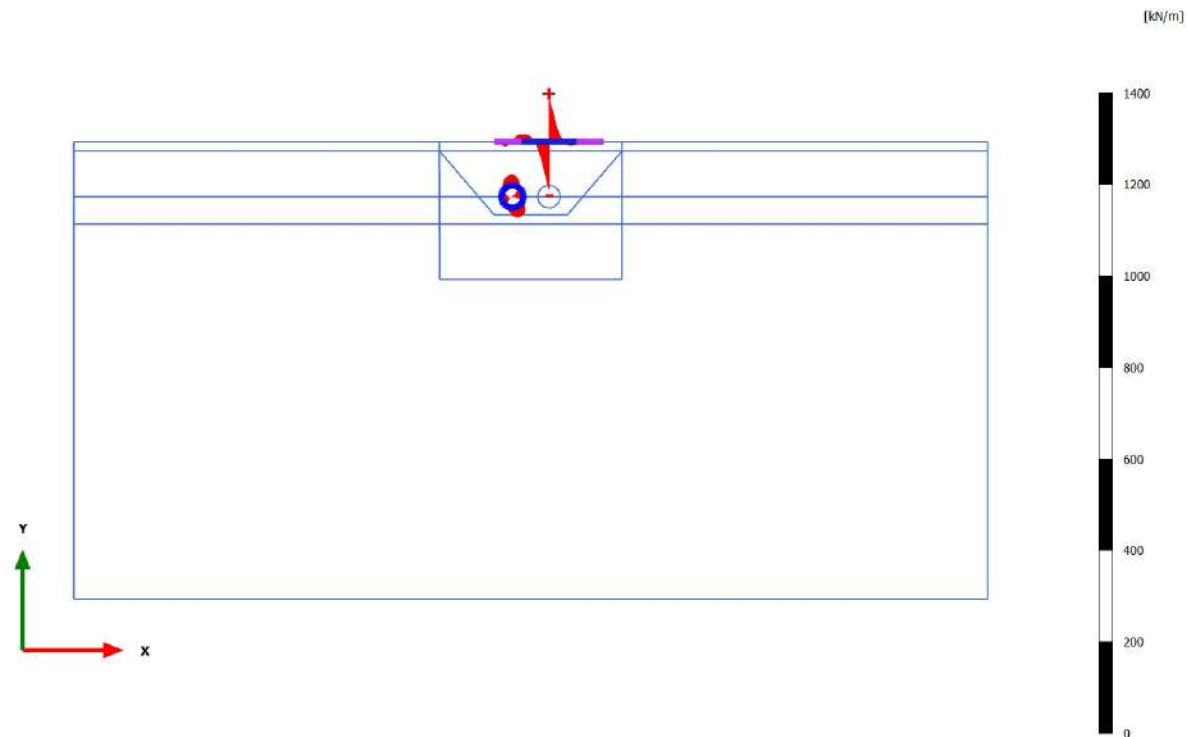
Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 99,89 kN/m (Element 19 at Node 49385)
Minimum value = -99,86 kN/m (Element 18 at Node 49385)

3.1.2.1.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Shear forces Q



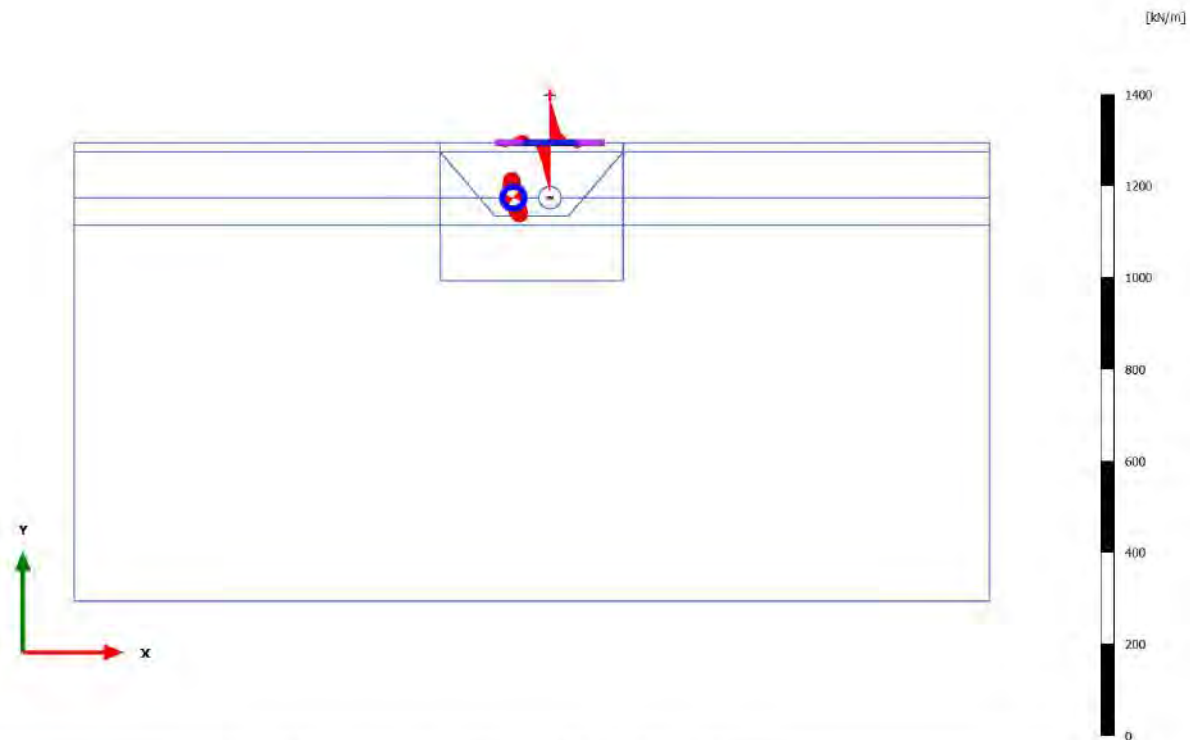
Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 99,89 kN/m (Element 19 at Node 49385)
Minimum value = -99,86 kN/m (Element 18 at Node 49385)

3.1.2.1.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Shear forces Q



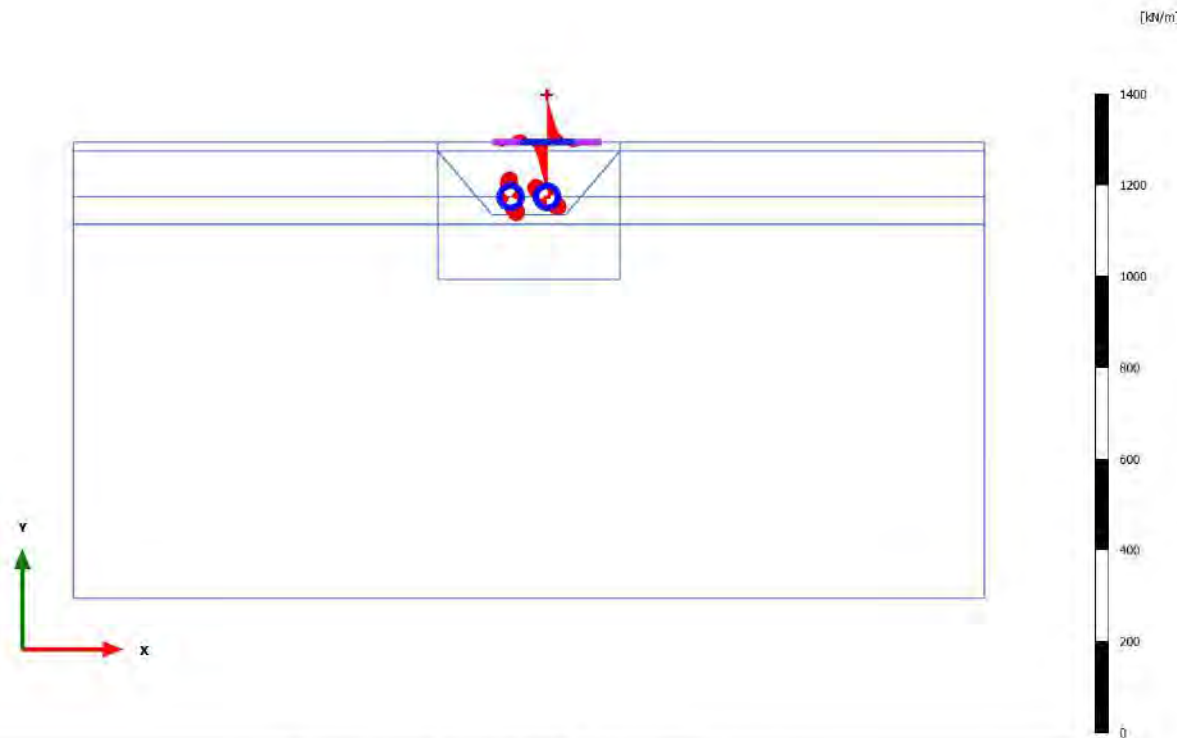
Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
 Maximum value = 95,85 kN/m (Element 31 at Node 59029)
 Minimum value = -104,0 kN/m (Element 30 at Node 59029)

3.1.2.1.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Shear forces Q



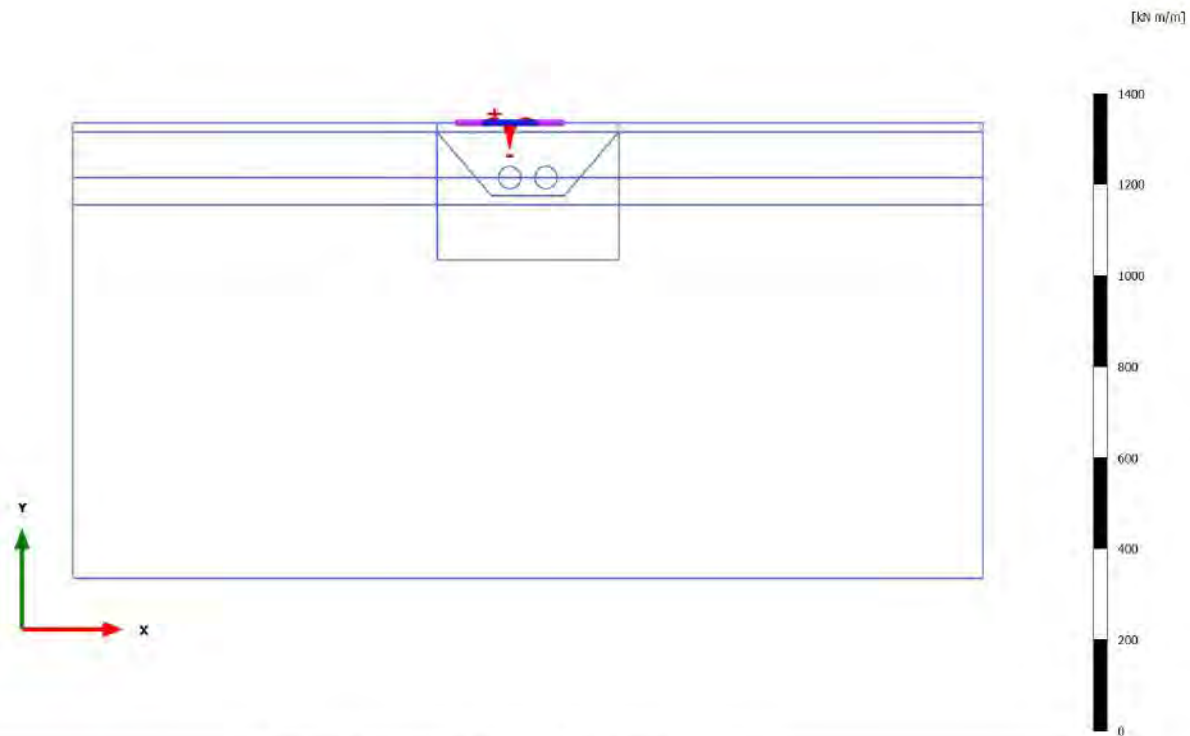
Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 94,35 kN/m (Element 31 at Node 59029)
Minimum value = -105,4 kN/m (Element 30 at Node 59029)

3.1.2.1.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 94,40 kN/m (Element 31 at Node 59029)
Minimum value = -105,4 kN/m (Element 30 at Node 59029)

3.1.2.2.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Bending moments M

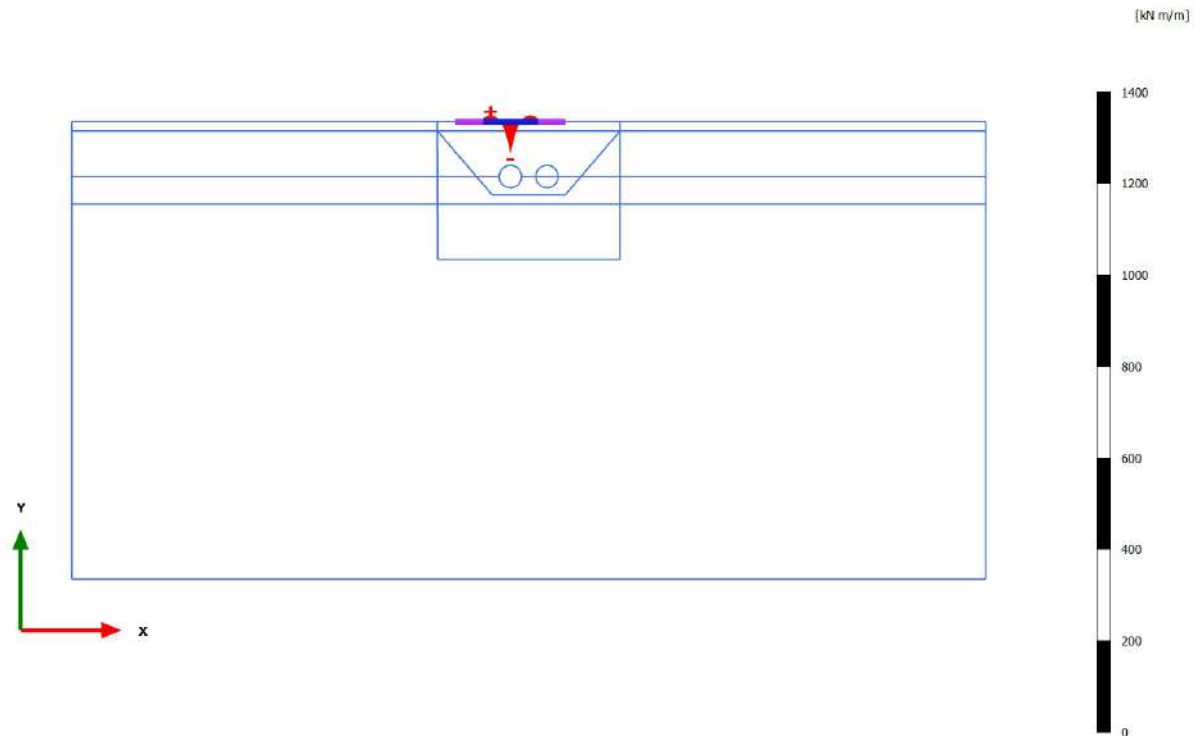


Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 11,97 kN m/m (Element 14 at Node 42088)

Minimum value = -58,65 kN m/m (Element 18 at Node 49385)

3.1.2.2.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Bending moments M

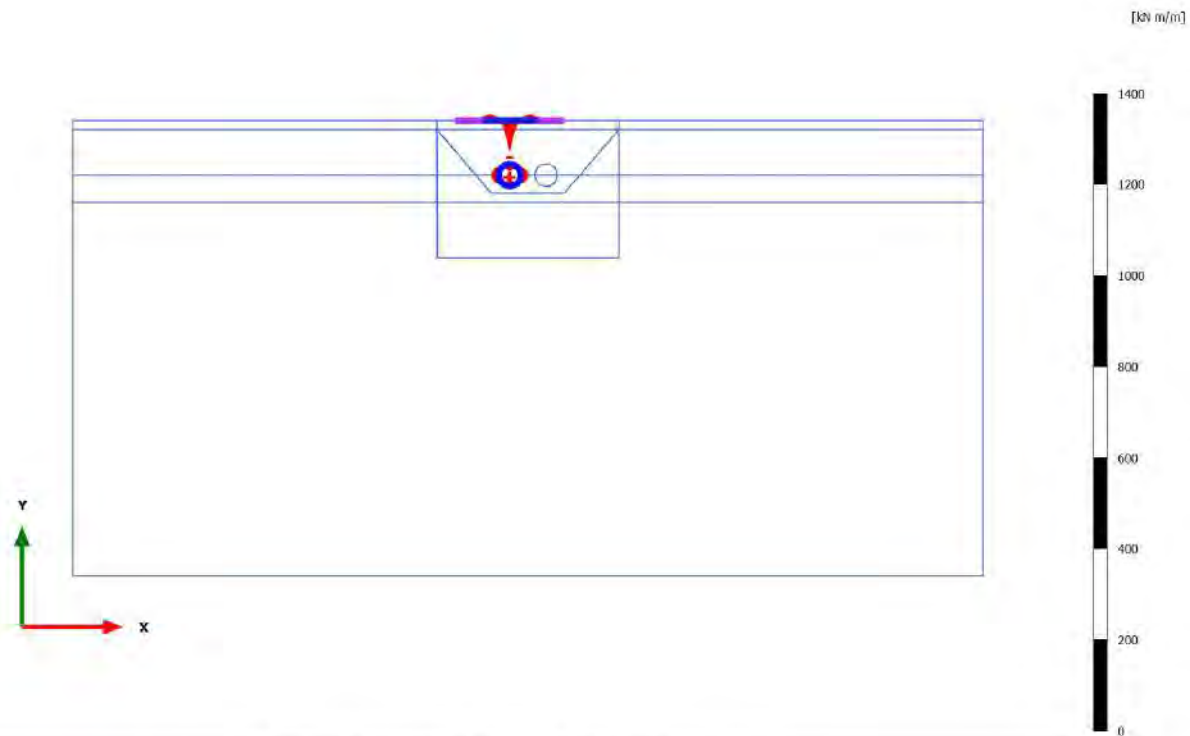


Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 12,74 kN m/m (Element 12 at Node 38480)

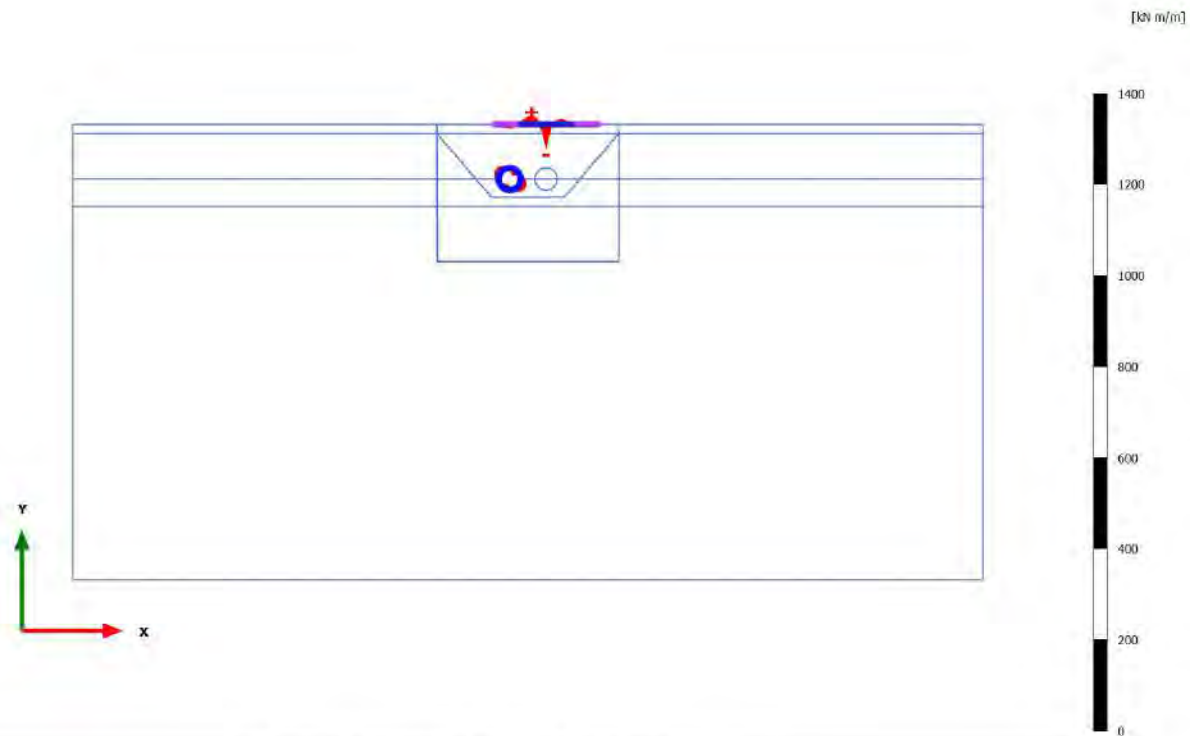
Minimum value = -67,70 kN m/m (Element 19 at Node 49385)

3.1.2.2.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 15,18 kN m/m (Element 60 at Node 35712)
Minimum value = -67,75 kN m/m (Element 18 at Node 49385)

3.1.2.2.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Bending moments M

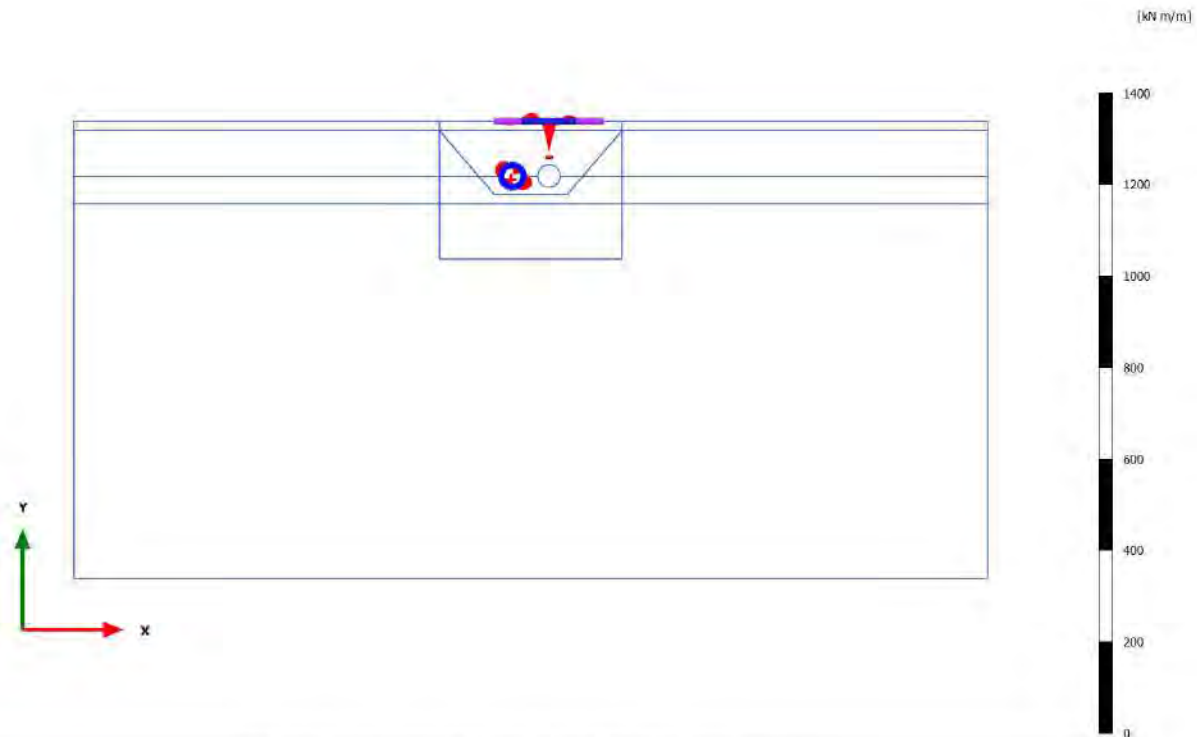


Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 18,49 kN m/m (Element 26 at Node 55976)

Minimum value = -53,24 kN m/m (Element 31 at Node 59029)

3.1.2.2.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Bending moments M

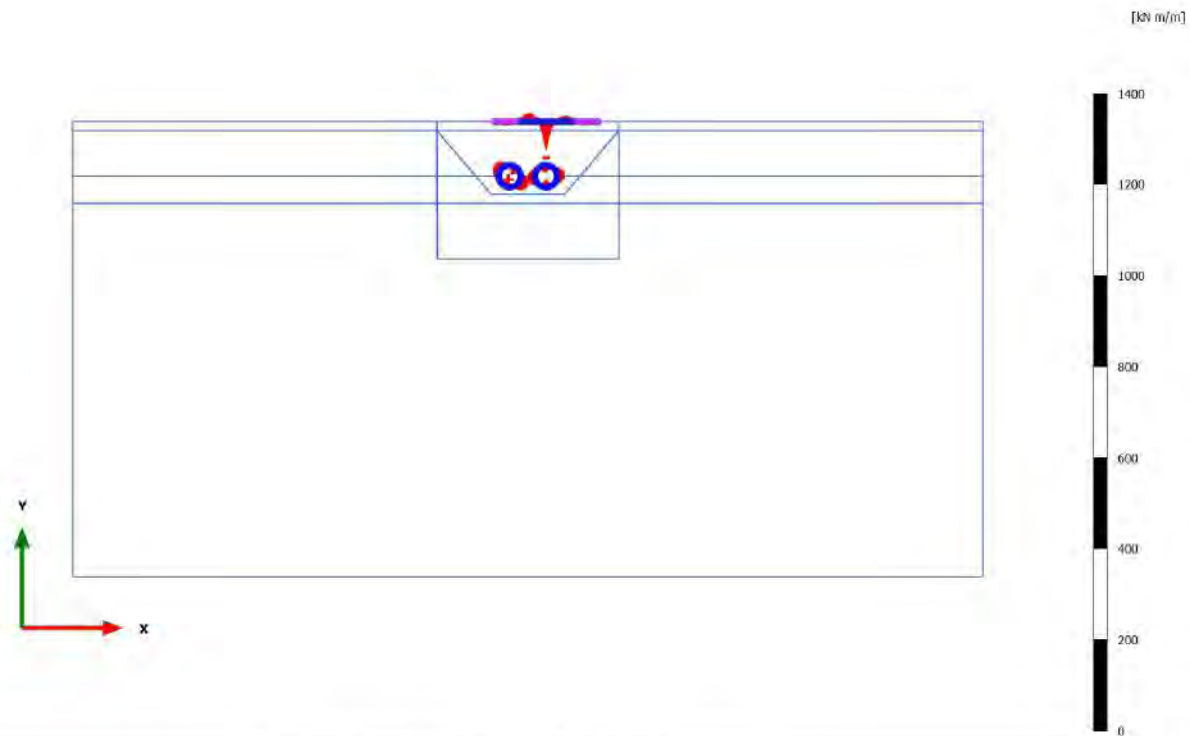


Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 20,18 kN m/m (Element 58 at Node 36291)

Minimum value = -63,90 kN m/m (Element 30 at Node 59029)

3.1.2.2.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Bending moments M

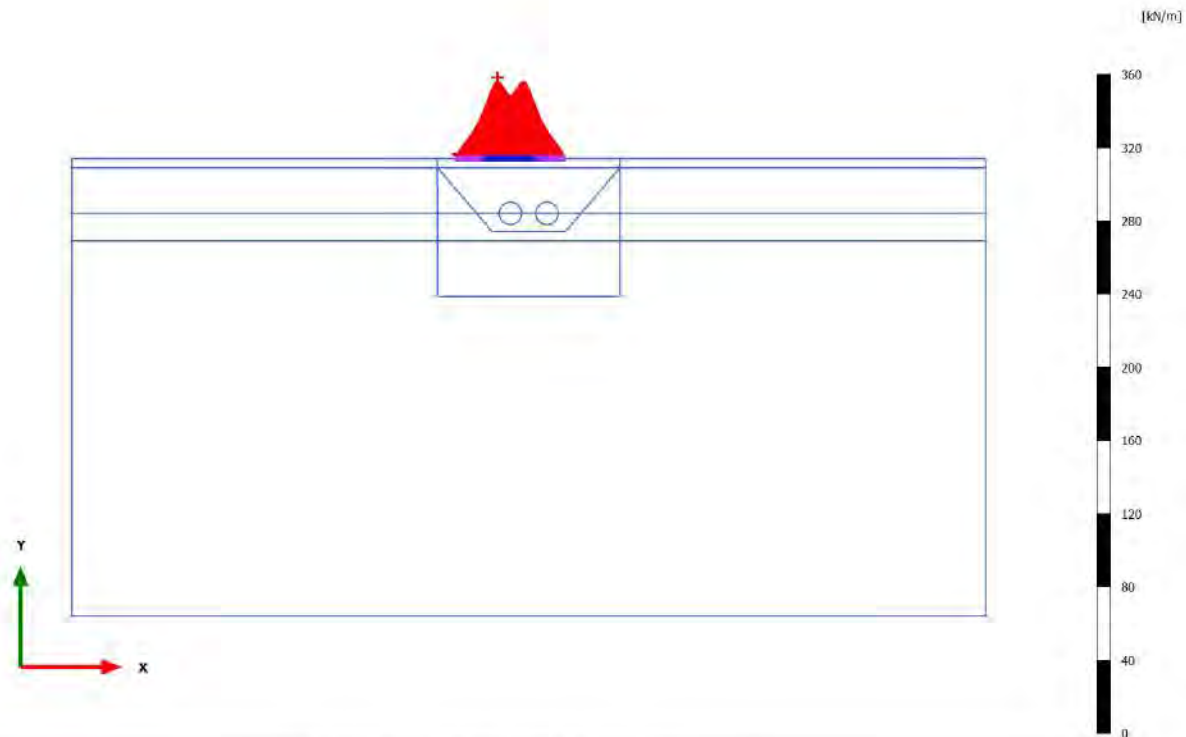


Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 19,48 kN m/m (Element 58 at Node 36291)

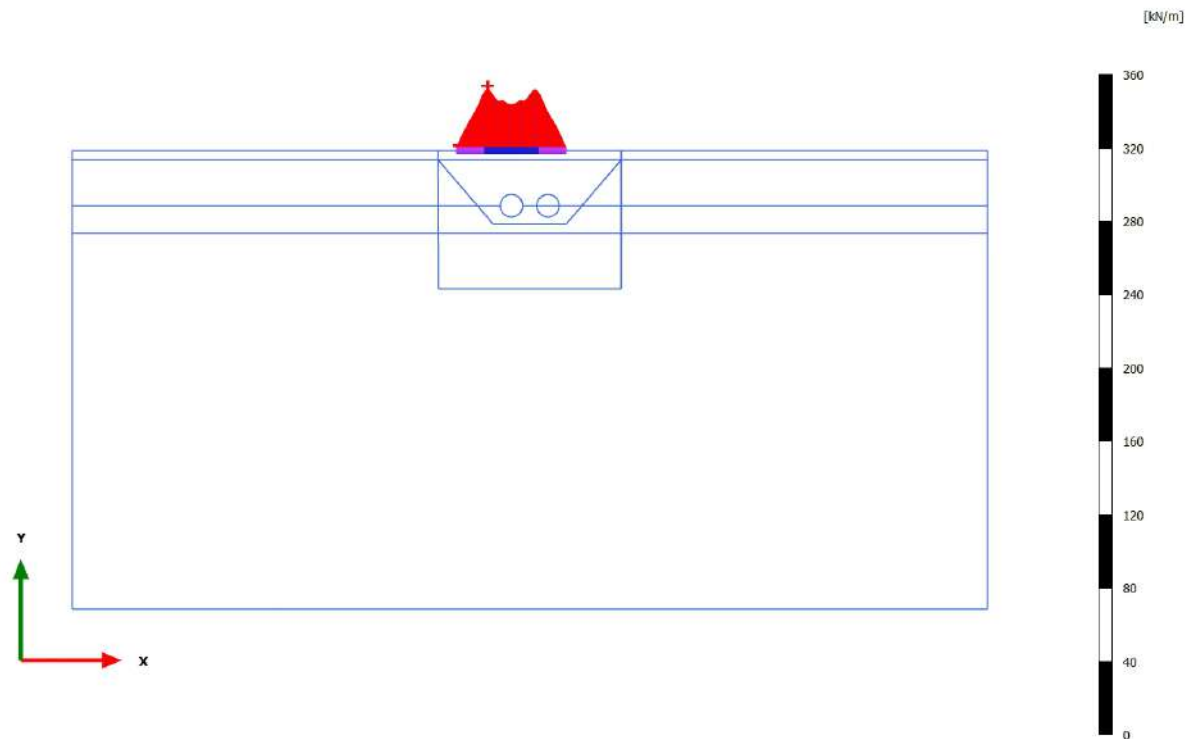
Minimum value = -63,89 kN m/m (Element 30 at Node 59029)

3.1.2.3.1 Calculation results, Plate, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Axial forces N



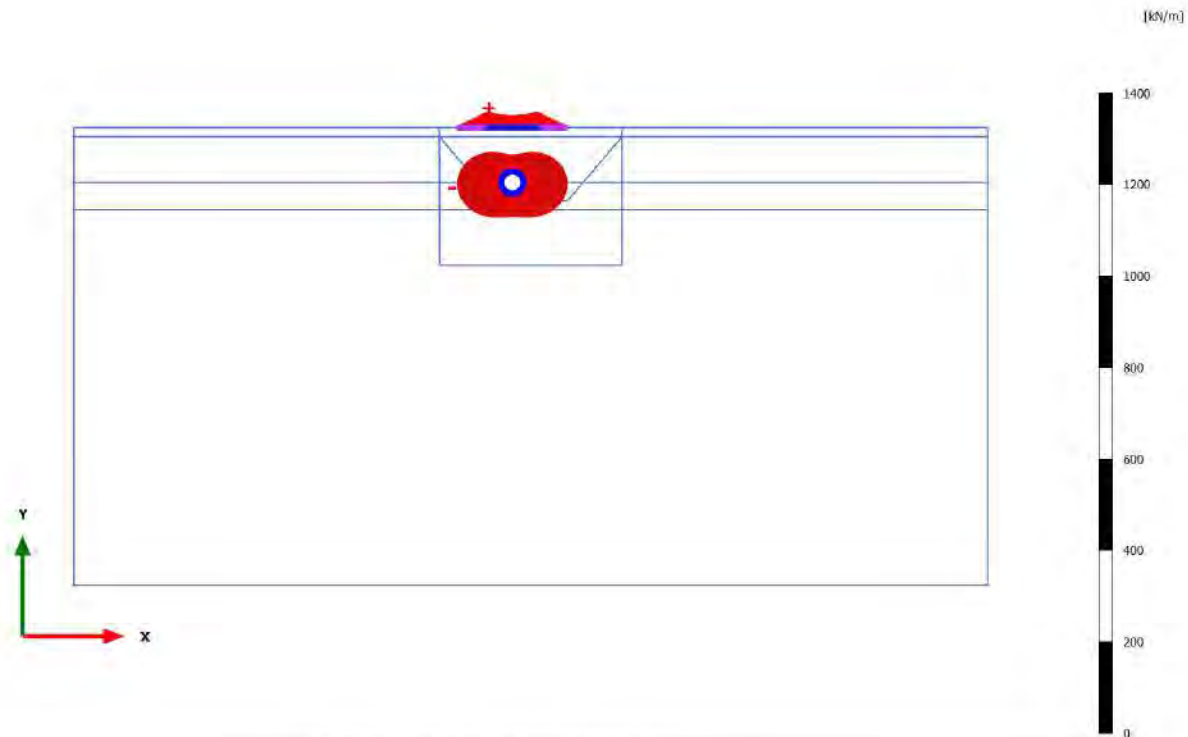
Axial forces N (scaled up 0,200 times)
Maximum value = 42,32 kN/m (Element 14 at Node 42091)
Minimum value = 0,2626 kN/m (Element 1 at Node 23698)

3.1.2.3.2 Calculation results, Plate, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Axial forces N



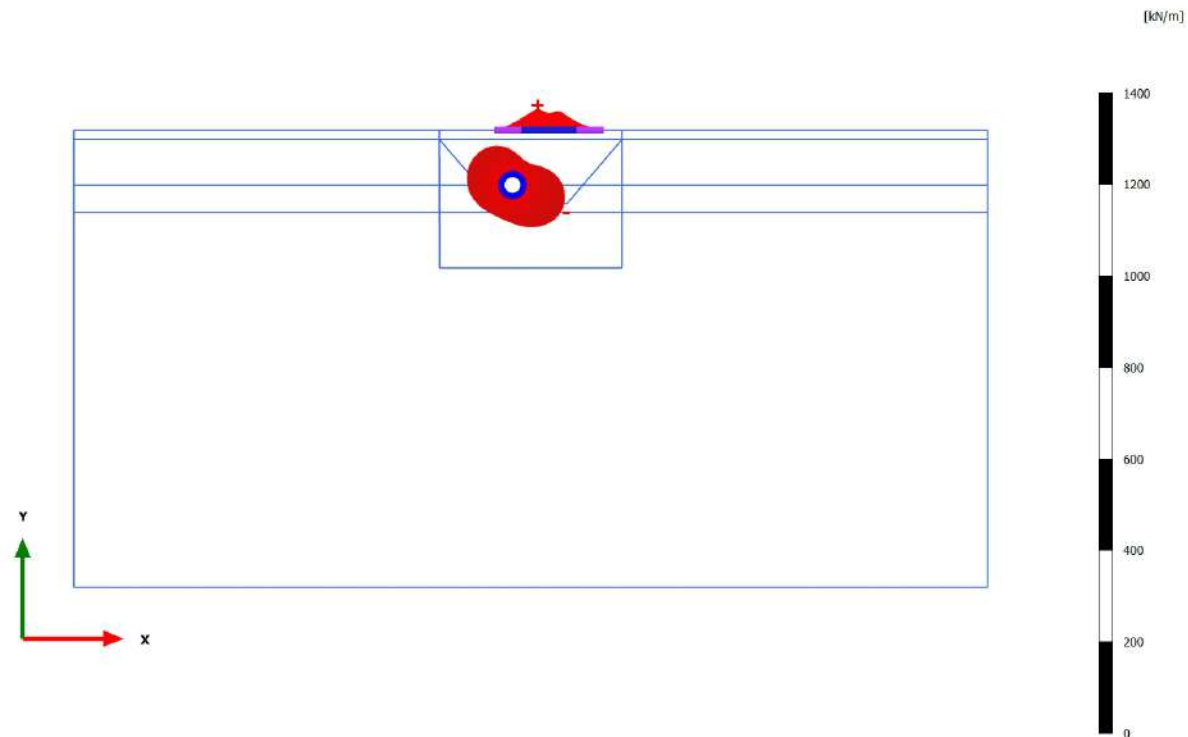
Axial forces N (scaled up 0,200 times)
Maximum value = 33,37 kN/m (Element 11 at Node 36683)
Minimum value = 0,5603 kN/m (Element 1 at Node 23698)

3.1.2.3.3 Calculation results, Plate, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Axial forces N



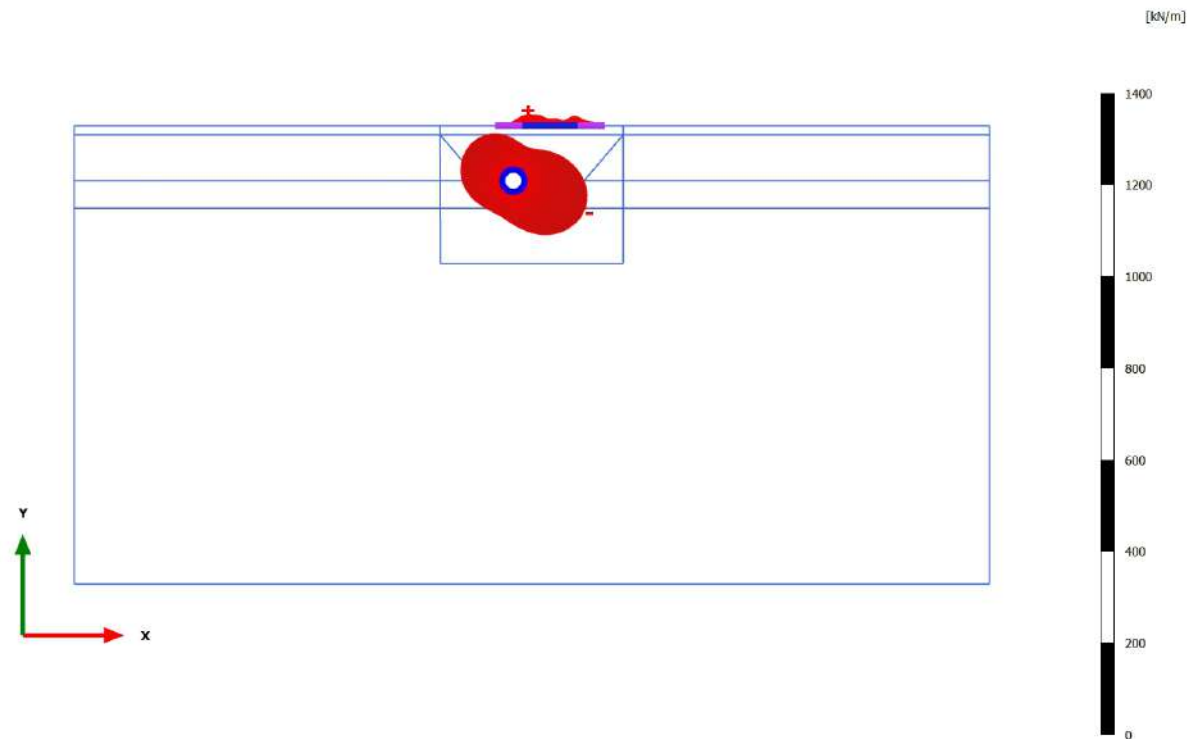
Axial forces N (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 34,28 kN/m (Element 11 at Node 36683)
Minimum value = -95,77 kN/m (Element 73 at Node 25908)

3.1.2.3.4 Calculation results, Plate, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Axial forces N



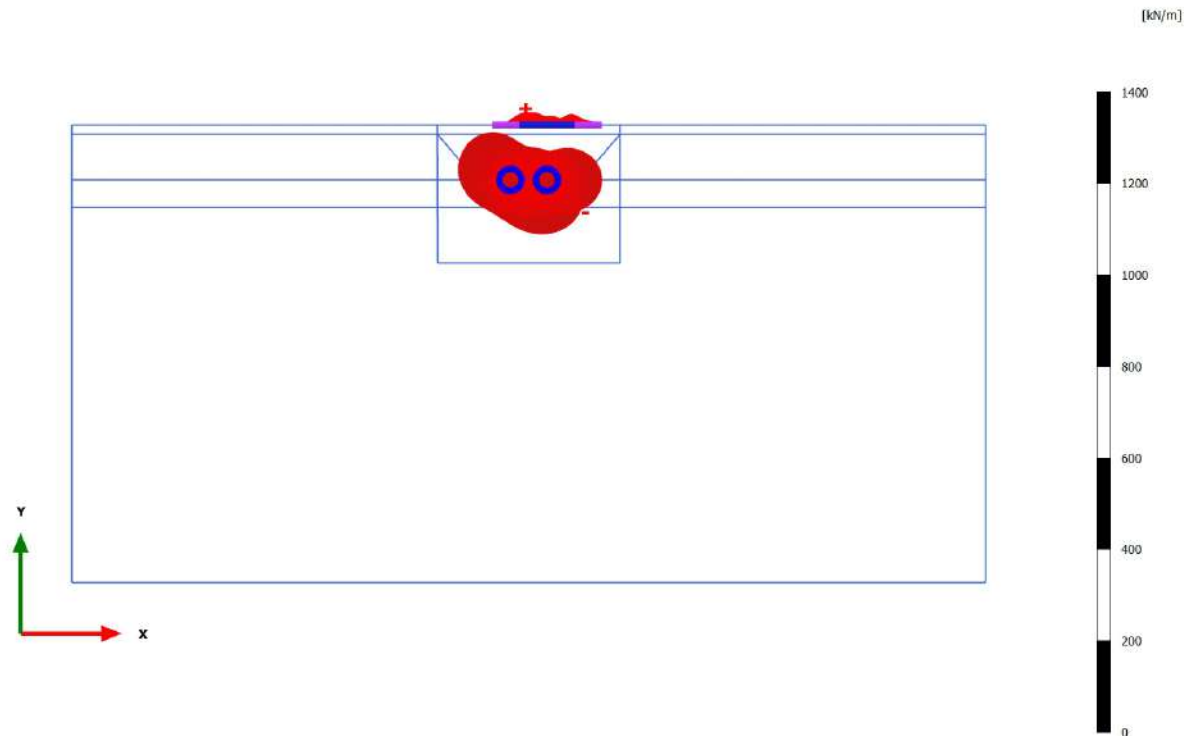
Axial forces N (scaled up 0,0500 times)
 Maximum value = 45,26 kN/m (Element 27 at Node 56664)
 Minimum value = -96,25 kN/m (Element 83 at Node 33109)

3.1.2.3.5 Calculation results, Plate, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Axial forces N



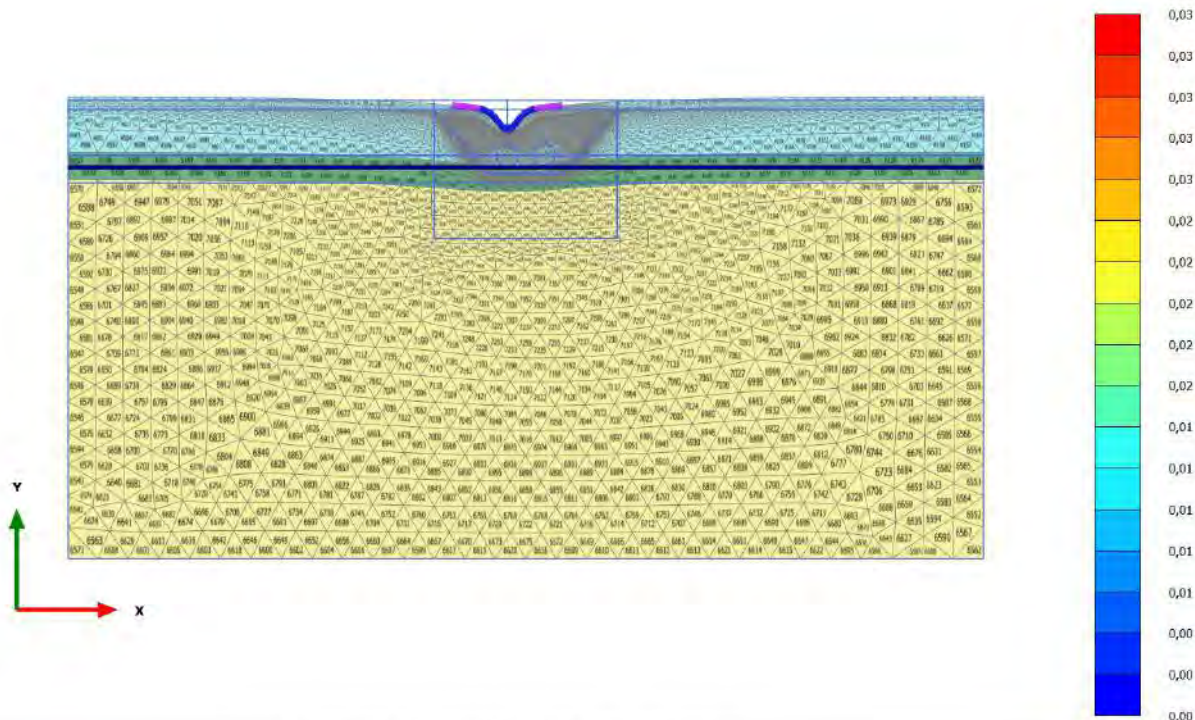
Axial forces N (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 24,51 kN/m (Element 24 at Node 54389)
Minimum value = -143,6 kN/m (Element 83 at Node 33110)

3.1.2.3.6 Calculation results, Plate, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 0,0500 times)
Maximum value = 27,37 kN/m (Element 24 at Node 54390)
Minimum value = -142,7 kN/m (Element 83 at Node 33110)

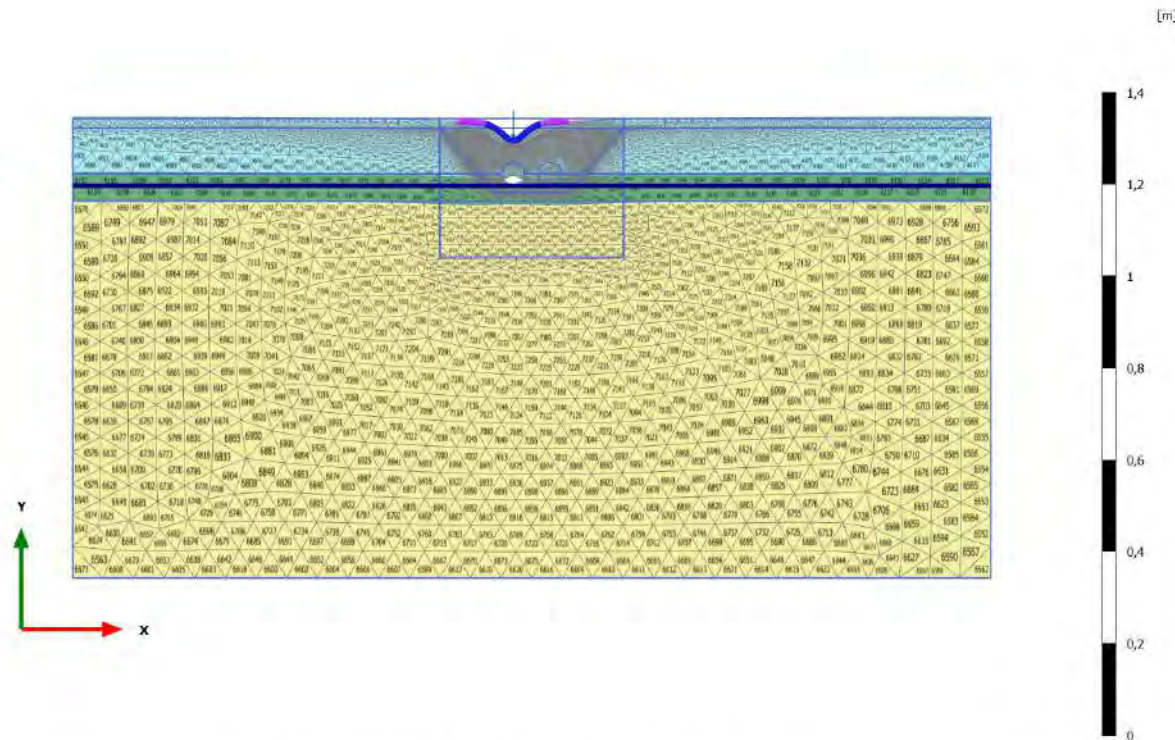
4.1.1 Calculation results, carico a PC_1 [Phase_1] (1/9), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 100 times)

Maximum value = 0,03307 m (Element 0 at Node 49385)

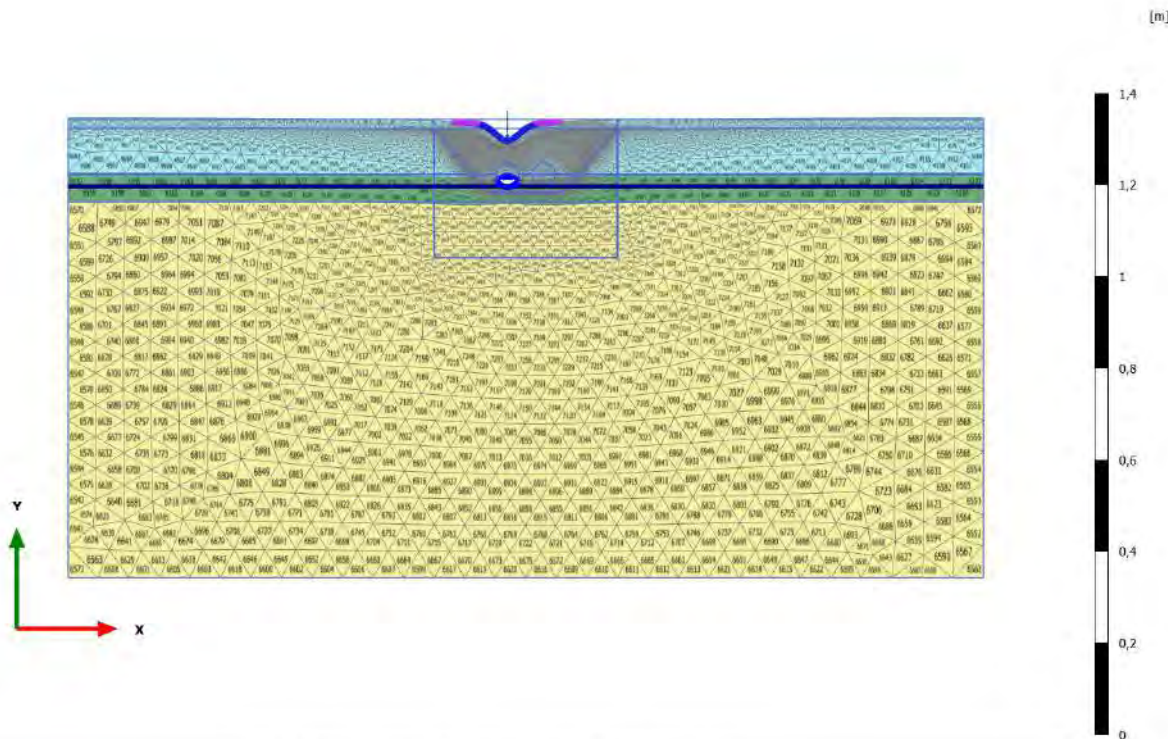
4.1.2 Calculation results, scavo 1 [Phase_3] (3/14), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,04865 m (Element 0 at Node 49385)

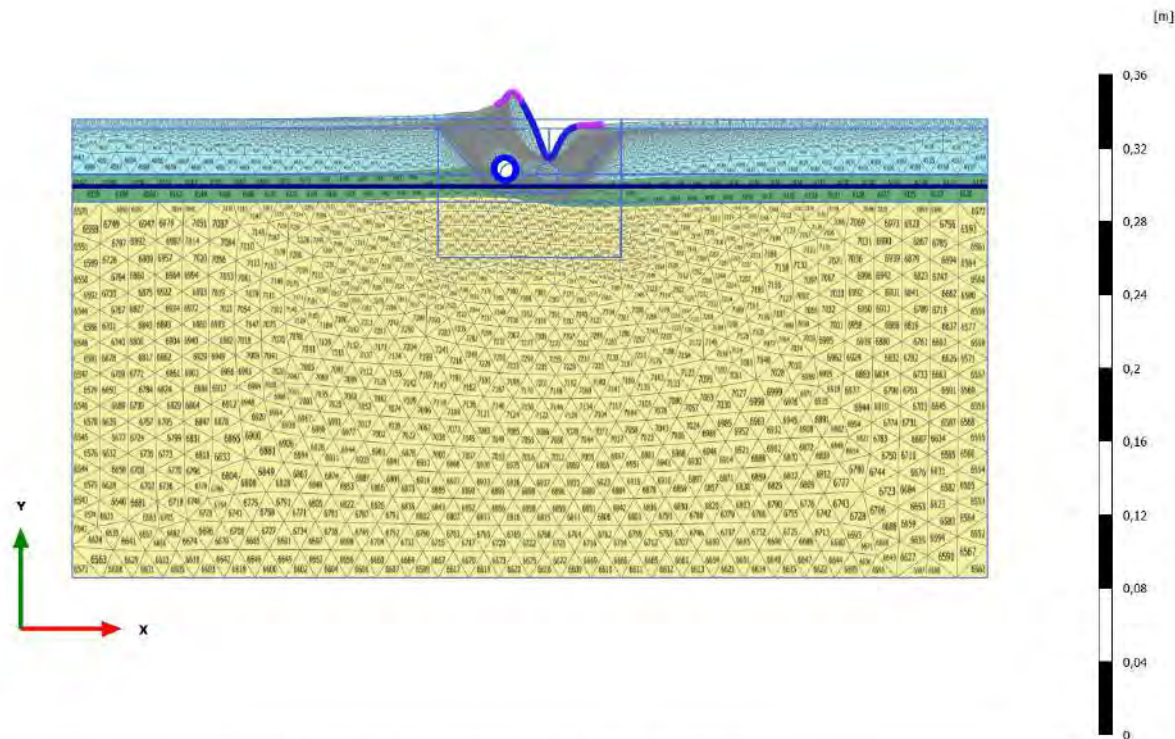
4.1.3 Calculation results, rivestimento 1 [Phase_4] (4/16), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,04842 m (Element 0 at Node 49385)

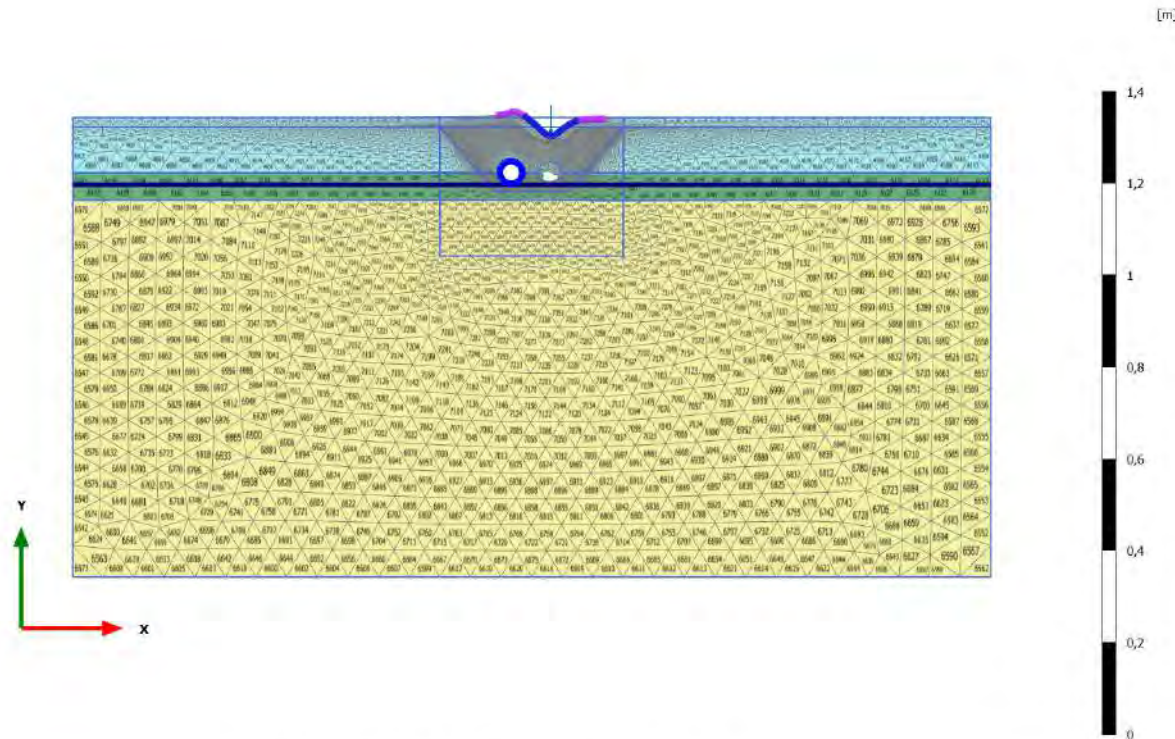
4.1.4 Calculation results, carico a PC_2 [Phase_2] (2/23), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 200 times)

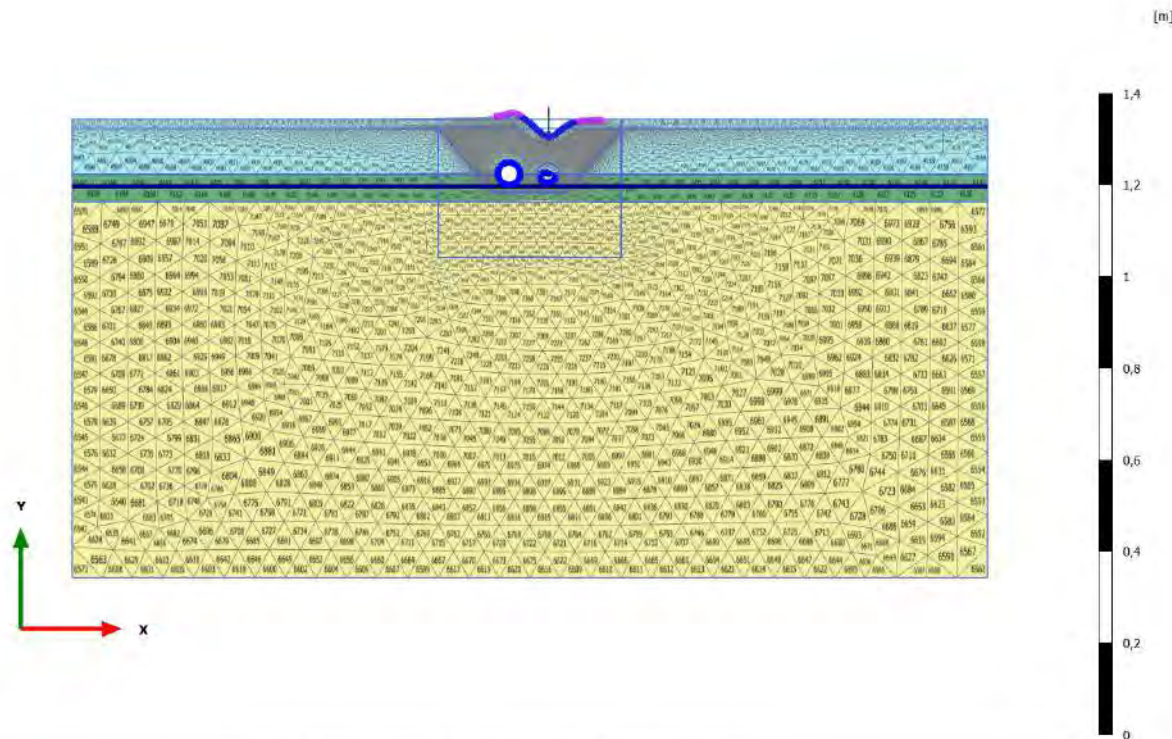
Maximum value = 0,02174 m (Element 0 at Node 59029)

4.1.5 Calculation results, scavo 2 [Phase_5] (5/31), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 50,0 times)
 Maximum value = 0,04049 m (Element 0 at Node 59029)

4.1.6 Calculation results, rivestimento 2 [Phase_6] (6/33), Deformed mesh |u|



Deformed mesh |u| (scaled up 50,0 times)

Maximum value = 0,03958 m (Element 0 at Node 59029)

COMUNE DI ROMA MUNICIPIO XII (PROVINCIA DI ROMA)



**“REPORT SU ESECUZIONE DI SONDAGGI DI VERIFICA
COMPREDENTI IL PRELIEVO DI CAMPIONI E CERTIFICATI DI
LABORATORIO. IL TUTTO ESEGUITO TRA VIA CARLO LEVI E
VIA CRISTOFORO COLOMBO A ROMA (RM)”**

Committente: I.GE.CO S.r.l.

Pomezia, 10 Marzo 2026

Il Geologo
Dott. Marco Conforti

INDICE

1. <i>Premessa</i>	3
2. <i>Proprietà fisico-meccanica dei terreni</i>	3
3. <i>Conclusioni</i>	4
4. <i>Allegati</i>	5
<i>Ubicazione delle indagini eseguite</i>	<i>All.1</i>
<i>Certificati di laboratorio geotecnico</i>	<i>All.2</i>
<i>Documentazione fotografica</i>	<i>All.3</i>

1. PREMESSA

Il presente report riferisce sulle attività commissionate dalla I.GE.CO. S.r.l., svolte a Roma Eur tra via Carlo Levi e via Cristoforo Colombo, (per ubicazione vedere allegato 1).

Lo scopo del lavoro è quello di ottenere specifici parametri geotecnici su campioni di terreno prelevati, come richiesto dalla Committenza-Ingegnere Progettista Ing. Giacomo Ferrillo, nell'ambito del progetto: Lavori di sistemazione idraulica del Fosso dell'Acqua Acetosa a monte di Via C.Colombo CIG:B1E66A637B-CUP:F81J21000020001.

Per far ciò, mediante l'utilizzo della trivella Geomarc GM 600C della Geocompany S.r.l. e con l'ausilio di un miniescavatore sono state eseguite le seguenti attività:

- Perforazione mediante trivella, fino a 2.50m di carotaggio (S1), lato via Cristoforo Colombo, in prossimità del piezometro esistente.

In questo foro sono stati prelevati n.2 campioni:

S1C1 tra 1.50 e 2.00m

S1C2 tra 2.50 e 3.00m

- Perforazione mediante trivella, fino a 5.50m di carotaggio (S2), lato via Carlo Levi.

In questo foro è stato prelevato n.1 campione:

S2C1 tra 5.50 e 6.00m

- Infissione della fustella in acciaio sulla parete (PARETE 0-25cm) dello scavo (lato via Carlo Levi). L'operazione è avvenuta con l'ausilio di un escavatore che con la benna ha spinto a pressione la fustella all'interno dei depositi affioranti.

I prelievi su citati sono avvenuti nella mattina del 04 Marzo 2026, in presenza dei tecnici della I.GE.CO S.r.l.. Gli stessi hanno favorito il supporto per l'approntamento cantiere nei tre punti d'indagine ed hanno richiesto di non produrre le stratigrafie.

Una volta prelevati i campioni (tutti con fustelle in acciaio), nella stessa mattinata, sono stati siglati e portati in laboratorio geotecnico (Sogea S.r.l.), che li ha sottoposti a:

- Apertura, contenuto in acqua, peso di volume, granulometria per sedimentazione, prova di taglio diretto e prova ELL (espansione laterale libera).

2. PROPRIETA' FISICO-MECCANICA DEI TERRENI

Le caratteristiche fisico-meccaniche vengono riassunte in tabella 1 e riportate analiticamente in allegato 2.

Sigla Campione	Profondità (m)	Angolo d'attrito Φ' (°)	Coesione C' (kPa)	Coesione C_u ($R_c/2$) = C_u (kPa)	Peso di Volume (kN/m^3)	Granulometria
Campione 1 S1C1	1.50 – 2.00	34.4	0.0	38	18.7	Sabbia limosa debolmente argillosa
Campione 2 S1C2	2.50 – 3.00	33.4	7.6	19	17.2	Sabbioso debolmente limoso ghiaioso argilloso
Campione 1 S2C1	5.50 - 6.00	29.7	16.9	131	19.1	Piroclastite sabbioso limosa debolmente argillosa
PARETE PAR	0.00 - 0.25	33.8	18.9	67	17.6	Piroclastite limoso sabbiosa argillosa

TABELLA 1 – Principali parametri fisico-meccanici dei terreni del sito in esame

3. CONCLUSIONI

Il presente report riferisce sulle attività svolte presso il cantiere compreso tra via Carlo Levi e via Cristoforo Colombo, nel Comune di Roma, nell'ambito dei lavori di sistemazione idraulica del Fosso dell'Acqua Acetosa a monte di Via C.Colombo CIG:B1E66A637B-CUP:F81J21000020001.

Su richiesta della Committenza-Ingegnere Progettista sono stati eseguiti n.2 sondaggi a carotaggio che hanno consentito di prelevare n.3 campioni indisturbati, successivamente sottoposti a specifiche prove di laboratorio. Un quarto campione è stato prelevato a parete, nella porzione più depressa del cantiere (lato via Carlo Levi).

Lo studio condotto ha consentito di estrapolare i principali parametri fisico meccanico dei terreni che saranno interessati dalla perforazione orizzontale per la realizzazione di una condotta idraulica.

Il laboratorio Sogea S.r.l., ha fornito i certificati, riportati integralmente in allegato 2. Da queste analisi geotecniche è stato possibile acquisire informazioni sulle granulometrie dei litotipi, sul peso di volume, contenuto in acqua. Le prove meccaniche hanno fornito indicazioni sull'angolo d'attrito e sulla coesione in condizioni drenate (Φ' (°), C' (kPa)), oltre a ricavare i valori di rottura a compressione tramite la prova ELL (espansione laterale libera). Il valore di coesione non drenata è stato stimato in tabella 2 considerando che la $C_u=R_c/2$. La committenza non ha richiesto la redazione delle stratigrafie.

Pomezia, 10 Marzo 2026

Il Geologo
Dott. Marco Conforti

4. ALLEGATI

UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE



Ubicazione: Tra via Carlo Levi e via Cristoforo Colombo – Comune di Roma (Rm)

CERTIFICATI DI LABORATORIO GEOTECNICO

COMMITTENTE: IGECO srl

RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma

SONDAGGIO: S1

CAMPIONE: C1

PROFONDITA': m 1.50-2.00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	24,8	%
Peso di volume	18,7	kN/m ³
Peso di volume secco	15,0	kN/m ³
Peso di volume saturo	18,8	kN/m ³
Peso specifico	2,47	
Indice dei vuoti	0,616	
Porosità	38,1	%
Grado di saturazione	99,7	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	2,9	%
Sabbia	55,0	%
Limo	29,1	%
Argilla	13,0	%
D 10		mm
D 50	0,115045	mm
D 60	0,174367	mm
D 90	1,040248	mm
Passante set. 10	94,4	%
Passante set. 42	78,8	%
Passante set. 200	42,1	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k cm/sec

COMPRESSIONE

σ	75	kPa	σ_{Rim}	kPa
c_u	38	kPa	c_u Rim	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	0,0	kPa	ϕ' 34,4 °
c'_{Res}		kPa	ϕ'_{Res} °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone ($R_p = 120-140$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01375 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 05/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 05/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 1.50-2.00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 24,8 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone (R_p = 120-140 kPa).

1
46022

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01374 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 05/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 05/03/26	Fine analisi: 05/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 1.50-2.00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 18,7 kN/m³

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone (Rp = 120-140 kPa).

1
46022

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01373 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 05/03/26	Fine analisi: 09/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: C1 PROFONDITA': m 1.50-2.00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,47**

γ_{sc} = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,47**

Metodo: A B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,9 °C

Disaerazione eseguita per bollitura

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone ($R_p = 120-140$ kPa).

1
46022

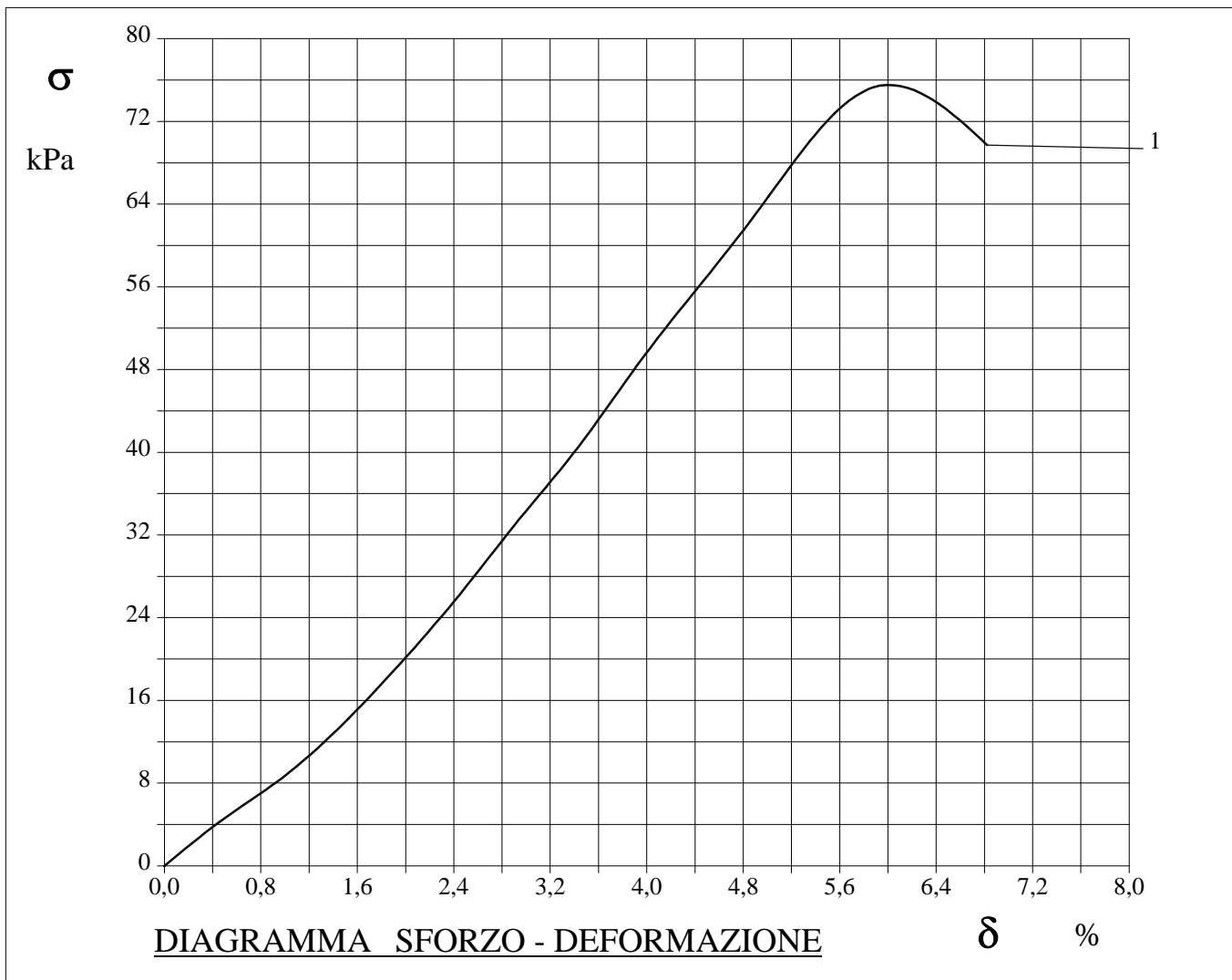
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01371	Pagina 1/3	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 05/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 05/03/26	Fine analisi: 05/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.50-2.00

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	-----	-----
Velocità di deformazione (mm/min):	0,950	-----	-----
Peso di volume (kN/m³):	18,7	-----	-----
Deformazione a rottura (%):	5,88	-----	-----
Sforzo a rottura (kPa):	75,3	-----	-----



Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone (Rp = 120-140 kPa).

1
46022

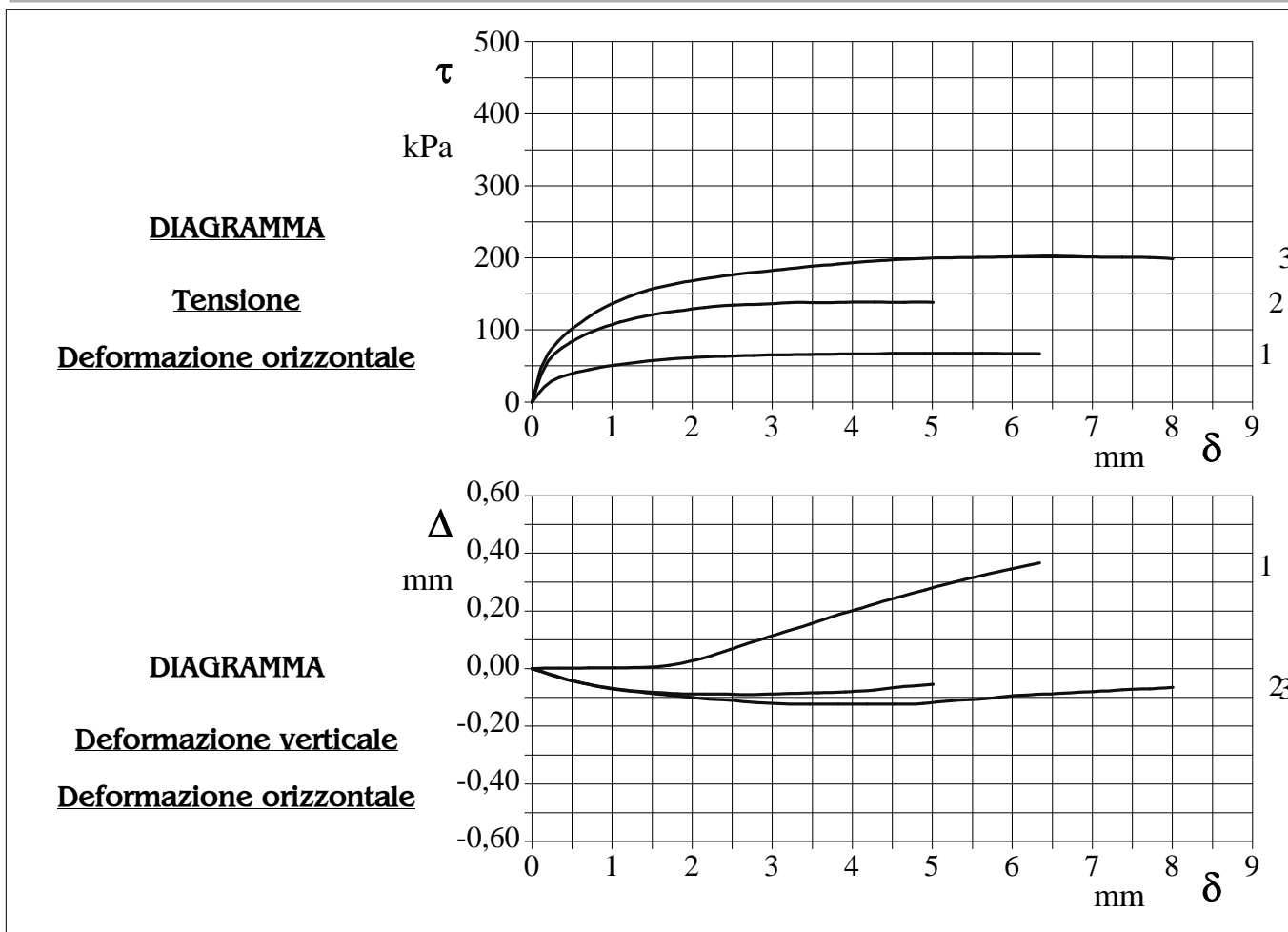
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01370	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 05/03/26	Fine analisi: 10/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.50-2.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Ricostituito	Ricostituito	Ricostituito
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	27,8 24,1	25,3 25,8	21,3 21,7
Peso di volume (kN/m³):	18,6	18,5	19,1
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,002 mm / min	



Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone ($R_p = 120-140$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01370	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 05/03/26	Fine analisi: 10/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	1.50-2.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,584
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	13,7
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,036

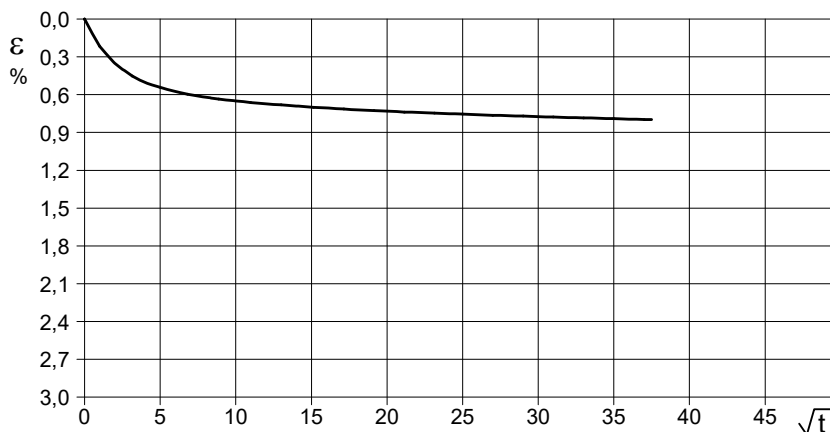


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,563
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	12,6
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,040

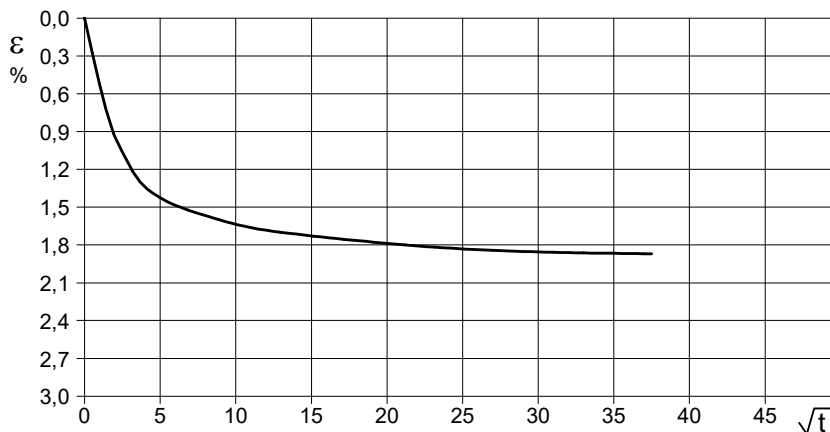
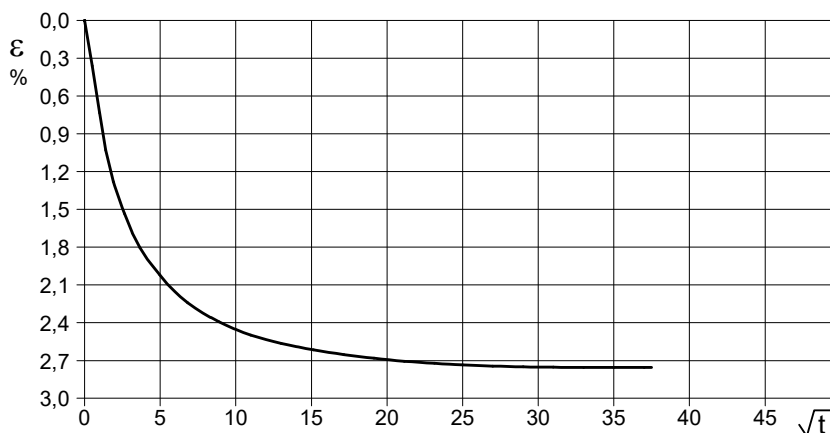


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,545
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	14,0
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,036



1
46022

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: S1 CAMPIONE: C2 PROFONDITA': m 2.50-3.00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	42,7	%
Peso di volume	17,2	kN/m ³
Peso di volume secco	12,0	kN/m ³
Peso di volume saturo	17,2	kN/m ³
Peso specifico	2,60	
Indice dei vuoti	1,119	
Porosità	52,8	%
Grado di saturazione	99,2	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	7,2	%
Sabbia	71,9	%
Limo	15,8	%
Argilla	5,1	%
D 10	0,014715	mm
D 50	0,378311	mm
D 60	0,570593	mm
D 90	3,448135	mm
Passante set. 10	85,2	%
Passante set. 42	52,2	%
Passante set. 200	20,9	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	38	kPa	σ_{Rim}	kPa
c_u	19	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	7,6	kPa	ϕ' 33,4 °
c'_{Res}		kPa	ϕ'_{Res} °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Materiale di riporto di natura piroclastica a granulometria sabbiosa, debolmente limoso ghiaioso argilloso, di colore marrone ($R_p = 150-170$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01369 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 07/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 2.50-3.00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 42,7 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Materiale di riporto di natura piroclastica a granulometria sabbiosa, debolmente limoso ghiaioso argillosa, di colore marrone (R_p = 150-170 kPa).

2
46023

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01368 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 2.50-3.00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 17,2 kN/m³

Materiale di riporto di natura piroclastica a granulometria sabbiosa, debolmente limoso ghiaioso argillosa, di colore marrone (Rp = 150-170 kPa).

2
46023

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01367 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 09/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m 2.50-3.00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,60**

γ_{sc} = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,60**

Metodo: A B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 21,4 °C

Disaerazione eseguita per bollitura

Materiale di riporto di natura piroclastica a granulometria sabbiosa, debolmente limoso ghiaioso argillosa, di colore marrone (Rp = 150-170 kPa).

2
46023

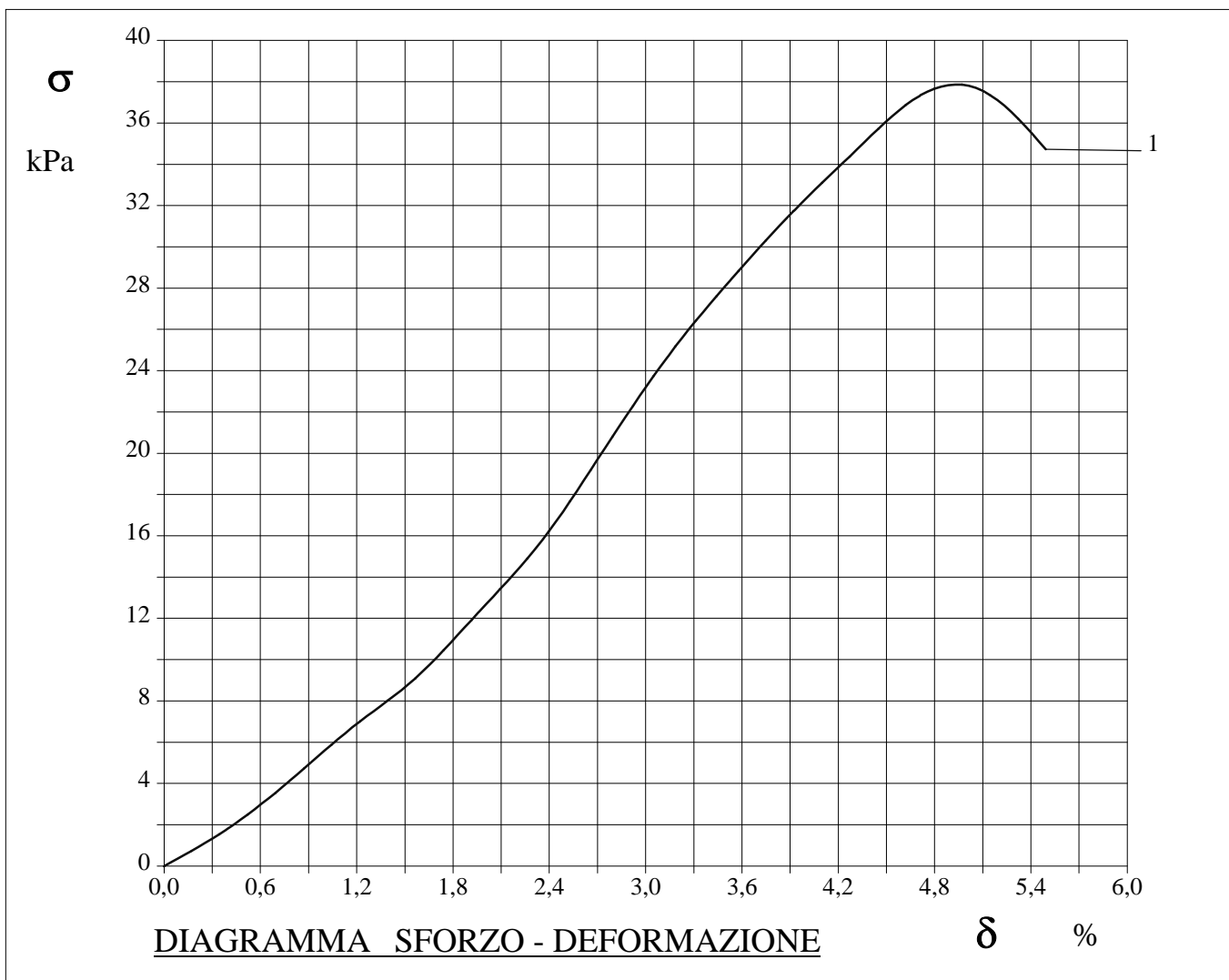
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01365	Pagina 1/3	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	2.50-3.00

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	-----	-----
Velocità di deformazione (mm/min):	0,950	-----	-----
Peso di volume (kN/m³):	17,0	-----	-----
Deformazione a rottura (%):	5,11	-----	-----
Sforzo a rottura (kPa):	37,5	-----	-----



Materiale di riporto di natura piroclastica a granulometria sabbiosa, debolmente limoso ghiaioso argillosa, di colore marrone (Rp = 150-170 kPa).

2
46023

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01364	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 09/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S1	CAMPIONE: C2	PROFONDITA': m	2.50-3.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,595
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	33,0
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,015

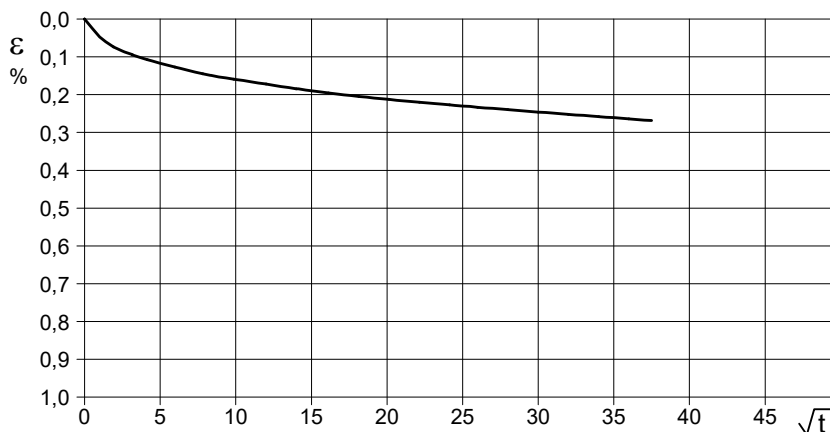


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,589
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	35,8
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,014

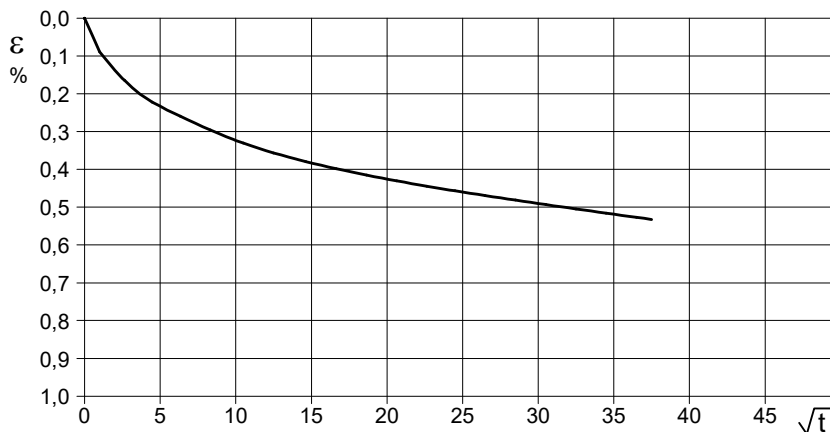
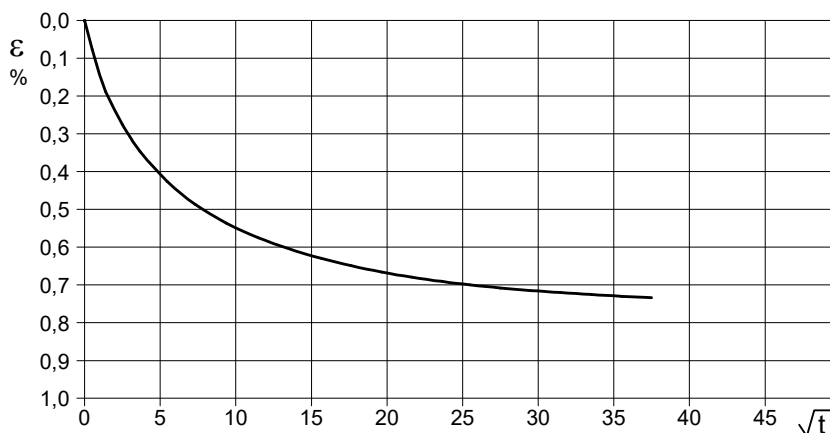


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,585
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	25,8
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,019



2
46023

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	5.50-6.00

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	25,8	%
Peso di volume	19,1	kN/m ³
Peso di volume secco	15,1	kN/m ³
Peso di volume saturo	19,1	kN/m ³
Peso specifico	2,58	
Indice dei vuoti	0,668	
Porosità	40,0	%
Grado di saturazione	99,7	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	2,5	%
Sabbia	46,5	%
Limo	32,6	%
Argilla	18,4	%
D 10		mm
D 50	0,069266	mm
D 60	0,159302	mm
D 90	1,298502	mm
Passante set. 10	94,3	%
Passante set. 42	72,4	%
Passante set. 200	51,0	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	261	kPa	σ_{Rim}	kPa
c_u	131	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta				
c'	16,9	kPa	ϕ'	29,7 °
c'_{Res}		kPa	ϕ'_{Res}	°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u	°

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone scuro ($R_p > 500$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01363 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 07/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 5.50-6.00

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 25,8 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone scuro (R_p > 500 kPa).

3
46024

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01362 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 5.50-6.00

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,1 kN/m³

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone scuro (Rp > 500 kPa).

3
46024

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01361 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 09/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	5.50-6.00

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,58**

γ_{sc} = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,58**

Metodo: A B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,6 °C

Disaerazione eseguita per bollitura

Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone scuro ($R_p > 500$ kPa).

3
46024

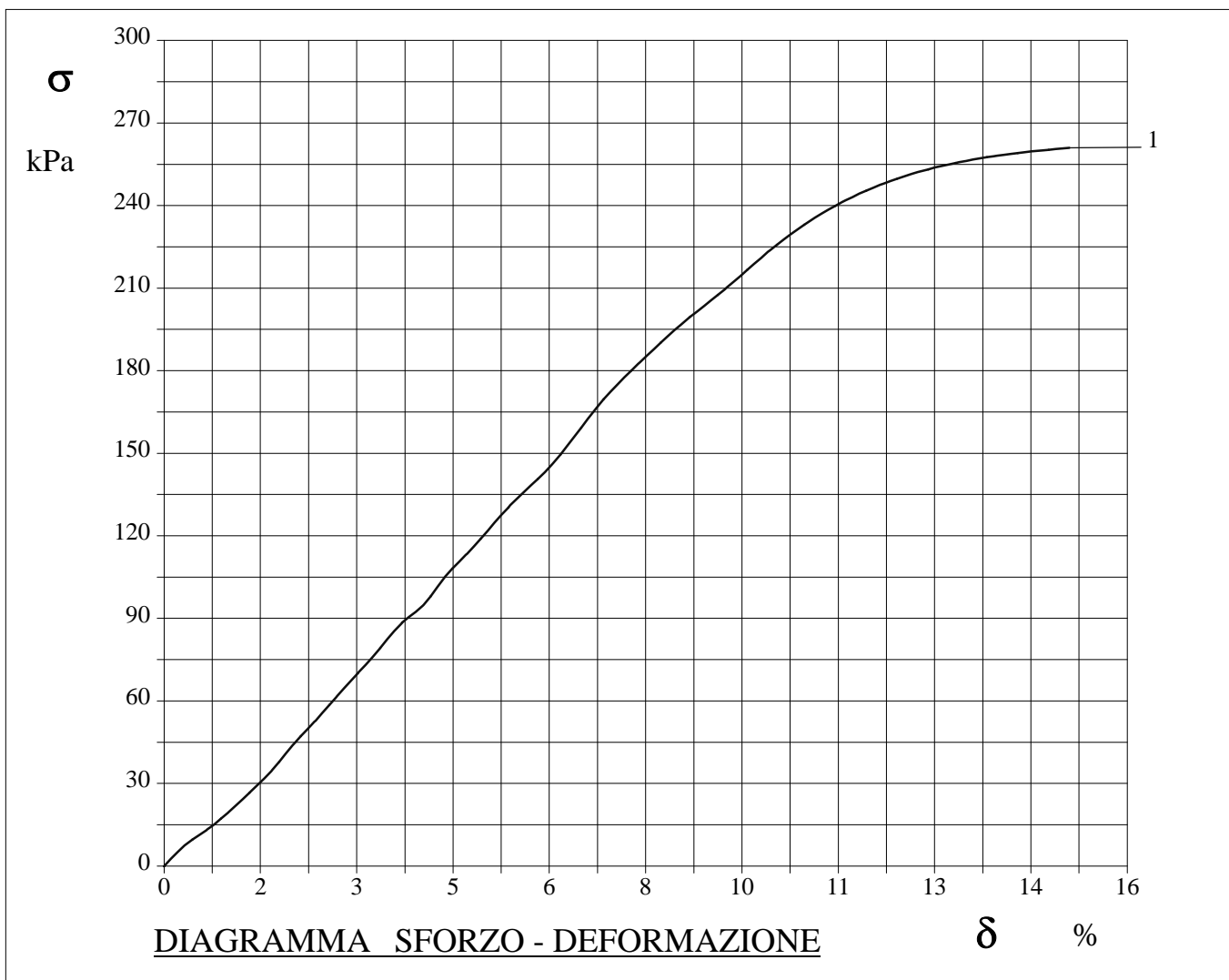
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01359	Pagina 1/3	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 5.50-6.00	

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	-----	-----
Velocità di deformazione (mm/min):	0,950	-----	-----
Peso di volume (kN/m³):	19,1	-----	-----
Deformazione a rottura (%):	15,10	-----	-----
Sforzo a rottura (kPa):	261,2	-----	-----



Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone scuro (Rp > 500 kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01358	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 07/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m 5.50-6.00	

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1		2		3	
Condizione del provino:	Indisturbato		Indisturbato		Indisturbato	
Tempo di consolidazione (ore):	24		24		24	
Pressione verticale (kPa):	100,0		200,0		300,0	
Umidità iniziale e umidità finale (%):	25,9	25,4	25,8	23,5	25,8	23,3
Peso di volume (kN/m³):	18,9		19,2		19,1	
Tipo di prova: Consolidata - lenta			Velocità di deformazione: 0,048 mm / min			

DIAGRAMMA
Tensione
Deformazione orizzontale

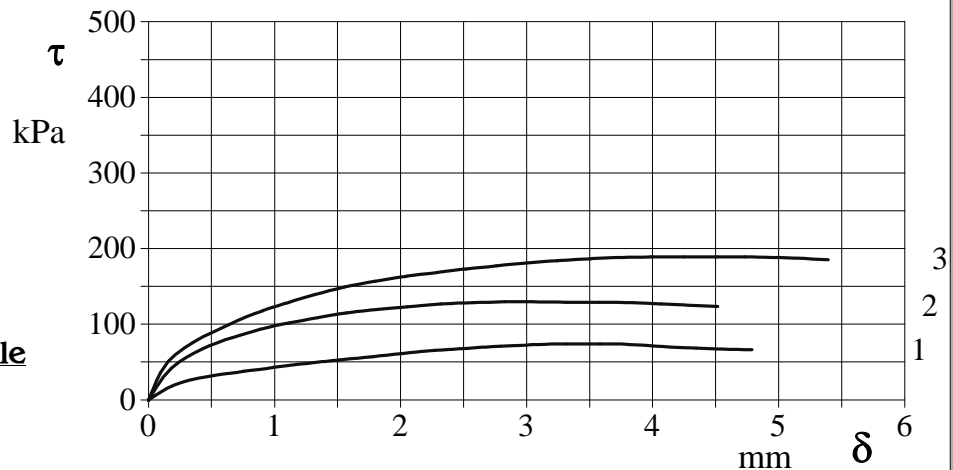
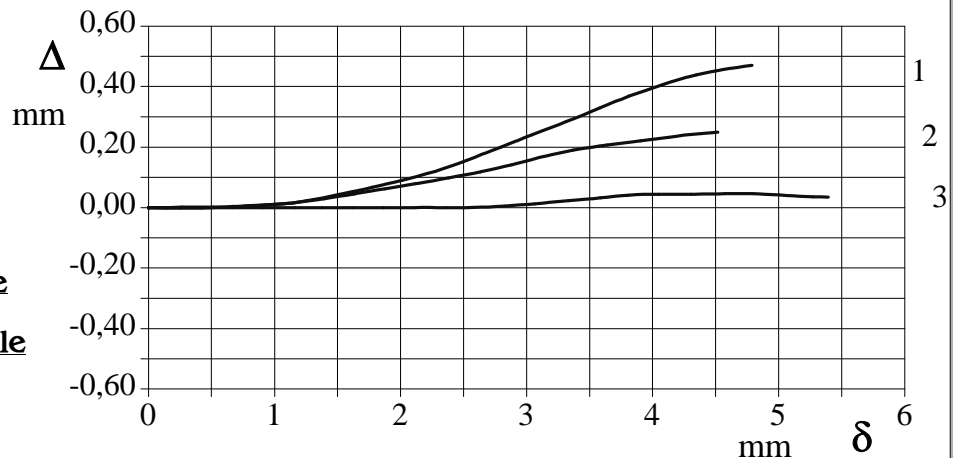


DIAGRAMMA
Deformazione verticale
Deformazione orizzontale



Piroclastite a granulometria sabbioso limosa, debolmente argillosa, di colore marrone scuro ($R_p > 500$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01358	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 07/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO: S2	CAMPIONE: C1	PROFONDITA': m	5.50-6.00

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,594
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	12,0
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,042

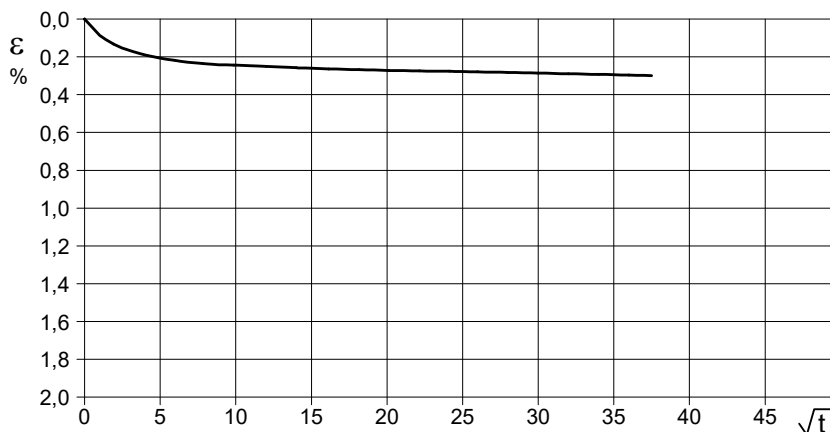


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,592
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	8,8
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,057

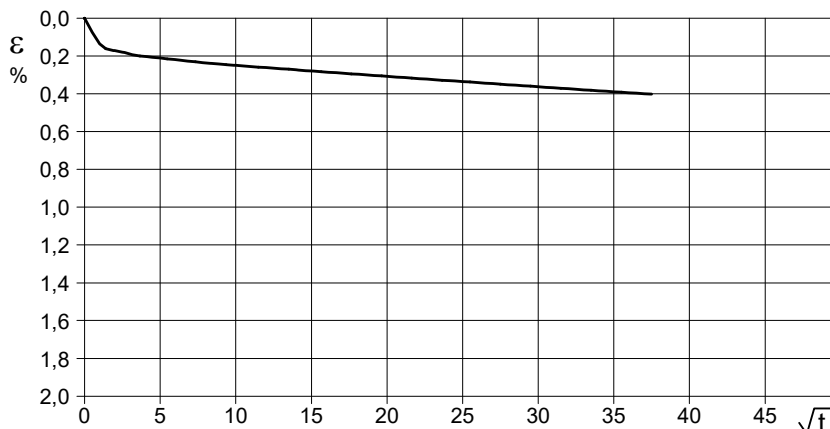
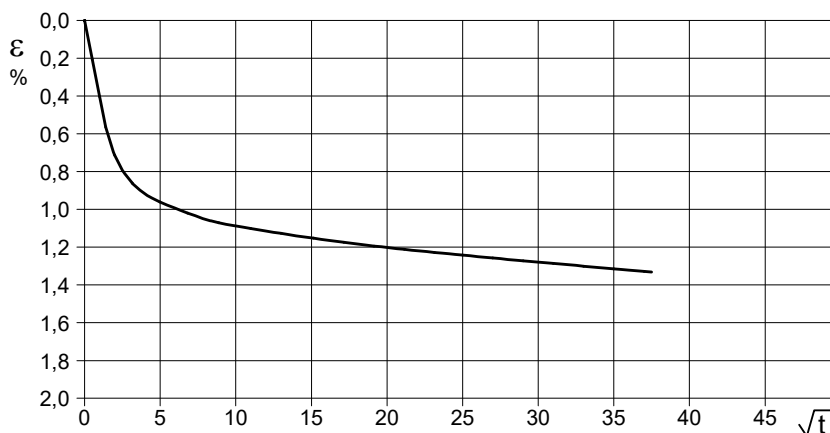


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,573
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	10,9
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,046



3
46024

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: CAMPIONE: Parete PROFONDITA': m 0.00-0.25

MODULO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	33,1	%
Peso di volume	17,6	kN/m ³
Peso di volume secco	13,3	kN/m ³
Peso di volume saturo	17,9	kN/m ³
Peso specifico	2,55	
Indice dei vuoti	0,885	
Porosità	47,0	%
Grado di saturazione	95,2	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	0,1	%
Sabbia	32,1	%
Limo	46,4	%
Argilla	21,4	%
D 10		mm
D 50	0,024888	mm
D 60	0,044266	mm
D 90	0,549766	mm
Passante set. 10	98,9	%
Passante set. 42	87,1	%
Passante set. 200	67,8	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec
----------------	--------

COMPRESSIONE

σ	135	kPa	σ_{Rim}	kPa
c_u	67	kPa	$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta			
c'	18,9	kPa	ϕ' 33,8 °
c'_{Res}		kPa	ϕ'_{Res} °

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d °
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu} °
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu} °
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u °

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	C_v cm ² /sec	k cm/sec

Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone ($R_p = 280-300$ kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01357 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 07/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO:	CAMPIONE: Parete	PROFONDITA': m 0.00-0.25

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216

W_n = contenuto d'acqua allo stato naturale = 33,1 %

Struttura del materiale:

Omogeneo
 Stratificato
 Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone (R_p = 280-300 kPa).

4
46025

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01356 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl		
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma		
SONDAGGIO:	CAMPIONE: Parete	PROFONDITA': m 0.00-0.25

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 17,6 kN/m³

Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone (Rp = 280-300 kPa).

4
46025

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01355 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 07/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 07/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: CAMPIONE: Parete PROFONDITA': m 0.00-0.25

PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: Norma ASTM D 854

γ_s = **Peso specifico dei granuli (media delle due misure) = 2,55**

γ_{sc} = **Peso specifico dei granuli corretto a 20° = 2,55**

Metodo: A B

Capacità del picnometro: 100 ml

Temperatura di prova: 19,7 °C

Disaerazione eseguita per bollitura

Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone ($R_p = 280-300$ kPa).

4
46025

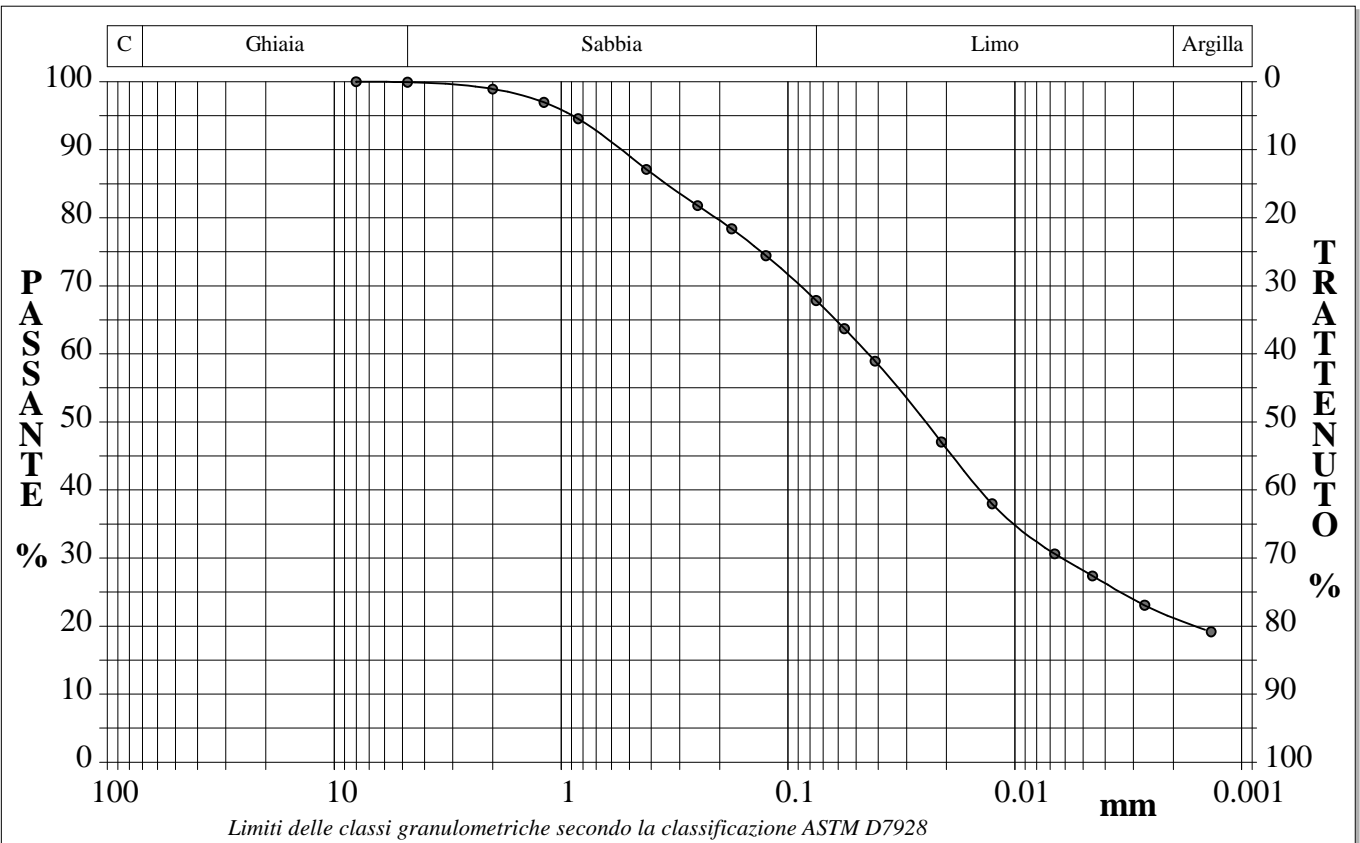
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01354 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26	Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 09/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: CAMPIONE: Parete PROFONDITA': m 0.00-0.25

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 422

Ghiaia	0,1 %	Passante setaccio 2 mm	98,9 %	D10	--- mm
Sabbia	32,1 %	Passante setaccio 0.4 mm	87,1 %	D30	0,00619 mm
Limo	46,4 %	Passante setaccio 0.075 mm	67,8 %	D50	0,02489 mm
Argilla	21,4 %			D60	0,04427 mm
Coefficiente di uniformità ---		Coefficiente di curvatura ---		D90	0,54977 mm



Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
8,0000	100,00	0,4200	87,11	0,0564	63,70	0,0045	27,37		
4,7500	99,93	0,2500	81,79	0,0413	58,94	0,0027	23,05		
2,0000	98,93	0,1770	78,39	0,0211	47,05	0,0014	19,16		
1,1900	96,97	0,1250	74,43	0,0126	37,97			Setacci	9
0,8410	94,56	0,0750	67,85	0,0067	30,62			Punti sediment.	8

Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone (Rp = 280-300 kPa).

4
46025

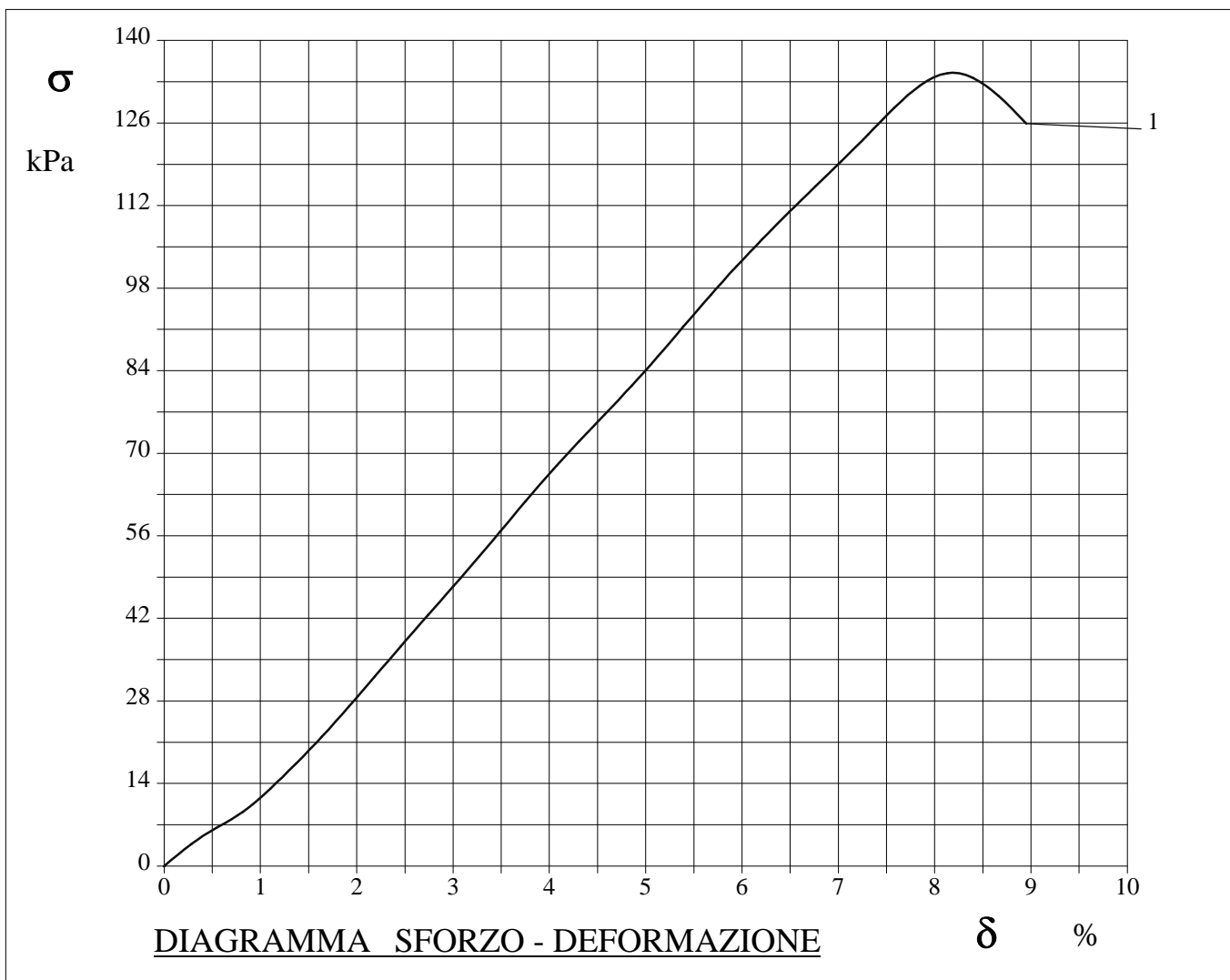
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01353	Pagina 1/3	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 06/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 06/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: CAMPIONE: Parete PROFONDITA': m 0.00-0.25

PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2166

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	-----	-----
Velocità di deformazione (mm/min):	0,950	-----	-----
Peso di volume (kN/m³):	17,9	-----	-----
Deformazione a rottura (%):	8,18	-----	-----
Sforzo a rottura (kPa):	134,5	-----	-----



Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone (Rp = 280-300 kPa).

4
46025

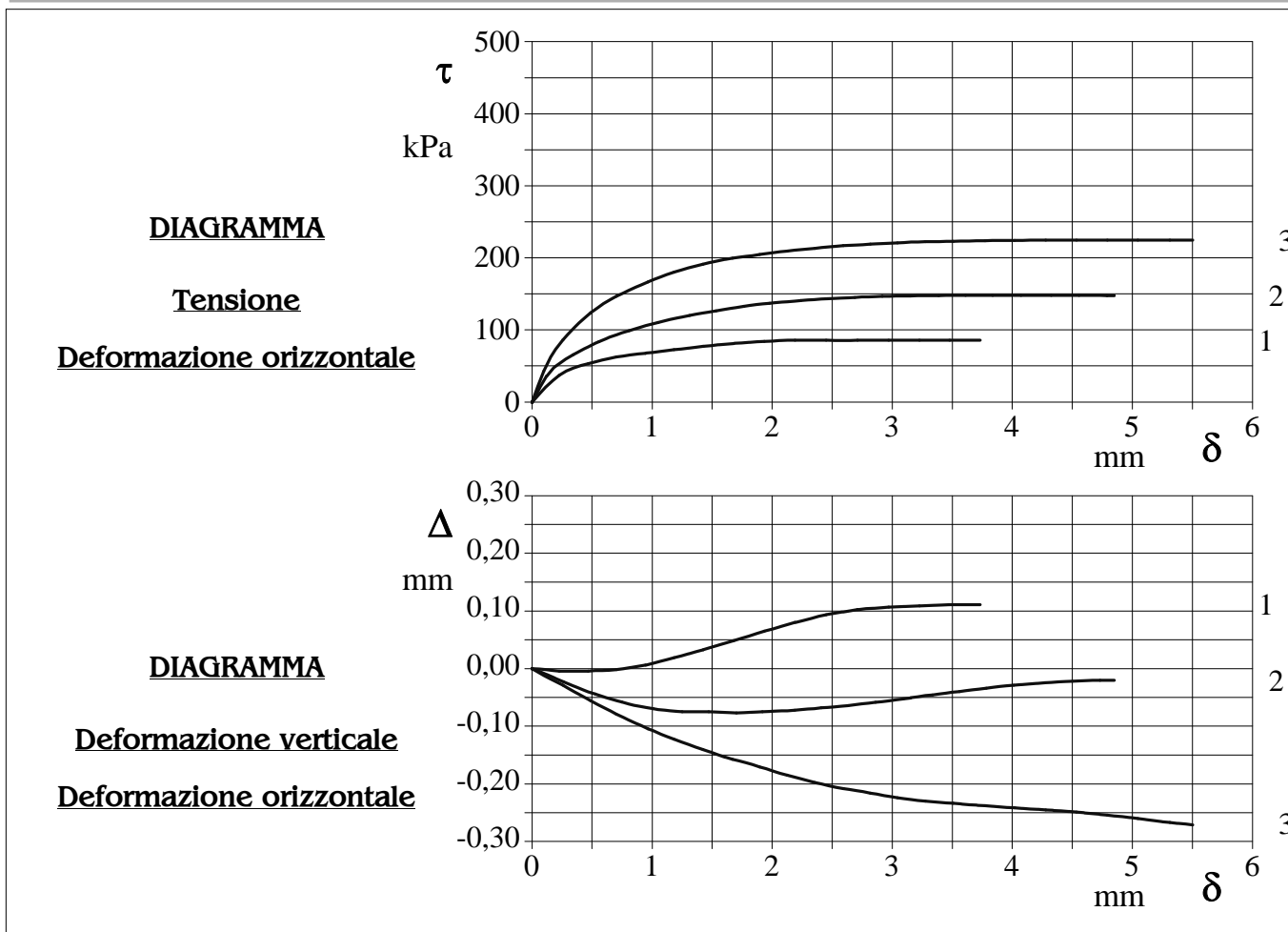
CERTIFICATO DI PROVA N°: 01352	Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 10/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma
SONDAGGIO: CAMPIONE: Parete PROFONDITA': m 0.00-0.25

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Tempo di consolidazione (ore):	24	24	24
Pressione verticale (kPa):	100,0	200,0	300,0
Umidità iniziale e umidità finale (%):	32,9 34,0	32,9 33,5	33,4 32,7
Peso di volume (kN/m³):	17,6	17,6	17,7
Tipo di prova: Consolidata - lenta		Velocità di deformazione: 0,053 mm / min	



Piroclastite a granulometria limoso sabbioso argillosa di colore marrone (Rp = 280-300 kPa).

CERTIFICATO DI PROVA N°: 01352	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 10/03/26	Inizio analisi: 09/03/26
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 51 del 04/03/26		Apertura campione: 06/03/26	Fine analisi: 10/03/26

COMMITTENTE: IGECO srl			
RIFERIMENTO: Via Cristoforo Colombo - Via Carlo Levi - Roma			
SONDAGGIO:	CAMPIONE: Parete	PROFONDITA': m	0.00-0.25

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080

Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	100
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,595
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	7,4
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,068

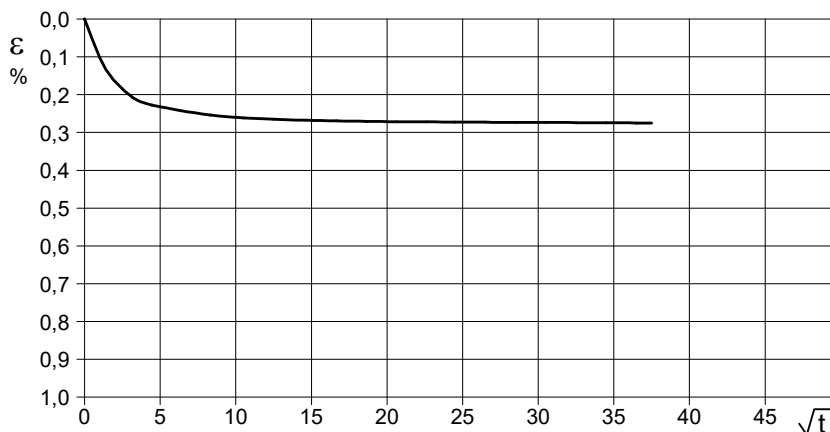


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	200
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,592
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	11,2
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,044

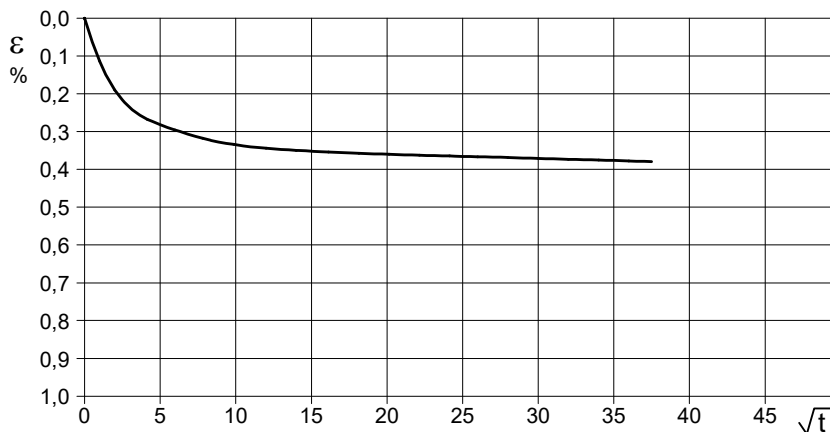
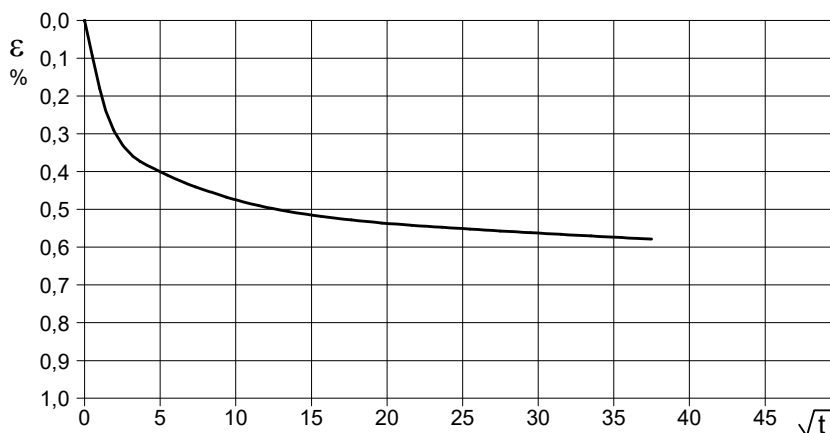


Diagramma TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	300
Altezza iniziale (cm)	1,600
Altezza finale (cm)	1,588
Sezione (cm ²):	36,00
T ₁₀₀ (min)	10,4
Df (mm)	5
Vs (mm/min)	0,048



4
46025

Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 10 \times T_{100}$ Vs = Df / tf

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO 1 e 2 – Postazione prelievo dei terreni nei sondaggi S1 (lato C. Colombo) e S2 (lato via C. Levi)



FOTO 3 – Postazione del prelievo a parete (lato via Carlo Levi)



FOTO 4 – Prelievo terreni e campioni in S1C1 – 0.00 – 3.00m



FOTO 5 – Prelievo terreni e campioni in S2C1 – 0.00 – 5.00m



FOTO 6 – Prelievo terreni e campioni in S2C1 – 5.00 – 6.00m

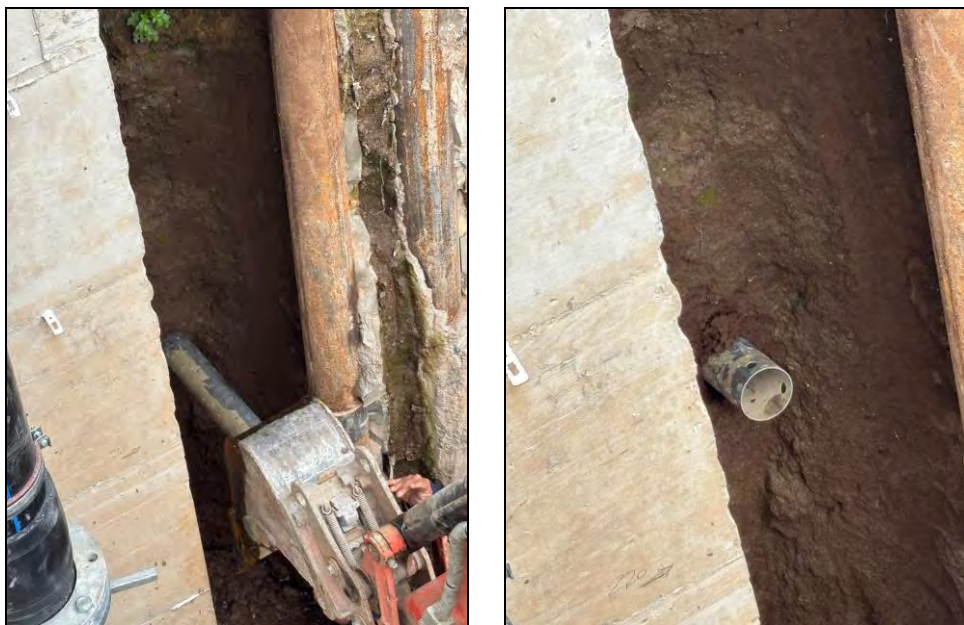


FOTO 7 e 8 – Prelievo a parete del terreno