

Regione Lombardia
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



CODICE
COMMESSA

LIVELLO
PROGETTAZIONE

D.P.R.
207/10

PROGRESSIVO
ELABORATO

CATEGORIA
OPERA

NUMERO
OPERA

REVISIONE

SCALA

R 3 1

D

f

0 0 3

O V

0 1

R 0

===

OPERE SOSTITUTIVE P.L. DI VIA TRIESTE IN COMUNE DI ERBA
OPERE DI COMPETENZA FERROVIENORD
Progetto Definitivo

CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI
Relazione di calcolo opere provvisionali - Palancole

| Revisioni | | Data | Descrizione | Redatto | Controllato |
|-----------|---|-----------|-----------------|---------|-------------|
| | 3 | | - | | |
| | 2 | | - | | |
| | 1 | | - | | |
| | 0 | Ott. 2025 | PRIMA EMISSIONE | | |

NORD_ING
NORD_ING Srl
IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Laura Stiriti

FERROVIENORD
FERROVIENORD S.p.A.
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA
IL DIRETTORE
Ing. Andrea Lucia Passarelli

Progettista



Collaborazione



Via Squero, 12 - 35043 Monselice (PD)



| REDATTO | CONTROLLATO | APPROVATO | DATA |
|-------------------------------|-------------|-----------|------|
| CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE | | | AGG. |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Sommario

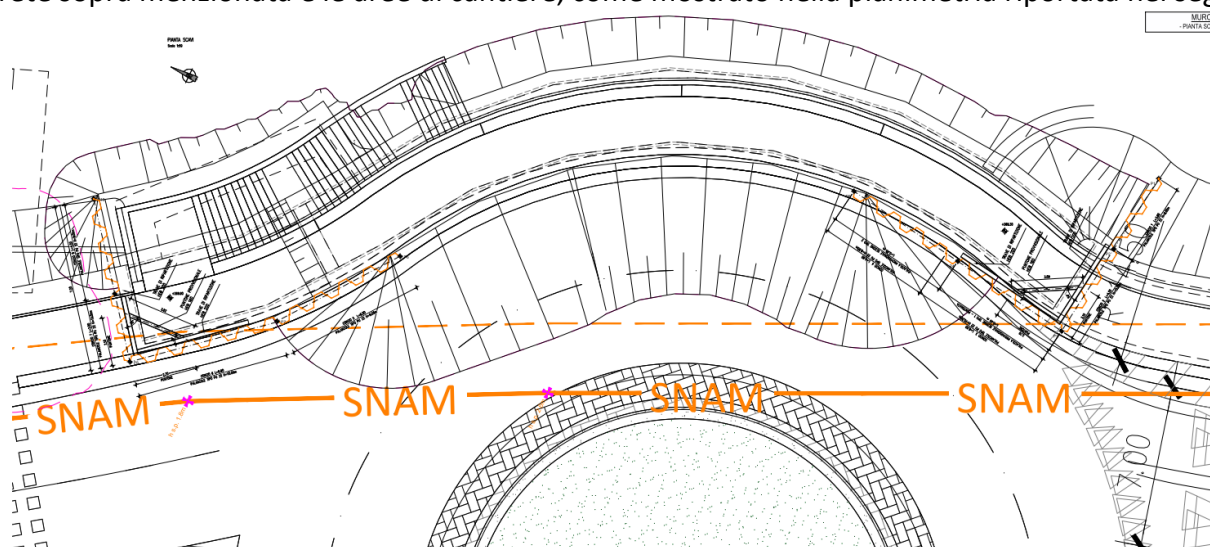
| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA | 3 |
| 2 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 4 |
| 2.1 | Normativa nazionale | 4 |
| 2.2 | Normativa europea | 4 |
| 3 | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 5 |
| 4 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI | 6 |
| 4.1 | Acciaio da carpenteria metallica | 6 |
| 5 | SOFTWARE DI CALCOLO | 7 |
| 6 | DESCRIZIONE DELLE OPERE E DELLE FASI REALIZZATIVE | 8 |
| 6.1 | PALANCOLA TIPO 1 | 8 |
| 6.1.1 | <i>Fasi di costruzione.....</i> | 8 |
| 6.2 | PALANCOLA TIPO 2 | 9 |
| 6.2.1 | <i>Fasi di costruzione.....</i> | 9 |
| 7 | ANALISI DEI CARICHI | 10 |
| 7.1 | Peso Proprio | 10 |
| 7.2 | Spinta statica delle terre | 10 |
| 7.3 | Spinta del sovraccarico | 12 |
| 8 | COMBINAZIONI DI CARICO | 13 |
| 8.1 | Descrizione coefficienti Design Assumption verifica paratia | 13 |
| 9 | CRITERI DI VERIFICA | 14 |
| 9.1 | VERIFICHE GEOTECNICHE (GEO) ALLO SLU | 15 |
| 9.1.1 | <i>Verifica della massima spinta passiva mobilitata.....</i> | 15 |
| 9.2 | VERIFICHE GEOTECNICHE (GEO) ALLO SLE | 15 |
| 9.2.1 | <i>Verifica degli spostamenti</i> | 15 |
| 9.2.2 | <i>Verifica coefficiente di sicurezza</i> | 15 |
| 9.3 | VERIFICHE STRUTTURALI (STR) ALLO SLU | 16 |
| 9.3.1 | <i>Verifica palanca</i> | 16 |
| 9.3.2 | <i>Verifica puntoni.....</i> | 16 |
| 9.3.3 | <i>Verifica trave di ripartizione</i> | 16 |
| 10 | VERIFICHE PARATIE PROVVISORIALI DI PROGETTO..... | 17 |
| 10.1 | PALANCOLA TIPO 1 – PUNTONATA | 18 |
| 10.1.1 | <i>Descrizione parete</i> | 19 |
| 10.1.2 | <i>Descrizione fasi</i> | 20 |
| 10.1.3 | <i>Descrizione sintetica risultati delle Design Assumption.....</i> | 20 |
| 10.1.4 | <i>Inviluppo Spostamenti combinazioni SLE.....</i> | 21 |
| 10.1.5 | <i>Inviluppo Sforzo di taglio combinazioni SLU</i> | 22 |
| 10.1.6 | <i>Inviluppo Momento flettente combinazioni SLU.....</i> | 23 |
| 10.1.7 | <i>Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva.....</i> | 25 |
| 10.1.8 | <i>Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva.....</i> | 25 |
| 10.1.9 | <i>Risultati SteelWorld – Verifica palanca.....</i> | 25 |

| | | |
|---------|--|----|
| 10.1.10 | Verifica puntone..... | 28 |
| 10.1.11 | Verifica trave di ripartizione | 30 |
| 10.2 | PALANCOLA TIPO 2..... | 31 |
| 10.2.1 | Descrizione parete | 31 |
| 10.2.2 | Descrizione fasi | 32 |
| 10.2.3 | Descrizione sintetica risultati delle Design Assumption..... | 32 |
| 10.2.4 | Inviluppo Spostamenti combinazione SLE..... | 32 |
| 10.2.5 | Inviluppo Sforzo di taglio combinazione SLU | 33 |
| 10.2.6 | Inviluppo Momento flettente combinazione SLU..... | 35 |
| 10.2.7 | Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva..... | 36 |
| 10.2.8 | Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva..... | 36 |
| 10.2.9 | Risultati SteelWorld – Verifica palancola..... | 37 |

1 PREMESSA

Nell'ambito dei lavori per la soppressione del passaggio a livello ferroviario su via Trieste in Comune di Erba, la realizzazione di alcuni tratti di infrastrutture in progetto per la sistemazione della viabilità di via Milano, ha mostrato una possibile interferenza, nelle fasi realizzative, con delle reti di servizi esistenti nella zona.

In particolare, il limite delle aree di scavo per la realizzazione del muro MU01, risulta in alcune parti, interferire con la rete del metanodotto SNAM. In tali zone, in fase di cantiere saranno quindi infissi dei palancolati a sostegno degli scavi atti a garantire una fascia di rispetto adeguata tra la rete sopra menzionata e le aree di cantiere, come mostrato nella planimetria riportata nel seguito.

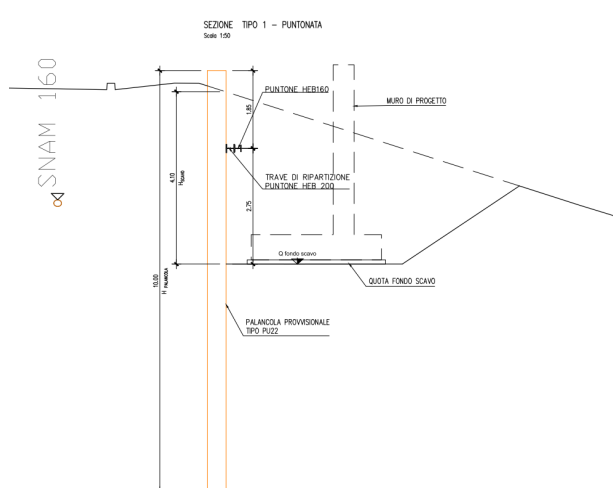


Planimetria di progetto palancole provvisorie

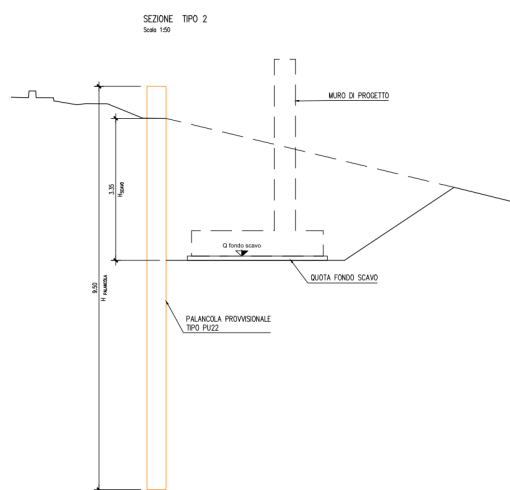
Nello specifico sono previste palancole in acciaio, tipo PU22, poste in opera con altezze variabile da 10.00m a 9.00 m in relazione all'altezza del fronte di scavo presente.

Nelle zone di piegatura delle palancole sono previsti dei puntoni costituiti da profili HEB 160, ancorati alle palancole per mezzo di travi di ripartizione realizzate tramite profili HEB200.

Le sezioni tipologiche di progetto sono schematizzate nelle seguenti figure.



Sezione tipologica con puntone



Sezione tipologica senza puntone

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa nazionale

- Legge 05/11/1971, n°1086 – Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso e a struttura metallica.
- D.M. 17/01/2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare 21/01/201, n°7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. del 17/01/2018.

2.2 Normativa europea

- UNI EN 1992-1-1 – Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1993-1-1 – Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1997-1 – Eurocodice 7 – Geotechnical design - Part 1: General rules.

3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Relativamente alla caratterizzazione geotecnica, si fa riferimento a quanto riportato sulla "Relazioni tecniche specialistiche -Relazione geotecnica. Doc. nr° R31Eb001OV_R0"

Da tale relazione si è estrapolata la seguente parametrizzazione del terreno per le calcolazioni di progetto.

| unità | Profondità [m] | Peso di volume γ [kN/m ³] | Angolo di resistenza al taglio ϕ [°] | Coesione c' [kPa] | Modulo elastico E_y (MPa) |
|---------------------------------|-------------------|---|--|------------------------|-----------------------------------|
| 0 - Rilevato | - | 19 | 35° | - | 50 |
| 1 - Riporto | 1.00 | 19 | 32° | - | 3 |
| 2 – Sabbia limosa con ghiaia | 3.00 | 19 | 32° | - | 10 |
| 3 – Sabbia Ghiaiosa | 4.00 | 19 | 36° | - | 30 |
| 4 – Argilla Limosa | 4.00 | 19 | -° | 30 | 5 |
| 5 – Sabbia Ghiaiosa | | 19 | 37° | - | 35 |

Le dimensioni riportate nella stratigrafia adottata si intendono calcolate a partire dalla quota di piano campagna.

Considerata la presenza della falda e la sua escursione stagionale, si è considerata la quota piezometrica in corrispondenza della quota di fondo scavo.

4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 Acciaio da carpenteria metallica

Acciaio laminato:

| | f_{yk} [MPa] | f_{tk} [MPa] | Elemento |
|---------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| S355GP | 355 | 510 | Palancola PU 22 |
| S355JR | 355 | 510 | travi di ripartizione e puntoni |

Caratteristiche meccaniche di progetto:

modulo elastico:

$$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$$

modulo di elasticità trasversale:

$$G = E / [2(1+\nu)] = 80770 \text{ N/mm}^2$$

coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0,3$$

coefficiente di espansione termica lineare:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C-1}$$

densità:

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

coefficienti parziali di sicurezza:

$$\gamma_{M0} = 1.05; \gamma_{M1} = 1.05; \gamma_{M2} = 1.25$$

resistenza caratteristica a rottura

$$f_{tk}$$

resistenza caratteristica a snervamento

$$f_{yk}$$

resistenza di calcolo acciaio

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0}$$

Per quanto riguarda le procedure e le prove sperimentali di accettazione dell'acciaio da carpenteria si rimanda nel dettaglio ai §§ 11.3.1 e 11.3.4 delle NTC.

5 SOFTWARE DI CALCOLO

Lo stato tenso-deformativo della paratia è stato investigato mediante il software di calcolo PARATIEPLUS, programma non lineare agli elementi finiti per l'analisi di strutture di sostegno flessibili.

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE E DELLE FASI REALIZZATIVE

Le opere provvisionali oggetto della presente relazione si sono rese necessarie, in rapporto alla posizione della rete SNAM da salvaguardare ed alle caratteristiche plano altimetriche degli scavi di cantiere, in due tratti distinti dello sviluppo di tracciamento delle opere.

Con riferimento a quanto indicato negli elaborati grafici di progetto, a cui si rimanda per maggiore dettaglio, nel seguito, con il termine "tratto 1", saranno indicate le opere provvisionali appartenenti ai conci da 1 a 4, e con "tratto 2" le opere provvisionali appartenenti ai conci da 5 a 8.

6.1 PALANCOLA TIPO 1

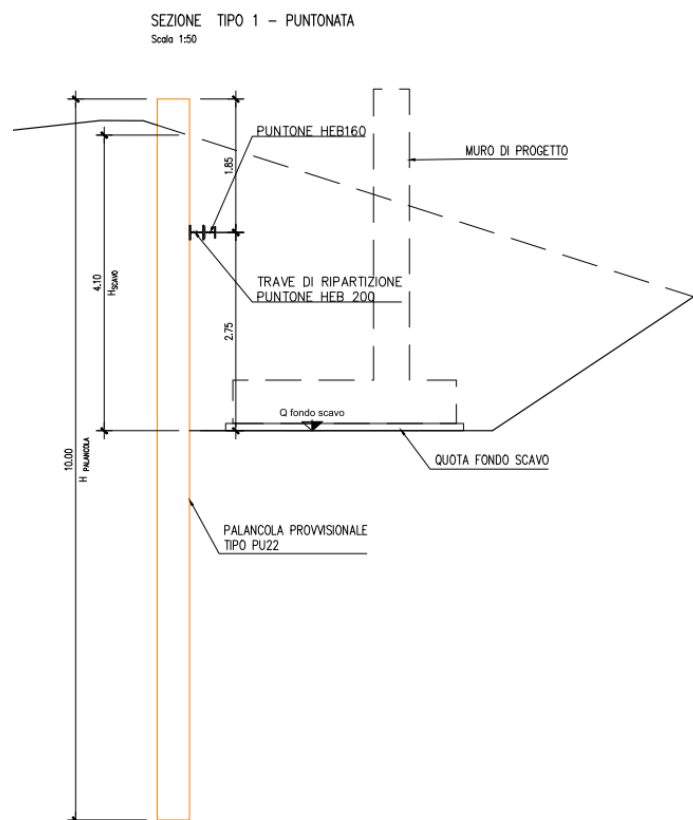
Si tratta di una palancolata provvisoria di sezione PU22 con un ordine di puntoni.

I puntoni sono costituiti da 1 ordine di profilo HEB160 disposti alla quota di -1.85 m da testa palancola nel tratto 1 e a -1.55m nel tratto 2. È prevista una trave di ripartizione HEB200.

Questa soluzione è applicabile per altezze di scavo da 4.10m a 3.40m, in presenza di sovraccarico da traffico stradale.

Per agevolare l'infissione della palancola è prevista la realizzazione di un preforo senza asportazione di terreno di diametro f300 ad interasse 1.2m.

La palancola viene infisse mantenendo la testa a +0.5 m dalla quota di campagna



6.1.1 Fasi di costruzione

Fase 1) Condizione geostatica (con applicazione di sovraccarico pari a 20 kPa);

Fase 2) scavo a -0.5 m da quota di posizionamento puntone (-2.35 m da testa palanca tratto 1; -2.05m tratto 2);

Fase 3) messa in opera del 1° ordine di puntoni con relativa trave di ripartizione alla quota di progetto (-1.85 m da testa palanca tratto 1; -1.55m tratto 2);

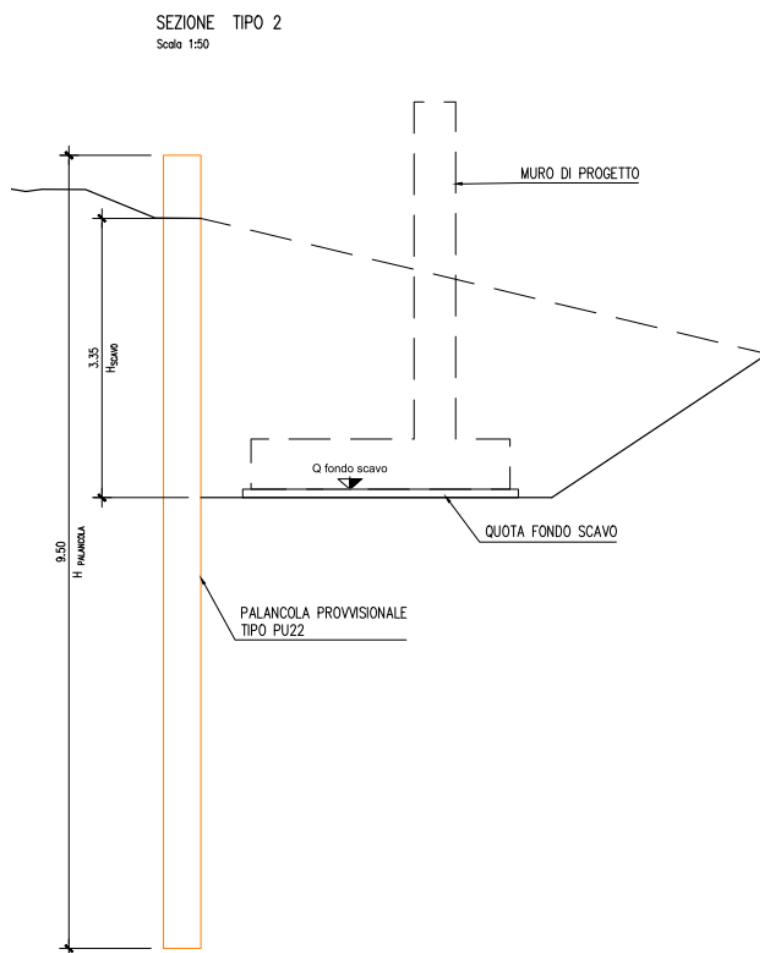
Fase 4) scavo finale fino a quota 269.30 m slmm per il tratto1 m, quota 269.90m slmm tratto 2;

6.2 PALANCOLA TIPO 2

Si tratta di una palancolata provvisoria di sezione PU22 a sbalzo.

Questa soluzione è applicabile per altezza di scavo non superiori a 3.35 m in presenza di sovraccarico da traffico stradale.

Per agevolare l'infissione della palanca è prevista la realizzazione di un preforo senza asportazione di terreno di diametro $\phi 300$ ad interasse 1.2m.



6.2.1 Fasi di costruzione

Fase 1) Condizione geostatica (con applicazione di sovraccarico pari a 20 kPa);

Fase 2) scavo finale fino a quota 269.30 m slmm per il tratto1 m, quota 269.90m tratto 2;

7 ANALISI DEI CARICHI

I carichi considerati sono i seguenti:

- Peso proprio
- Spinta statica delle terre
- Spinta da sovraccarico accidentale

Essendo le paratie delle opere provvisorie con una vita nominale inferiore a 2 anni, secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche (§ 2.4.1) si ometteranno le verifiche sismiche.

7.1 Peso Proprio

Per la tipologia di modello di calcolo adottato l'effetto del peso proprio della berlinese non entra in gioco nelle valutazioni dello stato di sforzo agente.

7.2 Spinta statica delle terre

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_A e il coefficiente di spinta passiva K_P .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_{0NC}(OCR)_m$$

Dove

$$K_{0NC} = 1 - \sin \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7. Ladd et al. (1977), Jamiolkowski et al. (1979) forniscono valori di m per argille italiane.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$K_A = \tan^2(45^\circ - \phi'/2)$$

$$K_P = \tan^2(45^\circ + \phi'/2)$$

In presenza di profilo del terreno inclinato o quando si voglia tenere in conto del contributo dell'attrito terra muro, il calcolo di K_A viene eseguito secondo la teoria di Coulomb per cui:

$$K_A = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \times \sin^2(\beta + \delta) \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi - \epsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta - \epsilon)}} \right]^2}$$

Mentre nelle stesse ipotesi il K_P viene determinato secondo la teoria di Lancellotta per cui si ha:

$$K_P = \left[\frac{\cos \delta}{1 - \sin \phi} \left(\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta} \right) \right] e^{2\theta_P \tan \phi}$$

con $\theta_P = \arcsin \left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi} \right) + \delta$

Nel nostro caso specifico, il contributo dell'attrito terra-muro e quindi il parametro δ , viene preso in conto solo per la valutazione di K_P e valutato secondo la correlazione di Lancellotta (2007) mentre per la valutazione di K_A viene sempre ignorato tale contributo.

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'_h = K_A \sigma'_v - 2c'K_A 0.5$$

$$\sigma'_h = K_P \sigma'_v + 2c'K_P 0.5$$

a seconda che il collasso avvenga in spinta attiva o passiva rispettivamente.

c' è la coesione drenata del terreno.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse, k , è data da

$$k = E / L$$

ove E è un modulo di rigidità del terreno mentre L è una grandezza geometrica caratteristica. Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite Δ , la rigidità di ogni molla è:

$$K = E \Delta / L$$

Il valore di Δ è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di L è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto, in zona attiva (uphill):

$$L_A = 2/3 l_A \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

e in zona passiva (downhill):

$$L_P = 2/3 l_P \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

dove e sono rispettivamente:

$$l_A = \min[l; 2H]$$

$$l_P = \min[l-H; H]$$

e dove: l = altezza totale della paratia e H = altezza corrente dello scavo.

La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987).

Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

Il parametro E dipende dalla storia tensionale del sito nonché dall'incremento locale dello stato tensionale come illustrato in Becci e Nova (1987).

Il modulo E può essere considerato dipendente dalla pressione media $p = (\sigma'_v + \sigma'_h)/2$ secondo la legge

$$E = R(p/p_a)^n$$

in cui p_a è la pressione atmosferica mentre R e n sono quantità determinabili sperimentalmente. E' ovvio che ponendo $n=0$ si può considerare il caso di modulo costante, mentre se n è posto pari a 1, si ha il caso, tipico delle argille normalconsolidate, in cui il modulo varia linearmente con la profondità. Nelle nostre analisi si è posto $n=0$.

Il valore R è in genere diverso in condizioni di carico vergine o di scarico-ricarico. Valori indicativi di R e n sono dati da Janbu (1963). La variabilità di questi parametri è grandissima. Per una sabbia n può variare tra 0.2 e 1.0 e R tra 8 e 200 MPa. Per un'argilla normalmente consolidata $n \sim 1$. I valori di R per argille italiane possono essere dedotti da Jamiolkowski et al. (1979).

Si noti inoltre che, poiché lo stato tensionale iniziale vergine non è isotropo, la rigidità del terreno in condizioni di carico vergine è minore di quella che si può misurare in prove triassiali drenate isotropicamente consolidate.

Nel caso in cui $n=0$, il valore del modulo R in condizioni di carico vergine può essere considerato identico al valore del modulo elastico inteso tradizionalmente. Per una correlazione con i risultati delle più comuni prove in sito si veda ad esempio Bowles (1988).

Il modulo di scarico-ricarico è da 3 a 10 volte maggiore nel caso di argille, mentre è in genere da 1.5 a 3 volte più grande nel caso di sabbie. Nel caso specifico si è scelto di utilizzare.

$$E_{UR} = 3 E_{VC}$$

7.3 Spinta del sovraccarico

Sia in fase di scavo che al termine della costruzione si assumerà un carico accidentale pari a 20 kPa/m esteso a tergo della paratia.

8 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico utilizzate sono definite sulla base dei criteri forniti dal D.M. 17/01/2018 e sono di seguito richiamate:

1) Fondamentale per gli stati limite ultimi (SLU)

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

2) Rara per gli stati limite di esercizio (SLE)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

dove:

- G_1 = peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G_2 = peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P = pretensione e precompressione;
- Q_k = azioni variabili caratteristiche sulla struttura;
- A = azioni eccezionali sulla struttura;
- E = azioni derivanti dai terremoti.

I coefficienti parziali per le azioni sono di seguito definiti.

8.1 Descrizione coefficienti Design Assumption verifica paratia

Coefficienti A

| Nome | Carichi Permane nti | Carichi Permane nti | Carichi Variabili Sfavorev oli | Carichi Variabili Favorevol i | Carico Sismico (F_seism _load) | Pressioni Acqua Lato (F_Water DR) | Pressioni Acqua Lato (F_Water Res) | Carichi Permane nti | Carichi Permane nti | Carichi Variabili Destabiliz zanti | Carichi Permane nti | Carichi Permane nti | Carichi Variabili Destabiliz zanti |
|------------|-------------------------------|-----------------------------|---|--|---|---|--|---------------------------|---------------------------|---|---------------------------|---------------------------|---|
| | (F_dead_ oad_unfa vour) | (F_dead_ oad_favo ur) | (F_live_lo ad_unfav our) | (F_live_lo ad_favou r) | | (F_Water DR) | (F_Water Res) | (F_UPL_G DStab) | (F_UPL_G Stab) | (F_UPL_Q DStab) | (F_HYD_ GDStab) | (F_HYD_ GStab) | (F_HYD_ QDStab) |
| Simbolo | γ_G | γ_G | γ_Q | γ_Q | γ_{QE} | γ_G | γ_G | γ_{Gdst} | γ_{Gstb} | γ_{Qdst} | γ_{Gdst} | γ_{Gstb} | γ_{Qdst} |
| Nominal | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A2+M2+R1 | 1 | 1 | 1.15 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |
| A1+M1+R1 | 1.3 | 1 | 1.35 | 1 | 0 | 1.3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.3 | 0.9 | 1 |
| SLE (Rara) | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Coefficienti M

| Nome | Parziale su $\tan(\phi')$ (F_Fr) | Parziale su c' (F_eff_coh) | Parziale su S_u (F_Su) | Parziale su q_u (F_qu) | Parziale su peso specifico (F_gamma) |
|------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Simbolo | γ_ϕ | γ_c | γ_{cu} | γ_{qu} | γ_γ |
| Nominal | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A2+M2+R1 | 1.25 | 1.25 | 1.4 | 1 | 1 |
| A1+M1+R1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| SLE (Rara) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Coefficienti R

| Nome | Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls) | Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P) | Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T) | Parziale elementi strutturali (F_wall) |
|------------|--|--|--|---|
| Simbolo | γ_{Re} | γ_{ap} | γ_{at} | |
| Nominal | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A2+M2+R1 | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| A1+M1+R1 | 1 | 1.2 | 1.1 | 1 |
| SLE (Rara) | 1 | 1 | 1 | 1 |

9 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche faranno riferimento a quanto descritto per le opere di sostegno nelle NTC 2018 e successive circolari esplicative.

Le verifiche saranno eseguite adottando l'Approccio 1 delle NTC 2018 nei confronti degli stati limiti ultimi (SLU) e degli stati limite di esercizio (SLE), in modo da verificare la compatibilità tra requisiti prestazionali dell'opera e gli spostamenti e distorsioni previste.

In accordo con quanto definito nel par. 6.2.3. della norma suddetta, devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- Verifiche agli stati limite ultimi (SLU);
- Verifiche agli stati limite d'esercizio (SLE).

Per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1})$$

dove:

- E_d valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
 R_d valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione ($E_d \leq R_d$) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Per le paratie tirantate la normativa prevede di condurre le verifiche (ad esclusione delle verifiche di stabilità globale) adottando il seguente approccio (par. 6.5.3.1.2):

- 1) la prima combinazione A1+M1+R1, per la quale si adottano i coefficienti parziali sulle azioni del gruppo A1, è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno,
- 2) la seconda combinazione A2+M2+R1 per la quale si adottano i coefficienti parziali sulle azioni del gruppo A2, è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Per quanto concerne le azioni di progetto. E_d , possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Per ogni Stato Limite d'Esercizio (SLE) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7})$$

dove

- E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione
 C_d valore limite dell'effetto delle azioni.

All'interno del progetto devono essere quindi definite le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili per l'opera e le prestazioni attese.

La messa in opera di ordini di puntoni provoca nel modello due effetti:

- Sorgere di una forza al nodo di applicazione del puntone dovuta allo stato di coazione (la pretensione) con cui l'elemento nasce;

- Un contributo alla rigidezza globale della struttura dovuto alla rigidezza estensionale del puntone stesso. Ove il puntone nelle fasi successive la sua messa in opera, subirà ulteriori spostamenti, la forza nel puntone subirà mutamenti

Il puntone viene caratterizzato da una rigidezza assiale data dall'espressione

$$K = E \times \left(\frac{A}{L} \right)$$

Dove **E** è il modulo elastico della barra, **A** l'area della sezione e **L** la lunghezza del tratto deformabile del puntone, il tutto rapportato alla direzione di calcolo ortogonale alla paratia.

9.1 VERIFICHE GEOTECNICHE (GEO) ALLO SLU

Le verifiche agli Stati Limite Ultimo della berlinese dovranno essere condotte con riferimento a tutti i meccanismi di rottura e instabilità che possono verificarsi e previsti da normativa tecnica. Qualora si ritenesse possibile l'innescarsi di meccanismi di instabilità globale, si procederà alla verifica secondo quanto previsto dalla normativa vigente, con riferimento alla Combinazione 2 dell'Approccio 2

9.1.1 Verifica della massima spinta passiva mobilitata

La lunghezza di ammorsamento della paratia di micropali dovrà essere tale da garantire la stabilità dell'opera in tutte le fasi di realizzazione. La stabilità sarà verificata per mezzo del programma di calcolo Paratie, verificando la convergenza della soluzione calcolata e, dunque, l'equilibrio nella direzione orizzontale ed alla rotazione. Nell'ambito delle analisi si verificherà quindi che la spinta passiva mobilitata sia sempre inferiore alla spinta passiva ultima di progetto.

9.2 VERIFICHE GEOTECNICHE (GEO) ALLO SLE

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

9.2.1 Verifica degli spostamenti

Il calcolo degli spostamenti della berlinese sarà effettuato con Paratie e secondo quanto previsto dalle NTC. Orientativamente, il valore limite degli spostamenti dovrà essere pari o minore a 4 cm.

9.2.2 Verifica coefficiente di sicurezza

Per paratie multitirantate la definizione di un coefficiente di sicurezza rispetto al collasso non ha un interesse pratico in quanto i parametri di progetto rilevanti per tali strutture sono rappresentate dai parametri di deformabilità

Il software Paratie, in questi casi, definisce un coefficiente di sicurezza in termini di rapporto di mobilitazione della spinta passiva nel tratto infisso attraverso il rapporto:

$$\frac{\text{risultante spinte passive}}{\text{risultante spinte effettive}}$$

Il valore di questo coefficiente dà un'idea di quanto la struttura disti da condizione limite. Tale rapporto deve essere maggiore o uguale a 1

9.3 VERIFICHE STRUTTURALI (STR) ALLO SLU

9.3.1 Verifica palanca

La verifica della palanca viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni aperte con il metodo plastico descritto nelle NTC. Le verifiche a flessione ed a taglio saranno effettuate con Paratie, in termini di coefficiente di sfruttamento.

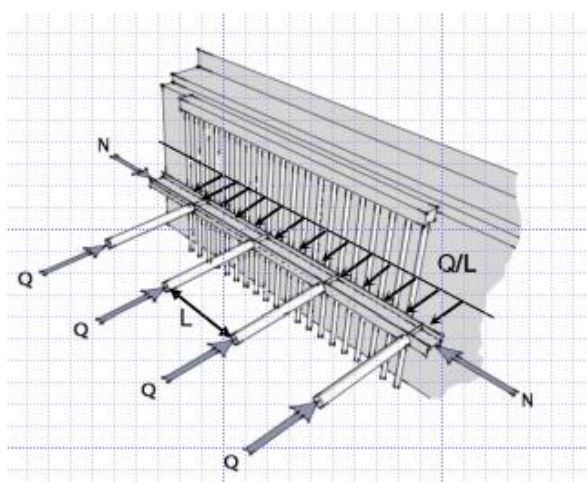
9.3.2 Verifica puntoni

La verifica dei puntoni viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni compatte di classe 1 e 2 con il metodo descritto nelle NTC.

9.3.3 Verifica trave di ripartizione

La verifica delle travi di ripartizione dei puntoni viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni compatte di classe 1 o 2 con il metodo plastico descritto nelle NTC.

In base alle assunzioni sullo schema statico ed all'interasse dei puntoni a cui la trave è collegata, vengono determinate le azioni flettenti e taglianti che impegnano la trave sul piano orizzontale.



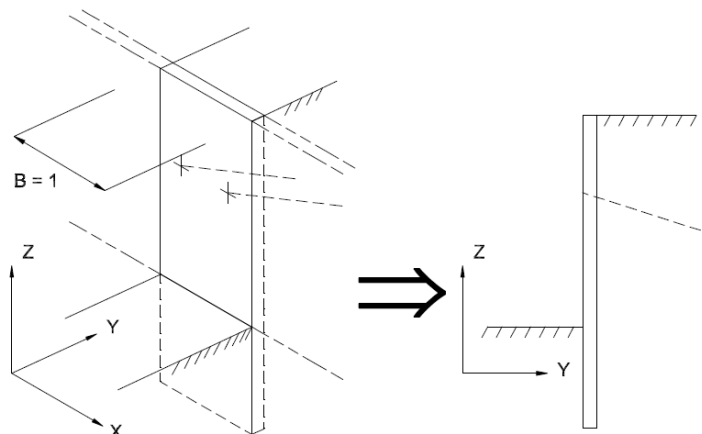
Anche queste verifiche sono condotte in modo automatico dal software Paratie che assume che l'azione sia uniformemente distribuita tra due elementi di contrasto come mostrato in figura.

10 VERIFICHE PARATIE PROVVISORIALI DI PROGETTO

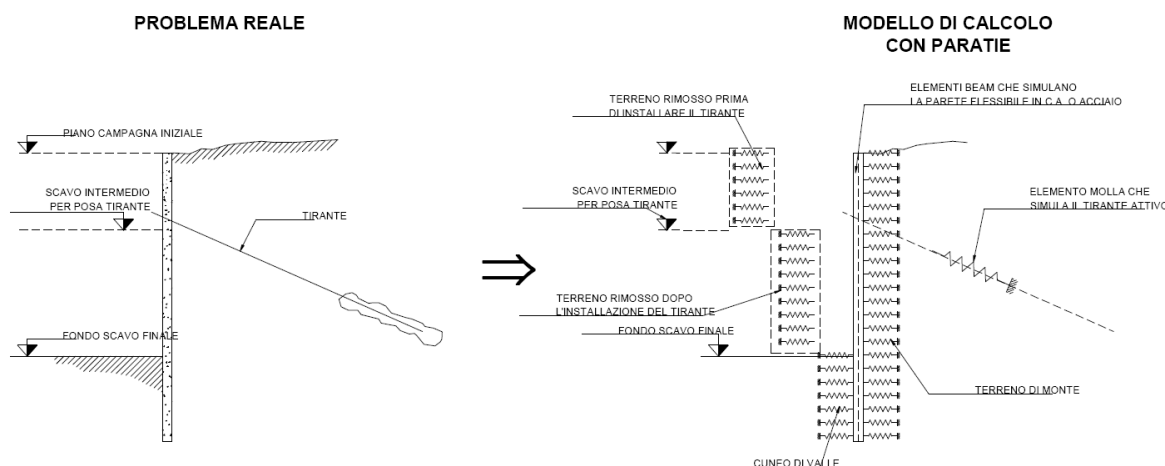
Di seguito si riporta un sunto dei risultati ottenuti dall'analisi con il software ParatiePlus.

PARATIE è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

L'opera è vista come un problema piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella seguente. PARATIE non è quindi idoneo a studiare problemi in cui vi siano importanti effetti tridimensionali.



La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura e del tipo "TRAVE SU SUOLO ELASTICO": le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidezza flessionale EJ , mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.



Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una "molla", abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidezza flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi STATICA INCREMENTALE: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un

certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elasto-plastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe (1996))

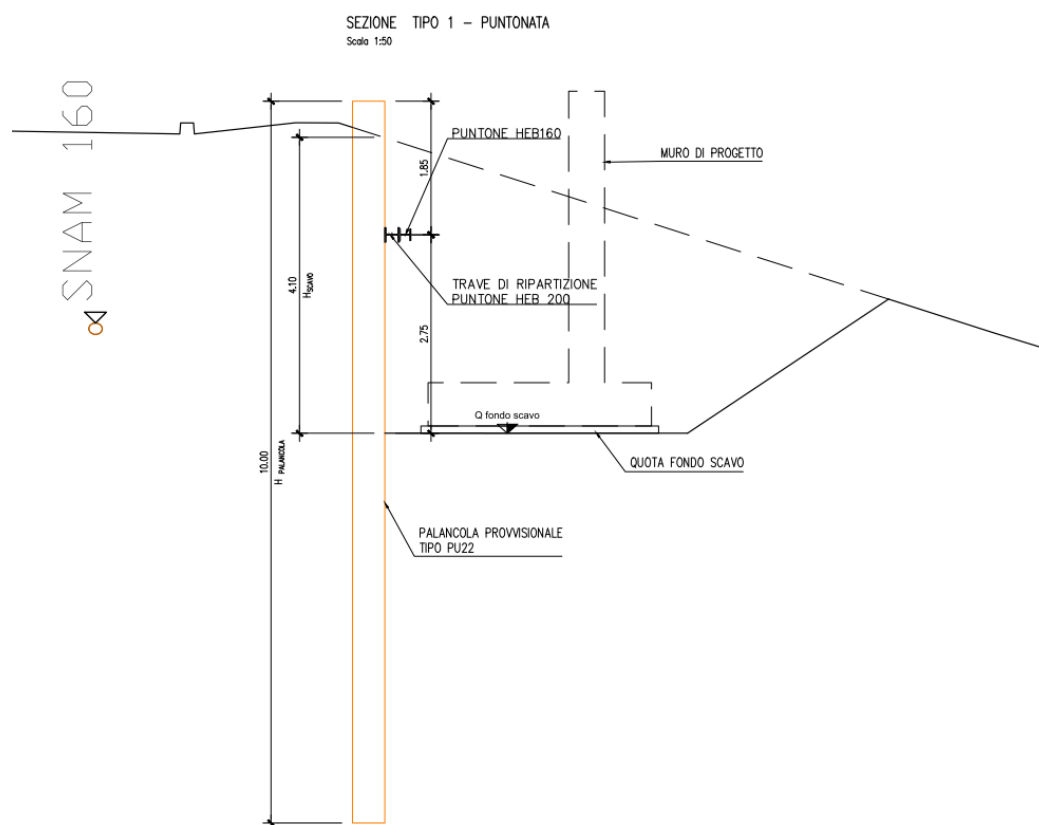
L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

In questa impostazione particolare gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

Scopo preciso di ParatiePlus è quindi il calcolo delle azioni flettenti e taglienti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse.

I tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

10.1 PALANCOLA TIPO 1 – PUNTONATA



10.1.1 **Descrizione parete**

X : 0 m

Quota in alto : 3.85 m

Quota di fondo : -6.15 m

Muro di sinistra

Sezione:

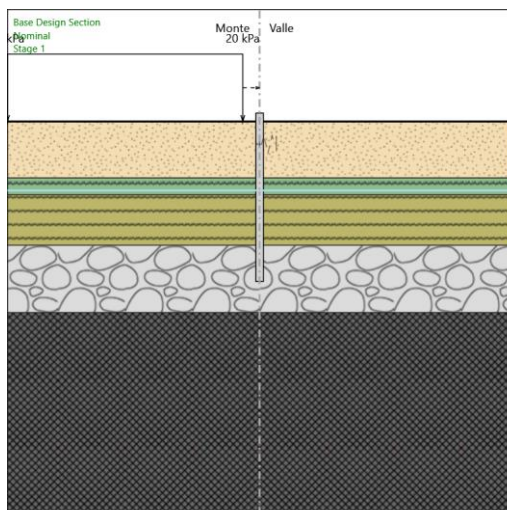
Area equivalente: 0.01829 m

Inerzia equivalente: 0.0005 m⁴/m

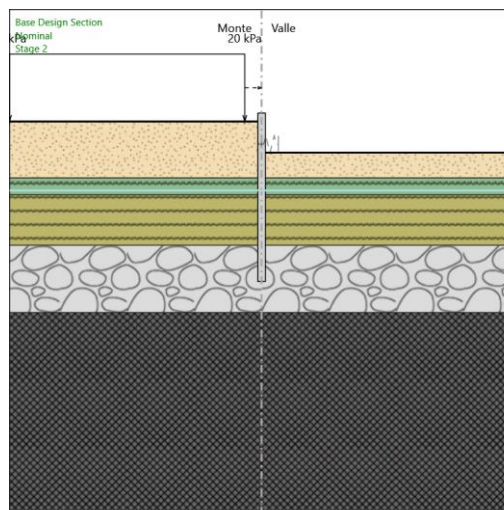
Profilo palanca: PU_22

10.1.2 Descrizione fasi

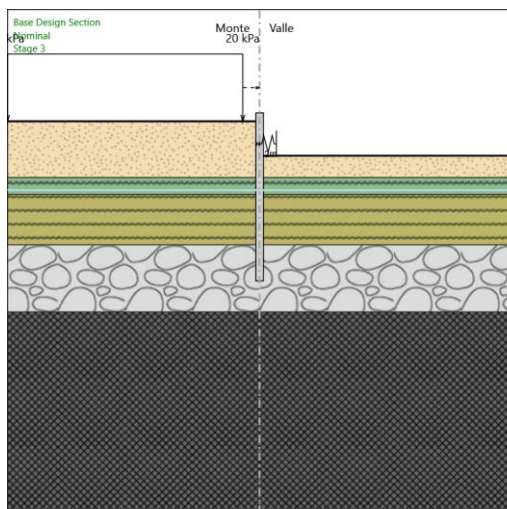
FASE 1 - Condizione geostatica



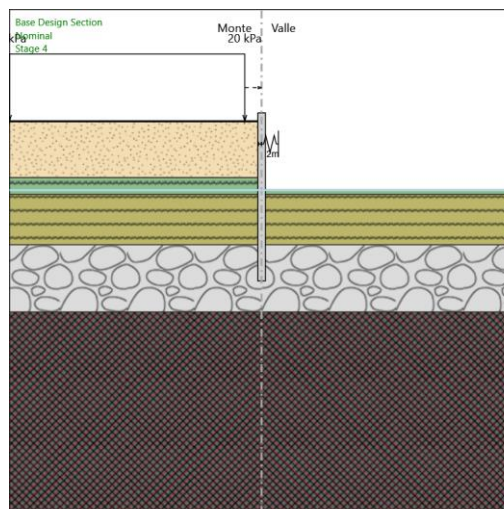
FASE 2 - Scavo fino a quota di imposta puntone



FASE 3 - Applicazione puntone



FASE 4 - Scavo finale

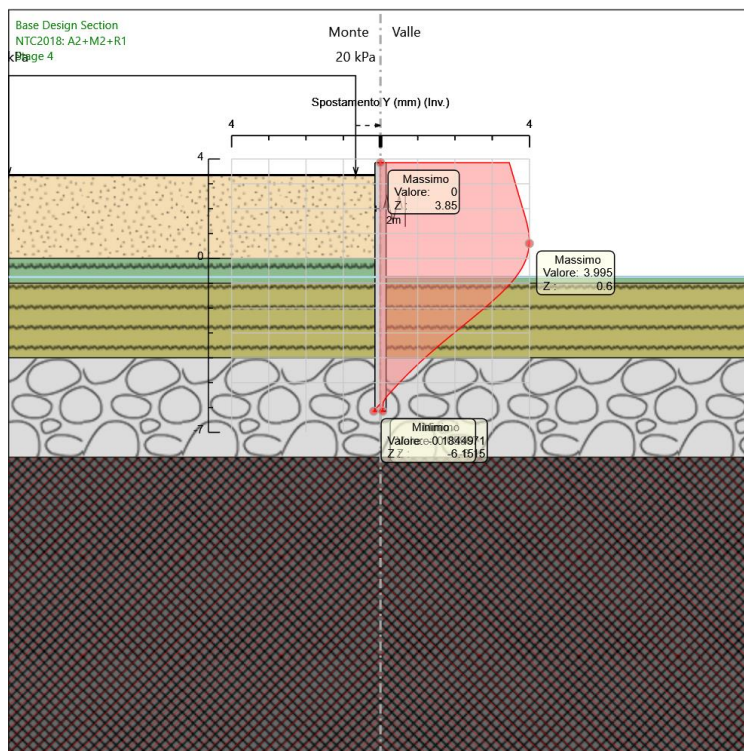


10.1.3 Descrizione sintetica risultati delle Design Assumption

| Design Assumption | Stage 1 | Stage 2 | Stage 3 | Stage 4 |
|--|---------|---------|---------|---------|
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | V | V | V | V |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | V | V | V | V |
| NTC2018: A2+M2+R1 | V | V | V | V |

10.1.4 Inviluppo Spostamenti combinazioni SLE

| Selected Design Assumptions Inviluppi: Spostamento orizzontale | | | Muro: LEFT |
|--|--------------------|--|------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (mm) | | Lato destro (mm) |
| 3.85 | 0 | | 3.46 |
| 3.65 | 0 | | 3.5 |
| 3.45 | 0 | | 3.54 |
| 3.25 | 0 | | 3.58 |
| 3.05 | 0 | | 3.61 |
| 2.85 | 0 | | 3.65 |
| 2.65 | 0 | | 3.69 |
| 2.45 | 0 | | 3.73 |
| 2.25 | 0 | | 3.77 |
| 2.05 | 0 | | 3.81 |
| 2 | 0 | | 3.82 |
| 1.8 | 0 | | 3.86 |
| 1.6 | 0 | | 3.9 |
| 1.4 | 0 | | 3.93 |
| 1.2 | 0 | | 3.96 |
| 1 | 0 | | 3.98 |
| 0.8 | 0 | | 3.99 |
| 0.6 | 0 | | 4 |
| 0.4 | 0 | | 3.98 |
| 0.2 | 0 | | 3.96 |
| 0 | 0 | | 3.92 |
| -0.2 | 0 | | 3.86 |
| -0.4 | 0 | | 3.79 |
| -0.6 | 0 | | 3.71 |
| -0.8 | 0 | | 3.61 |
| -1 | 0 | | 3.5 |
| -1.2 | 0 | | 3.37 |
| -1.4 | 0 | | 3.24 |
| -1.6 | 0 | | 3.09 |
| -1.8 | 0 | | 2.94 |
| -2 | 0 | | 2.79 |
| -2.2 | 0 | | 2.63 |
| -2.4 | 0 | | 2.47 |
| -2.6 | 0 | | 2.3 |
| -2.8 | 0 | | 2.14 |
| -3 | 0 | | 1.98 |
| -3.2 | 0 | | 1.82 |
| -3.4 | 0 | | 1.66 |
| -3.6 | 0 | | 1.5 |
| -3.8 | 0 | | 1.34 |
| -4 | 0 | | 1.19 |
| -4.2 | 0 | | 1.05 |
| -4.4 | 0 | | 0.91 |
| -4.6 | 0 | | 0.77 |
| -4.8 | 0 | | 0.64 |
| -5 | 0 | | 0.51 |
| -5.2 | 0 | | 0.38 |
| -5.4 | 0 | | 0.26 |
| -5.6 | 0 | | 0.14 |
| -5.8 | 0 | | 0.07 |
| -6 | -0.1 | | 0.06 |
| -6.15 | -0.18 | | 0.06 |

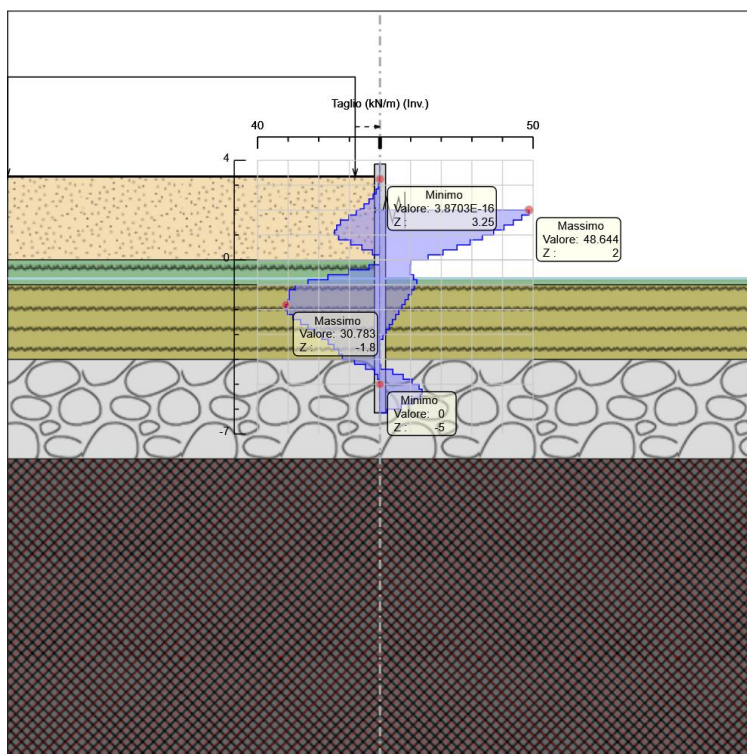


10.1.5 Inviluppo Sforzo di taglio combinazioni SLU

Selected Design Assumptions Involuppi: Taglio Muro: PALANCOLA
Z (m) Lato sinistro (kN/m) Lato destro (kN/m)

| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
|-------|----------------------|--------------------|
| 3.85 | 0 | 0 |
| 3.65 | 0 | 0 |
| 3.45 | 0 | 0 |
| 3.25 | 0.146 | 0 |
| 3.05 | 0.55 | 0 |
| 2.85 | 1.252 | 0 |
| 2.65 | 2.262 | 0 |
| 2.45 | 3.589 | 0 |
| 2.25 | 5.235 | 0 |
| 2.05 | 6.488 | 0 |
| 2 | 7.775 | 48.644 |
| 1.8 | 10.165 | 48.644 |
| 1.6 | 12.932 | 46.278 |
| 1.4 | 14.136 | 43.532 |
| 1.2 | 14.859 | 40.489 |
| 1 | 14.859 | 37.098 |
| 0.8 | 13.496 | 33.423 |
| 0.6 | 9.562 | 29.419 |
| 0.4 | 5.902 | 25.14 |
| 0.2 | 2.495 | 20.587 |
| 0 | 0 | 15.722 |
| -0.2 | 3.608 | 10.003 |
| -0.4 | 10.139 | 9.925 |
| -0.6 | 17.011 | 10.957 |
| -0.8 | 23.532 | 12.043 |
| -1 | 27.727 | 12.043 |
| -1.2 | 29.624 | 11.158 |
| -1.4 | 29.624 | 10.207 |
| -1.6 | 30.159 | 9.213 |
| -1.8 | 30.783 | 8.194 |
| -2 | 30.783 | 7.161 |
| -2.2 | 30.224 | 6.125 |

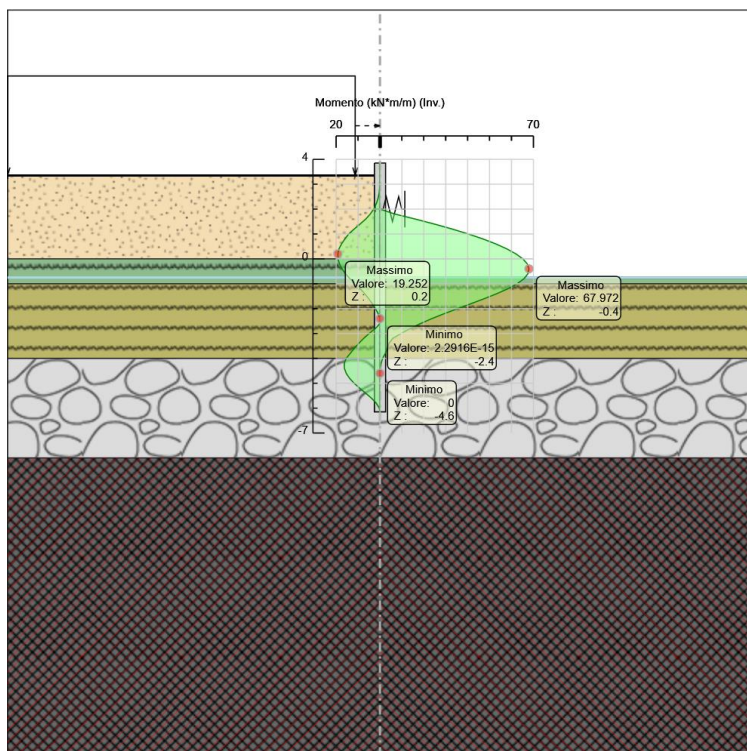
| Selected Design Assumptions | Involuppi: Taglio Muro: PALANCOLA | |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
| -2.4 | 28.455 | 5.089 |
| -2.6 | 25.913 | 4.056 |
| -2.8 | 23.494 | 3.025 |
| -3 | 21.18 | 1.992 |
| -3.2 | 18.997 | 0.953 |
| -3.4 | 16.925 | 0 |
| -3.6 | 15.022 | 0 |
| -3.8 | 13.471 | 0 |
| -4 | 12.276 | 0 |
| -4.2 | 8.307 | 0.209 |
| -4.4 | 4.695 | 4.185 |
| -4.6 | 1.775 | 7.597 |
| -4.8 | 0.79 | 10.449 |
| -5 | 0.235 | 12.773 |
| -5.2 | 0 | 13.763 |
| -5.4 | 0 | 13.763 |
| -5.6 | 0 | 13.104 |
| -5.8 | 0 | 10.822 |
| -6 | 0 | 6.933 |
| -6.15 | 0 | 2.256 |



10.1.6 Involuppo Momento flettente combinazioni SLU

| Selected Design Assumptions | Involuppi: Momento Muro: PALANCOLA | |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| 3.85 | 0 | 0 |
| 3.65 | 0 | 0 |
| 3.45 | 0 | 0 |
| 3.25 | 0 | 0 |
| 3.05 | 0.029 | 0 |
| 2.85 | 0.138 | 0 |
| 2.65 | 0.389 | 0 |
| 2.45 | 0.841 | 0 |

| Selected Design Assumptions | Inviluppi: Momento | Muro: PALANCOLA |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| 2.25 | 1.559 | 0 |
| 2.05 | 2.606 | 0 |
| 2 | 2.93 | 0 |
| 1.8 | 4.478 | 6.845 |
| 1.6 | 6.511 | 16.1 |
| 1.4 | 9.097 | 24.807 |
| 1.2 | 11.788 | 32.904 |
| 1 | 14.286 | 40.324 |
| 0.8 | 16.058 | 47.009 |
| 0.6 | 17.573 | 52.892 |
| 0.4 | 18.753 | 57.92 |
| 0.2 | 19.252 | 62.038 |
| 0 | 19.123 | 65.182 |
| -0.2 | 18.489 | 67.183 |
| -0.4 | 17.353 | 67.972 |
| -0.6 | 15.735 | 67.491 |
| -0.8 | 13.682 | 65.673 |
| -1 | 11.274 | 62.534 |
| -1.2 | 9.042 | 58.315 |
| -1.4 | 7 | 53.253 |
| -1.6 | 5.158 | 47.588 |
| -1.8 | 3.519 | 41.556 |
| -2 | 2.087 | 35.399 |
| -2.2 | 0.862 | 29.355 |
| -2.4 | 0 | 23.664 |
| -2.6 | 0 | 18.481 |
| -2.8 | 2.137 | 13.782 |
| -3 | 4.984 | 9.546 |
| -3.2 | 7.511 | 5.747 |
| -3.4 | 9.748 | 4.094 |
| -3.6 | 11.732 | 3.374 |
| -3.8 | 13.584 | 2.411 |
| -4 | 15.432 | 1.191 |
| -4.2 | 16.306 | 0.485 |
| -4.4 | 16.264 | 0.115 |
| -4.6 | 15.427 | 0 |
| -4.8 | 13.907 | 0 |
| -5 | 11.818 | 0 |
| -5.2 | 9.263 | 0 |
| -5.4 | 6.51 | 0 |
| -5.6 | 3.89 | 0 |
| -5.8 | 1.725 | 0 |
| -6 | 0.338 | 0 |
| -6.15 | 0 | 0 |



10.1.7 Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva |
|-------------------------------------|-------|-------|------|--|
| | | | | % |
| NTC2018: A2+M2+R1 Stage 1 Left Wall | | LEFT | | 11.36 |
| NTC2018: A2+M2+R1 Stage 4 Left Wall | | RIGHT | | 41.83 |

10.1.8 Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

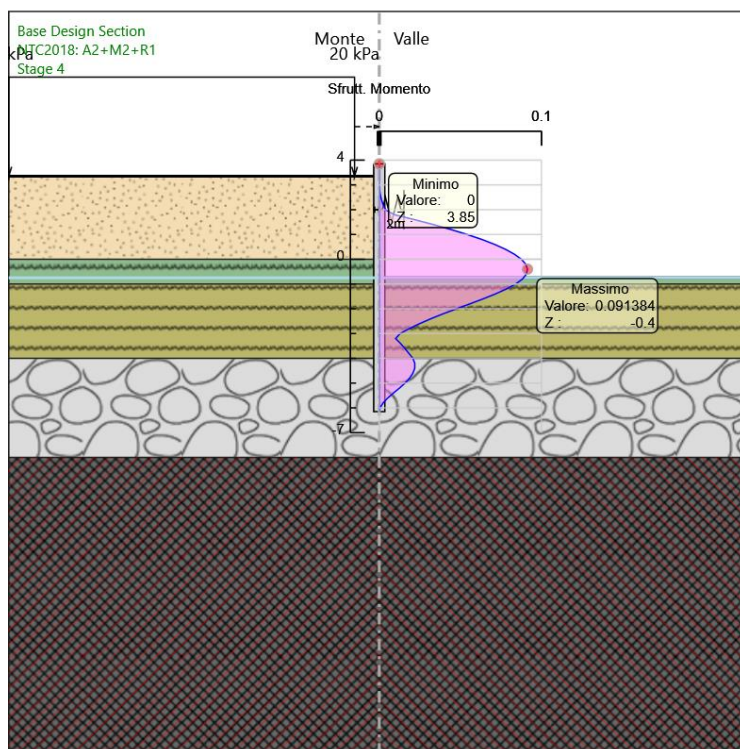
| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva |
|-------------------------------------|-------|-------|------|---|
| | | | | % |
| NTC2018: A2+M2+R1 Stage 4 Left Wall | | LEFT | | 101.2 |
| NTC2018: A2+M2+R1 Stage 1 Left Wall | | RIGHT | | 152.37 |

10.1.9 Risultati SteelWorld – Verifica palancola

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento

| Involuppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld | LEFT |
|--|--|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld |
| 3.85 | 0 |
| 3.65 | 0 |
| 3.45 | 0 |
| 3.25 | 0 |
| 3.05 | 0 |
| 2.85 | 0 |

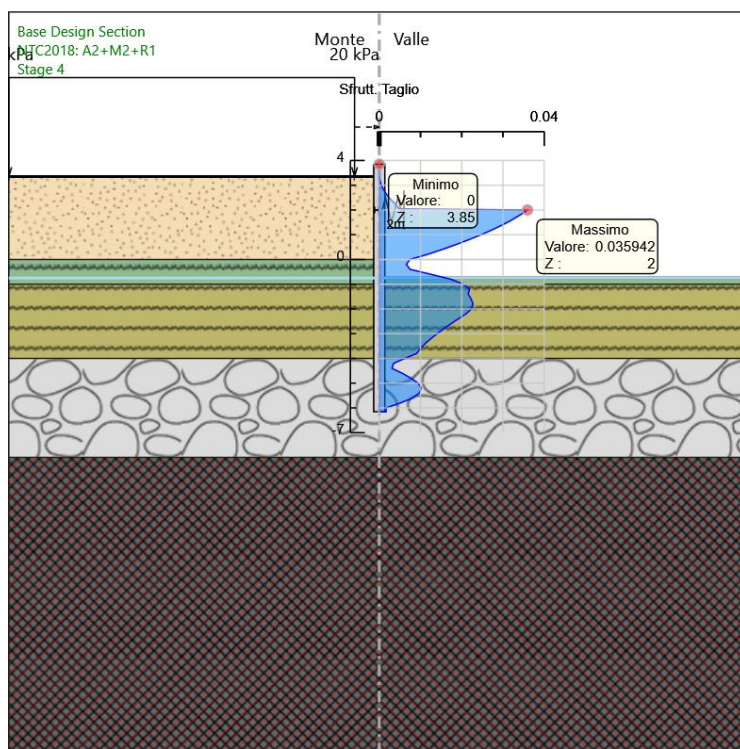
| Involuppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld | | LEFT |
|--|--|------|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld | |
| 2.65 | 0.001 | |
| 2.45 | 0.001 | |
| 2.25 | 0.002 | |
| 2.05 | 0.004 | |
| 2 | 0.004 | |
| 1.8 | 0.009 | |
| 1.6 | 0.022 | |
| 1.4 | 0.033 | |
| 1.2 | 0.044 | |
| 1 | 0.054 | |
| 0.8 | 0.063 | |
| 0.6 | 0.071 | |
| 0.4 | 0.078 | |
| 0.2 | 0.083 | |
| 0 | 0.088 | |
| -0.2 | 0.09 | |
| -0.4 | 0.091 | |
| -0.6 | 0.091 | |
| -0.8 | 0.088 | |
| -1 | 0.084 | |
| -1.2 | 0.078 | |
| -1.4 | 0.072 | |
| -1.6 | 0.064 | |
| -1.8 | 0.056 | |
| -2 | 0.048 | |
| -2.2 | 0.039 | |
| -2.4 | 0.032 | |
| -2.6 | 0.025 | |
| -2.8 | 0.019 | |
| -3 | 0.013 | |
| -3.2 | 0.01 | |
| -3.4 | 0.013 | |
| -3.6 | 0.016 | |
| -3.8 | 0.018 | |
| -4 | 0.021 | |
| -4.2 | 0.022 | |
| -4.4 | 0.022 | |
| -4.6 | 0.021 | |
| -4.8 | 0.019 | |
| -5 | 0.016 | |
| -5.2 | 0.012 | |
| -5.4 | 0.009 | |
| -5.6 | 0.005 | |
| -5.8 | 0.002 | |
| -6 | 0 | |
| -6.15 | 0 | |



Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio

| Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | | LEFT |
|---|---|------|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | |
| 3.85 | 0 | |
| 3.65 | 0 | |
| 3.45 | 0 | |
| 3.25 | 0 | |
| 3.05 | 0 | |
| 2.85 | 0.001 | |
| 2.65 | 0.002 | |
| 2.45 | 0.003 | |
| 2.25 | 0.004 | |
| 2.05 | 0.005 | |
| 2 | 0.036 | |
| 1.8 | 0.034 | |
| 1.6 | 0.032 | |
| 1.4 | 0.03 | |
| 1.2 | 0.027 | |
| 1 | 0.025 | |
| 0.8 | 0.022 | |
| 0.6 | 0.019 | |
| 0.4 | 0.015 | |
| 0.2 | 0.012 | |
| 0 | 0.007 | |
| -0.2 | 0.007 | |
| -0.4 | 0.007 | |
| -0.6 | 0.013 | |
| -0.8 | 0.017 | |
| -1 | 0.02 | |
| -1.2 | 0.022 | |
| -1.4 | 0.022 | |
| -1.6 | 0.022 | |
| -1.8 | 0.023 | |
| -2 | 0.022 | |
| -2.2 | 0.021 | |
| -2.4 | 0.019 | |
| -2.6 | 0.017 | |
| -2.8 | 0.016 | |
| -3 | 0.014 | |

| Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | | LEFT |
|---|---|------|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | |
| -3.2 | 0.013 | |
| -3.4 | 0.011 | |
| -3.6 | 0.01 | |
| -3.8 | 0.009 | |
| -4 | 0.006 | |
| -4.2 | 0.003 | |
| -4.4 | 0.003 | |
| -4.6 | 0.006 | |
| -4.8 | 0.008 | |
| -5 | 0.009 | |
| -5.2 | 0.01 | |
| -5.4 | 0.01 | |
| -5.6 | 0.008 | |
| -5.8 | 0.005 | |
| -6 | 0.002 | |
| -6.15 | 0.002 | |



10.1.10 Verifica puntone

Caratteristiche puntone:

| profilo mm | A_p m^2 | E MPa | L_p m | α_o ° | α_v ° | i m | $K_{puntone}$ kN/m | $k_{puntone}$ kN/m/m |
|---------------|----------------|----------|------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------------|-------------------------|
| HE 160 B | 0,005 | 210000 | 3,10 | 55 | 0 | 2,7 | 210789 | 78070 |

A_p = area puntone
 E = modulo elastico
 L_p = lunghezza puntone
 α_o = inclinazione orizzontale del puntone ($\alpha_o=0^\circ$ se puntone ortogonale a parete)

α_v = inclinazione verticale del puntone ($\alpha_v=0^\circ$ se orizzontale)
 i = interasse puntoni
 $K_{\text{puntone}} = E A_p / L_p [\cos(\alpha_o) \cos(\alpha_v)]$ rigidezza puntone
 $k_{\text{puntone}} = K_{\text{puntone}} / i$ rigidezza puntone per unità di lunghezza

Azioni da programma di calcolo paratie.

| Elemento strutturale | Design Assumption | Stage | Cela Forza |
|----------------------|-------------------|---------|------------|
| | | | kN/m |
| Spring | NTC2018: A2+M2+R1 | Stage 4 | -56.32 |

| | |
|-------|--------|
| nEd | NEd |
| kN/m | kN |
| 57,00 | 268,32 |

La sezione del profilo è costituito da un profilo HE 160 B

Caratteristiche geometriche della sezione

$A = 5425 \text{ mm}^2$ classe = 1
 $A_{\text{eff}} = \text{mm}^2$
 $i_y = 67,8 \text{ mm}$ $i_z = 40,5 \text{ mm}$
 $L_{0,y} = 3100 \text{ mm}$ $L_{0,z} = 3100 \text{ mm}$

Caratteristiche del materiale

$f_y = 235 \text{ MPa}$ $E = 210000 \text{ MPa}$ $G = 80769 \text{ MPa}$
 $\gamma_{M0} = 1,05$ $\gamma_{M1} = 1,05$ $\gamma_{M2} = 1,25$

Sollecitazioni agenti:

Le massime sollecitazioni agenti sulla colonna valgono (nella combinazione I di carico per impianto fermo):

$N_{\text{Ed}} = -268,32 \text{ kN}$ Azione assiale di compressione

Verifica a compressione

$$N_{\text{Ed}} / N_{\text{c,Rd}} = 0,22 < 1$$

dove:

$$N_{\text{c,Rd}} = A \cdot f_y / \gamma_{M0} = 1214,17 \text{ kN}$$

Verifica di instabilità

$$N_{\text{Ed}} / N_{\text{b,Rd}} = 0,34 < 1$$

dove:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = 792,41 \text{ kN}$$

con:

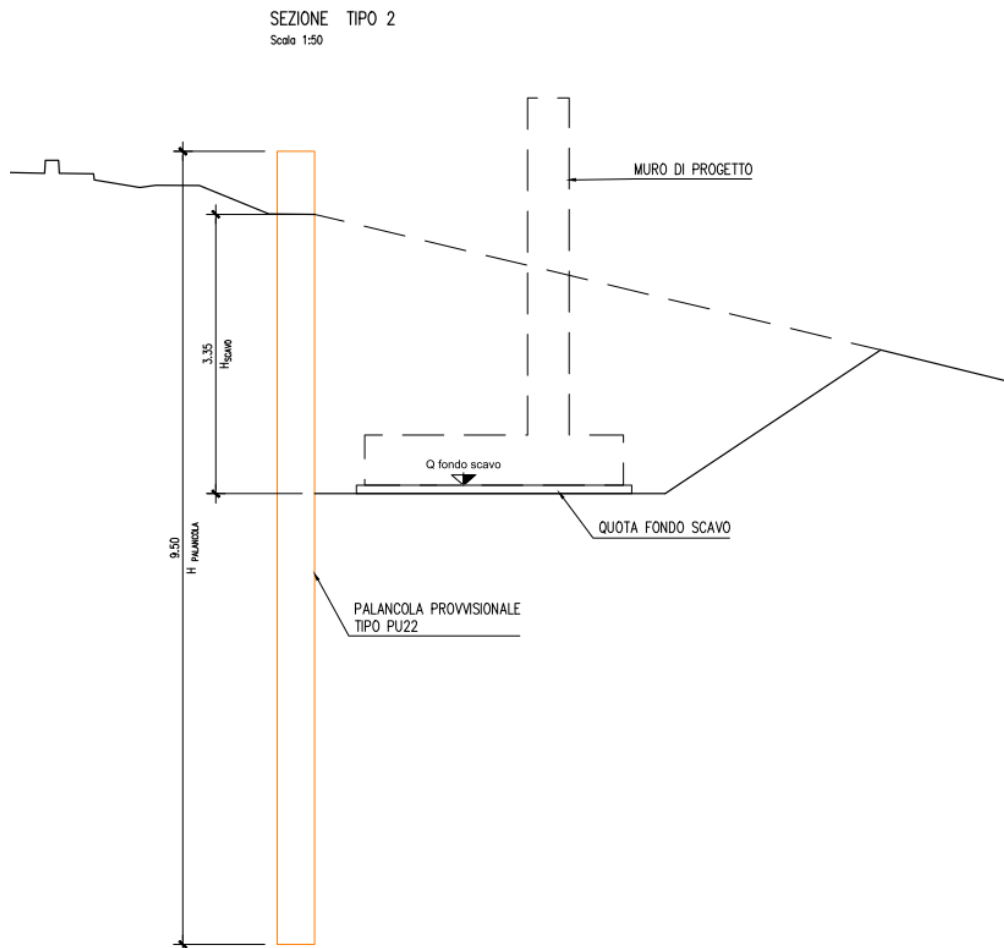
$$\begin{aligned} A &= 5425 \text{ mm}^2 \\ i &= y \quad i = z \\ \chi_i &= 1 / [\phi_i + (\phi_i^2 - \lambda_i^2)^{0,5}] = 0,89 \quad 0,65 \\ \phi_i &= 0,50 \cdot [1 + \alpha_i \cdot (\lambda_i - 0,2) + \lambda_i^2] = 0,67 \quad 0,98 \\ \alpha_i &= 0,34 \quad 0,49 \\ \text{curva} &= b \quad c \\ \lambda_i &= \lambda_i / \lambda_{1i} [\beta_i]^{0,5} = 0,49 \quad 0,82 \\ \lambda_i &= L_{0,i} / i_i = 45,72 \quad 76,54 \\ \lambda_{1i} &= 93,9 \varepsilon \quad 93,90 \\ \varepsilon &= (235 / f_y)^{0,5} = 1,00 \quad 1,00 \end{aligned}$$

10.1.11 Verifica trave di ripartizione

| Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | | Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione | | NTC2018 (ITA) | | | | | | | | |
|---|--|---|--|---------------|--|----------|---------|--------------------|---------|-----------|--------------|-------------|
| Trave di Ripartizione | | Elemento strutturale | | Sezione | | Material | Stage | Carico distribuito | Assiale | Ratio M-N | Ratio taglio | Instabilità |
| Default Waler | | Spring | | HE 200B | | S355 | Stage 3 | (kN/m) | (kN) | | | |
| Default Waler | | Spring | | HE 200B | | S355 | Stage 4 | -2.317 | 0 | 0.01 | 0.009 | 0 |
| Default Waler | | Spring | | HE 200B | | S355 | Stage 4 | -49.464 | 0 | 0.215 | 0.186 | 0 |

| Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1 | | Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione | | NTC2018 (ITA) | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---|--|---------------|--|----------|---------|--------------------|---------|-----------|--------------|-------------|
| Trave di Ripartizione | | Elemento strutturale | | Sezione | | Material | Stage | Carico distribuito | Assiale | Ratio M-N | Ratio taglio | Instabilità |
| Default Waler | | Spring | | HE 200B | | S355 | Stage 3 | (kN/m) | (kN) | | | |
| Default Waler | | Spring | | HE 200B | | S355 | Stage 4 | -2.668 | 0 | 0.012 | 0.01 | 0 |
| Default Waler | | Spring | | HE 200B | | S355 | Stage 4 | -56.315 | 0 | 0.245 | 0.212 | 0 |

10.2 PALANCOLA TIPO 2



10.2.1 Descrizione parete

X: 0 m

Quota in alto : 3.28 m

Quota di fondo : -6.72 m

Muro di sinistra

Sezione: L606

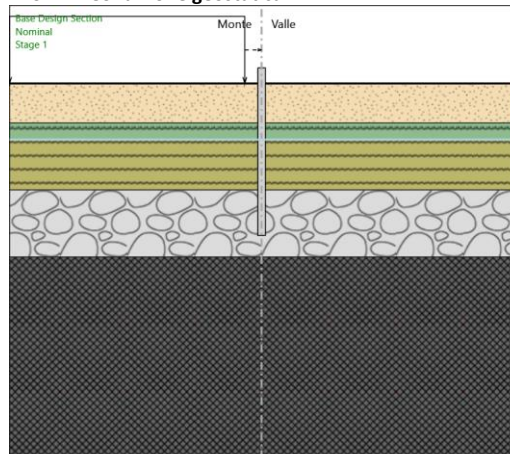
Area equivalente: 0.01829 m

Inerzia equivalente: 0.0005 m⁴/m

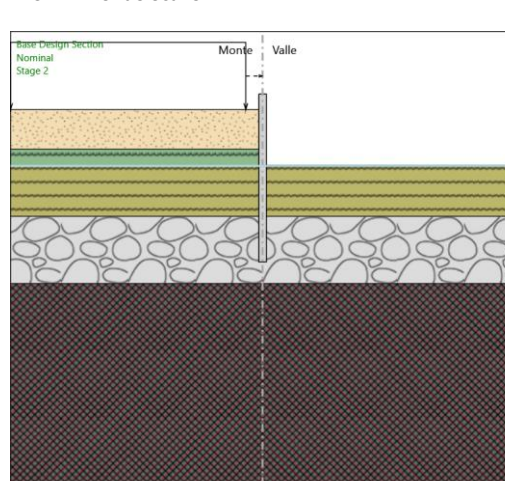
Profilo palanca: PU_22

10.2.2 Descrizione fasi

FASE 1 - Condizione geostatica



FASE 2 - Fondo Scavo



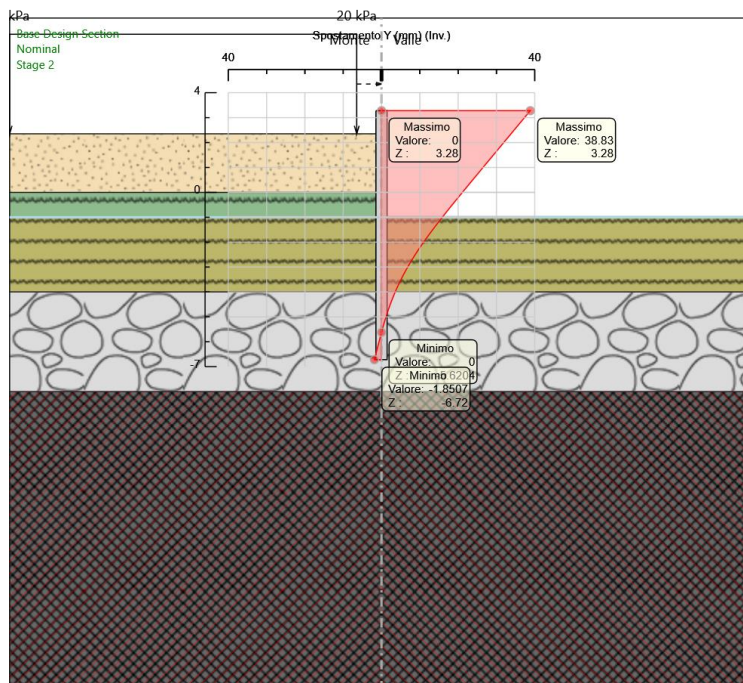
10.2.3 Descrizione sintetica risultati delle Design Assumption

| Design Assumption | Stage 1 | Stage 2 |
|--|---------|---------|
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) | V | V |
| NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) | V | V |
| NTC2018: A2+M2+R1 | V | V |

10.2.4 Involuppo Spostamenti combinazione SLE

| Selected Design Assumptions Involuppi: Spostamento orizzontale | | | Muro: LEFT |
|--|--------------------|--|------------------|
| Z (m) | Lato sinistro (mm) | | Lato destro (mm) |
| 3.28 | 0 | | 38.83 |
| 3.08 | 0 | | 37.75 |
| 2.88 | 0 | | 36.67 |
| 2.68 | 0 | | 35.58 |
| 2.48 | 0 | | 34.5 |
| 2.28 | 0 | | 33.42 |
| 2.08 | 0 | | 32.34 |
| 1.88 | 0 | | 31.25 |
| 1.68 | 0 | | 30.17 |
| 1.48 | 0 | | 29.09 |
| 1.28 | 0 | | 28.01 |
| 1.08 | 0 | | 26.93 |
| 0.88 | 0 | | 25.85 |
| 0.68 | 0 | | 24.77 |
| 0.48 | 0 | | 23.69 |
| 0.28 | 0 | | 22.61 |
| 0.08 | 0 | | 21.54 |
| -0.12 | 0 | | 20.47 |
| -0.32 | 0 | | 19.41 |
| -0.52 | 0 | | 18.36 |

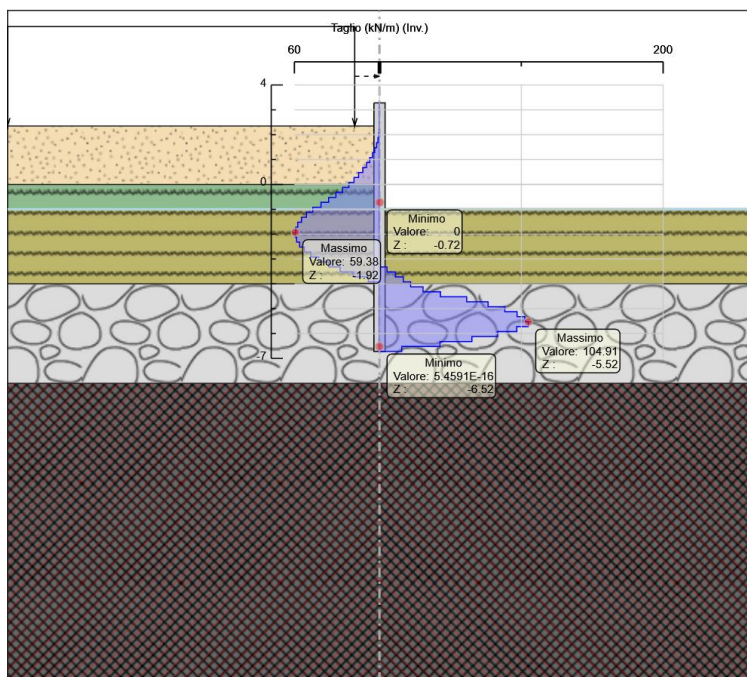
| Selected Design Assumptions Involuppi: Spostamento orizzontale | | | Muro: LEFT |
|--|--------------------|------------------|------------|
| Z (m) | Lato sinistro (mm) | Lato destro (mm) | |
| -0.72 | 0 | 17.31 | |
| -0.92 | 0 | 16.27 | |
| -1.12 | 0 | 15.25 | |
| -1.32 | 0 | 14.25 | |
| -1.52 | 0 | 13.26 | |
| -1.72 | 0 | 12.29 | |
| -1.92 | 0 | 11.35 | |
| -2.12 | 0 | 10.44 | |
| -2.32 | 0 | 9.56 | |
| -2.52 | 0 | 8.71 | |
| -2.72 | 0 | 7.9 | |
| -2.92 | 0 | 7.13 | |
| -3.12 | 0 | 6.39 | |
| -3.32 | 0 | 5.68 | |
| -3.52 | 0 | 5.02 | |
| -3.72 | 0 | 4.39 | |
| -3.92 | 0 | 3.8 | |
| -4.12 | 0 | 3.24 | |
| -4.32 | 0 | 2.72 | |
| -4.52 | 0 | 2.23 | |
| -4.72 | 0 | 1.77 | |
| -4.92 | 0 | 1.34 | |
| -5.12 | 0 | 0.93 | |
| -5.32 | 0 | 0.55 | |
| -5.52 | 0 | 0.18 | |
| -5.62 | 0 | 0 | |
| -5.72 | -0.18 | 0 | |
| -5.92 | -0.52 | 0 | |
| -6.12 | -0.86 | 0 | |
| -6.32 | -1.19 | 0 | |
| -6.52 | -1.52 | 0 | |
| -6.72 | -1.85 | 0 | |



10.2.5 Involuppo Sforzo di taglio combinazione SLU

Selected Design Assumptions Involuppi: Taglio Muro: PALANCOLA

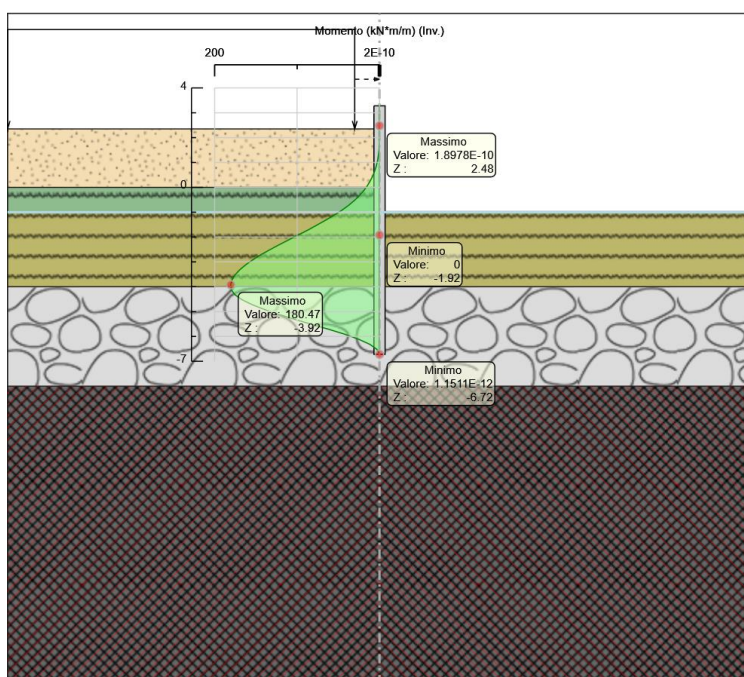
| Z (m) | Lato sinistro (kN/m) | Lato destro (kN/m) |
|-------|----------------------|--------------------|
| 3.28 | 0 | 0 |
| 3.08 | 0 | 0 |
| 2.88 | 0 | 0 |
| 2.68 | 0 | 0 |
| 2.48 | 0 | 0 |
| 2.28 | 0.094 | 0 |
| 2.08 | 0.462 | 0 |
| 1.88 | 1.119 | 0 |
| 1.68 | 2.082 | 0 |
| 1.48 | 3.361 | 0 |
| 1.28 | 4.959 | 0 |
| 1.08 | 6.875 | 0 |
| 0.88 | 9.167 | 0 |
| 0.68 | 11.773 | 0 |
| 0.48 | 14.744 | 0 |
| 0.28 | 18.011 | 0 |
| 0.08 | 21.619 | 0 |
| -0.12 | 26.03 | 0 |
| -0.32 | 30.763 | 0 |
| -0.52 | 35.859 | 0 |
| -0.72 | 41.271 | 0 |
| -0.92 | 47.035 | 0 |
| -1.12 | 51.531 | 0 |
| -1.32 | 55.029 | 0 |
| -1.52 | 57.674 | 0 |
| -1.72 | 59.114 | 0 |
| -1.92 | 59.38 | 0 |
| -2.12 | 59.38 | 0 |
| -2.32 | 58.44 | 0 |
| -2.52 | 56.322 | 0 |
| -2.72 | 52.996 | 0 |
| -2.92 | 48.488 | 0 |
| -3.12 | 42.771 | 0 |
| -3.32 | 35.845 | 5.275 |
| -3.52 | 27.734 | 11.204 |
| -3.72 | 18.412 | 16.751 |
| -3.92 | 7.903 | 21.959 |
| -4.12 | 0 | 30.719 |
| -4.32 | 0 | 42.971 |
| -4.52 | 0 | 61.466 |
| -4.72 | 0 | 76.572 |
| -4.92 | 0 | 88.399 |
| -5.12 | 0 | 97.012 |
| -5.32 | 0 | 102.501 |
| -5.52 | 0 | 104.911 |
| -5.72 | 0 | 104.911 |
| -5.92 | 0 | 96.795 |
| -6.12 | 0 | 83.218 |
| -6.32 | 0 | 65.164 |
| -6.52 | 0 | 42.654 |
| -6.72 | 0 | 15.699 |



10.2.6 Inviluppo Momento flettente combinazione SLU

| Selected Design Assumptions | | |
|------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Inviluppi: Momento Muro: PALANCOLA | | |
| Z (m) | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| 3.28 | 0 | 0 |
| 3.08 | 0 | 0 |
| 2.88 | 0 | 0 |
| 2.68 | 0 | 0 |
| 2.48 | 0 | 0 |
| 2.28 | 0 | 0 |
| 2.08 | 0.019 | 0 |
| 1.88 | 0.111 | 0 |
| 1.68 | 0.335 | 0 |
| 1.48 | 0.751 | 0 |
| 1.28 | 1.423 | 0 |
| 1.08 | 2.415 | 0 |
| 0.88 | 3.79 | 0 |
| 0.68 | 5.624 | 0 |
| 0.48 | 7.978 | 0 |
| 0.28 | 10.927 | 0 |
| 0.08 | 14.529 | 0 |
| -0.12 | 18.853 | 0 |
| -0.32 | 24.059 | 0 |
| -0.52 | 30.212 | 0 |
| -0.72 | 37.383 | 0 |
| -0.92 | 45.638 | 0 |
| -1.12 | 55.045 | 0 |
| -1.32 | 65.351 | 0 |
| -1.52 | 76.099 | 0 |
| -1.72 | 86.99 | 0 |
| -1.92 | 98.813 | 0 |
| -2.12 | 110.689 | 0 |
| -2.32 | 122.377 | 0 |
| -2.52 | 133.641 | 0 |
| -2.72 | 144.24 | 0 |
| -2.92 | 153.938 | 0 |
| -3.12 | 162.492 | 0 |
| -3.32 | 169.661 | 0 |
| -3.52 | 175.208 | 0 |

| Selected Design Assumptions | | Involuppi: Momento | Muro: PALANCOLA |
|-----------------------------|--|------------------------|----------------------|
| Z (m) | | Lato sinistro (kN*m/m) | Lato destro (kN*m/m) |
| -3.72 | | 178.89 | 0 |
| -3.92 | | 180.471 | 0 |
| -4.12 | | 179.899 | 0 |
| -4.32 | | 175.472 | 0 |
| -4.52 | | 166.878 | 0 |
| -4.72 | | 154.585 | 0 |
| -4.92 | | 139.27 | 0 |
| -5.12 | | 121.591 | 0 |
| -5.32 | | 102.188 | 0 |
| -5.52 | | 81.688 | 0 |
| -5.72 | | 60.706 | 0 |
| -5.92 | | 41.347 | 0 |
| -6.12 | | 24.703 | 0 |
| -6.32 | | 11.671 | 0 |
| -6.52 | | 3.14 | 0 |
| -6.72 | | 0 | 0 |



10.2.7 Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva |
|-------------------------------------|-------|------|------|--|
| | | | | % |
| NTC2018: A2+M2+R1 Stage 1 Left Wall | LEFT | | | 11.33 |
| NTC2018: A2+M2+R1 Stage 2 Left Wall | RIGHT | | | 50.97 |

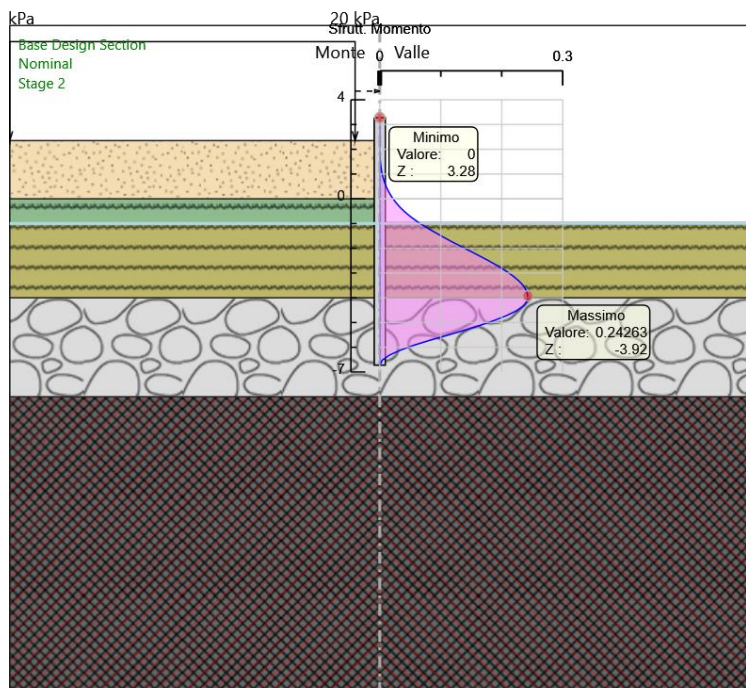
10.2.8 Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

| Design Assumption | Stage | Muro | Lato | Involuppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva |
|--|-------------------|-------|------|---|
| | | | | % |
| NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) Stage 2 Left Wall | LEFT | | | 117.57 |
| NTC2018: A2+M2+R1 | Stage 1 Left Wall | RIGHT | | 155.81 |

10.2.9 Risultati SteelWorld – Verifica palancola

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento

| Inviluppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld | | LEFT |
|--|--|------|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld | |
| 3.28 | 0 | |
| 3.08 | 0 | |
| 2.88 | 0 | |
| 2.68 | 0 | |
| 2.48 | 0 | |
| 2.28 | 0 | |
| 2.08 | 0 | |
| 1.88 | 0 | |
| 1.68 | 0 | |
| 1.48 | 0.001 | |
| 1.28 | 0.002 | |
| 1.08 | 0.003 | |
| 0.88 | 0.005 | |
| 0.68 | 0.008 | |
| 0.48 | 0.011 | |
| 0.28 | 0.015 | |
| 0.08 | 0.02 | |
| -0.12 | 0.025 | |
| -0.32 | 0.032 | |
| -0.52 | 0.041 | |
| -0.72 | 0.05 | |
| -0.92 | 0.061 | |
| -1.12 | 0.074 | |
| -1.32 | 0.088 | |
| -1.52 | 0.102 | |
| -1.72 | 0.117 | |
| -1.92 | 0.133 | |
| -2.12 | 0.149 | |
| -2.32 | 0.165 | |
| -2.52 | 0.18 | |
| -2.72 | 0.194 | |
| -2.92 | 0.207 | |
| -3.12 | 0.218 | |
| -3.32 | 0.228 | |
| -3.52 | 0.236 | |
| -3.72 | 0.241 | |
| -3.92 | 0.243 | |
| -4.12 | 0.242 | |
| -4.32 | 0.236 | |
| -4.52 | 0.224 | |
| -4.72 | 0.208 | |
| -4.92 | 0.187 | |
| -5.12 | 0.163 | |
| -5.32 | 0.137 | |
| -5.52 | 0.11 | |
| -5.72 | 0.082 | |
| -5.92 | 0.056 | |
| -6.12 | 0.033 | |
| -6.32 | 0.016 | |
| -6.52 | 0.004 | |
| -6.72 | 0 | |



Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio

| Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | | LEFT |
|---|---|------|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | |
| 3.28 | 0 | |
| 3.08 | 0 | |
| 2.88 | 0 | |
| 2.68 | 0 | |
| 2.48 | 0 | |
| 2.28 | 0 | |
| 2.08 | 0 | |
| 1.88 | 0.001 | |
| 1.68 | 0.002 | |
| 1.48 | 0.002 | |
| 1.28 | 0.004 | |
| 1.08 | 0.005 | |
| 0.88 | 0.007 | |
| 0.68 | 0.009 | |
| 0.48 | 0.011 | |
| 0.28 | 0.013 | |
| 0.08 | 0.016 | |
| -0.12 | 0.019 | |
| -0.32 | 0.023 | |
| -0.52 | 0.026 | |
| -0.72 | 0.03 | |
| -0.92 | 0.035 | |
| -1.12 | 0.038 | |
| -1.32 | 0.041 | |
| -1.52 | 0.043 | |
| -1.72 | 0.044 | |
| -1.92 | 0.044 | |
| -2.12 | 0.043 | |
| -2.32 | 0.042 | |
| -2.52 | 0.039 | |
| -2.72 | 0.036 | |
| -2.92 | 0.032 | |
| -3.12 | 0.026 | |
| -3.32 | 0.02 | |
| -3.52 | 0.014 | |
| -3.72 | 0.012 | |
| -3.92 | 0.016 | |
| -4.12 | 0.023 | |

| Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | | LEFT |
|---|---|------|
| Z (m) | Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld | |
| -4.32 | 0.032 | |
| -4.52 | 0.045 | |
| -4.72 | 0.057 | |
| -4.92 | 0.065 | |
| -5.12 | 0.072 | |
| -5.32 | 0.076 | |
| -5.52 | 0.078 | |
| -5.72 | 0.072 | |
| -5.92 | 0.061 | |
| -6.12 | 0.048 | |
| -6.32 | 0.032 | |
| -6.52 | 0.012 | |
| -6.72 | 0.012 | |

