

ASSE VIARIO MARCHE – UMBRIA E QUADRILATERO DI PENETRAZIONE INTERNA MAXI LOTTO 2

LAVORI DI COMPLETAMENTO DELLA DIRETTRICE PERUGIA ANCONA:
SS. 318 DI “VALFABBRICA”. TRATTO PIANELLO – VALFABBRICA
SS. 76 “VAL D’ESINO”. TRATTI FOSSATO VICO – CANCELLI E ALBACINA – SERRA SAN QUIRICO
“PEDEMONTANA DELLE MARCHE”, TRATTO FABRIANO – MUCCIA – SFERCIA

PROGETTO ESECUTIVO

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p>  <p>DIRPA 2 s.c.a.r.l.</p>	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
---	---	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese

Mandataria:



**RESPONSABILE DELLA
PROGETTAZIONE PER I'ATI**

Ing. Antonio Grimaldi

GEOLOGO

Dott. Geol. Fabrizio Pontoni

**COORDINATORE DELLA SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Ing. Michele Curiale



**IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO**

Ing. Giulio Petrizzelli

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE ARTIFICIALI

Imbocco Sud Croce di Calle

Relazione tecnica e di calcolo delle opere di protezione agli imbocchi

SCALA:

DATA:

Novembre 2016

Codice Unico di Progetto (CUP) F12C03000050021 (Assegnato CIPE 23-12-2015)

	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	
Codice Elaborato:	L 0 7 0 3	2 1 2	E	1 5	G A 2 8 0 0	R E L	0 2	1

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Agosto 2016	Emissione per progetto esecutivo	PROGIN	A. D'Alterio	A. Grimaldi
B	Novembre 2016	Emissione a seguito di istruttoria	PROGIN	A. D'Alterio	A. Grimaldi

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 2 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

I N D I C E

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....	4
2.2 BIBLIOGRAFIA	4
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	8
6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA.....	11
7. ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE	12
7.1 MODELLO DI CALCOLO	12
7.2 VERIFICHE	17
ALLEGATO A	24
TABULATI DI CALCOLO	24

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 3 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

1. INTRODUZIONE

L'opera oggetto della relazione è inquadrata nell'ambito dei lavori di completamento della direttrice Perugia – Ancona "Pedemontana delle Marche": Sub Lotto 2.2 Tratto Fabriano – Muccia Sfercia.

del ponte denominato Mistriano posto tra le progressive 5+806 e 5+846 del tracciato di progetto.

Nella presente relazione sono riportate le analisi, il dimensionamento e le verifiche delle opere di protezione all'imbocco Sud della galleria Croce di Calle.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 4 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

La redazione della presente relazione è stata condotta nel rispetto della normativa in vigore, in particolare:

Normative sulle costruzioni

- D.M. 14.09.2005: "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 02.02.2009: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"

Normative sulle strutture in c.a, in c.a.p. e acciaio

- Legge 05.11.1971, n.1086: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 14.02.1974, n. 11951).
- D.M. 16.01.1996: "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi»" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 04.07.1996, n. 156 AA.GG./STC).
- Circolare n.156AA/STC del 04.07.1996 "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996".
- D.M. 14.02.1992: "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche".
- D.M. 09.01.1996: "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 15.10.1996, n. 252 AA.GG./STC).

Normativa sui terreni, opere di sostegno, opere di fondazione

- D.M 11.03.1988: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative istruzioni (Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988, n. 30483).
- Circ. Min. LL.PP. 09.01.1996, n. 218/24/3 "Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della redazione geotecnica".

2.2 BIBLIOGRAFIA

- Lancellotta R. (1993): "Geotecnica". Edizioni Zanichelli.
- Lancellotta R., Calavera J. (1999): "Fondazioni". Ed. McGraw-Hill.
- Viggiani C. (2000): "Fondazioni". Ed. CUEN.

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria naturale "Croce di Calle" si estende dall'imbocco Nord, localizzato a progr. 1+796,58, fino all'imbocco Sud, localizzato a progr. 3+310,92. La lunghezza complessiva della galleria è pari a 1514,34 m.

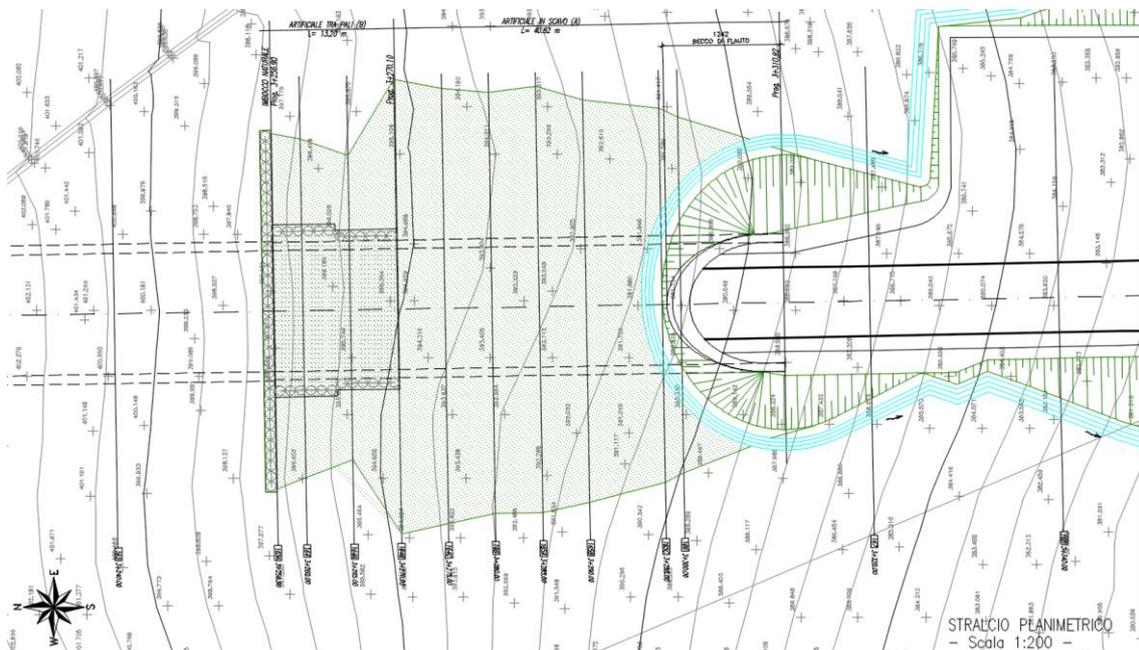
In corrispondenza di entrambi gli estremi della galleria, sono previsti imbocchi a "becco di flauto" che si estendono per una lunghezza pari a circa 12,42 m. Il tratto in artificiale prevede prima uno scavo di sbancamento, la realizzazione degli elementi strutturali ed il successivo ritombamento fino a ripristinare il piano campagna.

Nelle zone in prossimità degli imbocchi in naturale sono previste delle sezioni in artificiale tra pali puntonati attraverso una protesi in calcestruzzo armato, tali zone fungono da raccordo tra le parti in artificiale in scavo e la parte in naturale della galleria.

In corrispondenza degli imbocchi del tratto in naturale sono previste delle palificate con cordoli in c.a. di sommità.

Nella presente relazione sono riportati i calcoli di dimensionamento delle opere a sostegno dello scavo necessario per l'esecuzione della tratta in artificiale.

Si riportano di seguito uno stralcio planimetrico, un profilo longitudinale ed una sezione tipologica delle opere in progetto.

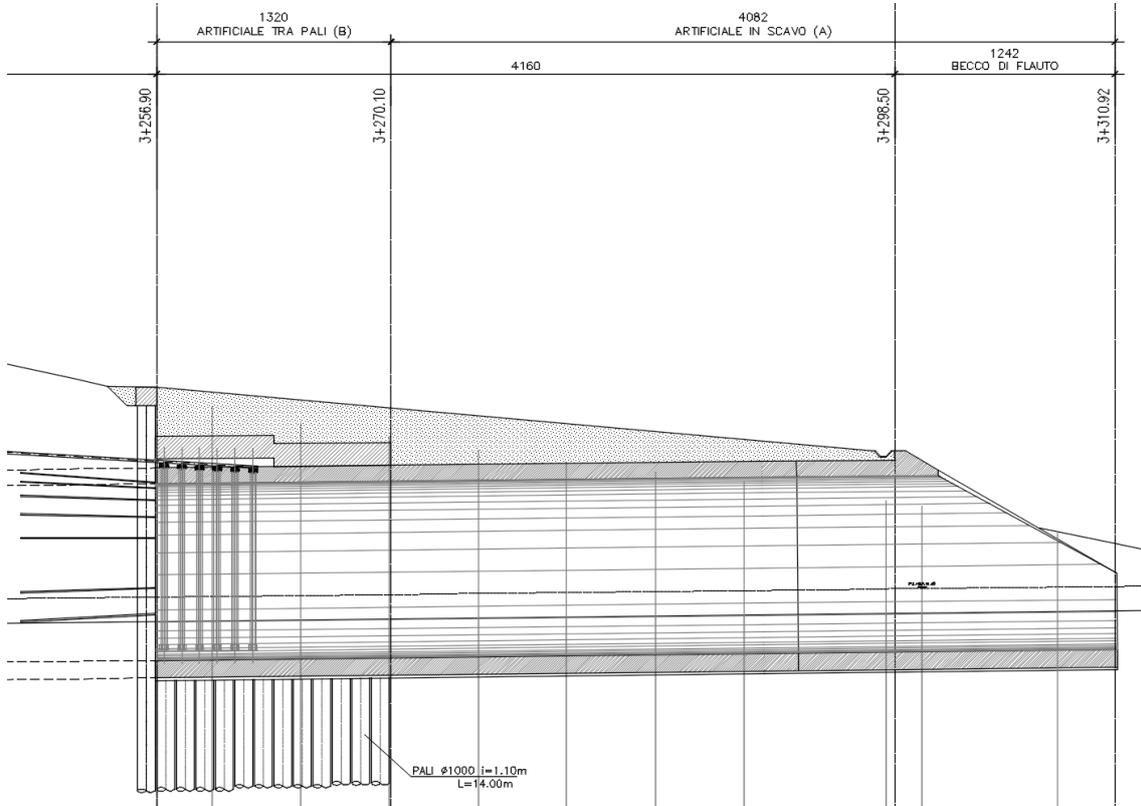


Stralcio Planimetrico

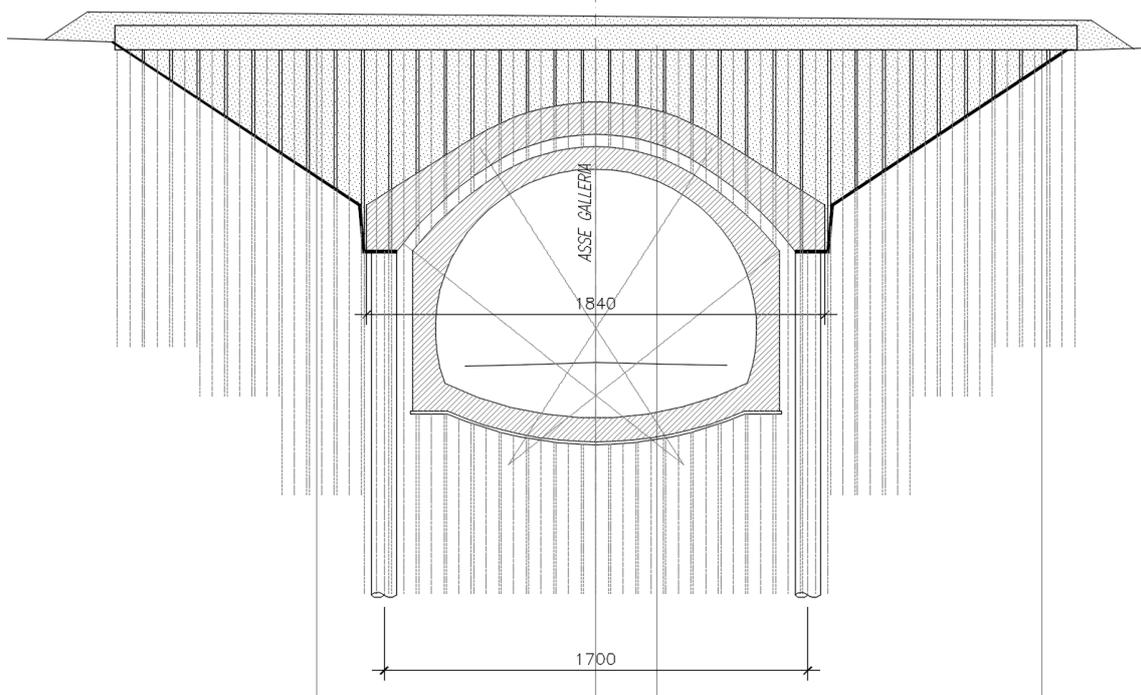
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 6 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------



Profilo longitudinale



Sezione palificata imbocco naturale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 7 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano qui di seguito le caratteristiche prestazionali dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione dei rivestimenti definitivi.

Calcestruzzo per opere provvisori

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C25/30 (ex Rck=45 MPa)
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	fck, cube \geq 30 MPa
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	fck \geq 25 MPa
Modulo elastico secante:	Ecm = 30'500 MPa
Rapporto massimo acqua / cemento	A/C \leq 0.55
Classe di esposizione ambientale:	XC2

Acciaio per cemento armato

Tipo: B 450 C (ex Fe B 44k)	
Tensione caratteristica di rottura a trazione:	ftk \geq 540 MPa
Tensione caratteristica di snervamento:	fyk \geq 450 MPa
Tensione di calcolo ($\gamma_s=1.15$):	fyd = 450 / 1.15 = 391 MPa
Modulo elastico:	E = 210'000 MPa

5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La caratterizzazione geologica – geotecnica dei terreni interessati dall’opera in oggetto è stata effettuata mediante l’analisi dei dati ottenuti da prove di laboratorio ed in sito.



Stralcio planimetrico con indicazione dei punti di indagine

L’area del tracciato stradale in oggetto si sviluppa nell’Appennino Umbro-Marchigiano e per tutta la sua estensione ricade interamente nel “Bacino di Camerino”, un bacino minore di una più ampia struttura di età miocenica. Le successioni attraversate appartengono al Bacino Marchigiano Interno e le età formazionali sono comprese tra il Turoniano (Scaglia Rossa) e il Messiniano Superiore (Formazione a Colombacci), a queste vanno aggiunti i depositi alluvionali terrazzati, i detriti di versante ed i depositi eluvio colluviali di età pleistocenica-olocenica.

La galleria in oggetto attraversa la Formazione di Camerino. Si tratta delle litologie appartenenti alla formazione delle marnoso-arenacee. In particolare in funzione dei diversi rapporti fra frazione pelitica e arenacea si distinguono le seguenti facies: associazione pelitica, rappresentata da marne argillo-siltose scure con subordinate peliti arenacee e marne emipelagiche; associazione pelitico-arenacea, rappresentata da litofacies politico-arenacee e subordinatamente da litofacies arenarie politiche; associazione arenaceo-pelitica, formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie ed infine l’associazione arenacea-conglomeratica, costituita da arenarie giallastre, da conglomerati in giacitura lenticolare e da livelli marnosi.

Di seguito si riportano le unità geotecniche riscontrate:

- Unità R - Terreno di riporto e coltre vegetale: si includono i riporti di origine antropica ed il terreno vegetale; si tratta generalmente di limo sabbioso e sabbia limosa con clasti e frammenti vegetali e di laterizi;
- Unità EC - Depositi eluvio colluviali: si tratta di depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa (Unità EC1a); localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 9 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

roccioso (Unità ECl). Localmente sono state individuate zone con coperture di materiale di accumuli di frana (unità a);

- Unità A - Alluvioni: si tratta di depositi alluvionali rinvenibili in corrispondenza dei corsi d'acqua e si distinguono: ghiaie eterometriche ed eterogenee in matrice sabbiosa (Unità Ag), sabbie, sabbie debolmente limose (Unità As); limi argillosi (Unità Ala);
- Unità Salt – substrato alterato: si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato;
- Unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo con $0,2 \leq A/P \leq 1$ (Formazione di Camerino): rappresentata da litofacies pelitico-arenacee con un rapporto $A/P < 1$;
- Unità Ap - Substrato Arenaceo – Pelitico $A/P \geq 1$ (Formazione di Camerino): formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie con un rapporto $A/P > 1$;
- Unità Sch – Formazione dello Schlier: si tratta di alternanze di marne, marne siltose calcaree e argillose a volte arenacee, di colore grigio verde, e da calcari marnosi.

Si riportano di seguito i parametri geomeccanici di interesse:

- Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi
 $\gamma = 18.5 \div 20.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 24 \div 27^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata
 $\phi r' = 19 \div 21^\circ$ angolo di resistenza al taglio residuo
 $c r' = 0$ kPa coesione drenata residua
 $c_u = 50 \div 160$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $E_o = 100 \div 400$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale
- Unità Ecls - Depositi eluvio colluviali sabbiosi
 $\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 30 \div 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0$ kPa coesione drenata
 $E_o = 250 \div 400$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale
- Unità Ag - Depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi
 $\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 38 \div 42^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0$ kPa coesione drenata
 $E_o = 200 \div 600$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 10 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo / Unità Ap – substrato arenaceo pelitico

$\gamma = 23.0 \div 23.5$ kN/m³ peso di volume naturale

$\sigma'_{c,media} = 0.5$ MPa per $z < 10$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Pa

$\sigma'_{c,media} = 2.3$ MPa per $10 < z < 40$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Pa

$\sigma'_{c,media} = 7.2$ MPa per $z > 40$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Pa

$\sigma'_{c,media} = 20$ MPa resistenza a compressione monoassiale per unità Ap

$\sigma'_{c,10\%} = 2$ MPa per $z > 40$ m resistenza a compressione monoassiale per unità Ap

parametri di resistenza per tensioni $\sigma_v' < 700$ kPa:

$\phi' = 31^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 120$ kPa coesione drenata

parametri di resistenza per tensioni $\sigma_v' > 700$ kPa:

$\phi' = 25^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 220$ kPa coesione drenata

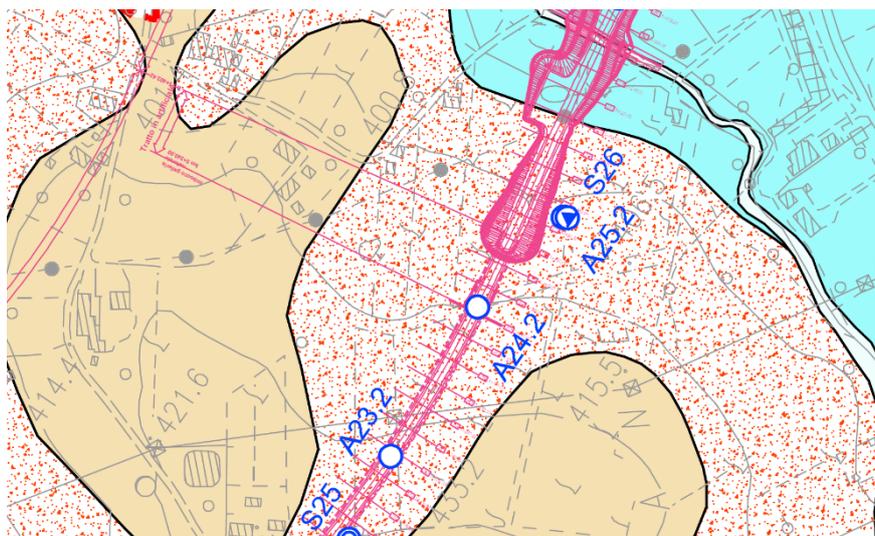
Da rilievo geomeccanico carote sondaggio:

GSI = $38 \div 80$ (valore medio 69)

$E'o = 20 + 5,75 \times z$ [MPa] per $z < 40$ m

$E'o = 250 + 0,8 \times z$ [MPa] per $z > 40$ m

Nella zona di imbocco nord della galleria sono state individuate delle zone in frana, di cui si è tenuto conto nella fase di progettazione e verifica dell'opera. Si riporta uno stralcio planimetrico in cui viene evidenziata la zona in questione:



Stralcio planimetrico con indicazione delle zone in frana



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 11 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

6. DEFINIZIONE AZIONE SISMICA

Avendo l'opera un carattere prettamente provvisorio con vita nominale inferiore ai 2 anni, in accordo con la normativa vigente [NTC – 2.4.1], l'analisi sismica dell'opera non è stata effettuata.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 12 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

7. ANALISI E VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE

7.1 MODELLO DI CALCOLO

Al fine di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie è necessario poterne seguire il comportamento durante le principali fasi esecutive. Il calcolo "monodimensionale" della paratia verrà perciò condotto con l'ausilio del codice di calcolo automatico agli elementi finiti PARATIE PLUS 2012 prodotto in collaborazione tra CeAS S.r.l. e Deep Excavation LLC che, con l'impiego di un metodo di calcolo iterativo, consente di modellare l'interazione terreno-struttura nella successione delle fasi di scavo e di esercizio.

Infatti, in tale codice di calcolo, l'interazione fra la paratia e il terreno, è simulata modellando la prima con elementi finiti caratterizzati da una rigidità flessionale ed il secondo con molle elasto-plastiche connesse ai nodi della paratia di rigidità proporzionale al modulo di rigidità del terreno. Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni, centine) con molle dotate di opportuna rigidità.

La legge costitutiva elasto-plastica del terreno è identificata dai parametri di spinta del terreno: il terreno reagisce in modo elastico sino ai valori limite dello spostamento raggiunti i quali, la reazione corrisponde, a seconda del segno dello spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva. Si intende che gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di terreno "in quiete".

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

Il metodo di calcolo richiede la definizione di parametri di interazione struttura-terreno, valutati in funzione delle caratteristiche geotecniche e fisiche dei terreni e delle caratteristiche geometriche e strutturali dell'opera.

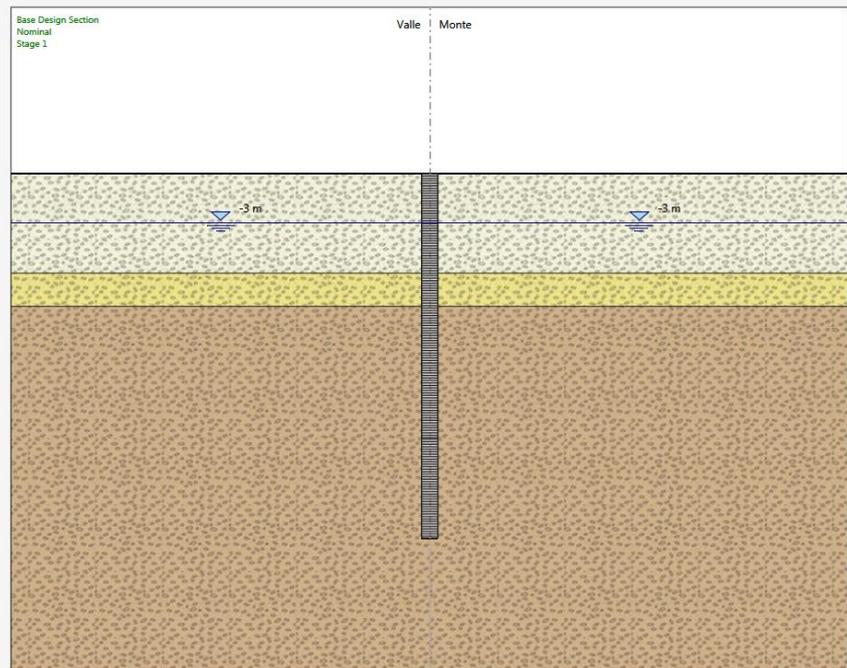
Tutti i calcoli verranno condotti con riferimento a condizioni di lungo termine (parametri del terreno "efficaci") che, nel caso di esecuzione di scavi (detensionamento del terreno), conducono a risultati cautelativi sul dimensionamento delle opere di sostegno.

Si prevede nella fase finale l'applicazione di un carico accidentale a tergo della paratia pari a 5 kN/m².

Le verifiche saranno condotte con l'approccio 1 in accordo con la normativa vigente NTC2008.

Si riportano di seguito la rappresentazione del modello adottato, la stratigrafia e i parametri geotecnici:

Terreni	γ _{sat} (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
ECla (a)	19,5	0	14
ECla	19,5	10	25
Schlier	23,5	55	27



Modello di calcolo – Fase iniziale

7.1.1 PRESSIONE E RESISTENZA STATICA DELLE TERRE

In generale, la pressione σ'_h che lo scheletro solido del terreno esercita su una struttura di sostegno dipende dagli spostamenti che essa subisce per effetto di σ'_h stessa ovvero dipende dall'interazione fra la struttura ed il terreno a tergo dell'opera. Nel caso in cui la struttura subisca uno spostamento verso valle (diminuzione della tensione orizzontale efficace rispetto alle condizioni geostatiche), la σ'_h sul paramento di monte può essere calcolata come:

$$\sigma'_h = k_a \sigma'_v - 2c' \sqrt{k_a} \quad \text{pressione attiva}$$

dove:

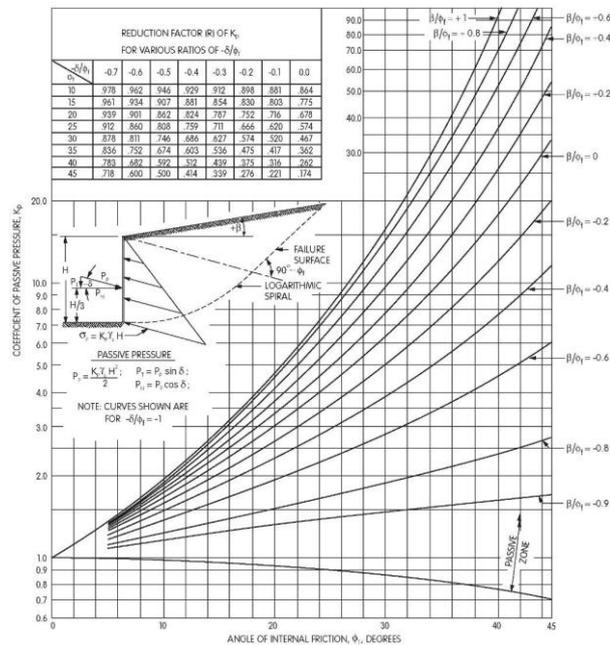
k_a è il coefficiente di spinta attiva

σ'_v è la tensione verticale efficace

c' è la coesione efficace

Il coefficiente di spinta attiva, per il caso in esame, è stato determinato tramite analisi limite, come illustrato dal seguente paragrafo.

Per il coefficiente di resistenza passiva, in condizioni statiche si può porre $k_p = k_p(\phi', \psi, \beta, \delta)$. Nelle analisi effettuate si è posto $\delta' = 0.50 \cdot \phi'$, con $\delta' \leq 15^\circ$. Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di k_p , di seguito, si farà riferimento a quella di [Caquot-Kerisel, 1948] che, nel caso in cui sia $\delta > \phi' / 3$ fornisce risultati più attendibili delle altre formulazioni. La superficie potenziale di scorrimento del terreno è assimilabile in questo caso ad un arco di spirale logaritmica e non più ad una superficie piana. Tale coefficiente viene determinato dall'interpolazione polinomiale delle spirali logaritmiche fornite sperimentalmente da [Caquot-Kerisel, 1948], riportate di seguito.



Modello a spirale logaritmica per il calcolo dei coefficienti di spinta

Pertanto, in generale, nel caso di strutture di sostegno flessibili, eventualmente contrastate da elementi strutturali attivi o passivi messi in opera in fasi successive, sul paramento di monte agirà la pressione attiva e su quello di valle la pressione passiva.

Nel caso di strutture molto rigide, incapaci di subire spostamenti sufficienti a mobilitare la pressione attiva o quella passiva, la pressione $\sigma'h$ esercitata dallo scheletro solido sull'opera di sostegno può essere calcolata come la pressione in condizioni geostatiche:

$$\sigma'_h = k_0 \sigma'_v \quad \text{pressione a riposo}$$

dove:

- k_0 è il coefficiente di spinta a riposo;
- σ'_v è la tensione verticale efficace.

Secondo la relazione di [Kulhawy et al., 1989] k_0 dipende dalla resistenza del terreno e dal rapporto di sovraconsolidazione del terreno O.C.R.:

$$k_0 = k_0^{nc} (OCR)^m$$

dove:

- k_0^{nc} : è il coefficiente di spinta a riposo per terreni normal consolidati che secondo [Jaky, 1936] può essere posto pari a $(1 - \sin \phi')$;
- m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

In generale, per strutture di sostegno impermeabili senza sistemi di drenaggio a monte, alla pressione esercitata dallo scheletro solido deve essere sommata la pressione esercitata dall'acqua.

In condizioni drenate (regime stazionario), che sono le condizioni a vantaggio di sicurezza nel caso di

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 15 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

esecuzione di scavi (detensionamento del terreno), la pressione dell'acqua (pressione neutra) nei pori è indipendente dalla deformazione dello scheletro solido (disaccoppiamento meccanico-idraulico). Pertanto, nell'ipotesi semplificativa che il flusso nell'intorno della paratia si sviluppi prevalentemente in direzione verticale il calcolo della pressione neutra p alla quota z può essere condotto considerando che il prodotto fra permeabilità k e perdita di carico i è costante (principio di conservazione della massa applicato alla legge di Darcy) ovvero, che in ciascun tratto omogeneo (permeabilità k costante), di spessore $L = z - z_0$, la perdita di carico i è costante:

$$p = p_0 - \gamma_w (1+i)(z - z_0) \quad \text{pressione neutra}$$

- p_0 è la pressione all'inizio di ciascun tratto omogeneo ovvero $p(z = z_0)$
- γ_w è il peso specifico dell'acqua

$$i = \frac{-\Delta h}{L} = -\frac{[h(z) - h(z_0)]}{z - z_0}$$

- i è la perdita di carico
- z è la quota, positiva verso l'alto, alla quale si calcola p

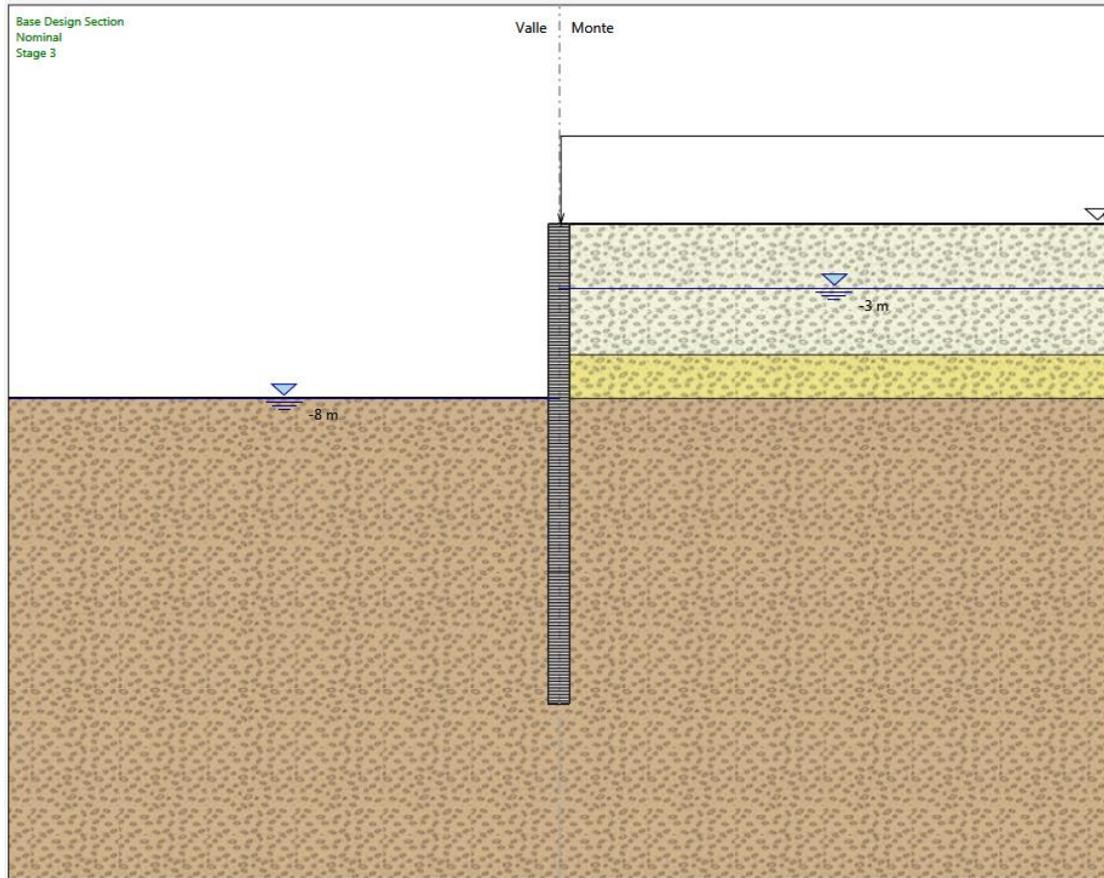
7.1.2 FASI DI CALCOLO

Il modello di calcolo viene realizzato sulla sezione dell'opera che prevede il massimo scavo, pari a 8.0 m, i pali avranno una lunghezza pari a 22 m.

Di seguito si riportano le fasi di calcolo che sono state analizzate in successione. La quota di zero è fissata a quota testa cordolo.

- Stage 1: Esecuzione della paratia di pali. Inizializzazione geostatica;
- Stage 2: Scavo fino a quota -8.0 m;
- Stage 3 Applicazione dei carichi accidentali a monte;

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 16 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Modello di calcolo in fase finale

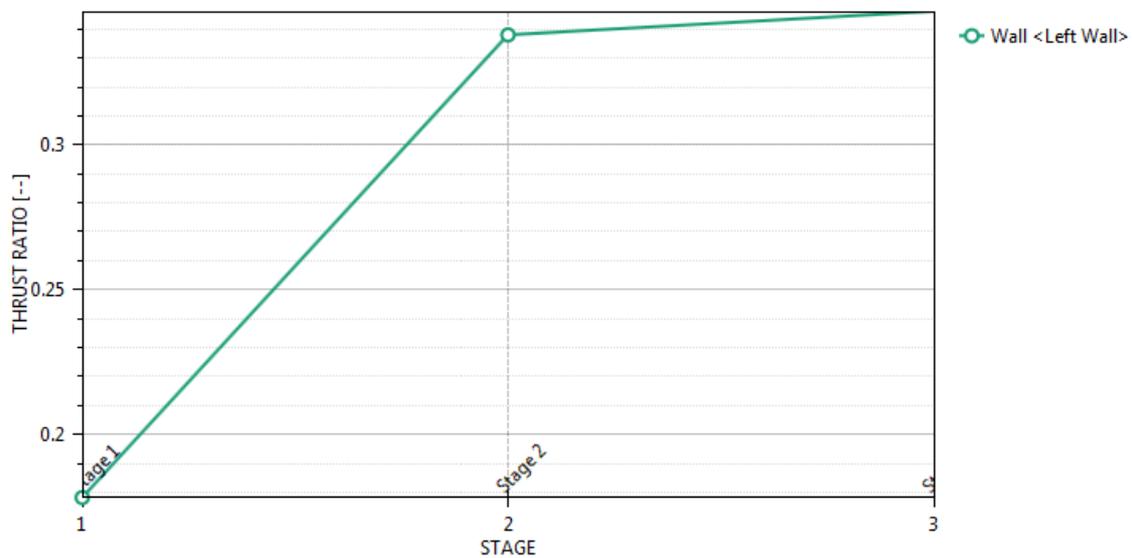
7.2 VERIFICHE

La seguente tabella riporta i principali risultati derivanti dalle analisi: sollecitazioni per m di sviluppo lineare e per singolo elemento strutturale e i coefficienti di sicurezza delle principali verifiche geotecniche.

La verifica geotecnica di infissione della paratia viene sintetizzata riportando i rapporti di mobilitazione della spinta passiva (resistenza). Tale valore è pari al rapporto tra la spinta reale agente e la massima spinta ammissibile. Ne consegue che il coefficiente di sicurezza è l'inverso del grado di mobilitazione:

Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <A2+M2+R1>



Combinazione	Verifica infissione	Fattore di sicurezza
[-]	[-]	[-]
Approccio 1 - GEO		2.85

I pali sono armati con $36\phi 26$ e spirale $\phi 14/15$. Le verifiche di sicurezza allo stato limite ultimo in termini di momento flettente e taglio sul palo vengono riportate in forma grafica attraverso il tasso di sfruttamento della paratia. Tale valore viene definito come azione sollecitante di progetto diviso la resistenza di progetto. A titolo di esempio nel caso della verifica a flessione il tasso di sfruttamento risulta essere pari a M_{Ed}/M_{Rd} . Di conseguenza il coefficiente di sicurezza risulta essere l'inverso del tasso di sfruttamento.

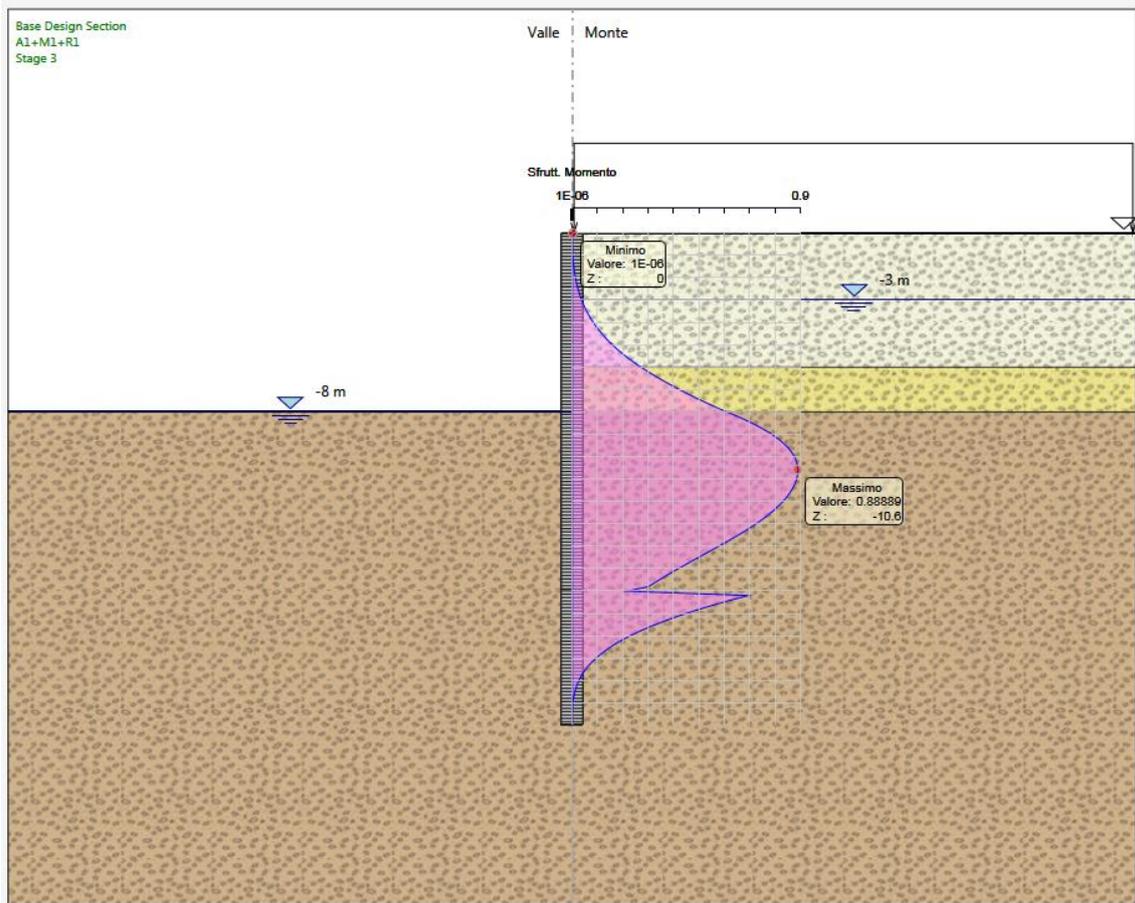
VERIFICA A FLESSIONE PALO

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

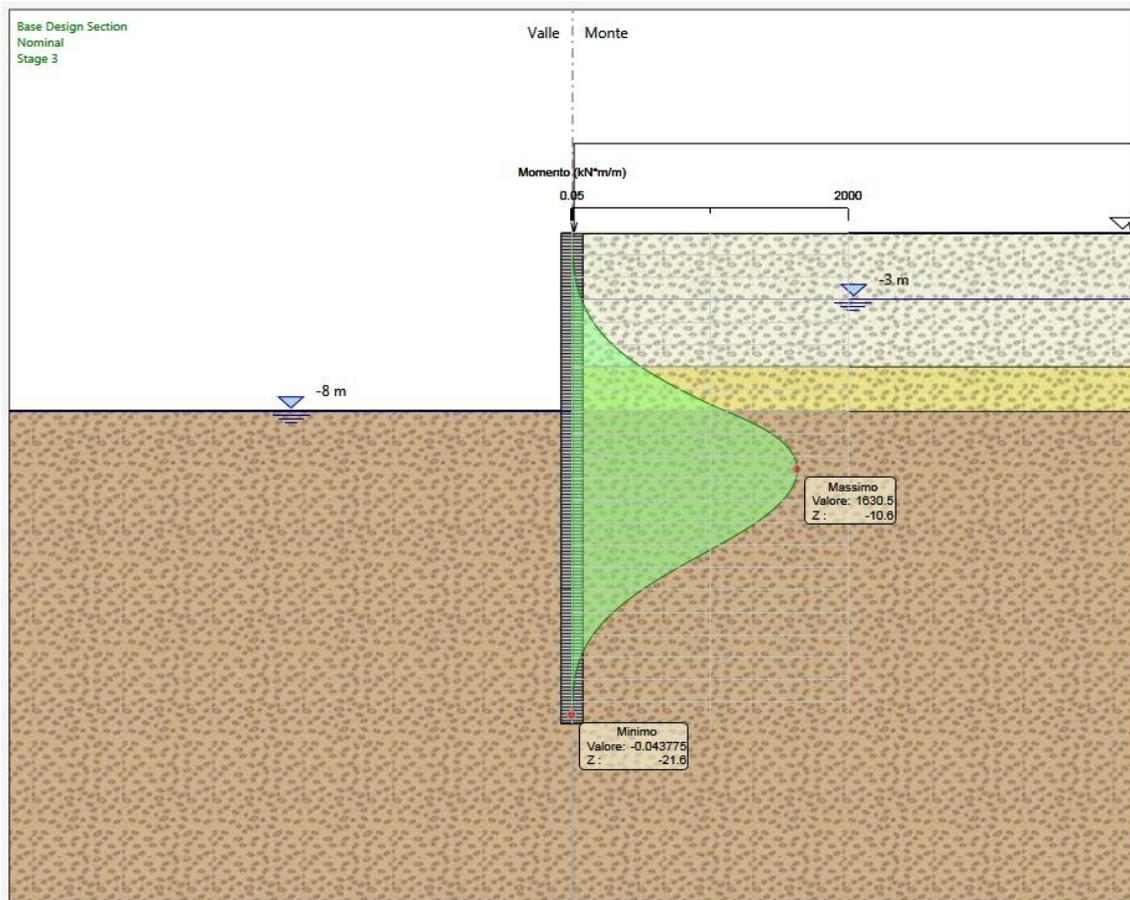
Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 18 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Combinazione	Verifica Flessione - Fattore di sicurezza
[-]	[-]
Approccio 1 - STR	1.12



Risultati analisi – Tassi di sfruttamento a flessione

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 19 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

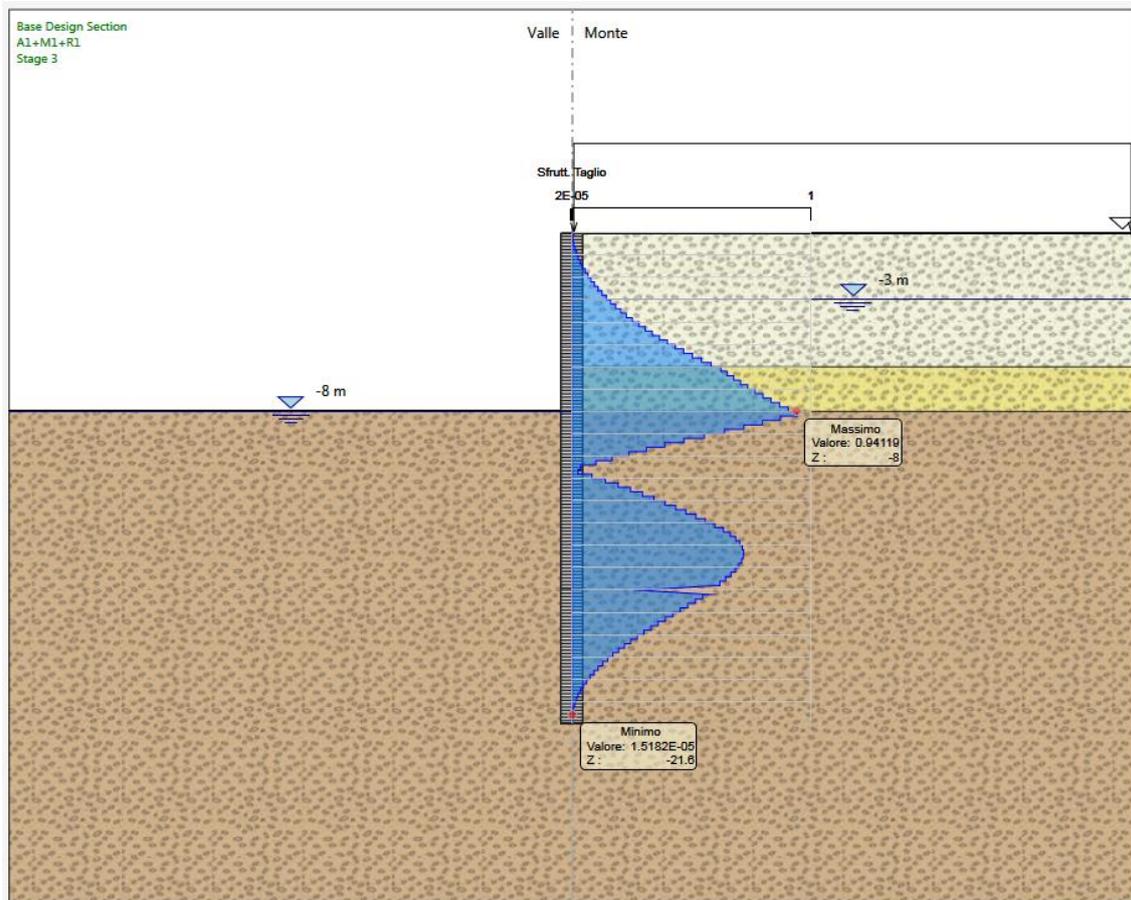


Risultati analisi – Momento flettente

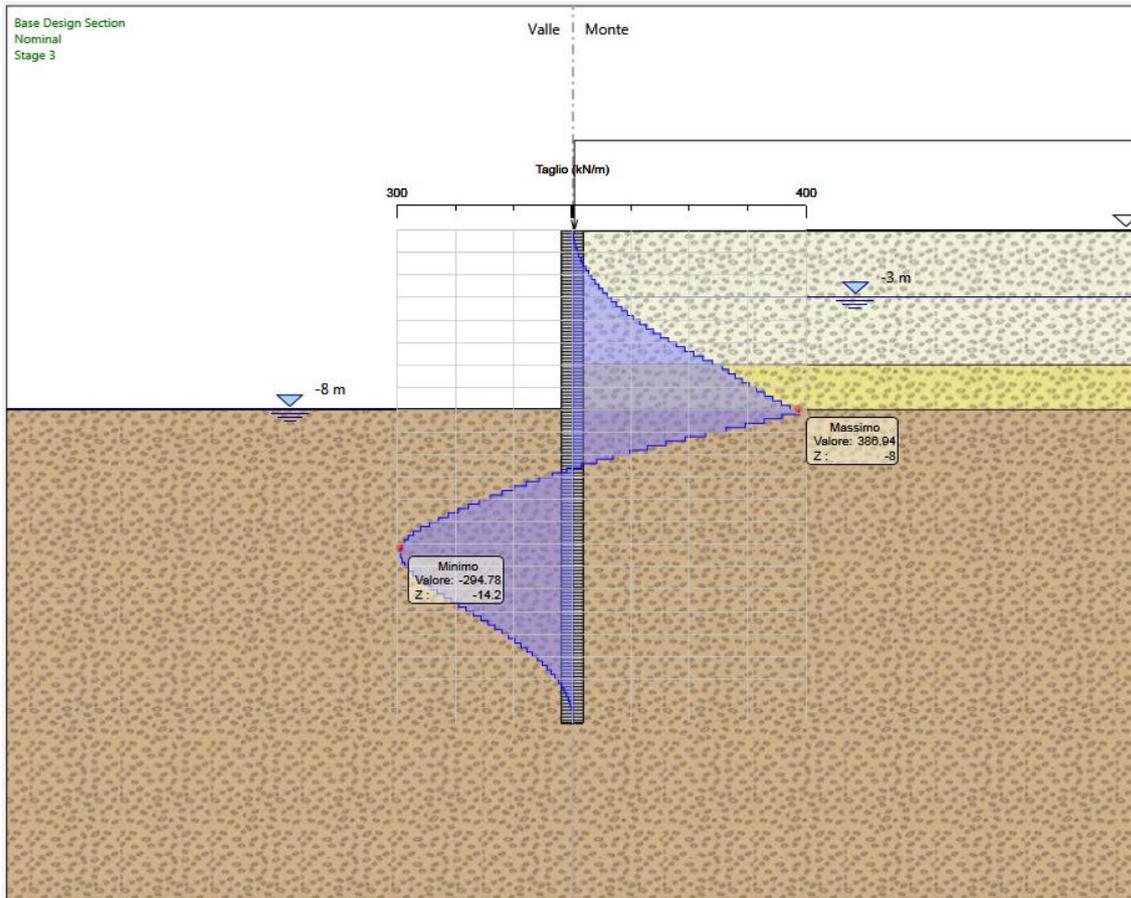
VERIFICA A TAGLIO PALO

Combinazione	Verifica Taglio - Fattore di sicurezza
[-]	[-]
Approccio 1 - STR	1.06

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 20 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Risultati analisi – Tassi di sfruttamento a taglio



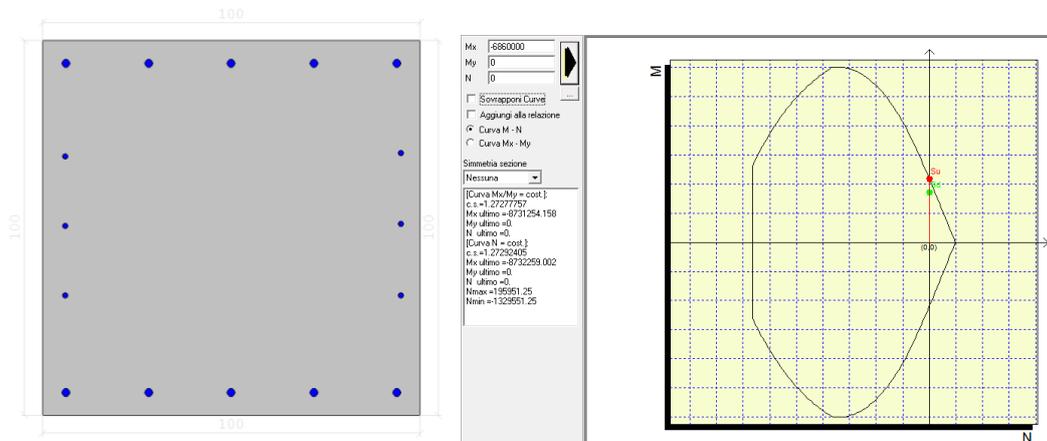
Risultati analisi – Taglio sollecitante

VERIFICA CORDOLO TESTA PARATIA

Per la verifica strutturale del cordolo di collegamento testa pali si considera, cautelativamente, che due pali consecutivi non contribuiscono al contenimento delle spinte. Tale condizione, sebbene sia molto cautelativa permette di ripartire l'azione sollecitante anche sul cordolo. Pertanto si ha:

Combinazione	$M_{ED,max}$	FS Flessione	$V_{ED,max}$	FS Taglio
	[kNm/m]	[-]	[kN/m]	[-]
Approccio 1 - STR	685.9	1.27	978	1.08

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 22 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------


Geometria Sezione

H=	1.20	m	Altezza della Sezione
B=	1.00	m	Larghezza della Sezione
A_c=	1.00	m ²	Area della Sezione (non omogeneizzata)
n=	15		Coefficiente di omogeneizzazione
A_{id}=	1.06	m ²	Area della Sezione (omogeneizzata)
x_g=	0.50	m	Distanza del Baricentro dell'intera sezione rispetto al lembo compresso
I_g=	0.09	m ⁴	Momento di Inerzia dell'intera sezione rispetto al lembo compresso
W_{sup}=	0.19	m ³	
e_{lim,cls}=	0.18	m	Eccentricità massima di decompressione fibra inferiore del cls
e_{1-lim,acc}=	0.20	m	Eccentricità massima di decompressione della prima fila di barre
e_{2-lim,acc}=	0.20	m	Eccentricità massima di decompressione della seconda fila di barre

Armatura Trasversale

φ =	14	mm	Diametro Staffe
n_b=	2.00		Numero bracci
A_{sw}=	0.00031	m ²	Area dell'armatura trasversale posta all'interasse
s=	0.2	m	Passo Staffe

Sollecitazione di Progetto

N=	0.0	kN	Sforzo Normale di calcolo (Negativo di Compressione)
M_{sdu}=		kNm	Momento flettente di calcolo (Sempre Positivo)
V_{sdu}=	978.0	kN	Taglio di calcolo (Sempre Positivo)

Verifica per Elementi che richiedono Armatura a Taglio



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 23 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$\alpha =$ **90** °

Inclinazione delle staffe

[45° ≤ α ≤ 90°]

$\theta =$ **30** °

Inclinazione del puntone compresso [45° ≤ α ≤ 90°]

$f_{y,staffe}/f_{yk}$ **1.00**

$V_{Rd} =$ **892.05** kN

TAGLIO
RESISTENTE

VERIFICATO



QUADRILATERO
Merche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 24 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

ALLEGATO A

TABULATI DI CALCOLO



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 25 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

PARATIE plusTM
2017

Report di Calcolo

Nome Progetto: Imbocco Sud Croce di Calle

Design Section: Base Design Section

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord**

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 26 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Descrizione del Software

ParatiePlus 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.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 28 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -22 m

Muro di sinistra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 16 m

Materiale :

Quota iniziale : 0 m

Barre 1

Numero di barre : 36

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.05 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.02 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 16 m

Quota iniziale : 0 m

Passo : 0.15 m

Rinforzo longitudinale 2

Lunghezza : 6 m

Materiale :

Quota iniziale : -16 m

Barre 1

Numero di barre : 16

Diametro : 0.022 m

Distanza dal bordo : 0.06 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.03 m

Diametro : 0.014 m

Lunghezza : 6 m

Quota iniziale : -16 m

Passo : 0.15 m

Sezione : Pali1000/1.1

Area equivalente : 0.713998330361317 m

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 29 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Inerzia equivalente : 0.0446 m⁴/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 1.1 m

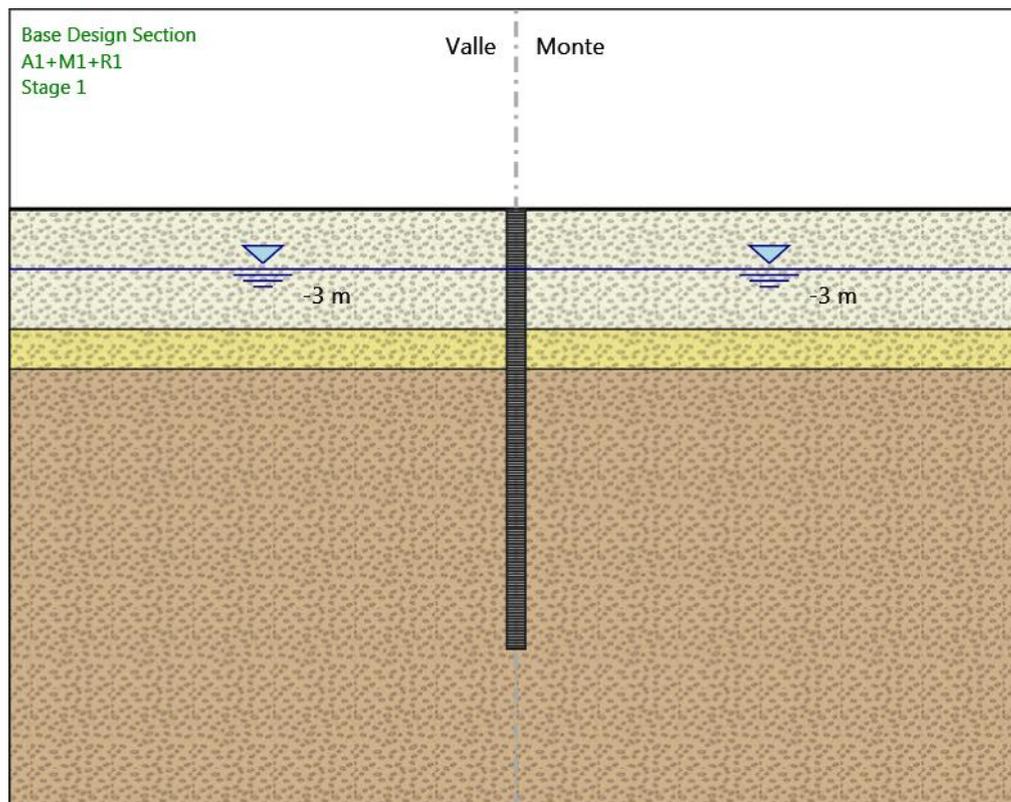
Diametro : 1 m

Efficacia : 1

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 30 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Fasi di Calcolo

Stage 1



Stage 1

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m



QUADRILATERO
Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 31 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Falda acquifera

Falda di sinistra : -3 m

Falda di destra : -3 m

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

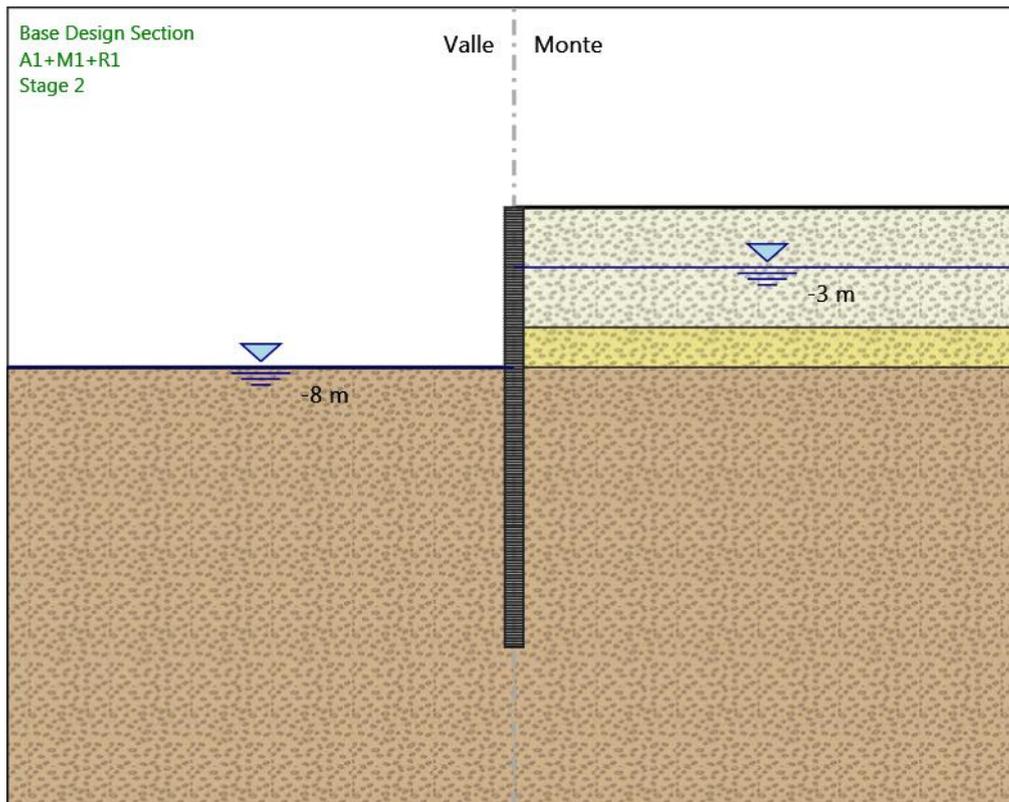
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -22 m

Sezione : Pali1000/1.1

Stage 2



Stage 2

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -8 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-8 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -8 m

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 33 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Falda di destra : -3 m

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

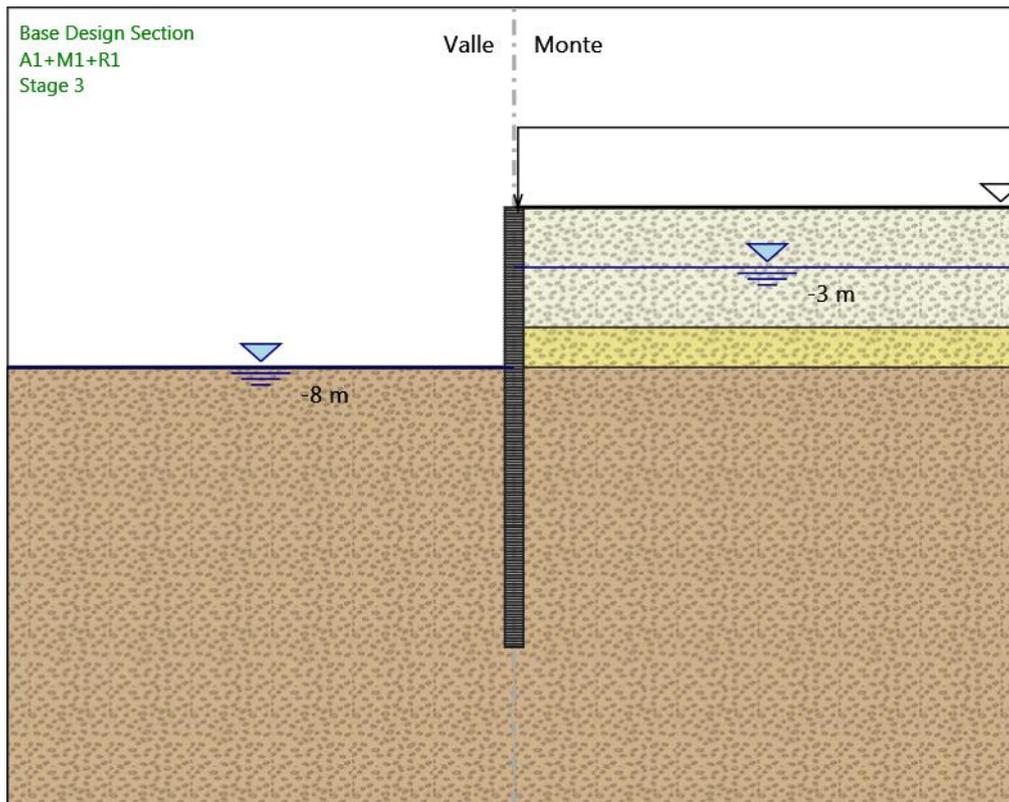
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -22 m

Sezione : Pali1000/1.1

Stage 3



Stage 3

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -8 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-8 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -8 m

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 35 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Falda di destra : -3 m

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -22 m

Sezione : Pali1000/1.1

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2800	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. B	Pag. di Pag. 36 di 36
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_live_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seis)	Pressi Acqua Lato Montagne (F_WaterDR)	Pressi Acqua Lato Valle (F_WaterRes)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_GDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_UPL_GDStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (F_HYD_QDStab)	Carichi Permanenti Stabilizzanti (F_HYD_QDStab)	Carichi Variabili Destabilizzanti (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}
Nominale	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A1+M1+R1	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Nome	Parziale su $\tan(\phi')$ (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_γ
Nominale	1	1	1	1	1
A1+M1+R1	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1

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}	
Nominale	1	1	1	1
A1+M1+R1	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1