

## 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><b>CONTRAENTE GENERALE:</b></p> 	<p><i>Il responsabile del Contraente Generale:</i></p> <p>Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p>Ing. Salvatore Lieto</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><i>PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese</i></p> <p><i>Mandataria:</i> <span style="float: right;"><i>Mandanti:</i></span></p>	
	

<p>RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE PER I ATI</p> <p>Ing. Antonio Grimaldi</p> <p>GEOLOGO</p> <p>Dott. Geol. Fabrizio Pontoni</p> <p>COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p>Ing. Michele Curiale</p>			
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>Ing. Iginio Farotti</p>	
--------------------------------------------------------------------	--

<p><b>2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE</b></p> <p><b>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord – Castelraimondo sud</b></p> <p><b>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud – innesto S.S. 77 a Muccia</b></p> <p><b>OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE ARTIFICIALI</b></p> <p>Galleria Naturale S. Barbara</p> <p>Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi Provvisionali Imbocchi</p>	<p>SCALA:</p> <p>DATA:</p> <p style="text-align: center;">Settembre 2020</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------

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

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. Doc.	N. prog.	Rev
	L0703	213	E	14	GA4200	REL	02	A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Settembre 2020	Emissione a seguito istruttoria Anas	PROGIN	Falace	S. Lieto A. Grimaldi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	Ni.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 2 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI.....	4
2.2 BIBLIOGRAFIA .....	4
<b>3. DESCRIZIONE OPERE PROVVISORIALI DI IMBOCCO.....</b>	<b>5</b>
3.1 FASI REALIZZATIVE DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI PARATIE DI IMBOCCO .....	8
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>11</b>
<b>5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOTECNICO .....</b>	<b>12</b>
5.1 MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO .....	17
<b>6. CRITERI GENERALI DI ANALISI DELLE PARATIE .....</b>	<b>20</b>
6.1 METODOLOGIA DI CALCOLO .....	20
6.1.1 Pressione e resistenza statica delle terre e dell'acqua .....	22
<b>7. CRITERI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008</b>	<b>25</b>
7.1 METODO AGLI STATI LIMITE ED APPROCCI DI PROGETTO.....	25
7.2 CRITERI DI ANALISI E VERIFICA DI PARATIE .....	29
7.4 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE .....	31
7.5 VERIFICHE STRUTTURALI.....	32
7.5.1 Verifiche allo SLU.....	33
<b>8. PARATIE IMBOCCO FRONTALE (TIPO A) : ANALISI E VERIFICHE.....</b>	<b>34</b>
8.1 MODELLO E FASI DI CALCOLO.....	35
8.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE PARATIE .....	42
8.2.1 Combinazione A2-M2-R1 .....	42
8.2.2 Combinazione A1-M1-R1 .....	44
<b>9. PARATIE L=12 E 16M (TIPO C) : ANALISI E VERIFICHE.....</b>	<b>46</b>
9.1 MODELLO DI CALCOLO L=12 .....	46
9.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE PARATIE L=12 .....	50
9.2.1 Combinazione A2-M2-R1 .....	50
9.2.2 Combinazione A1-M1-R1 .....	51
9.3 MODELLI DI CALCOLO L=16.....	54
9.4 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE L=16 .....	57
9.4.1 Combinazione A2-M2-R1 .....	57
9.4.2 Combinazione A1-M1-R1 .....	59
<b>10. ANALISI DI STABILITA' SCAVI PROVVISORIALI .....</b>	<b>61</b>
<b>ALLEGATO.....</b>	<b>64</b>
TABULATI .....	64

**2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE****Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord****Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 3 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	------------------------

## 1. PREMESSA

La presente relazione viene emessa nell'ambito del Progetto Esecutivo della strada Pedemontana Marchigiana, che costituisce l'elemento di completamento tra le due direttrici "S.S.76" Vallesina e "S.S.77" Val di Chienti, con riferimento ai seguenti stralci funzionali:

3° stralcio funzionale: compreso tra lo svincolo di Castelraimondo nord e lo svincolo di Castelraimondo sud;

4° stralcio funzionale: compreso tra lo svincolo di Castelraimondo sud e l'innesto con la S.S. 77 a Muccia.

Gli stralci funzionali di cui sopra rientrano nell'ambito degli interventi di completamento della Pedemontana delle Marche definiti e finanziati nella Delibera CIPE 64/2016 - "Aggiornamento del quadro infrastrutturale della delibera n. 13/2004".

Nella presente relazione viene riportato l'analisi e la verifica delle opere (Paratie di Pali  $\phi$  1500) e scavi provvisionali previsti per la realizzazione degli imbocchi A (lato Nord) e B (lato Sud) della Galleria Naturale S. Barbara.

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 4 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative e raccomandazioni

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

Normative sulle costruzioni

- D.M. 14.01.2008: “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare n° 61702.02.2009: “Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”

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).
- Associazione Geotecnica Italiana, “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida” Ed. provvisoria marzo 2005.

### 2.2 Bibliografia

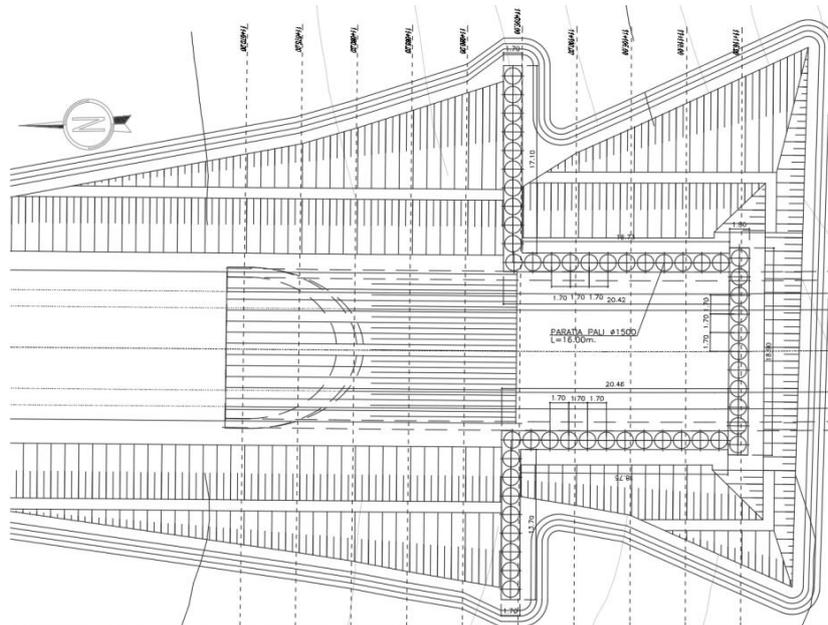
- Lancellotta R. (1993): “Geotecnica”. Edizioni Zanichelli.
- Lancellotta R., Calavera J. (1999): “Fondazioni”. Ed. McGraw-Hill.
- Viggiani C. (2000): “Fondazioni”. Ed. CUEN.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	213	E	14	GA420	REL	02	A	5 di 108

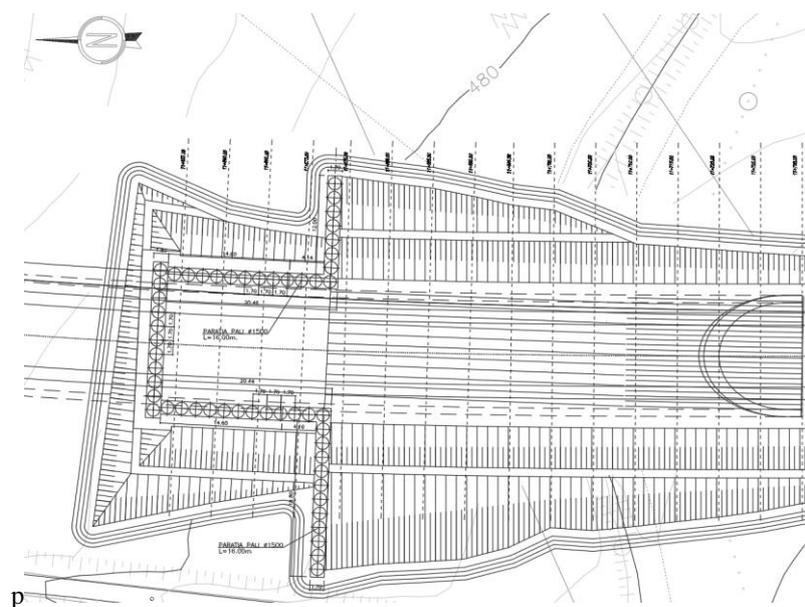
### 3. DESCRIZIONE OPERE PROVVISORIALI DI IMBOCCO

La Galleria Naturale S. Barbara si estende tra le progressive 11+068 e 11+730 ed è costituita da una canna unica bidirezionale. L'imbocco A (lato Nord) si estende da pk 11+068 a 11+113 mentre l'imbocco B (lato Sud) si estende da pk 11+653 a 11+730.

Di seguito vengono riportati gli stralci planimetrici delle opere in oggetto.



**Figura 1: Stralcio planimetrico imbocco A (Lato Nord)**



**Figura 2: Stralcio planimetrico imbocco B (Lato Sud)**

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	213	E	14	GA420	REL	02	A	6 di 108

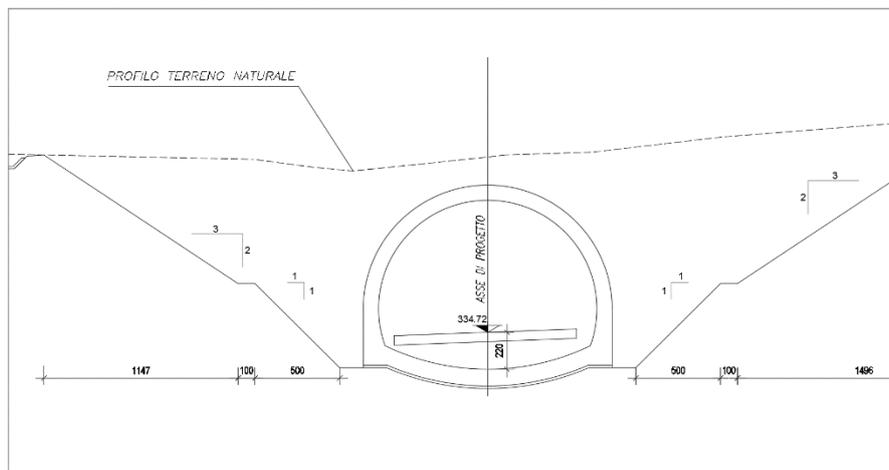
In corrispondenza dagli imbocchi sono previsti tratti di approccio in Galleria Artificiale, tali tratti presentano due tipologie costruttive differenti denominate “Artificiale in scavo” e “Artificiale con protes e pali”:

- **Artificiale in scavo:** la sezione è costituita da una artificiale “classica” realizzata mediante sbancamento, realizzazione del rivestimento e successivo riempimento. Tale tipologia presenta nel tratto iniziale il “becco di flauto”.
- **Artificiale con protes e pali:** prevede opere di protezione a carattere provvisoria finalizzate alla realizzazione dei rivestimenti. Tali opere sono composte da paratie di pali  $\Phi 1500/1.70$  disposti in sx e in dx collegati in testa da un puntone in c.a. ad asse curvilineo denominato “protesi”. La lunghezza dei pali è pari a 16.0 m.

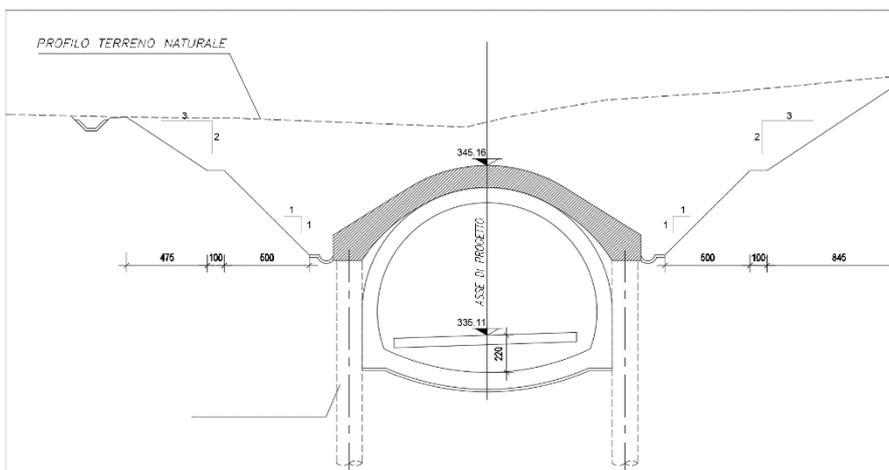
Le fasi di realizzazione prevedono dapprima un prescavo fino a quota testa pali per la realizzazione degli stessi e della protes, un successivo riempimento con sistemazione definitiva ed infine lo scavo a foro cieco della galleria artificiale con realizzazione dei rivestimenti in calcestruzzo armato.

Nella zona di imbocco A (Lato Nord) della galleria viene predisposto un sistema di trincee drenanti al fine di mitigare l’influenza della falda sullo spessore di coltre superficiale.

Di seguito vengono riportate alcune rappresentazioni delle sezioni sopra descritte:



**Figura 3: Sezione tipo “Artificiale in scavo”**



**Figura 4: Sezione tipo “Artificiale con protes e pali”**

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 7 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Si riporta un prospetto di riepilogo dei sistemi costruttivi adottati in funzione della progressiva:

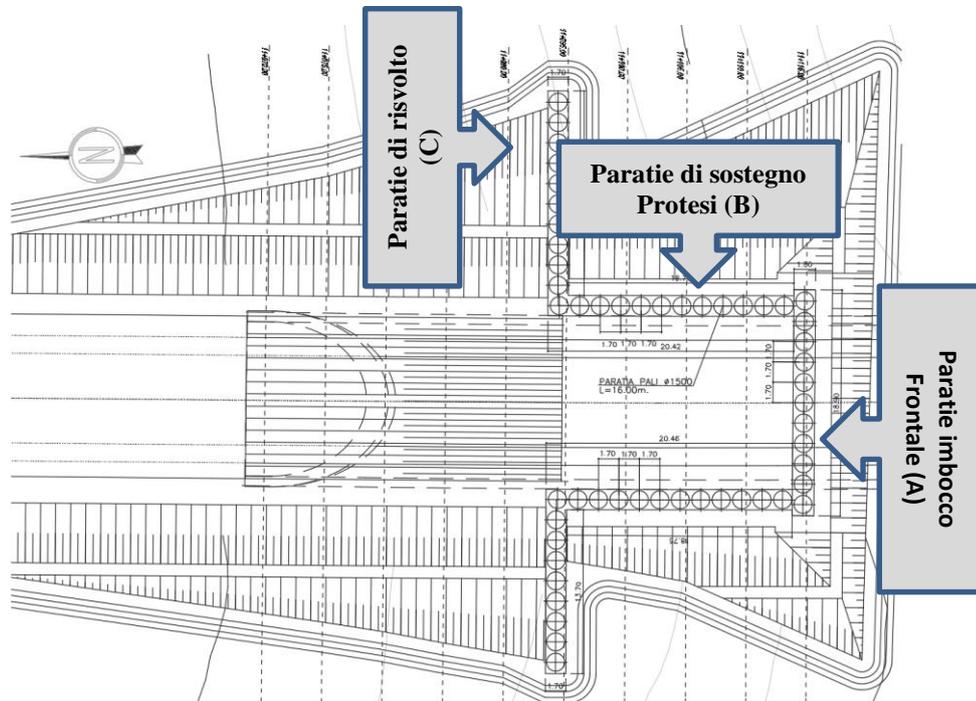
Galleria Naturale S. Barbara		Progressiva iniziale	Progressiva finale
IMBOCCO NORD	Sezione "Artificiale in scavo"	11+069	11+095
	Sezione "Artificiale con protesi e pali"	11+095	11+115
IMBOCCO SUD	Sezione "Artificiale in scavo"	11+652	11+674
	Sezione "Artificiale con protesi e pali"	11+674	11+730

La realizzazione dei tratti di imbocco in Artificiale, richiede come già mostrato negli schemi grafici delle figure precedenti, una serie di opere provvisorie costituite tutte da Pali  $\phi$  1500/1.70m, che è possibile suddividere convenzionalmente come segue:

- Paratie Provvisorie (tipo A) : Rappresentate dalle paratie frontali ubicate in corrispondenza delle due sezioni di estremità del tratto di Galleria in naturale; tali opere provvisorie si rendono necessarie per il sostegno del terrapieno esistente a tergo delle stesse durante i lavori di realizzazione del tratto di artificiale con protesi.
- Paratie Provvisorie (tipo B) : Rappresentate dalle due paratie laterali al tratto di Galleria Artificiale di imbocco; tali opere provvisorie, si rendono necessarie per il sostegno della calotta in c.a. del tratto con protesi oltre per il contenimento delle spinte del terrapieno a tergo durante le fasi di scavo preliminari alla realizzazione del concio di Galleria Artificiale all' interno.
- Paratie Provvisorie (tipo C) : Rappresentate dalle due ali di risvolto ubicate in corrispondenza della sezione iniziale del tratto in "Artificiale con protesi"; tali opere provvisorie, consentono la sagomatura degli scavi nel tratto da realizzare in "Artificiale in scavo", garantendo il sostegno del terrapieno a tergo ubicato sul lato imbocco in naturale.

Lo schema di cui alla figura seguente chiarisce ulteriormente quanto appena descritto:

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	8 di 108



**Figura 5: Tipologia Opere Provvisionali**

Le paratie tipo B, rientrano, ai fini dei dimensionamento, nell'ambito delle analisi e verifiche relative al dimensionamento delle Gallerie Artificiali di imbocco, trattato nella specifica relazione "GA 42 00 REL 01 A".

Sono pertanto oggetto delle analisi e verifiche esposte nel presente documento, le paratie individuate precedentemente come tipo A e Tipo C; per i relativi dettagli grafici di progetto, si rimanda agli elaborati specifici.

### 3.1 Fasi Realizzative di riferimento per le Analisi Paratie di Imbocco

Nei riguardi della implementazione delle fasi costruttive che condizionano il dimensionamento delle paratie di imbocco (Paratie tipo A), si riporta nel seguito una descrizione sintetica delle fasi realizzative del tratto di Galleria Artificiale con protesi.

La realizzazione del tratto di Galleria Artificiale con protesi, prevede la realizzazione preliminare di una protesi in c.a. costituita da paratie di pali  $\Phi 1500$  mm ad interasse  $i=1.7$  m, puntonate in da un elemento in calcestruzzo armato ad asse curvo di spessore minimo 1.30 m; tale fase è ovviamente preceduta dalla realizzazione della paratia di imbocco frontale (Paratia tipo A)

Dopo la realizzazione della Paratia Frontale, si procede pertanto dapprima ad un ribasso degli scavi con sagomatura del piano campagna con un andamento che ricalca la sagoma di intradosso del puntone ad asse curvo della protesi, e quindi successivamente alla realizzazione dei pali (Paratie tipo B) e del puntone, secondo quanto illustrato nella figura successiva:

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
 Provvisoriali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	9 di 108

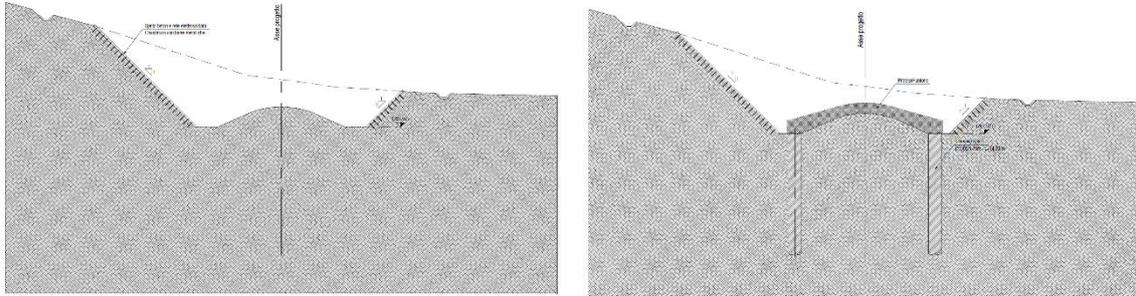


Figura 6: Fasi di scavo per la realizzazione della protesi in c.a.

Nella Fase seguente viene ritombata l'area sovrastante la protesi garantendo la sistemazione finale, e quindi si esegue lo scavo a foro cieco all'interno della protesi fino alla sezione di ubicazione della Paratia frontale (Paratia tipo A) per la successiva realizzazione del concio di Galleria Artificiale Definitivo.

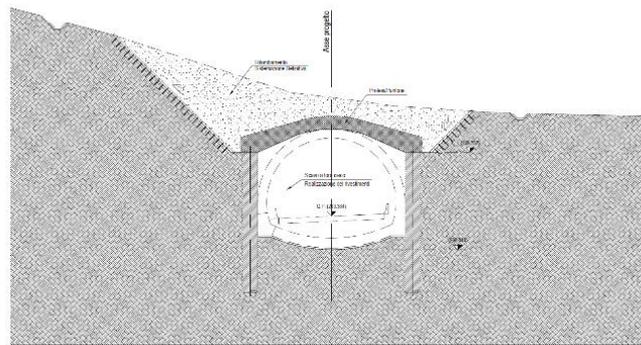


Figura 7: Fase di Scavo a foro cieco

Evidentemente, come chiarito meglio anche dallo schema grafico riportato nella figura successiva, riferito alla sezione longitudinale tipica delle zone di imbocco in naturale della Galleria, durante le fasi di scavo a foro cieco, il puntone ad asse curvo della protesi garantisce la medesima condizione di vincolo anche alla paratia frontale, essendo previsto un getto a contatto tra i suddetti elementi:

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	10 di 108

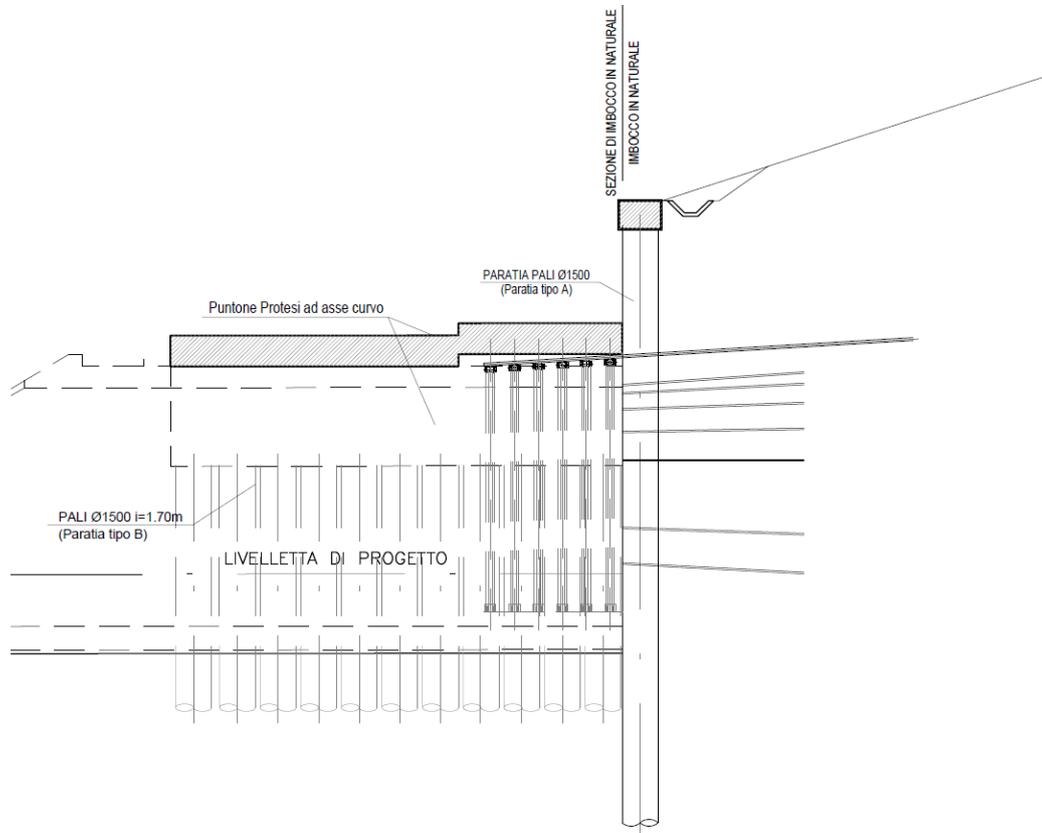


Figura 8: Sezione Longitudinale tipo in corrispondenza Imbocco in Naturale

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano qui di seguito le caratteristiche prestazionali dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione delle opere:

### Calcestruzzo per opere provvisionali

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C25/30
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	Rck $\geq$ 30 MPa
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	fck $\geq$ 25 MPa
Modulo elastico secante:	Ecm = 30'500 MPa

### 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 ( $\gamma_s=1.15$ ):	f <sub>yd</sub> = 450 / 1.15 = 391 MPa
Modulo elastico:	E = 210'000 MPa

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 12 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO–GEOTECNICO

Nel presente paragrafo si riporta una descrizione dell'inquadramento geologico geotecnico generale dell'area attraversata dal tracciato di progetto dell'infrastruttura,

**Dal punto di vista geologico**, Le unità stratigrafiche affioranti nell'area oggetto di studio sono dal basso verso l'alto: la Formazione dello Schlier, la Formazione di Camerino e la Formazione gessoso-solfifera.

### Formazione dello Schlier

E' costituita da alternanze di marne, marne siltose calcaree e argillose, a volte arenacee, di colore grigio e da calcari marnosi in quantità subordinata. In superficie la formazione è di colore chiaro a causa dell'alterazione. La stratificazione è medio-sottile, marcata solo in superficie dalla diversa resistenza agli elementi erosivi. Gli intervalli calcarenitici sono sviluppati soprattutto nella parte meridionale del bacino. La deposizione dello Schlier è avvenuta tra il Burdigaliano superiore e il Tortoniano, anche se il tetto varia in età da bacino a bacino. Lo spessore totale della formazione varia dai 150 ai 250 m in relazione alla difformità del fondo marino. La formazione dello Schlier rappresenta l'unità stratigrafica più antica direttamente interessata dal tracciato in progetto ed è attraversata dalla galleria naturale "Croce di Calle" e da un tratto di galleria artificiale "Mistranello".

### Formazione di Camerino

Su questa formazione si sviluppa per la maggior parte il tracciato in progetto. Si tratta nel complesso di torbiditi pelitiche, pelitico-arenacee, arenaceo-pelitiche, variamente associate tra loro e che presentano, soprattutto nelle porzioni pelitiche, caratteri analoghi alla sovrastante Formazione gessoso-solfifera, indicando un passaggio graduale, a carattere transizionale, con la sovrastante formazione stessa.

Il Bacino di Camerino è suddiviso in due sub-bacini attraverso un allungato "alto strutturale" costituito dalla Formazione dello Schlier (dorsale longitudinale Argignano – M. Gallo) che si raccorda alle laterali zone depresse (sub-bacino di Collamato ad ovest e sub-bacino di Matelica ad est) tramite faglie normali sinsedimentarie. Nel sub-bacino di Matelica si sviluppa il tracciato in progetto, un sub-bacino variamente articolato sia longitudinalmente, con graduale approfondimento da nord, in cui era presente un margine più rialzato, verso sud, sia trasversalmente con un profilo asimmetrico con la parte più profonda verso est.

In questa articolata paleo-depressione la successione verticale delle torbiditi si differenzia da zona a zona.

Le litofacies individuate tramite il rilievo geologico in scala 1:5000, molto basato su criteri morfologici, sono state confermate e dettagliate nel rilievo in scala 1:000 alla luce soprattutto dell'analisi e rielaborazione dei sondaggi. Detta analisi è stata condotta determinando lo spessore e la posizione degli strati litoidi o semi-litoidi (arenarie) e degli strati pelitico-marnosi, al fine di poter applicare il criterio del rapporto arenaria/pelite secondo la classificazione A.G.I. (1979).

L'ubicazione delle colonne stratigrafiche così definite sul profilo geologico longitudinale, unitamente ai caratteri litologici e analisi di facies, ha permesso la correlazione dei vari orizzonti per lunghezze significative ed apprezzabili in relazione alle distanze coinvolte dal progetto. Il riconoscimento di seppur sporadici livelli guida è stato di ausilio per l'interpretazione della struttura del sottosuolo.

Nell'ambito della Formazione di Camerino coinvolta dalle opere di progetto sono state dunque riconosciute le seguenti litofacies: associazione pelitica; associazione pelitico-arenacea; associazione arenaceo-pelitica.

La distinzione ed individuazione delle litofacies, oltre che su caratteri macroscopici, è stata eseguita attraverso dati quantitativi, ovvero attraverso il calcolo del rapporto arenaria/pelite (A/P), definendo per ogni

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 13 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

litofacies un campo di valori rappresentativo.

*Associazione pelitica – Rapporto  $0 \leq A/P \leq 0,2$*

E' costituita da marne argillo-siltose scure, a stratificazione sottile o localmente media, laminate, con sequenze di Bouma del tipo Te; localmente sono presenti subordinate intercalazioni di strati arenacei o siltitici a spessore sottile e medio, a grana fine, con sequenze di Bouma principalmente del tipo Tde Tce.

Va segnalato che le porzioni pelitiche contengono sovente materia organica, resti di carbone, livelli a diatomiti e rari e sottili livelli lenticolari di calcari marnosi compatti, hanno superfici di strato lisce ed untuose al tatto, risultando nel complesso fetide.

*Associazione pelitico-arenacea – Rapporto  $0,2 \leq A/P \leq 1$*

E' costituita da una prevalenza di argille marnose ben stratificate di colore grigio scuro con intercalazioni subordinate di arenarie grigio-giallastre in strati sottili e medi, a grana da media a fine o finissima. Si rinvencono sequenze di Bouma del tipo Tac e qualche volta sequenze del tipo Tae come nel sondaggio A21.2.

Anche in questo caso gli orizzonti pelitici contengono sovente materia organica, resti di carbone, livelli a diatomiti, pirite e rari e sottili livelli lenticolari di calcari marnosi compatti, hanno superfici di strato lisce ed untuose al tatto, risultando nel complesso fetide.

*Associazione arenaceo-pelitica – Rapporto  $A/P \geq 1$*

E' formata essenzialmente da arenarie grigiastre e giallastre, con granulometria da grossolana a fine, in strati da sottili a spessi, da cementate a mediamente cementate e da subordinate marne argilloso-siltose grigie. Si rinvencono prevalentemente sequenze di Bouma del tipo Ta Tac Tce e sequenze del tipo Tae come nel sondaggio A7.2.

All'interno di questa litofacies si rinvencono locali e sottili livelli caotici di materiale risedimentato, per lo più in prossimità della faglia/paleoscarpata e resti carboniosi e fetidi concentrati nelle porzioni pelitiche.

Il rapporto arenaria/pelite sebbene sia  $\geq 1$ , è comunque basso poiché al massimo e isolatamente raggiunge il valore 2,39.

Le alluvioni terrazzate dell'Appennino Umbro-Marchigiano sono suddivise secondo quattro principali ordini di terrazzi poligenici posti ad altezze variabili da pochi metri ad oltre 200 m sugli attuali fondi vallivi. I depositi alluvionali fluviali delle principali valli sono rappresentati da successioni (spessori fino a 30-35 m) prevalentemente ghiaiose con subordinate intercalazioni sabbiose o sabbioso-limose. La stratificazione è quasi sempre incrociata a grande scala, con tipico aspetto a "festoni", che permette di riferire i depositi in questione a corsi d'acqua a canali multipli intrecciati (braided).

I depositi di versante sono per la maggior parte rappresentati da coperture colluviali e accumuli caotici derivanti da movimenti di massa di varia estensione, per lo più riferibili all'Olocene. I depositi colluviali presenti nell'area studiata presentano una granulometria prevalentemente fine, condizionata dalla litologia delle formazioni del substrato da cui derivano. Sono infatti costituiti da argille limose, limi argilloso-sabbiosi e, subordinatamente sabbie limose, con ghiaie sparse e/o pezzame marnoso-calcareo o arenaceo eterometrico, localmente abbondante.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 14 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Dal punto di vista geotecnico, le unità individuate lungo il tracciato, sono state invece suddivise come descritto nel seguito:

- **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. Non riveste rilevanza progettuale in quanto rimossa durante le operazioni di scavo/scotico.
- **Unità ECl, ECl, a - Depositi eluvio colluviali:** si tratta di depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa (**Unità ECl**); localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso (**Unità ECl**). Localmente sono state individuate zone con coperture di materiale di accumuli di frana (**Unità a**).
- **Unità Ag, As, Ala - Alluvioni:** si tratta di deposti 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 Aate – Alluvioni terrazzate antiche:** si tratta di deposti alluvionali limoso argillosi sabbiosi.
- **Unità Salt – substrato alterato:** si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa, marnosa, consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato.

Il substrato è costituito dalla Formazione di Camerino (e sovrastante Formazione gessoso-solfifera) e dalla formazione dello Schlier.

All'interno della formazione di Camerino si sviluppa la maggior parte del tracciato di progetto. In funzione dell'alternanza e la posizione degli strati arenacei e degli strati pelitico-marnosi, si può giungere ad una stima del rapporto arenaria/pelite secondo la classificazione AGI – 1979.

- **Unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo con  $0,2 \leq A/P \leq 1$  (Formazione di Camerino):** rappresentata da litofacies pelitico-arenacee con un rapporto  $A/P \leq 1$ .
- **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  $A/P \geq 1$ .
- **Unità Pel – Substrato pelitico con  $0,0 \leq A/P \leq 0,2$  (Formazione di Camerino):** rappresentata da litofacies prevalentemente pelitiche con un rapporto  $A/P \leq 0,2$ .

Da una dettagliata analisi visiva delle carote, è stato possibile stimare il valore A/P delle varie associazioni (si rimanda alla Relazione geologica e ai report stratigrafici dei sondaggi per gli approfondimenti del caso). Nel profilo geotecnico longitudinale sono mostrate le zone dove si ha prevalenza di unità Ap e/o Pa e/o Pel.

La formazione gessoso solfifera (unità geologica denominata gs) nell'area è prevalentemente pelitica e quindi viene accorpata all'unità geotecnica Pa.

- **Unità Sch – Formazione dello Schlier:** si tratta di alternanze di marne argillose, marne siltose e arenacee con intercalazioni di calcare detritico e calcareniti.

Lo Schlier si presenta come una marna più o meno argillosa con caratteristiche meccaniche e caratteristiche fisiche che possono essere assimilate alla frazione più marnosa della formazione di Camerino (Pa).

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

Nel seguito si riassumono infine i parametri geotecnici di progetto definiti per le varie unità geotecniche come sopra descritte, sulla base delle diverse campagne di indagini condotte a supporto della progettazione:

Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 18.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 23 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 14^\circ \div 21^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 220 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 20 \div 160 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 60 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Ecls - Depositi eluvio colluviali sabbiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 30 \div 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_o = 250 \div 400 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità a – Coltri in frana

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 22 \div 28^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 18^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 20 \div 120 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$E_o = 60 \div 300 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Ala - Depositi alluvionali limoso argillosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 24 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$c_u = 50 \div 100 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 30 \div 100 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 70 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità As - Depositi alluvionali sabbiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 33 \div 34^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_o = 150 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Ag - Depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 36 \div 42^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$V_s = 120 \div 350 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 30 \div 250 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 70 \div 650 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Aate - Depositi alluvionali terrazzati antichi limoso sabbiosi argillosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 27 \div 36^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 70 \div 170 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 30 \div 260 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 80 \div 600 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 19.0 \div 21.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\phi' = 23 \div 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi_r' = 20 \div 22^\circ$	angolo di resistenza al taglio residuo
$c_r' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata residua
$c_u = 50 \div 300 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$G_o = 80 \div 350 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 400 \div 900 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Ap – substrato arenaceo pelitico

$\gamma = 23.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40\text{m}$	modulo di deformazione elastico operativo
$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}$	

Z [m]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
15	70 ÷ 100	36
25	100 ÷ 150	32 ÷ 36
50	150 ÷ 200	27 ÷ 32
75	200 ÷ 250	25 ÷ 30

Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo

$\gamma = 22.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40\text{m}$	modulo di deformazione elastico operativo
$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}$	

Z [m]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
20	35 ÷ 80	23 ÷ 31
30	80 ÷ 120	22 ÷ 28
50	120 ÷ 150	20 ÷ 26

Unità Sch – Formazione dello Schlier

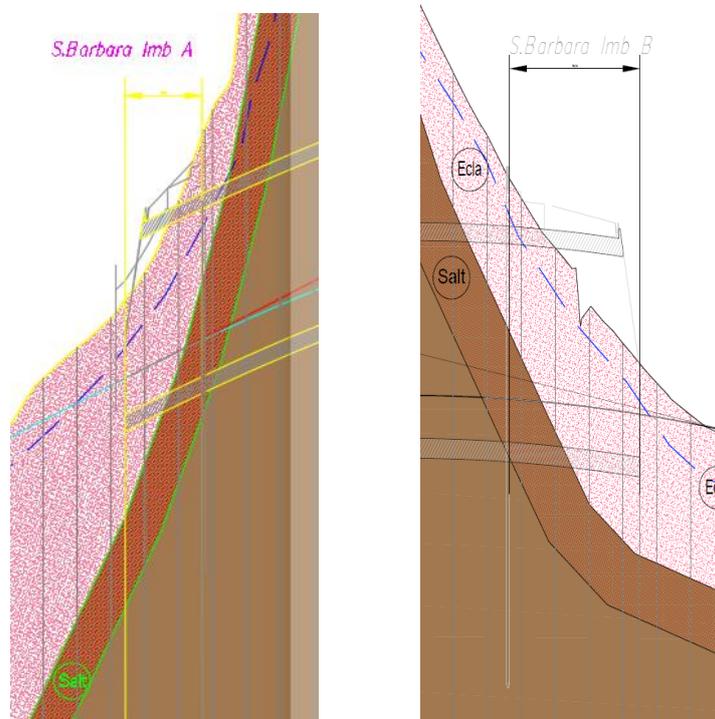
$\gamma = 22.0 \div 24.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40 \text{ m}$	modulo di deformazione elastico operativo
$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40\text{m}$	

Z [m]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
20	55÷70	29÷33
30	70÷90	27÷31
50	90÷250	25÷30

Per la caratterizzazione geomeccanica dell'Unità Pel – Substrato pelitico, che è intercettata in minor misura e si hanno pochi dati a disposizione, si fa riferimento alla caratterizzazione geomeccanica eseguita per l'unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo.

### 5.1 Modello Geotecnico di progetto

In corrispondenza del tratto di realizzazione dei due imbocchi della Galleria Naturale, si rinvennero le seguenti successioni stratigrafiche rappresentate dagli schemi grafici di figura seguente, estratti dal profilo geotecnico generale di progetto:



Le unità Geotecniche intercettate nelle zone di interesse progettuale per il caso in esame sono in particolare **Ecia**, **Salt** ed **Ap**, le cui caratteristiche fisco-meccaniche sono state già definite in precedenza

Ai fini delle analisi effettuate, data la variabilità degli spessori delle formazioni lungo il tratto di ubicazione delle opere di imbocco, si è fatto riferimento convenzionalmente agli spessori e quote della falda stimati in corrispondenza dei due imbocchi della GN ove è prevista la realizzazione delle paratie frontali peraltro di

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 18 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

riferimento per i dimensionamenti effettuati; i modelli geotecnici di progetto assunti di riferimento sono dunque in definitiva quelli di cui alle successive tabelle:

#### MODELLO GEOTECNICO S.BARBARA IMB. A

11114,02

	Litotipo	Potenza m	Quota max da PC m	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	c' KPa	$\phi'$	E <sub>o</sub> MPa
0							
Falda 6	Ecla	6		18,5-20,5	5 - 15	23-28	60-400
			9				
9,0	Salt	8		19-21,5	5 - 15	23-30	400-900
			17				
17,0	Sch	var	-	22	60	30	135
20							

ESTRADOSSO OPERE DA P.C.

var m

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 19 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

#### MODELLO GEOTECNICO S.BARBARA IMB. B

11653

	Litotipo	Potenza m	Quota max da PC m	$\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	c' KPa	$\phi'$	E <sub>s</sub> MPa
0							
FALDA 2	Ecla	8	8	18,5-20,5	5 - 15	23-28	60-400
8,0	Salt	6,5	14,5	19-21,5	5 - 15	23-30	400-900
14,5	Sch	var	-	22	60	30	135
20,0							

ESTRADOSSO OPERE DA P.C.

var m

Tenendo conto che le successioni stratigrafiche individuate come di riferimento per le analisi sono pressochè equivalenti, ai fini delle analisi effettuate, si è fatto riferimento per semplicità al caso dell'Imbocco B caratterizzato da una condizione geotecnica leggermente più severa in termini di quota di falda.

Il modello geotecnico appena descritto per l'imbocco B, è stato dunque implementato per l'effettuazione delle analisi esposte ai successivi paragrafi.

## 6. CRITERI GENERALI DI ANALISI DELLE PARATIE

### 6.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o eventuale inserimento degli elementi di contrasto), è necessario l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

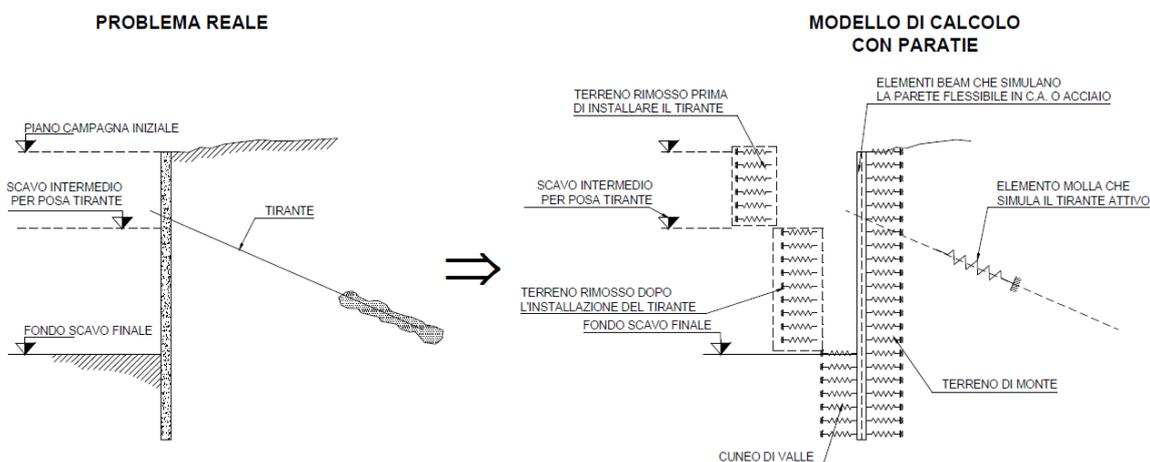
Le analisi finalizzate al dimensionamento delle paratie trattate nell'ambito del presente documento, sono state condotte con il programma di calcolo "Paratie Plus" della HarpaCeas s.r.l. di Milano Version 2020.1.0

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".



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.

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

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{12E_m J_p}$$

dove:

$E_m$  modulo elastico del materiale costituente la paratia

$J_p$  inerzia della sezione della paratia

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace ( $\sigma'h$ ) e la tensione verticale efficace ( $\sigma'v$ ) risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo ( $k_a$ ) e passivo ( $k_p$ ), mentre quando il rapporto è pari a  $k_a$  o a  $k_p$  il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

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.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidezza delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidezza di ciascuna di esse,  $k$ , è data da:

$$k = E / L$$

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

$$K = \frac{E\Delta}{L}$$

Il valore di  $\Delta$  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):

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi'/2)$$

e in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi'/2)$$

dove  $\ell_A$  ed  $\ell_P$  sono rispettivamente:

$$\ell_A = \min\{l, 2H\};$$

$$\ell_P = \min\{l - H, H\}$$

con

$l$  = altezza totale della paratia

$H$  = 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 programma consente di seguire le fasi evolutive degli scavi a valle dell'opera, determinando, per ciascuna fase di scavo prevista, la deformata dell'opera e le sollecitazioni e gli stati tensionali nel terreno con essa interagente.

### 6.1.1 Pressione e resistenza statica delle terre e dell'acqua

In generale, la pressione  $\sigma'_h$  che lo scheletro solido del terreno esercita su una struttura di sostegno dipende dagli spostamenti che essa subisce per effetto di  $\sigma'_h$  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  $\sigma'_h$  sul paramento di monte può essere calcolata come:

$$\sigma'_h = k_a \sigma'_v - 2c' \sqrt{k_a}$$

pressione attiva

dove:

$k_a$  è il coefficiente di spinta attiva

$\sigma'_v$  è la tensione verticale efficace

$c'$  è la coesione efficace

In condizioni statiche,  $k_a$  è funzione dell'angolo di attrito efficace dello scheletro solido  $\phi'$ , dell'angolo di attrito  $\delta$  fra struttura e terreno (nelle analisi  $\delta = 0.50 \phi'$ ) dell'inclinazione  $\psi$  rispetto all'orizzontale del paramento di monte della struttura di sostegno (nelle analisi  $\psi = 90^\circ$ ) e dell'inclinazione  $\beta$  rispetto all'orizzontale del versante a tergo dell'opera. Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di  $k_a$ , nel caso di condizioni stratigrafiche omogenee e di cunei di spinta non influenzati dall'andamento della falda lungo il pendio, poiché formulazioni più complesse come ad esempio il modello a spirale logaritmica (cfr. Figura 9) non portano a risultati più accurati, si farà riferimento a quella di [Coulomb, 1776] che considera una superficie di rottura piana:

$$k_a = \frac{[\sin(\psi + \phi')]^2}{(\sin \psi)^2 \sin(\psi - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \beta)}{\sin(\psi - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

Nel caso in cui la struttura subisca uno spostamento verso monte (aumento della tensione orizzontale efficace rispetto alle condizioni geostatiche), la  $\sigma'_h$  sul paramento di monte può essere calcolata come:

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 23 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

$$\sigma'_h = k_p \sigma'_v + 2c' \sqrt{k_p} \quad \text{pressione passiva}$$

dove:

$k_p$  è il coefficiente di spinta passiva

$\sigma'_v$  è la tensione verticale efficace

$c'$  è la coesione efficace

Analogamente al coefficiente di spinta attiva, in condizioni statiche si può porre  $k_p = k_p(\varphi', \psi, \beta, \delta)$ . Fra le varie formulazioni proposte per il calcolo di  $k_p$ , di seguito, si farà riferimento a quella di [Caquot-Kerisel, 1948]. 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 in Figura 9.

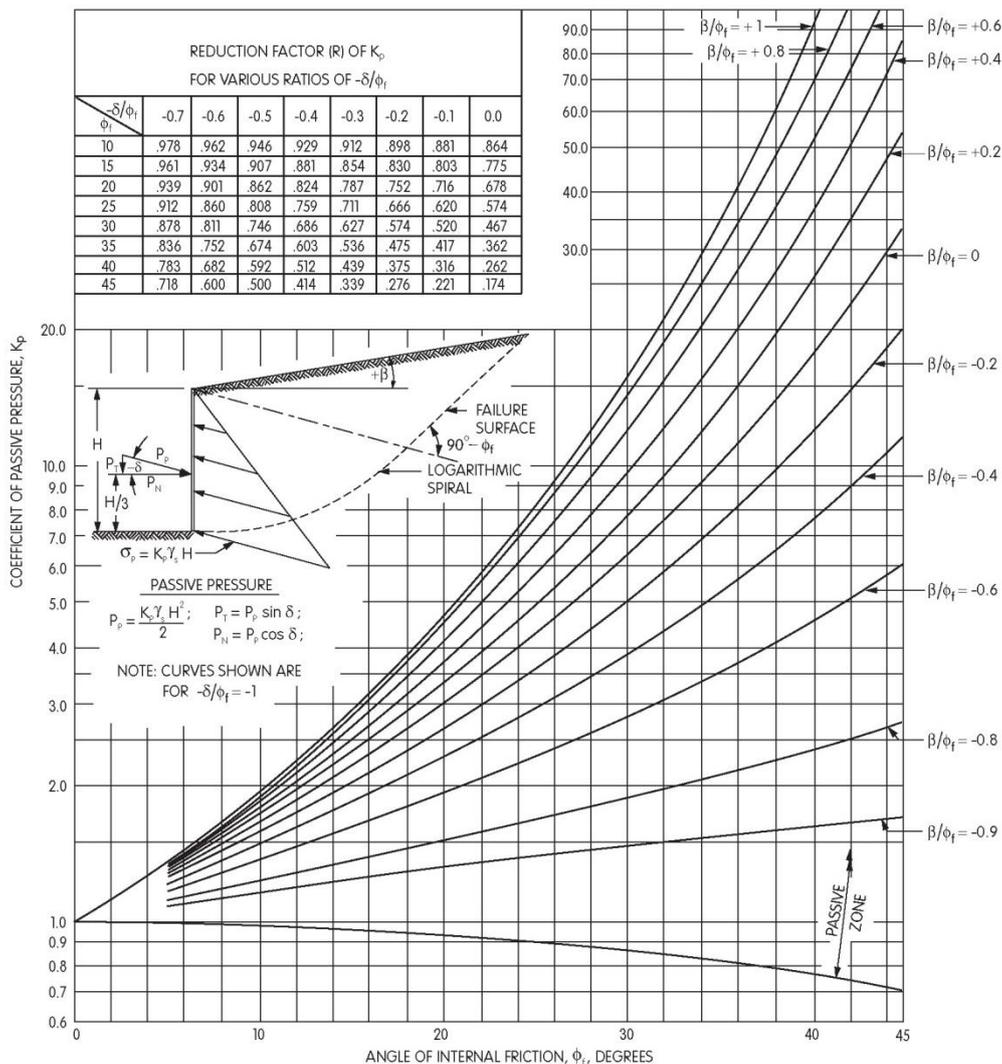


Figura 9– modello a spirale logaritmica per il calcolo dei coefficienti di spinta

Pertanto, in generale, nel caso di strutture di sostegno flessibili, eventualmente contrastate da elementi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 24 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

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;

$\sigma'_v$  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 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  $p(z = z_0)$

$\gamma_w$  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. CRITERI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA AI SENSI DEL D.M. 14-01-2008

Nel presente paragrafo sono riportate alcune indicazioni salienti della Normativa riguardanti criteri generali di progettazione e verifica delle opere strutturali e geotecniche, oltre a specifiche da adottare per il caso delle Paratie di Sostegno.

### 7.1 Metodo agli Stati Limite ed Approcci di Progetto

Il progetto di opere strutturali e geotecniche va effettuato, come prescritto dal DM 14/01/08, con i criteri del **metodo semiprobabilistico agli stati limite** basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale è verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

Per la sicurezza strutturale, la *resistenza* dei materiali e le *azioni* sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. I frattili sono stati assunti pari al 5%.

La normativa distingue inoltre tra **Stati Limite Ultimi** e **Stati Limite di Esercizio**.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite ultimi** di resistenza è stata effettuata con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

Il coefficiente  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema.

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{Mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e all'affidabilità del modello di calcolo.

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{kj} \gamma_{Fj}$  delle azioni, dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto ad:

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 26 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = E_k \gamma_E$  con  $\gamma_E = \gamma_F$ :

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

In accordo a quanto stabilito al §2.6.1 del DM 14.01.08, la verifica della condizione  $R_d > E_d$  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).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo Approccio progettuale (**Approccio 1**) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto, convenzionalmente indicate come di seguito:

**A1+M1+R1**

**A2+M2+R2**

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti

Gli stati limite di verifica si distinguono in genere in:

**EQU** perdita di equilibrio della struttura fuori terra, considerata come corpo rigido;

**STR** raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione

e tutti gli altri elementi strutturali che eventualmente interagiscono con il terreno;

**GEO** raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;

**UPL** perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla spinta dell'acqua

(sollevamento per galleggiamento)

**HYD** erosione e sifonamento del terreno dovuta ai gradienti idraulici.

I coefficienti parziali da applicare alle azioni sono quelli definiti alla Tab 2.6.I del DM 14.01.18 di seguito riportata per chiarezza espositiva:

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 27 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Q}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;

$\gamma_{Q}$  coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel Capitolo 6.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a  $\gamma_P = 1,0$ .

Altri valori di coefficienti parziali sono riportati nei capitoli successivi con riferimento a particolari azioni specifiche.

I valori dei coefficienti parziali da applicare ai materiali e/o alle caratteristiche dei terreni (M) sono definiti nelle specifiche sezioni della norma, ed in particolare al Cap. 4 per ciò che concerne i coefficienti parziali da applicare ai materiali strutturali, mentre al Cap.6 sono indicati quelli da applicare alle caratteristiche meccaniche dei terreni.

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze (R) sono infine unitari sulle capacità resistenti degli elementi strutturali, mentre assumono in genere valore diverso da 1 per ciò che concerne verifiche che attengono il controllo di meccanismi di stabilità locale o globale; i valori da adottare per ciascun meccanismo di verifica, sono definiti nelle specifiche sezioni di normativa dedicate al calcolo delle diverse opere geotecniche.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli **stati limite di esercizio** viene effettuata invece controllando gli aspetti di funzionalità e lo stato tensionale e/o deformativo delle opere, con riferimento ad una combinazione di verifica caratterizzata da coefficienti parziali sulle azioni e sui materiali tutti unitari.

Al § 2.5.3 del DM 14.01.08, sono infine definiti i criteri con cui le diverse azioni presenti vanno combinate per ciascuno stato limite di verifica previsto dalla Normativa, di seguito riportati per completezza:

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 28 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

**2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI**

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  sono dati nella Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari. I valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qi}$  sono dati nel § 2.6.1.

Nell'ambito della progettazione geotecnica, la normativa definisce inoltre nella Tab 6.2.II, i valori dei coefficienti parziali M1/M2 da applicare ai parametri caratteristici dei terreni nell'ambito delle diverse combinazioni contemplate dai due approcci di progetto come già illustrati al paragrafo precedente:

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Tali valori agiscono sulle proprietà dei terreni, condizionando sia le azioni (spinte ed incrementi di spinta), sia le resistenze nei riguardi delle verifiche di stabilità dell'insieme opere-terreno con esse interagenti da effettuare caso per caso in funzione del tipo di opera. (Paratie, Muri, Pali di Fondazione ecc..)

Inoltre, ribadisce i valori dei coefficienti da applicare alle azioni nella Tab 6.2.II di seguito riportata:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_E$ (o $\gamma_E'$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

## 7.2 Criteri di Analisi e Verifica di Paratie

Per le paratie, al § 6.5.3.1.2 del DM 14.01.08 viene specificato che si devono considerare almeno i seguenti **Stati Limite Ultimi**, accertando che la condizione  $R_d > E_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

*SLU di tipo geotecnica (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)*

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento di uno o più ancoraggi;
- instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
- instabilità del fondo scavo per sollevamento;
- sifonamento del fondo scavo;
- instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
- raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (**A2+M2+R2**) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 14.01.08; in aggiunta a quanto già mostrato in precedenza nel documento, si riporta anche la Tab 6.8.I appena menzionata:

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+ M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
 Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 30 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo **R1** pari all'unità.

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Con riferimento infine agli **Stati Limite di Esercizio**, bisogna controllare che gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di eventuali manufatti adiacenti, oltre che verificare, nei riguardi degli aspetti strutturali, la compatibilità degli stati tensionali dei materiali costituenti l'opera..

In aggiunta a quanto sopra, al § C6.5.3.1.2 della Circolare Applicativa n 617/2009 viene inoltre specificato quanto segue:

*Per il dimensionamento geotecnico delle paratie, le analisi possono essere condotte con la Combinazione 2 (A2+M2+R1).*

*Per la verifica degli elementi strutturali (STR), le analisi può essere condotta con riferimento alla Combinazione 1 (A1+M1+R1).*

### 7.3 Verifiche di Stabilità Locale

Nell'ambito delle verifiche finalizzate al controllo della stabilità locale dell'opera di sostegno, bisogna analizzare i seguenti due potenziali meccanismi.

- 1) - collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- 2) - collasso per carico limite verticale;

Potendo ritenere non significativa per il caso delle opere in oggetto la verifica 2, si è proceduto a controllare il meccanismo di cui al punto 1, in termini di massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva (GR) nell'ambito delle varie fasi caratteristiche di scavo e/o completamenti previsti, controllando il rispetto della seguente condizione:

$$G_m = kP_{mob}^{max} / k_p \leq 1$$

$kP_{mob}^{max}$  = massimo rapporto tra la tensione orizzontale del terreno in zona passiva e la tensione verticale efficace nel medesimo punto

$K_p$  = coefficiente di spinta passiva locale di progetto, valutato in base ai parametri caratteristici dei terreni fattorizzati secondo i coefficienti M1/M2 in relazione alla generica combinazione analizzata secondo specifiche di cui già al precedente § 7.1

Lo specifico software di calcolo utilizzato, i cui estremi sono indicati al § **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, fornisce a tal riguardo un diagramma tipico come quello riportato in figura seguente, ove per ciascuna fase di analisi, viene fornito il valore di  $G_m$ :

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

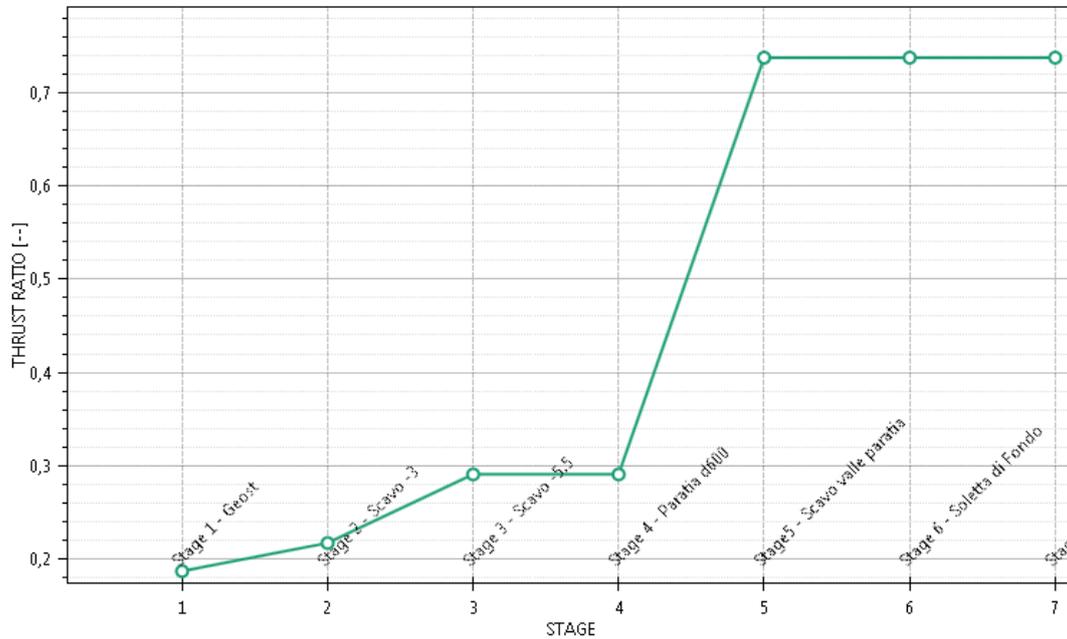
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 31 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

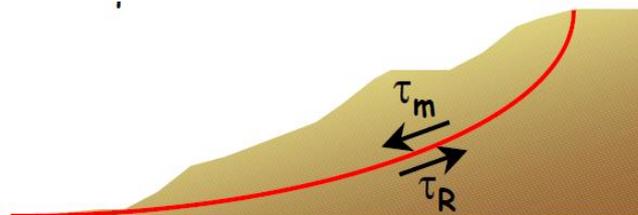


#### 7.4 Verifiche di Stabilità Globale

Nel presente paragrafo sono illustrati i Criteri generali adottati per l'effettuazione delle Verifiche di Stabilità Globale prescritte dalla normativa.

Nello specifico, le Analisi sono state effettuate mediante i metodi dell'equilibrio limite, messi a punto da diversi autori tra cui, Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern-Price, ecc.

In generale, ciascuno metodo va alla ricerca del potenziali superfici di scivolamento, generalmente di forma circolare, in qualche caso anche di forma diversa, rispetto a cui effettuare un equilibrio alla rotazione (o roto-traslazione) della potenziale massa di terreno coinvolta nel possibile movimento e quindi alla determinazione di un coefficiente di sicurezza coefficiente di sicurezza disponibile, espresso in via generale tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie, ovvero:



$$FS = \frac{\int_S \tau_{rott}}{\int_S \tau_{mob}}$$

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

Si procede generalmente suddividendo la massa di terreno coinvolta nella verifica in una serie di conci di dimensione  $b$ , interessati da azioni taglianti e normali sulle superfici di delimitazione dello stesso come di seguito rappresentato.

Per il caso in esame, le verifiche sono state effettuate rispetto a superfici di forma circolare, utilizzando il metodo di **Bishop**, per i cui dettagli si rimanda a quanto esposto a riguarda nella letteratura tecnica.

Le verifiche sono state effettuate rispetto a famiglie di superfici potenziali di rottura disegnate in maniera tale da non intersecare le opere, escludendo quindi ai fini della stabilità la resistenza al taglio locale offerta dalle opere, fermo restando tutte le prescrizioni definite dalla normativa per questo tipo di verifica.

Il DM 14.01.08 affronta il tema della Stabilità Globale distinguendo tra il caso dei Pendii Naturali (§ 6.3) e quello delle opere in terra in Materiali sciolti e Fronti di scavo (§ 6.8) fornendo prescrizioni differenti circa i criteri di verifica da adottare nei due casi.

Trattandosi nel caso in esame di valutare la Stabilità Globale di Opere a sostegno di scavi, si ricade nel caso dei “Fronti di Scavo e rilevati”; nel seguito si riportano dunque, per maggiore chiarezza espositiva, le specifiche normative a riguardo

Il punto 6.8.2 del DM 14.01.08 e relativa circolare applicativa, tratta l’argomento della verifica di Stabilità di Materiali Sciolti e fronti di scavo, nella fattispecie, al punto 6.8.2 “Verifiche di Sicurezza (SLU)” viene prescritto quanto di seguito:

*Le verifiche devono essere effettuate secondo l’Approccio 1 - Combinazione 2 ( $A2+M2+R2$ ) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.*

In aggiunta a quanto già riportato nei precedenti paragrafi, si riporta di seguito la Tab. 6.8.I, in cui è definito il valore del coefficiente parziale “ $R2$ ” da applicare al valore della resistenza caratteristica calcolata per la generica superficie di potenziale scivolamento analizzata :

**Tabella 6.8.I** – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	$R2$
$\gamma_R$	1.1

## 7.5 VERIFICHE STRUTTURALI

Trattandosi di opere a carattere provvisoriale, le verifiche vengono eseguiti unicamente nei confronti degli stati limie ultimi, non essendo necessario garantire particolari prestazioni tipiche delle fasi di esercizio (limitazione della fessurazione, tassi di lavoro materiali ecc.)

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 33 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### 7.5.1 Verifiche allo SLU

Le verifiche di resistenza dal punto di vista statico quali pressoflessione e taglio vengono eseguite su tutti gli elementi strutturali, con i criteri di cui al § 4.1.2 del DM 14.01.08

In riferimento alla resistenza allo SLU nei confronti delle sollecitazioni taglianti si adotta la seguente formulazione:

[NTC – 4.1.2.1.3.1] La resistenza a taglio in assenza di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

dove:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

Nel caso di utilizzo di armature a taglio si fa riferimento al 4.1.2.1.3.2 delle norme NTC2008. La resistenza a taglio dell'elemento in calcestruzzo armato è fornita dal minimo tra i valori  $V_{Rcd}$  e  $V_{Rsd}$ :

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$$

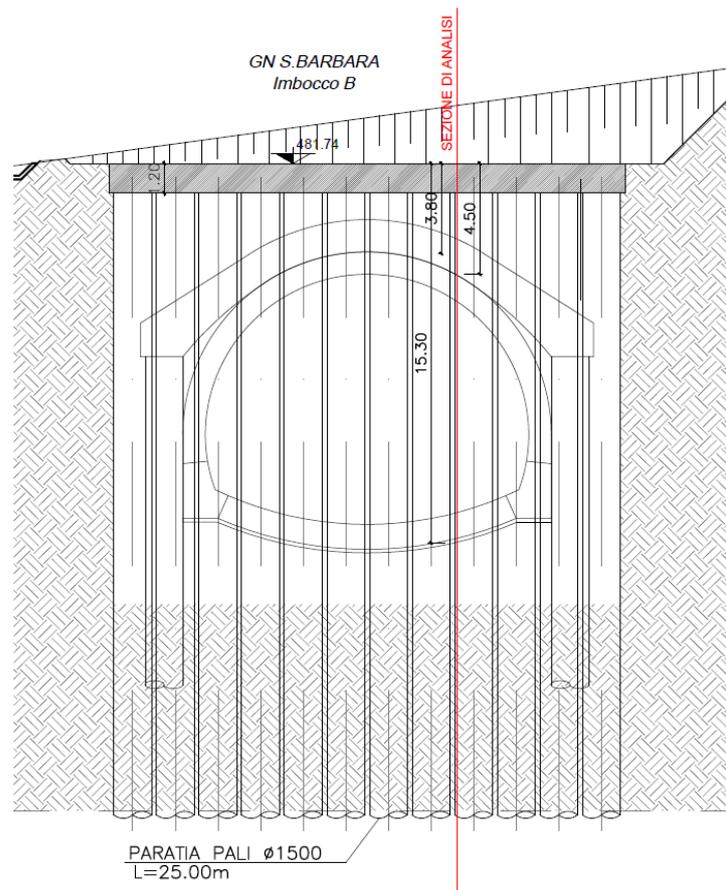
Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	34 di 108

## 8. PARATIE IMBOCCO FRONTALE (TIPO A) : ANALISI E VERIFICHE

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle analisi e verifiche condotte per le paratie provvisionali di imbocco della Galleria Naturale, costituite da Pali  $\phi$  1500/1.70m di lunghezza  $L=25$ m collegati in testa da un cordolo di coronamento di dimensione 1.80x1.20m.

La sezione analizzata, quale situazione maggiormente gravosa, è quella relativa al tratto di paratia frontale ubicata in corrispondenza dell'inizio del tratto in naturale.

Ai fini delle verifiche, tenendo conto di quanto già illustrato al precedente paragrafo circa le fasi realizzative delle Gallerie Artificiali di imbocco, ai fini del calcolo, si è fatto riferimento ad una condizione di paratia puntonata ad una quota all'incirca intermedia tra quella dell'asse della calotta della protesi in chiave e quella in corrispondenza dell'imposta, secondo quanto rappresentato nello schema grafico seguente, riferita al caso dell'imbocco B (Sud) caratterizzato, come già detto, da condizioni geotecniche analoghe a quelle dell'imbocco A, ma più gravose rispetto a quest'ultime ai fini dei dimensionamenti:



Modello di Calcolo Paratie di Imbocco GN S.Barbara

Viene presentato in primo luogo il modello implementato nel software Paratie Plus con la sequenza delle fasi di lavorazione previste, e successivamente i risultati in termini di sollecitazione e verifiche strutturali e

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 35 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

geotecniche da effettuare ai sensi di quanto prescritto dalla Normativa secondo quanto già descritto al precedente § 7.

Si precisa che trattandosi di opere a carattere provvisoriale, le verifiche possono essere effettuate con riferimento alla sola condizione statica, potendo omettere le Verifiche sismiche ai sensi di quanto prescritto al § 2.4.1 del DM 14.01.08.

## 8.1 MODELLO E FASI DI CALCOLO

Di seguito si riporta una descrizione con relativa rappresentazione grafica della sequenza delle fasi realizzative implementate nel modello di calcolo per le relative analisi:

Stage n.	Lavorazioni previste
Stage 1	Condizione Geostatica – Inizializzazione regime tensionale
Stage 2	Riprofilatura piano campagna fino a quota testa cordolo paratie (-1.00m) e Realizzazione Paratie e cordolo di collegamento
Stage 3	Scavi Fase 1 (-5.50m p.c / -4.50m da Testa cordolo)
Stage 4	Applicazione vincolo per simulazione Getto Calotta protesi (-4.80m da p.c./-3.80m da testa paratie)
Stage 5	Scavi Fase 2 (-10.00m p.c / -9.00m da Testa cordolo)
Stage 6	Scavi Fase finale (-16.30m p.c / -15.30m da Testa cordolo)

Quota 0.00m → Quota Piano Campagna in asse paratia

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

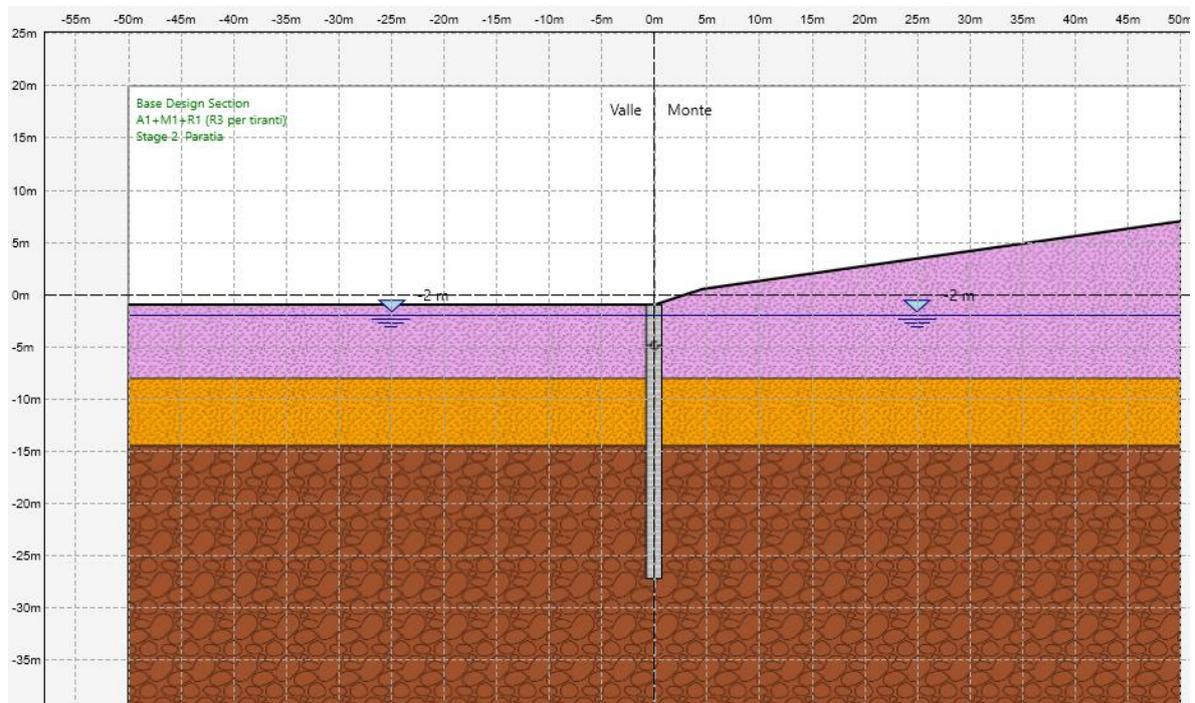
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 36 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------



Stage 1



Stage 2

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

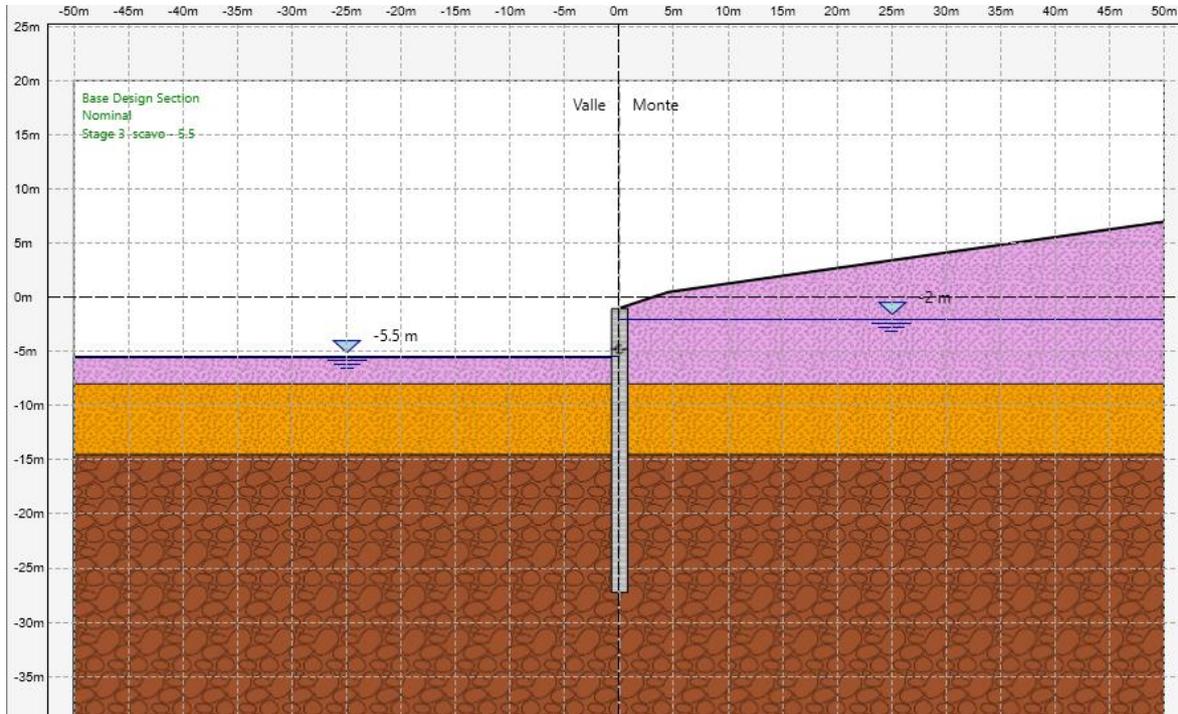
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

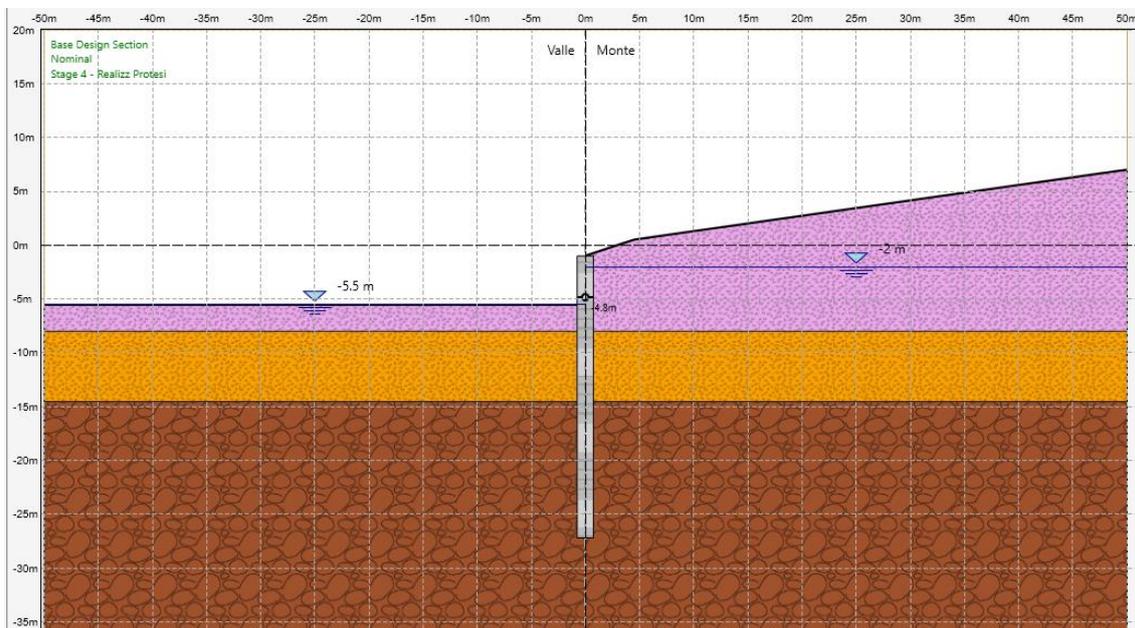
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 37 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------



Stage 3



Stage 4

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

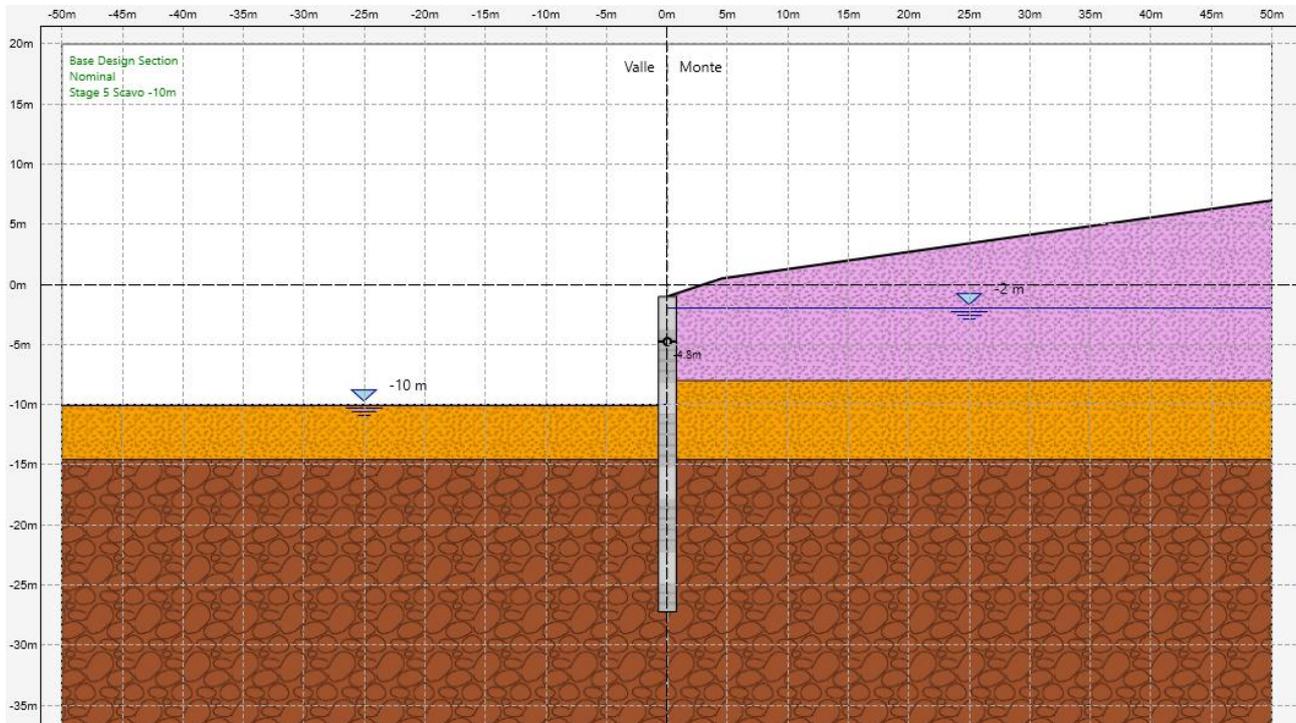
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

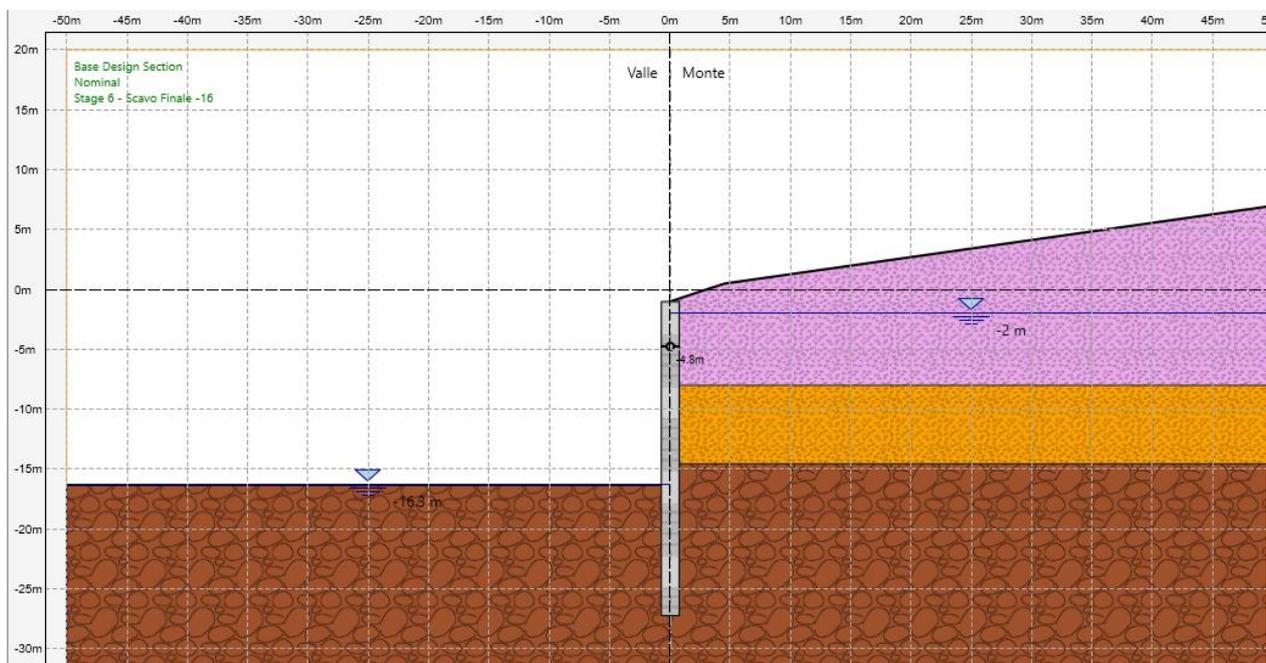
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 38 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------



Stage 5



Stage 6

Si precisa infine che le Analisi sono state svolte, tenendo conto delle specifiche della Normativa come già richiamate al precedente § 7.1, secondo l'Approccio 1, analizzando tutte le combinazioni prescritte dalla Normativa per l'analisi di Paratie di Sostegno in fase statica che nel seguito si riportano come implementate



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 40 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

### Lista degli approcci di progetto

Attivo	Std	Collezione	Nome	Stato Limite	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)
					R	R	R	R
					$\gamma_{re}$	$\gamma_{pP}$	$\gamma_{tT}$	
<input checked="" type="checkbox"/>			Nominal	UNDEFINED	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>		NTC2008 (ITA)	SLE (Rara/Frequente/Quasi	SERVICE	1	1	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2008 (ITA)	A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	ULTIMATE	1	1.2	1.1	1
<input checked="" type="checkbox"/>		NTC2008 (ITA)	A2+M2+R1	ULTIMATE	1	1.2	1.1	1
<input type="checkbox"/>		NTC2008 (ITA)	SISMICA STR	ULTIMATE	1	1.2	1.1	1
<input type="checkbox"/>		NTC2008 (ITA)	SISMICA GEO	ULTIMATE	1	1.2	1.1	1
<input type="checkbox"/>								

### Combinazioni ed approcci di progetto utilizzati nelle Analisi

Comb. A1-M1-R1 → (Verifiche strutturali allo SLU in fase statica )

Comb. A2-M2-R1 → (Verifiche geotecniche allo SLU in fase statica)

Non risulta di interesse per il caso in esame la combinazione SLE, trattandosi di opere provvisorie per cui non è richiesto il rispetto di requisiti funzionali sui materiali (fessurazione / limitazione tensionali ecc.) nè tantomeno, per le particolari condizioni al contorno, si configura la necessità di procedere con un controllo dei cedimenti indotti sul p.c. in quanto non si rileva la presenza di manufatti preesistenti da preservare a tergo delle opere stesse.

Riguardo le Verifiche strutturali, si precisa che le stesse sono state svolte in automatico dal software di calcolo utilizzato, sulla base delle caratteristiche della sezione resistente dei pali implementata nel software stesso che di seguito si riporta quale estratto dalla sezione di input dedicata:

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 41 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

Nome: Pali1500/1.7

Inerzia Equivalente: 0.1462 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 1.0395 m

Mat. omogeneizzazione: C25/30

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale: Inerzia: m<sup>4</sup>/m Area: m<sup>2</sup>/m

Diaphragma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C25/30

Spessore: Ct 0.3 m

Diametro: Cd 1.5 m

Passo: Cs 1.7 m

Acciaio

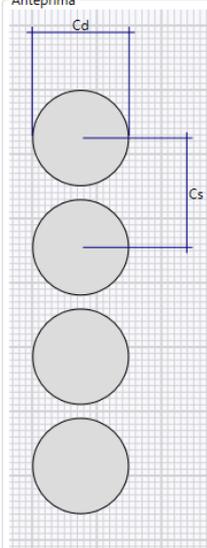
Materiale: Fe360

Profilo:

Passo: Ss 1.7 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac 1

Anteprima



Materiale armature **B450C**

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore: -1 m

Lunghezza della gabbia: 26.2 m

Quota inferiore: -27.2 m

Armature longitudinali

Layer: < 1 / 1 >

Diametro:  $\phi 26$

Numero per elemento: 46

Copriferro asse barra: 0.07 m

Armature a taglio

Armatura a taglio

Strato armatura a taglio: < 1 / 1 >

Quota superiore: -1 m

Lunghezza tratto armato a taglio: 26.2 m

Quota inferiore: -27.2 m

Passo: 0.1 m

Diametro:  $\phi 16$

Numero di bracci: 2

Copriferro netto: 0.04 m

Caratteristiche sezione resistente di calcolo dei pali

Si precisa infine che le Verifiche strutturali, vengono fornite dal software in termini di Tassi di sfruttamento dei materiali e delle sezioni sulla base delle caratteristiche della sezione resistente degli elementi strutturali come precedentemente definitiva.

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 42 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## 8.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE PARATIE

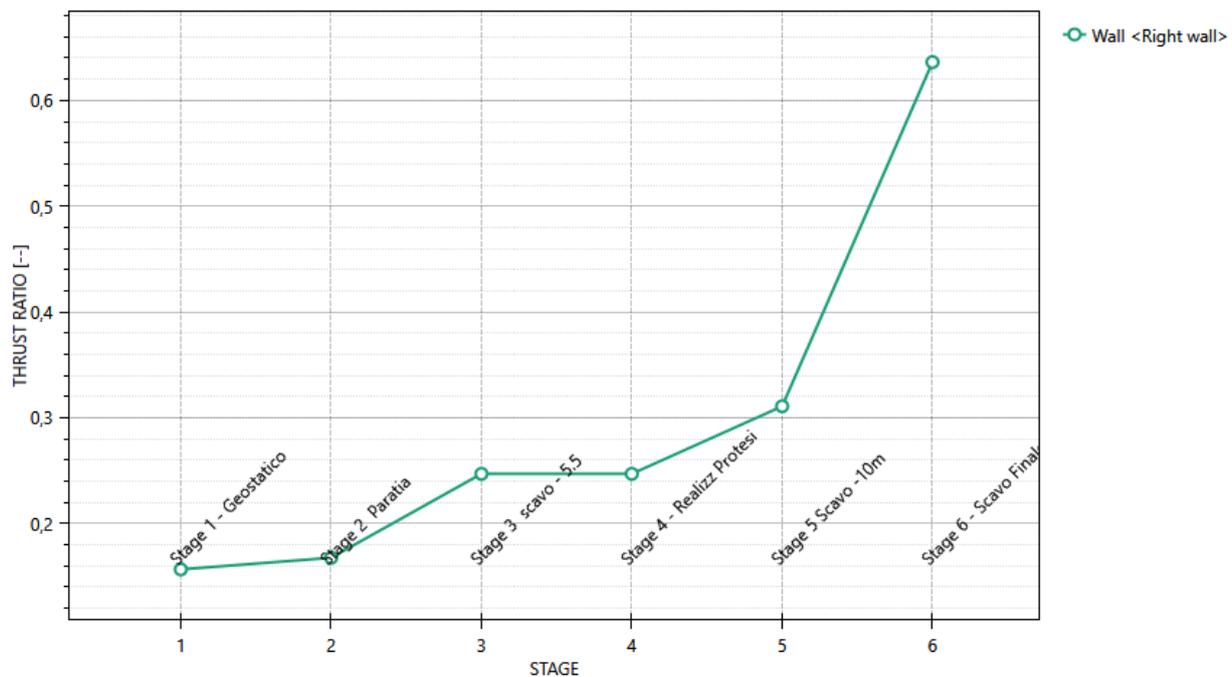
I paragrafi seguenti illustrano i risultati delle Analisi effettuate in termini di sollecitazioni e verifiche condotte per la fase STATICA, in accordo a quanto prescritto dalla Normativa Vigente.

### 8.2.1 Combinazione A2-M2-R1

La presente combinazione di Verifica è di riferimento per le verifiche Geotecniche di stabilità locale deli pali delle paratie in fase statica; tale verifica viene fornita in termini di rapporti di mobilitazione della spinta passiva che deve risultare ai fini del soddisfacimento della verifica, inferiore all'unità:

#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <A2+M2+R1>



#### Rapporti di mobilitazione spinta passiva

L'esame del grafico evidenzia che la verifica è soddisfatta.

Ulteriore verifica prevista dalla Normativa per la Combinazione A2-M2-R1 è quella di stabilità globale del complesso Opera di Sostegno – terrapieno, che nel caso specifico risulta significativa; di seguito si espongono in forma grafica, i risultati della verifica effettuata secondo i criteri già definiti al § 7.4, con in evidenza la superficie critica individuata ed il coefficiente di sicurezza minimo:

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 43 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S.: Base Design Section Fase: Stage 7 - vsp Eredita le proprietà dalla Fase: ▼

Attivo

Metodo di stabilità del pendio: Bishop

Definizione Superficie Critica: 🔍

Massimo numero di iterazioni:

Passo Conci:  m

Tolleranza FS:

Contributo del muro all'analisi di stabilità: Ignora muro

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

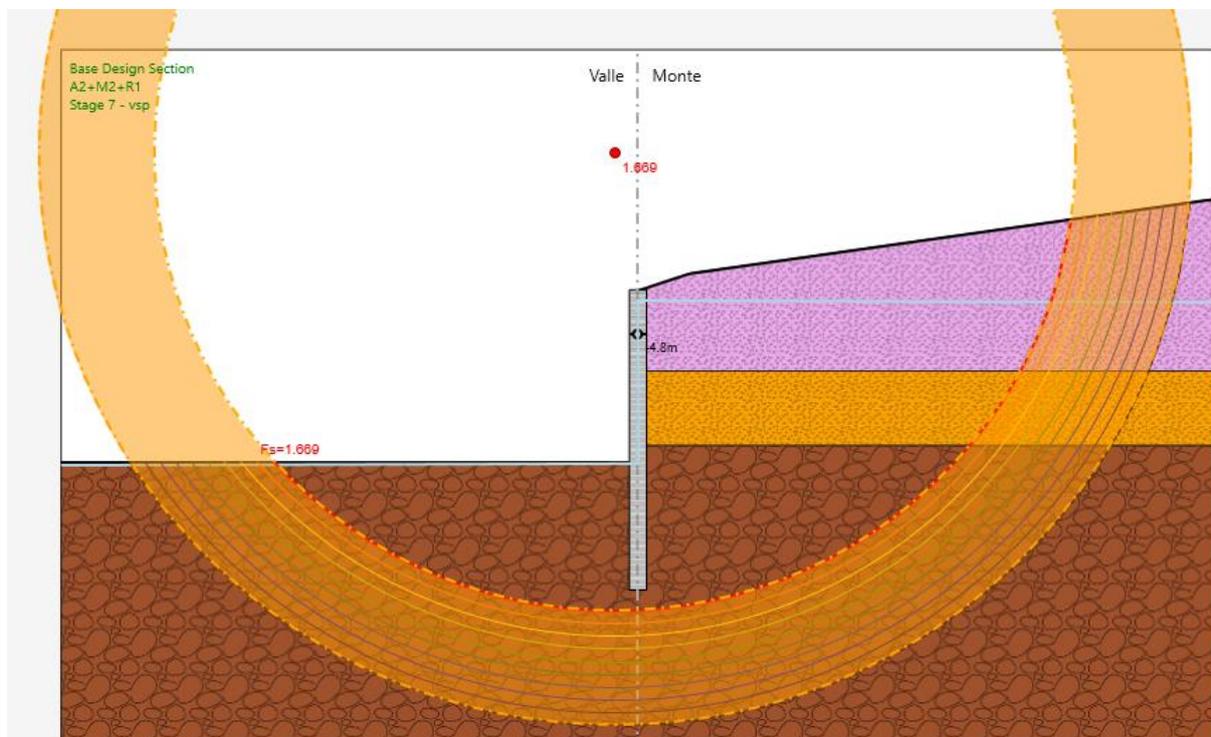
Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

Superficie Critica Semplice

X<sub>c</sub>:  m Raggio Minimo:  m

Z<sub>c</sub>:  m Raggio Massimo:  m

Numero Raggi:



### Impostazioni e Risultati Analisi di Stabilità Globale

I risultati della verifica eseguita, evidenziano che la superficie critica è quella più prossima al piede dell'opera di sostegno, con un coefficiente di sicurezza minimo pari a 1,67 e quindi ampiamente superiore al limite minimo di normativa (1.1), per cui la verifica è ampiamente soddisfatta.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	213	E	14	GA420	REL	02	A	44 di 108

### 8.2.2 Combinazione A1-M1-R1

La presente combinazione di Verifica è di riferimento per le verifiche strutturali dei pali in fase statica allo SLU; come già anticipato, tali verifiche vengono fornite in termini di tassi di sfruttamento delle sezioni resistenti:

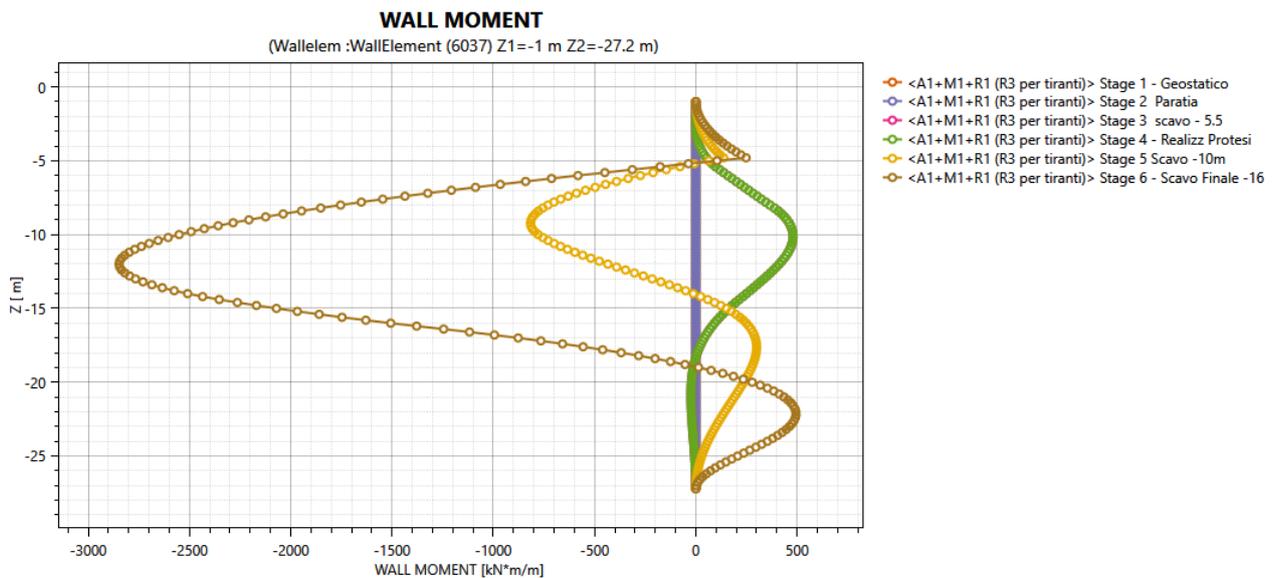


Diagramma del Momento Flettente

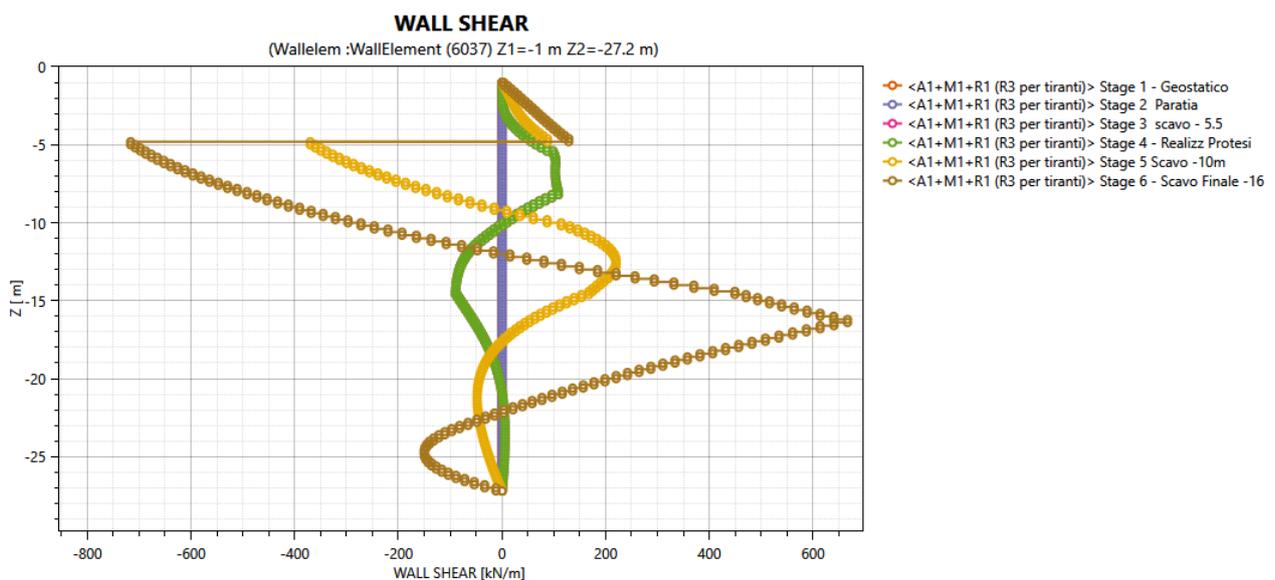


Diagramma del Taglio

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

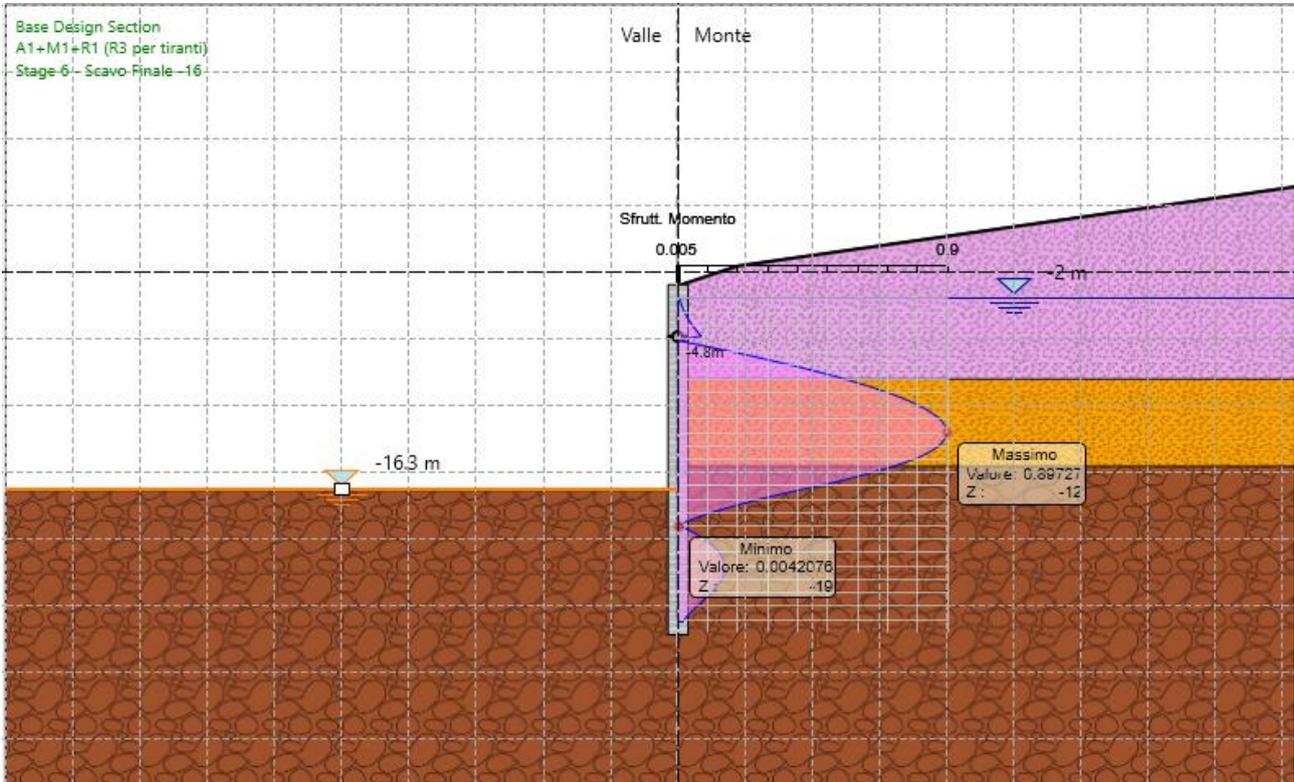
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

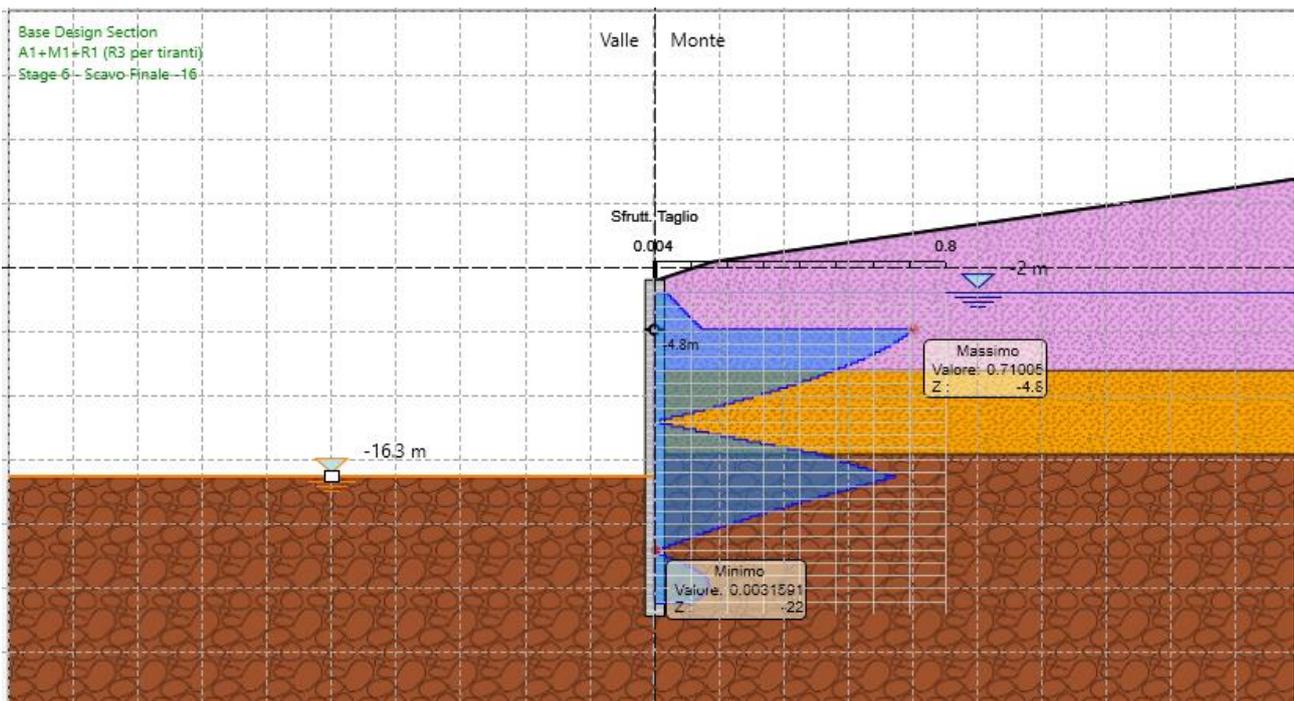
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 45 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------



Tassi di sfruttamento a Pressoflessione dei Pali allo SLU



Tassi di sfruttamento a Taglio dei Pali allo SLU

Essendo i tassi di sfruttamenti sempre inferiori all'unità, le verifiche risultano soddisfatte.

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 46 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

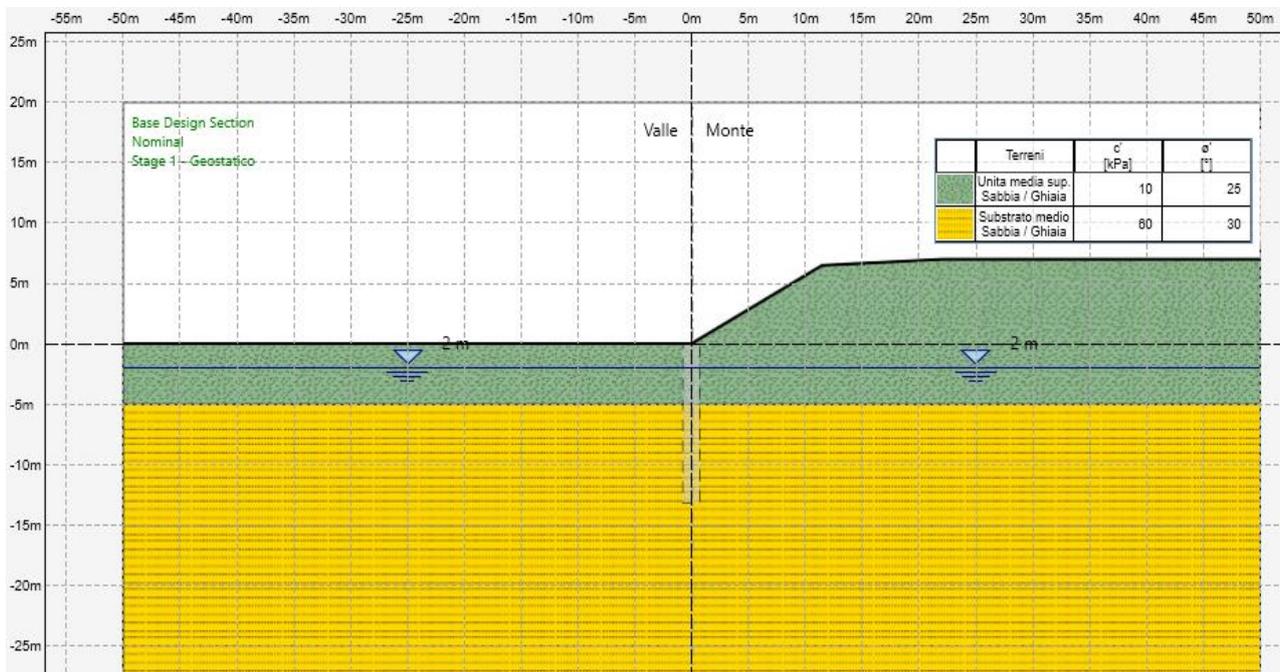
## 9. PARATIE L=12 E 16M (TIPO C) : ANALISI E VERIFICHE

Nel presente paragrafo si riportano sinteticamente i risultati delle Analisi e Verifiche integrative eseguite per le Paratie individuate nel paragrafo **Errore**. **L'origine riferimento non è stata trovata**. come tipo C, costituenti i tratti di risvolto in corrispondenza del becco di flauto e caratterizzate da pali di lunghezza variabile L=16m e 12m, in ragione della variabilità delle altezze di scavo previste.

I modelli considerati, di seguito illustrati, tengono conto di una condizione geometrica/geotecnica media che, in ragione della variabilità della quota di ubicazione delle opere e delle altezze di scavo a valle, può essere considerata sufficientemente rappresentative ai fini dei dimensionamenti.

Dal punto di Vista Geotecnico, si è fatto riferimento, per semplicità, ad un modello stratigrafico costituito da due Unità Geotecniche di cui quella superficiale (Unità media superficiale) di spessore 10m, rappresentativa delle Coltri, e quella più profonda, (substrato medio) rappresentativa del Substrato locale; alle due Unità convenzionali sono stati assegnati dei parametri medi definiti in base a quanto riportato nel precedente paragrafo dedicato all'inquadramento geotecnico mentre per quanto riguarda il livello di falda, si è fatto riferimento ad una quota convenzionale di -2m da testa cordolo.

### 9.1 MODELLO DI CALCOLO L=12



Stage 1- Condizione Geostatica

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

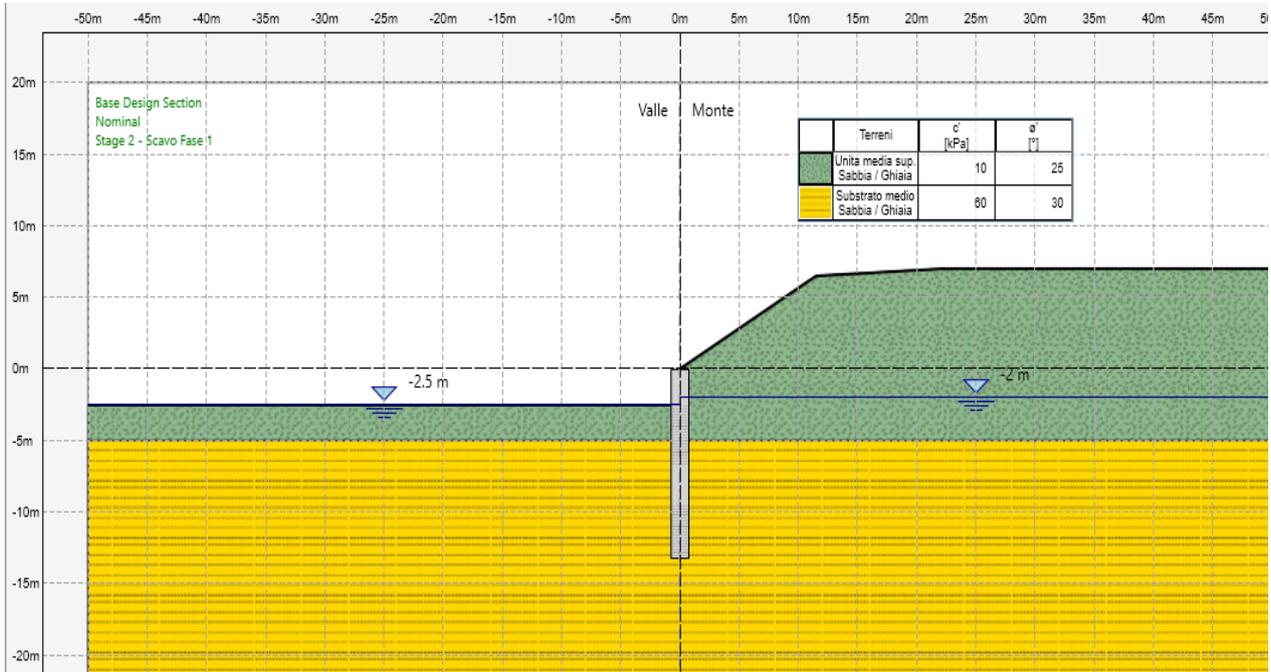
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

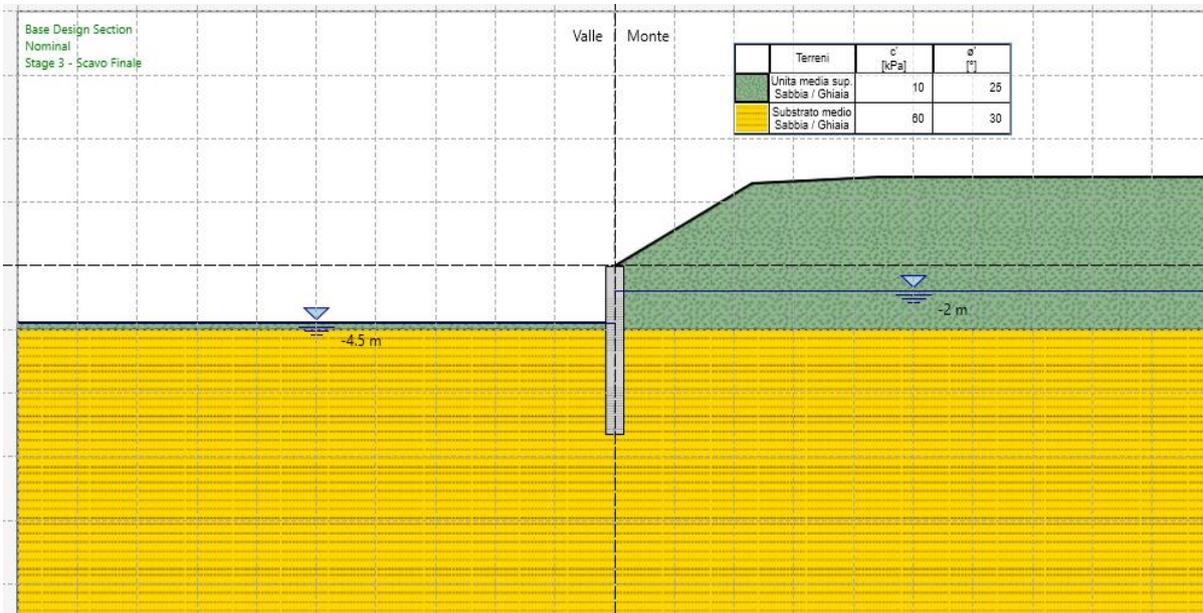
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 47 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



Stage 2- Scavo a – 2.50m da testa cordolo



Stage 3 – Scavo Finale –4.50m da testa cordolo

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 48 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]
Unita media sup. Sabbia / Ghiaia	10	25
Substrato medio Sabbia / Ghiaia	60	30

Caratteristiche di resistenza Unità geotecniche del modello di Analisi

Nome Terreno:

Descrizione:

Tipo - Comportamento:  
 Sabbia / Ghiaia    Limo  
 Roccia    Argilla  
 Altro

Comportamento Argilla:  
 Drenato  
 Non drenato  
 TSP non attivo nella DS corrente

Stima parametri (tramite SPT, CPT, ecc.)

Generale   **Resistenza**   Proprietà Elastiche   Aderenza   Riepilogo dati di calcolo

Elasto-Plastico    Esponenziale    Rigidezze alla Winkler

Moduli Costanti  
 Evc:  kPa  
 Eur:  kPa  

Proprietà Elastiche Unità media superficiale

Nome Terreno:

Descrizione:

Tipo - Comportamento:  
 Sabbia / Ghiaia    Limo  
 Roccia    Argilla  
 Altro

Comportamento Argilla:  
 Drenato  
 Non drenato  
 TSP non attivo nella DS corrente

Stima parametri (tramite SPT, CPT, ecc.)

Generale   **Resistenza**   Proprietà Elastiche   Aderenza   Riepilogo dati di calcolo

Elasto-Plastico    Esponenziale    Rigidezze alla Winkler

Moduli Costanti  
 Evc:  kPa  
 Eur:  kPa  

Proprietà Elastiche Substrato medio

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 49 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Nome: Pali1500/1.7

Inerzia Equivalente: 0.1462 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 1.0395 m

Mat. omogeneizzazione: C25/30

Da utilizzare per:

- Muri
- Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)
- Puntelli
- Puntoni

Geometria e materiali

Custom

Materiale: [ ] Inerzia: [ ] m<sup>4</sup>/m Area: [ ] m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C25/30

Spessore: Ct 0.3 m

Diametro: Cd 1.5 m

Passo: Cs 1.7 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac 1

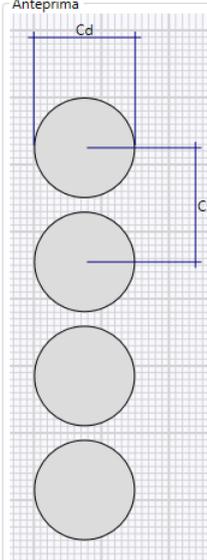
Acciaio

Materiale: Fe360

Profilo: [ ]

Passo: Ss 1.7 m

Anteprima



### Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore: 0 m

Lunghezza della gabbia: 13.2 m

Quota inferiore: -13.2 m

Armature longitudinali

Layer: < 1 / 1 >

Diametro:  $\phi 22$

Numero per elemento: 25

Copriferro asse barra: 0.07 m

Armature a taglio

Armatura a taglio

Strato armatura a taglio: < 1 / 1 >

Quota superiore: 0 m

Lunghezza tratto armato a taglio: 13.2 m

Quota inferiore: -13.2 m

Passo: 0.2 m

Diametro:  $\phi 14$

Numero di bracci: 2

Copriferro netto: 0.04 m

Caratteristiche della sezione resistente dei Pali

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	50 di 108

## 9.2 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE PARATIE L=12

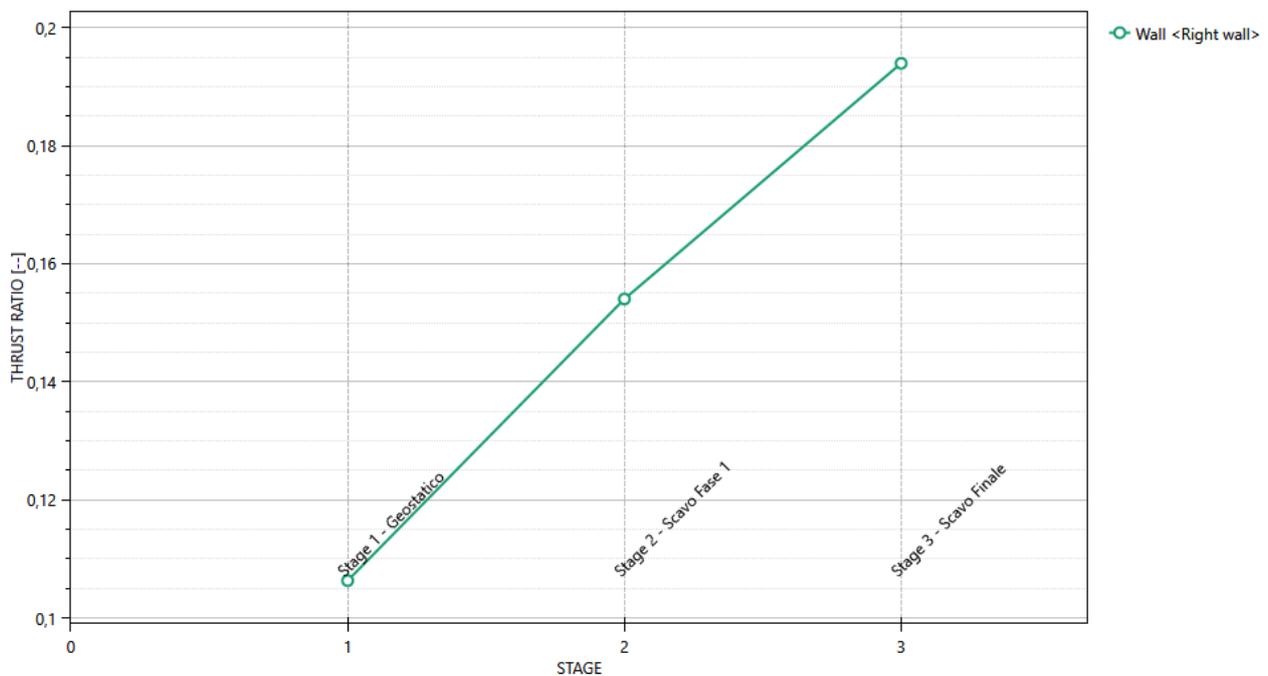
I successivi paragrafi illustrano i risultati delle Analisi e Verifiche eseguite con riferimento alle combinazioni prescritte dalla normativa e ritenute rappresentative per il caso in oggetto, come già ampiamente illustrato in precedenza del documento.

### 9.2.1 Combinazione A2-M2-R1

La presente combinazione di Verifica è di riferimento per le verifiche Geotecniche di stabilità locale dei pali delle paratie in fase statica; tale verifica viene fornita in termini di rapporti di mobilitazione della spinta passiva che deve risultare ai fini del soddisfacimento della verifica, inferiore all'unità:

#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

D.A. <A2+M2+R1>



#### Rapporti di mobilitazione spinta passiva

L'esame del grafico evidenzia che la verifica è soddisfatta.

Ulteriore verifica prevista dalla Normativa per la Combinazione A2-M2-R1 è quella di stabilità globale del complesso Opera di Sostegno – terrapieno, che nel caso specifico risulta significativa; di seguito si espongono in forma grafica, i risultati della verifica effettuata secondo i criteri già definiti al § 7.4, con in evidenza la superficie critica individuata ed il coefficiente di sicurezza minimo:

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

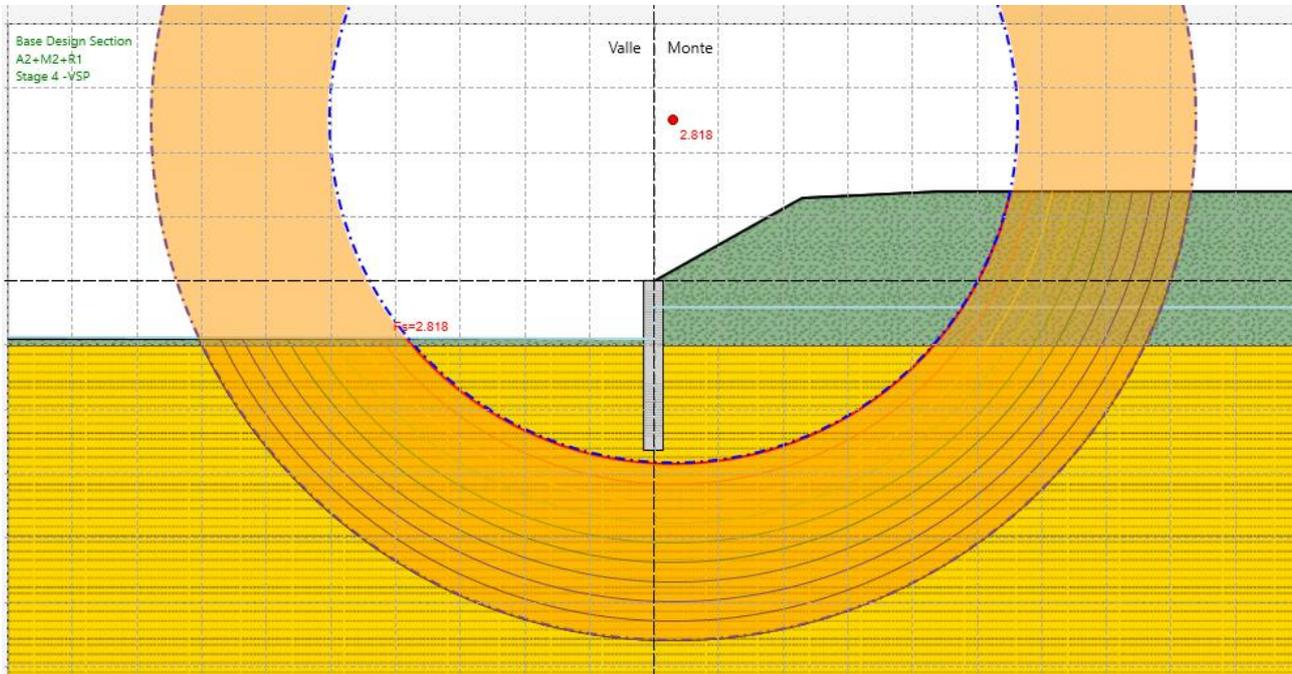
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	51 di 108



#### Analisi di Stabilità Globale

I risultati della verifica eseguita, evidenziano che la superficie critica è quella più prossima al piede dell'opera di sostegno, con un coefficiente di sicurezza minimo pari a 2,82 e quindi ampiamente superiore al limite minimo di normativa (1.1), per cui la verifica è ampiamente soddisfatta.

#### 9.2.2 Combinazione A1-M1-R1

La presente combinazione di Verifica è di riferimento per le verifiche strutturali dei pali in fase statica allo SLU; come già anticipato, tali verifiche vengono fornite in termini di tassi di sfruttamento delle sezioni resistenti:

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L0703	213	E	14	GA420	REL	02	A	52 di 108

### WALL MOMENT

(Wallelem :WallElement (6037) Z1=0 m Z2=-13.2 m)

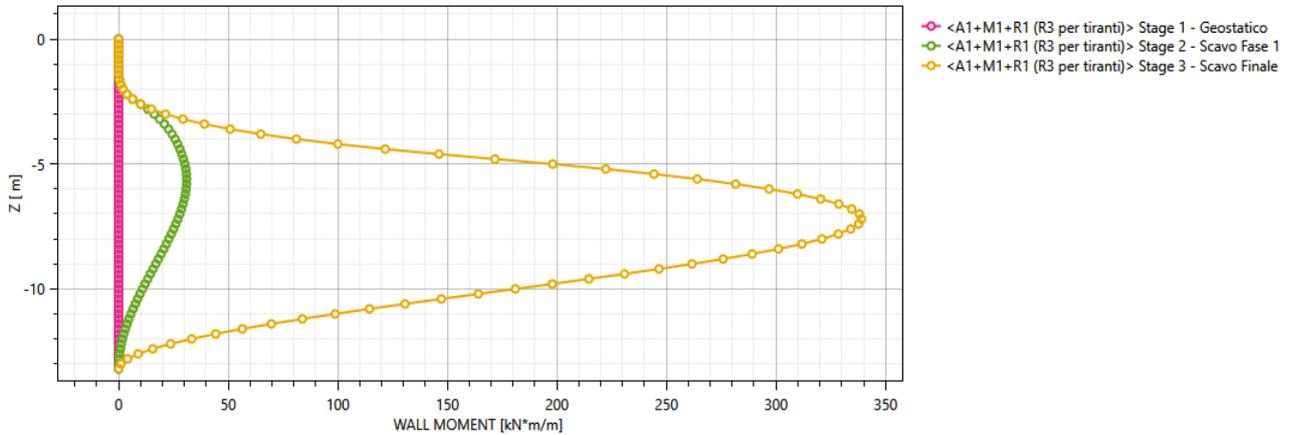


Diagramma del Momento Flettente

### WALL SHEAR

(Wallelem :WallElement (6037) Z1=0 m Z2=-13.2 m)

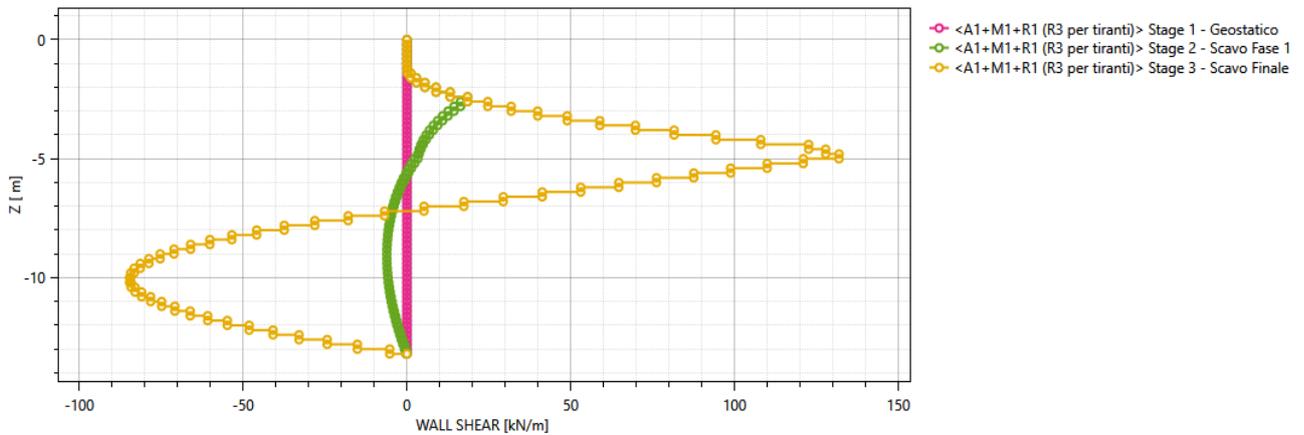


Diagramma del Taglio

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

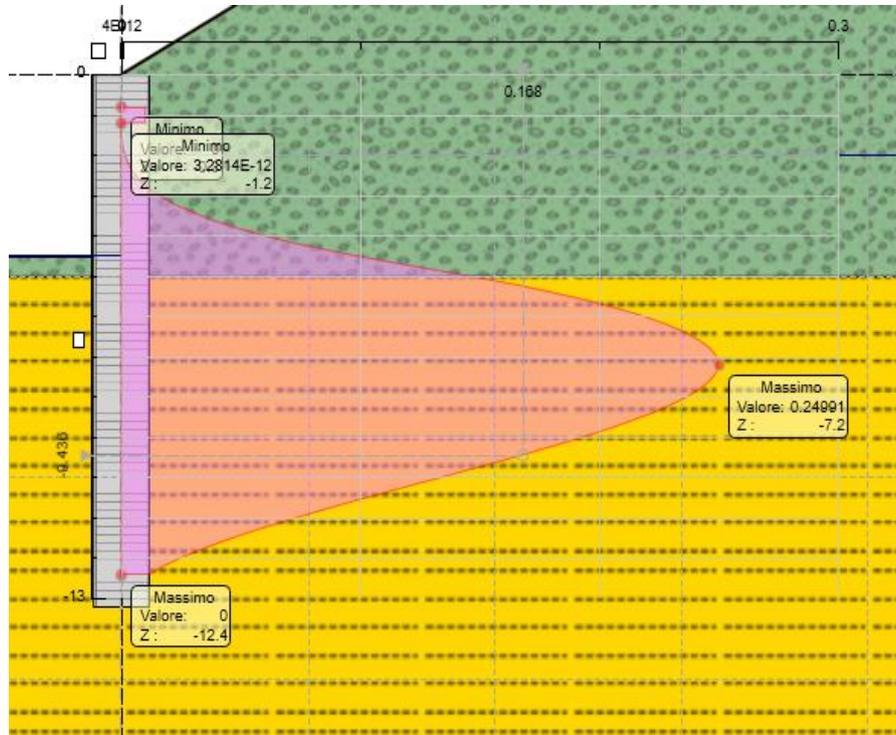
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

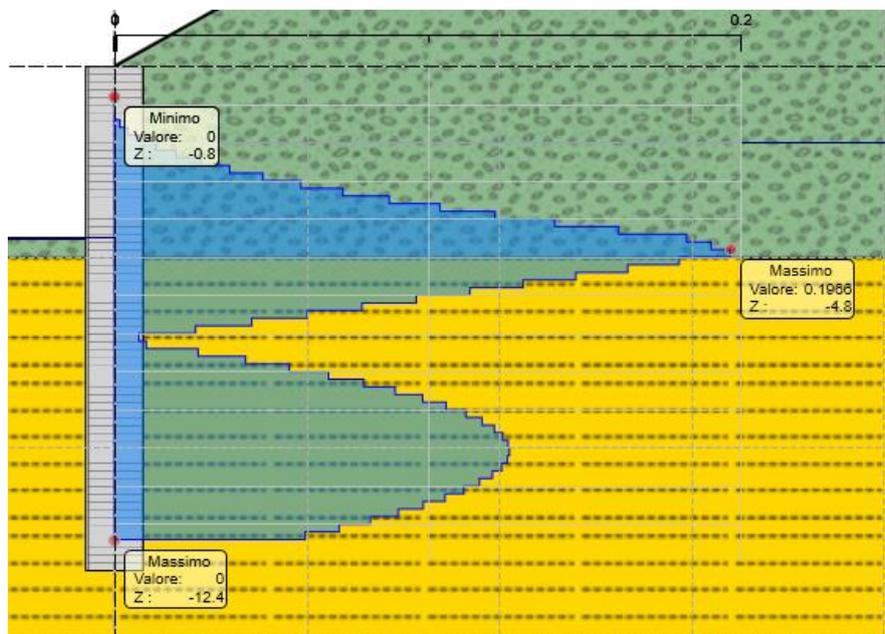
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	53 di 108



Tassi di sfruttamento a Pressoflessione dei Pali allo SLU



Tassi di sfruttamento a Taglio dei Pali allo SLU

Essendo i tassi di sfruttamenti sempre inferiori all'unità, le verifiche risultano soddisfatte.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

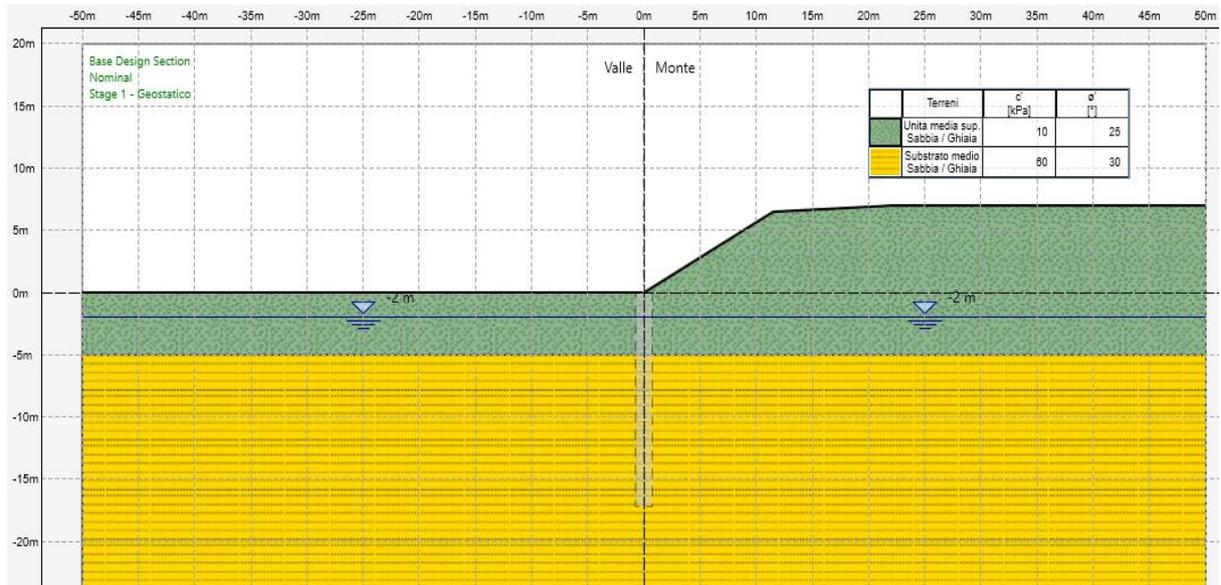
Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

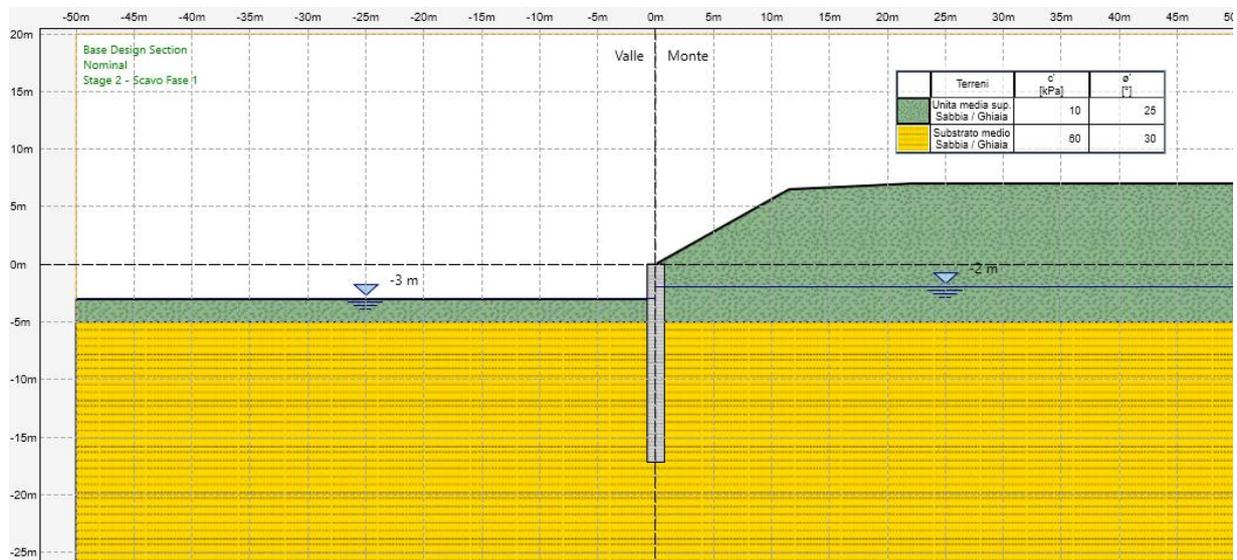
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 54 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	-------------------------

### 9.3 MODELLI DI CALCOLO L=16



Stage 1- Condizione Geostatica



Stage 2- Scavo a – 3.0 m da testa cordolo

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

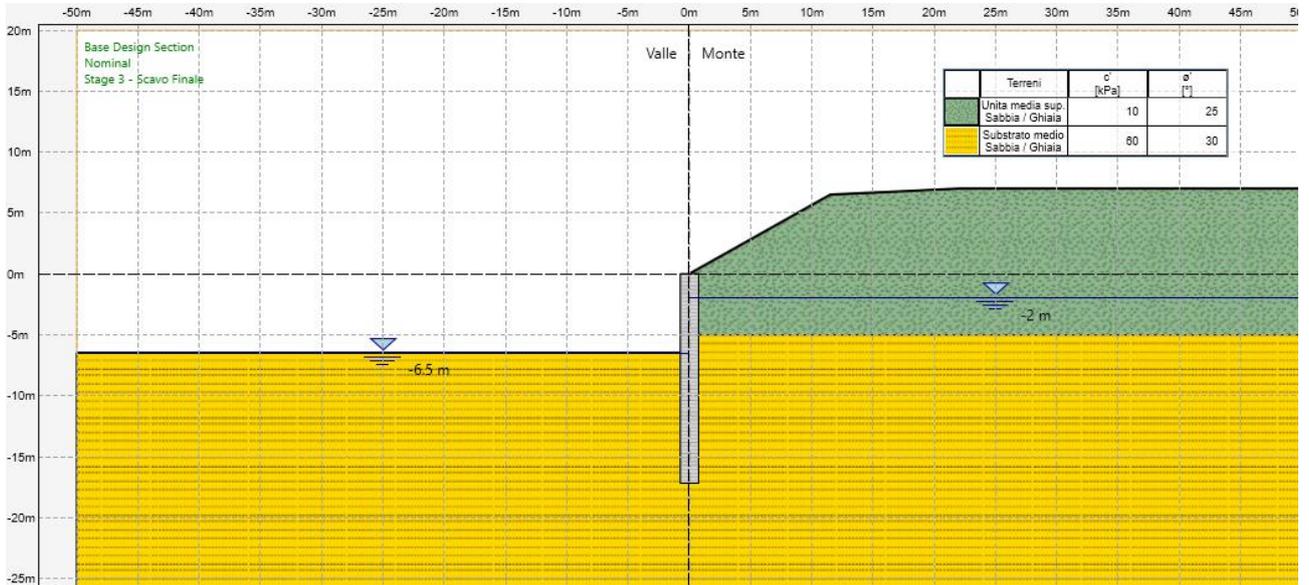
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 55 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



Stage 3 – Scavo Finale –6.50m da testa cordolo

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]
Unità media sup. Sabbia / Ghiaia	10	25
Substrato medio Sabbia / Ghiaia	60	30

Caratteristiche di resistenza Unità geotecniche del modello di Analisi

Nome Terreno:

Descrizione:

Tipo - Comportamento:  Sabbia / Ghiaia  Limo  Roccia  Argilla  Altro

Comportamento Argilla:  Drenato  Non drenato  
TSP non attivo nella DS corrente

Stima parametri (tramite SPT, CPT, ecc.):

Generale | **Resistenza** | Proprietà Elastiche | Aderenza | Riepilogo dati di calcolo

Elasto-Plastico  Esponenziale  Rigidezze alla Winkler

Moduli Costanti

Evc:  kPa

Eur:  kPa

Proprietà Elastiche Unità media superficiale

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 56 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------

Nome Terreno: Substrato medio

Descrizione: AP

Tipo - Comportamento

Sabbia / Ghiaia  Limo  
 Roccia  Argilla  
 Altro

Comportamento Argilla

Drenato  
 Non drenato  
TSP non attivo nella DS corrente

Stima parametri (tramite SPT, CPT, ecc.)

Generale | **Resistenza** | Proprietà Elastiche | Aderenza | Riepilogo dati di calcolo

Elasto-Plastico  Esponenziale  Rigidezze alla Winkler

Moduli Costanti

Evc: 35000 kPa  
Eur: 56000 kPa

### Proprietà Elastiche Substrato medio

Nome: Pali1500/1.7

Inerzia Equivalente: 0.1462 m<sup>4</sup>/m

Area Equivalente: 1.0395 m

Mat. omogeneizzazione: C25/30

Da utilizzare per

Muri  
 Solette (specificare il Dead Load: 5 kN/m)  
 Puntelli  
 Puntoni

Geometria e materiali

Custom  
Materiale: Inerzia: m<sup>4</sup>/m Area: m<sup>2</sup>/m

Diaframma o Pali

Calcestruzzo

Materiale: C25/30  
Spessore: Ct: 0.3 m  
Diametro: Cd: 1.5 m  
Passo: Cs: 1.7 m

Acciaio

Materiale: Fe360  
Profilo:  
Passo: Ss: 1.7 m

Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac: 1

Anteprima

Pali tangenti

Armatura longitudinale

Gruppo Armature Longitudinali

Quota superiore: 0 m  
Lunghezza della gabbia: 17.2 m  
Quota inferiore: -17.2 m

Armature longitudinali

Layer: < 1 / 1 >  
Diametro: ø26  
Numero per elemento: 32  
Copriferro asse barra: 0.07 m

Armature a taglio

Armatura a taglio

Strato armatura a taglio: < 1 / 1 >  
Quota superiore: 0 m  
Lunghezza tratto armato a taglio: 17.2 m  
Quota inferiore: -17.2 m  
Passo: 0.15 m  
Diametro: ø14  
Numero di bracci: 2  
Copriferro netto: 0.04 m

### Caratteristiche della sezione resistente dei Pali

## 9.4 RISULTATI ANALISI E VERIFICHE L=16

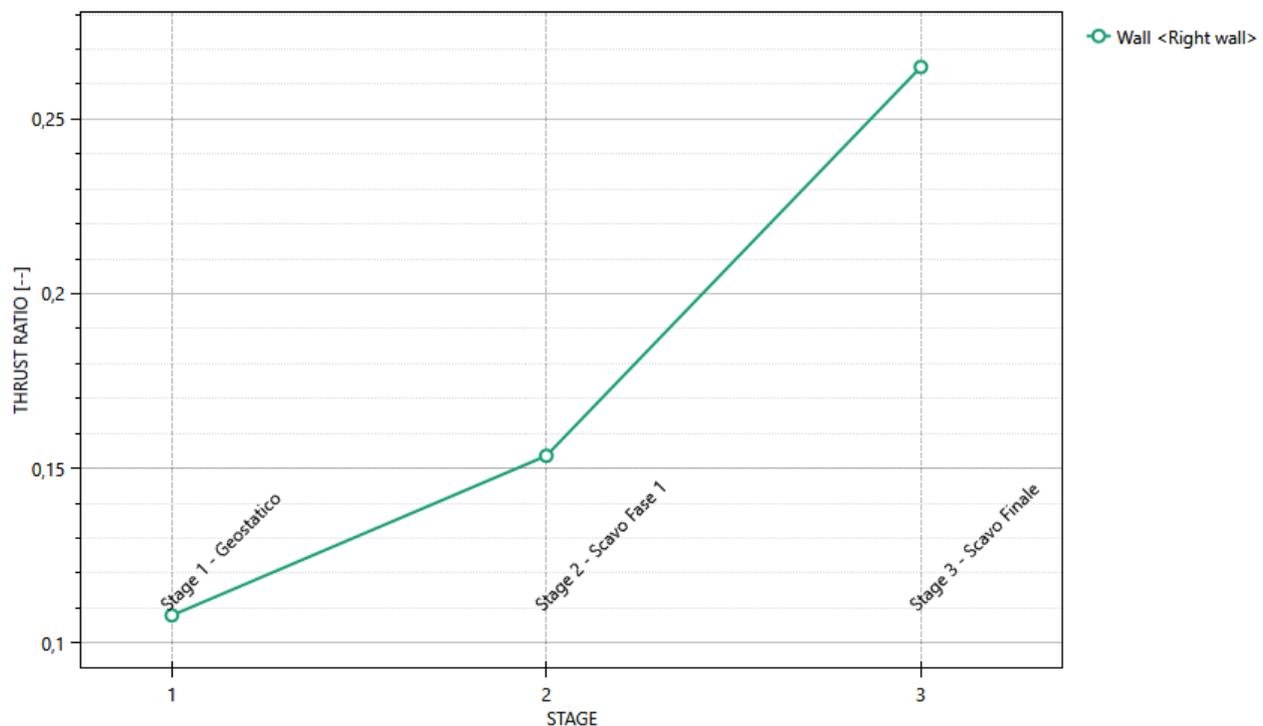
I successivi paragrafi illustrano i risultati delle Analisi e Verifiche eseguite con riferimento alle combinazioni prescritte dalla normativa e ritenute rappresentative per il caso in oggetto, come già ampiamente illustrato in precedenza del documento.

### 9.4.1 Combinazione A2-M2-R1

La presente combinazione di Verifica è di riferimento per le verifiche Geotecniche di stabilità locale deli pali delle paratie in fase statica; tale verifica viene fornita in termini di rapporti di mobilitazione della spinta passiva che deve risultare ai fini del soddisfacimento della verifica, inferiore all'unità:

#### Massimi rapporti di mobilitazione spinta passiva

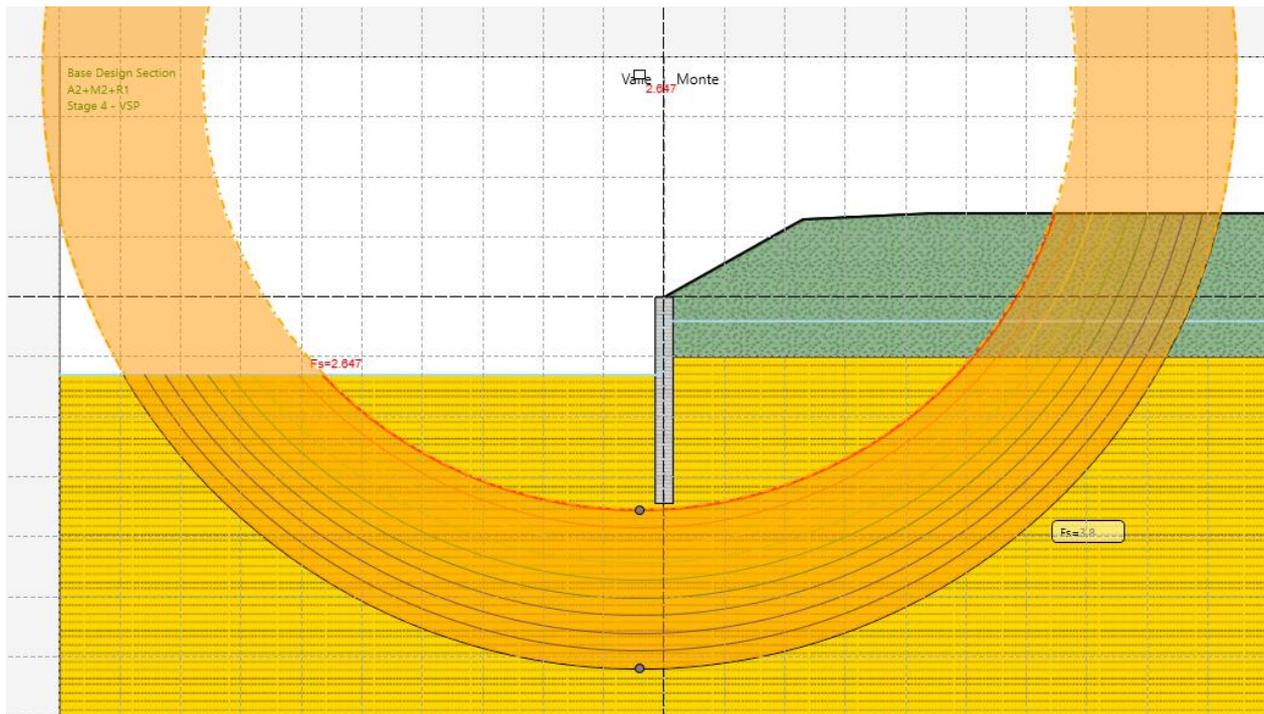
D.A. <A2+M2+R1>



Rapporti di mobilitazione spinta passiva

L'esame del grafico evidenzia che la verifica è soddisfatta.

Ulteriore verifica prevista dalla Normativa per la Combinazione A2-M2-R1 è quella di stabilità globale del complesso Opera di Sostegno – terrapieno, che nel caso specifico risulta significativa; di seguito si espongono in forma grafica, i risultati della verifica effettuata secondo i criteri già definiti al § 7.4, con in evidenza la superficie critica individuata ed il coefficiente di sicurezza minimo:



Analisi di Stabilità Globale

I risultati della verifica eseguita, evidenziano che la superficie critica è quella più prossima al piede dell'opera di sostegno, con un coefficiente di sicurezza minimo pari a 2,65 e quindi ampiamente superiore al limite minimo di normativa (1.1), per cui la verifica è ampiamente soddisfatta.

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	213	E	14	GA420	REL	02	A	59 di 108

### 9.4.2 Combinazione A1-M1-R1

La presente combinazione di Verifica è di riferimento per le verifiche strutturali dei pali in fase statica allo SLU; come già anticipato, tali verifiche vengono fornite in termini di tassi di sfruttamento delle sezioni resistenti:

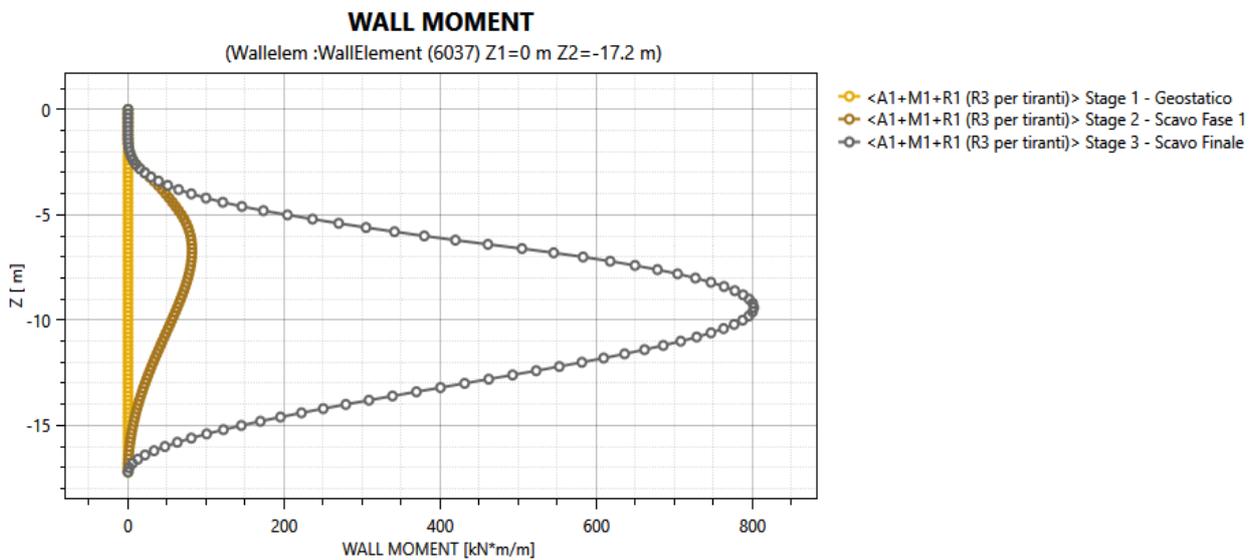


Diagramma del Momento Flettente

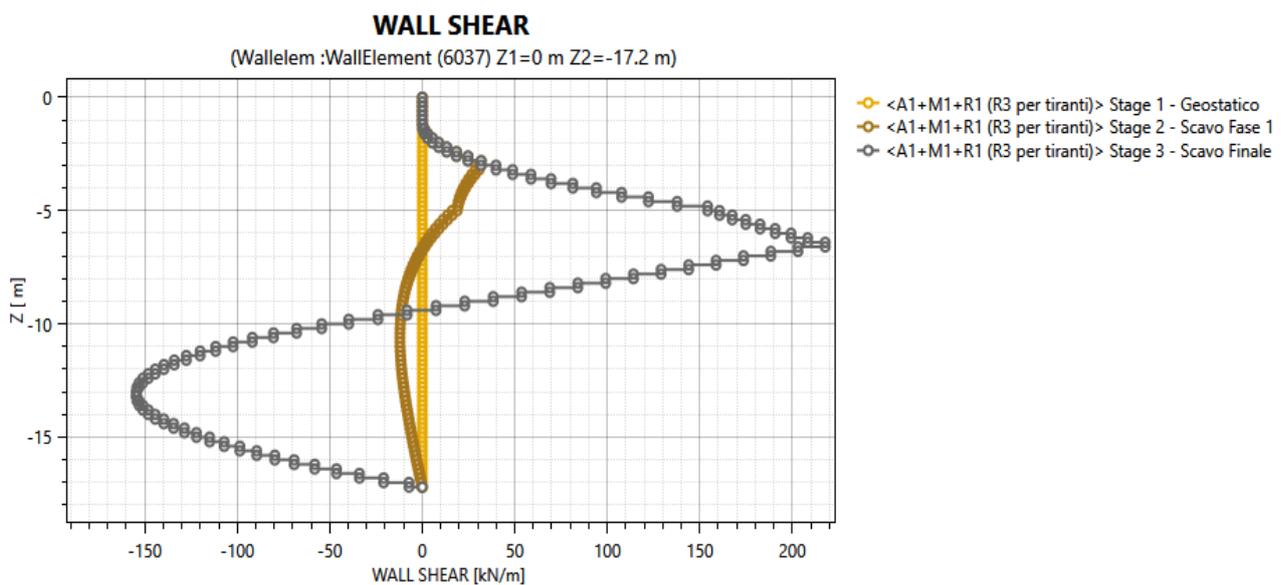


Diagramma del Taglio

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

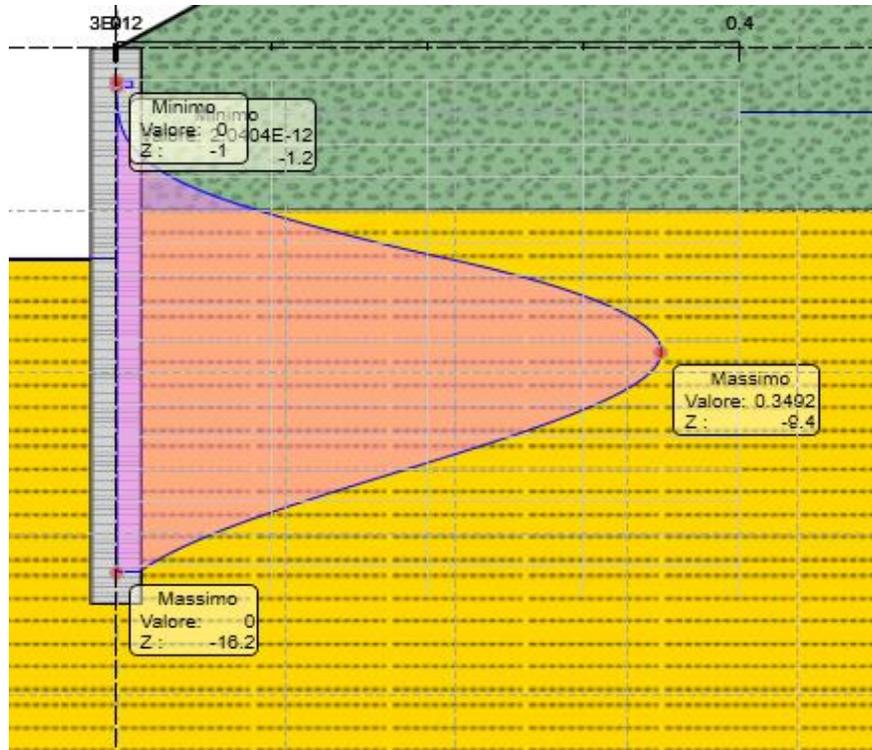
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

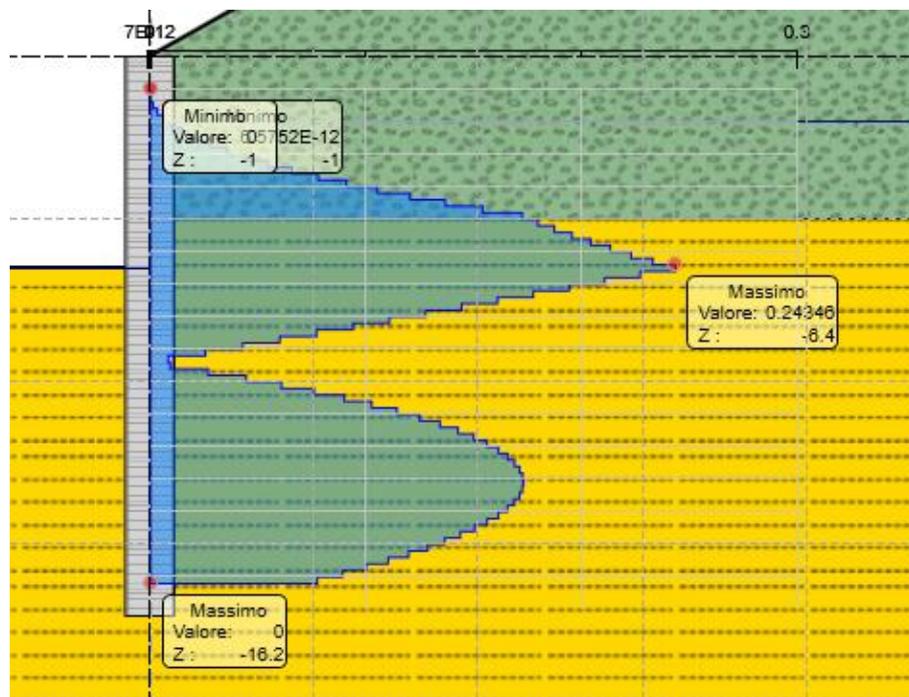
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	60 di 108



Tassi di sfruttamento a Pressoflessione dei Pali allo SLU



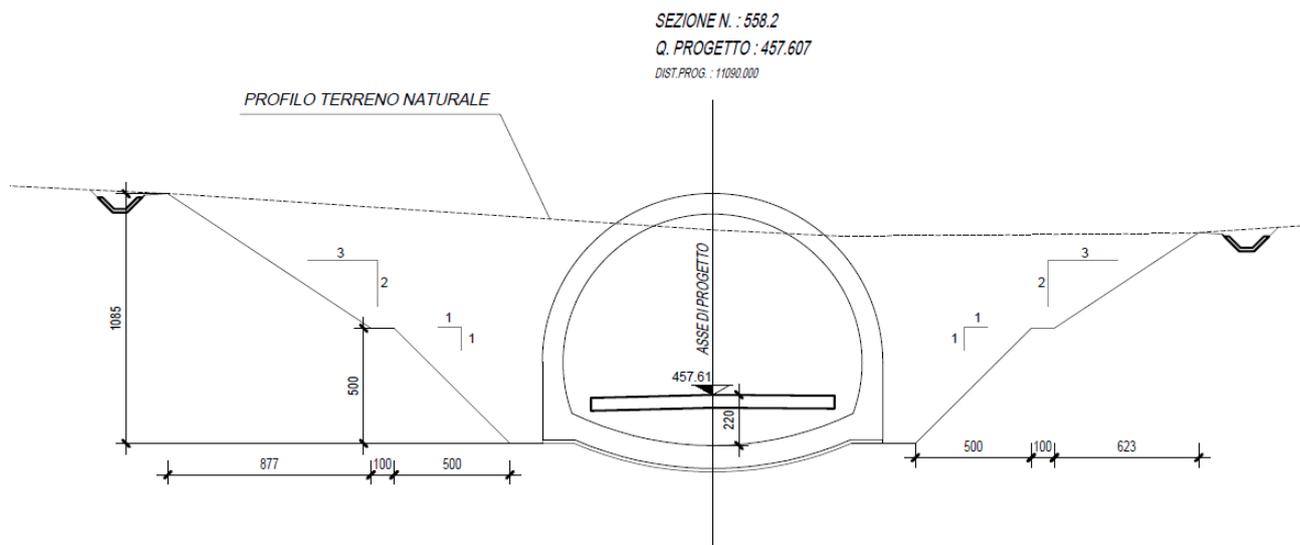
Tassi di sfruttamento a Taglio dei Pali allo SLU

Essendo i tassi di sfruttamenti sempre inferiori all'unità, le verifiche risultano soddisfatte.

## 10. ANALISI DI STABILITA' SCAVI PROVVISORIALI

Come già anticipato in sede di descrizione delle opere provvisionali di imbocco, per la realizzazione dei tratti di Galleria Artificiale di imbocco al tratto in naturale, si è prevista oltre alla realizzazione di paratie di pali in c.a. nel tratto più a ridosso dell'imbocco, anche la realizzazione di scavi a cielo aperto con risagomatura delle scarpate con pendenze 1/1 e 3/2 con l'interposizione di banche intermedie di dimensioni 1m.

Al fine di Valutare le condizioni di stabilità di tali scavi di fase provvisoria, è stata esaminata una condizione geometrica di scarpata che può essere considerata sufficientemente rappresentativa delle condizioni più gravose ai fini del tipo di verifica, di cui nel seguito si riporta il relativo schema geometrico estratto dall'elaborato delle sezioni trasversali dell'opera:



Modello Geometrico Sezione di Scavo Analizzato

Il modello mostrato nello schema grafico precedente, è stato implementato nel software di calcolo utilizzato anche per le Analisi delle Paratie, (Paratie Plus), con riferimento al modello geotecnico di progetto definito al precedente paragrafo 3.1 avendo tuttavia per semplicità di modellazione schematizzato le formazioni interessate dagli scavi con un'unica unità geotecnica caratterizzata dai parametri fisici e di resistenza medi  $\gamma=19\text{KN/m}^3$   $c'=10\text{ KPa}$  e  $\phi=25^\circ$   $\gamma$ , rappresentativa, in via cautelativa dei terreni di coltre.

Il modello di calcolo appena descritto, ove è indicato anche un probabile andamento della falda a seguito delle operazioni di scavo, è quello riportato nel seguito:

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

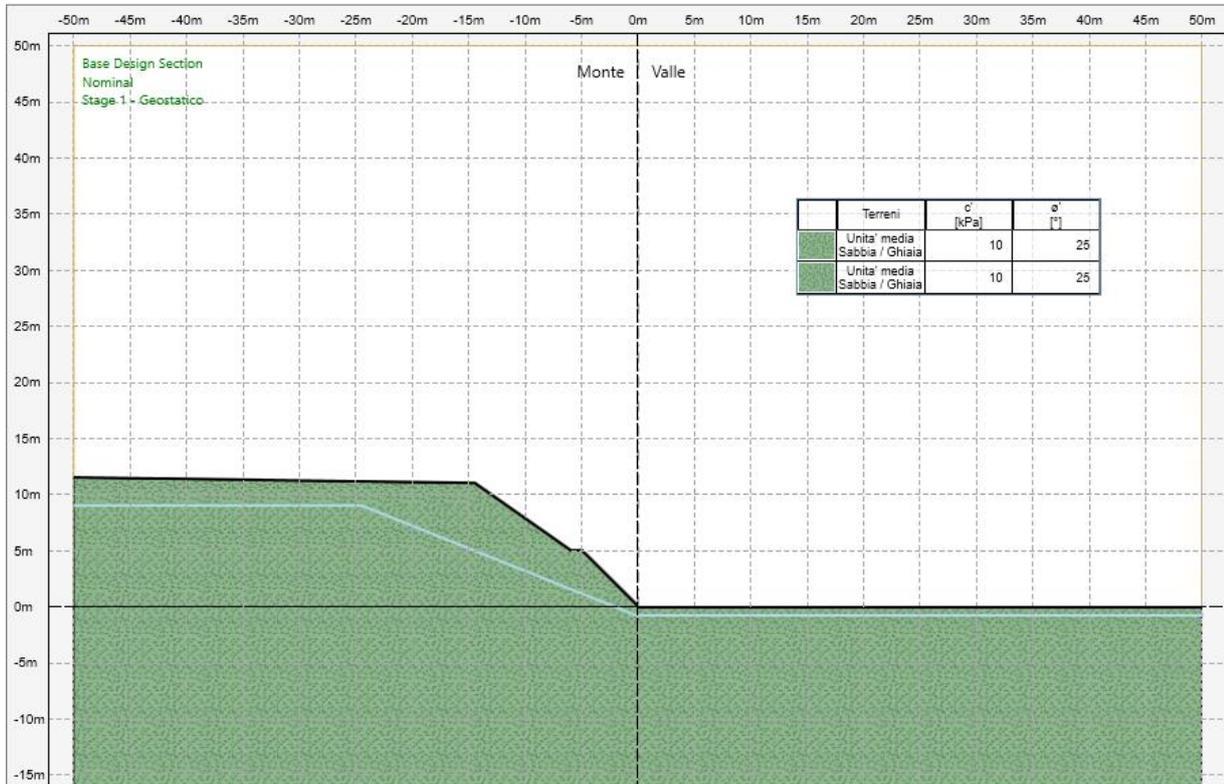
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 62 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	---------------	---------------	-----------	--------------------------



Modello di Calcolo Implementato per le Analisi

I risultati della verifica effettuata secondo i criteri già definiti al § 7.4, con in evidenza la superficie critica individuata ed il coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sono rappresentati in forma grafica di seguito:

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1 - Geostatico eredita le proprietà dalla Fase: [dropdown]

Attivo

Metodo di stabilità del pendio [Bishop]

Definizione Superficie Critica [Icon]

Massimo numero di iterazioni [100]

Passo Conci [1 m]

Tolleranza FS [0.0001]

Contributo del muro all'analisi di stabilità [Ignora muro]

Controlla inclinazione base conci vs. cono attivo / cono passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

Superficie Critica Semplice

X<sub>c</sub> [-1.5 m] Raggio Minimo [32 m]

Z<sub>c</sub> [39.5 m] Raggio Massimo [45 m]

Numero Raggi [15]

Impostazione per le Analisi

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

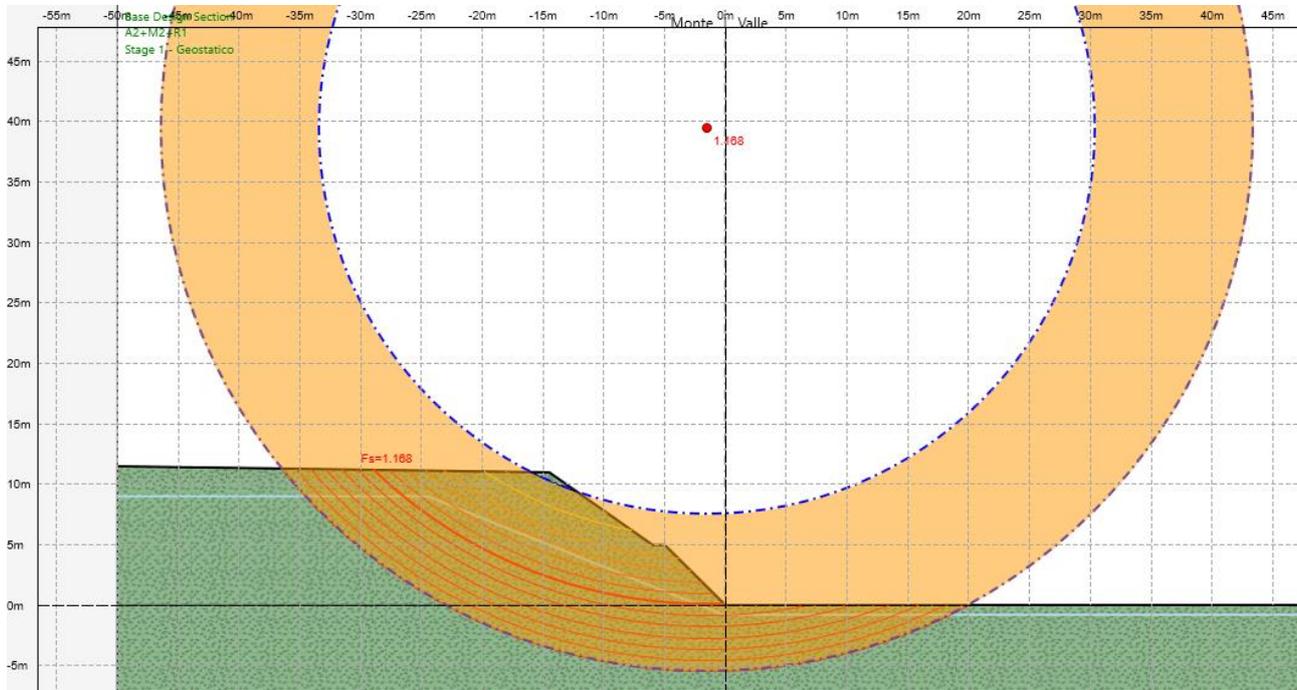
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.di Pag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	63 di 108



### Risultati Analisi di Stabilità Globale

I risultati della verifica eseguita, evidenziano che la superficie critica è quella più prossima al piede della scarpata di scavo, con un coefficiente di sicurezza minimo pari a 1,17 e quindi superiore al limite minimo di normativa (1.1), per cui la verifica risulta soddisfatta.



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 64 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

**ALLEGATO**  
*Tabulati*



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 65 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

**PARATIE** plus™

## ***Report di Calcolo***

Nome Progetto: New Project

Autore: Ingegnere

Jobname: H:\PROGETTO\1483 - Pedemontana\3 - 4 LOTTO\REVISIONI\GN S.BARBARA\S.BARBARA\_imb B.pplus

Data: 10/09/2020 16:51:47

Design Section: Base Design Section



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 66 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## Sommario

### Contenuto Sommario

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 67 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 1. Descrizione del Software

ParatiePlus analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione "locale" fra parete e terreno.

ParatiePlus non permette lo studio di problematiche che coinvolgano un movimento esteso del versante di scavo, in quanto ParatiePlus non consente lo sviluppo di movimenti rigidi della parete o parti di ammasso rispetto ad altre parti di terreno.

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

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti.

La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- 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.



Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 69 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### 3. Descrizione Pareti

X : 0 m

Quota in alto : -1 m

Quota di fondo : -27.2 m

Muro di destra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 26.2 m

Materiale : B450C

Quota iniziale : -1 m

Barre 1

Numero di barre : 46

Diametro : 0.026 m

Distanza dal bordo : 0.07 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

Copertura : 0.04 m

Diametro : 0.016 m

Lunghezza : 26.2 m

Quota iniziale : -1 m

Passo : 0.1 m

Sezione : Pali1500/1.7

Area equivalente : 1.03949756920251 m

Inerzia equivalente : 0.1462 m<sup>4</sup>/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 1.7 m

Diametro : 1.5 m

Efficacia : 1

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

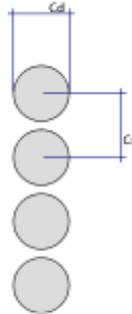
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provisionali Imbocchi

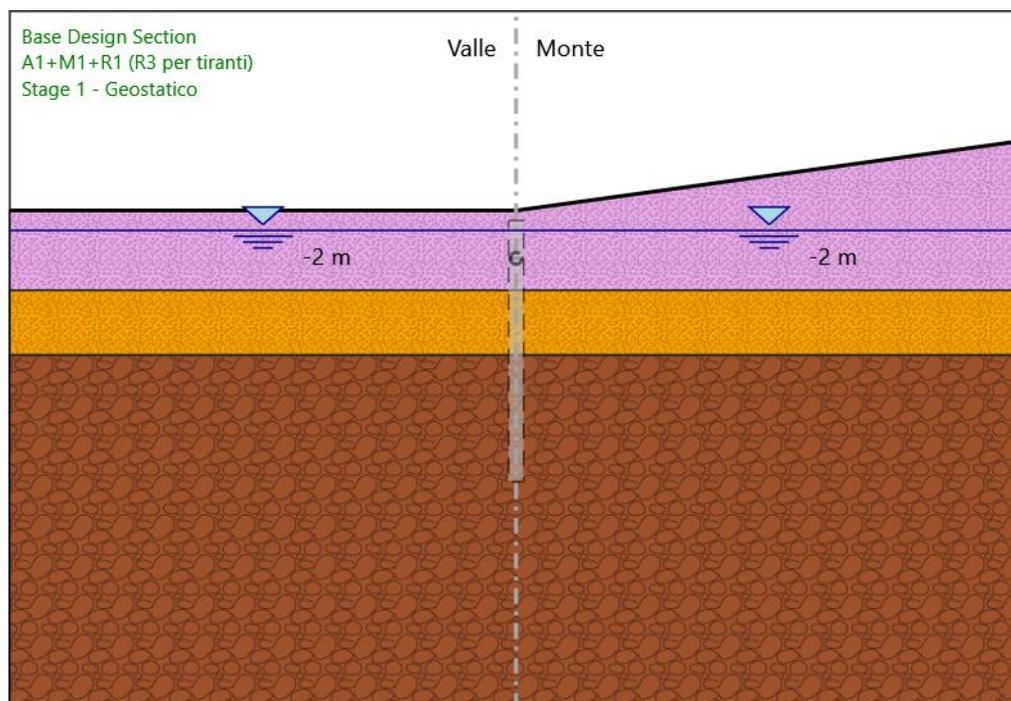
Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 70 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------



Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 71 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 4. Fasi di Calcolo

### 4.1. Stage 1 - Geostatico



Stage 1 - Geostatico

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;0)

(50;7)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2 m



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

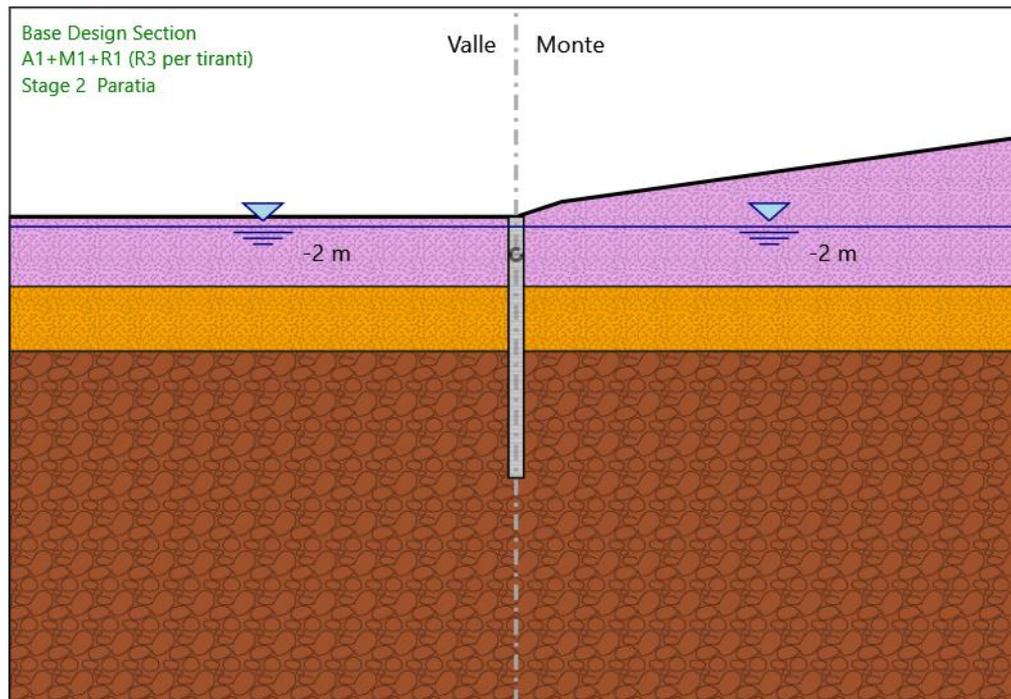
Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 72 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Falda di destra : -2 m

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 73 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

### 4.2. Stage 2 Paratia



Stage 2 Paratia

Scavo

Muro di destra

Lato monte : -1 m

Lato valle : -1 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-1 m

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-1)

(4.5;0.5)

(50;7)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -2 m

Falda di destra : -2 m



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 74 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

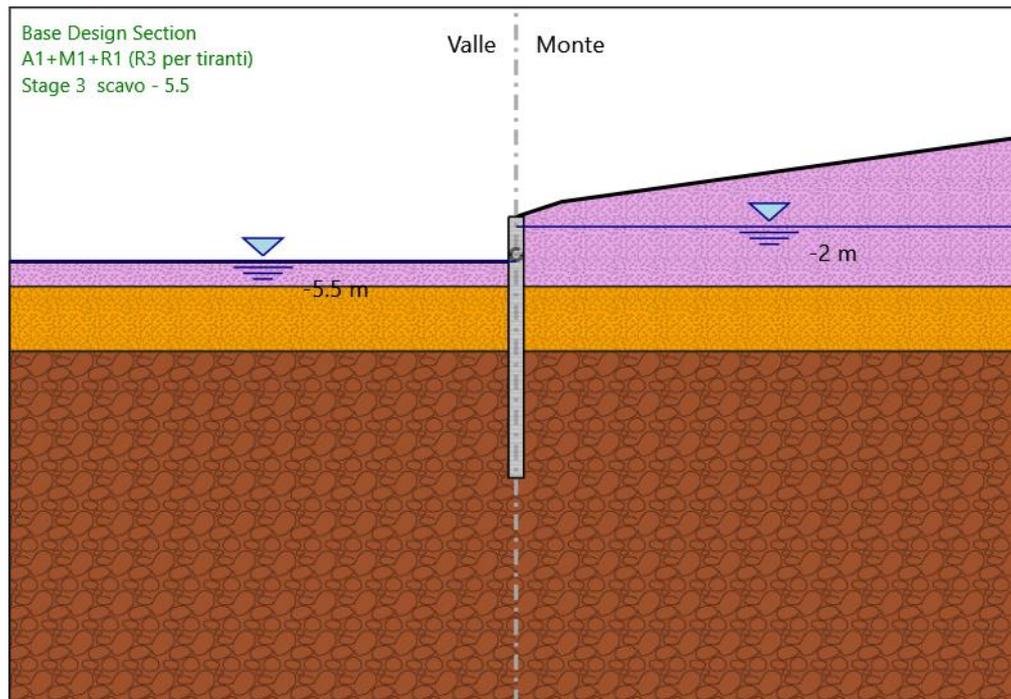
Quota in alto : -1 m

Quota di fondo : -27.2 m

Sezione : Pali1500/1.7

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 75 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### 4.3. Stage 3 scavo - 5.5



Stage 3 scavo - 5.5

Scavo

Muro di destra

Lato monte : -1 m

Lato valle : -5.5 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-5.5 m

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-1)

(4.5;0.5)

(50;7)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -5.5 m

Falda di destra : -2 m



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 76 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

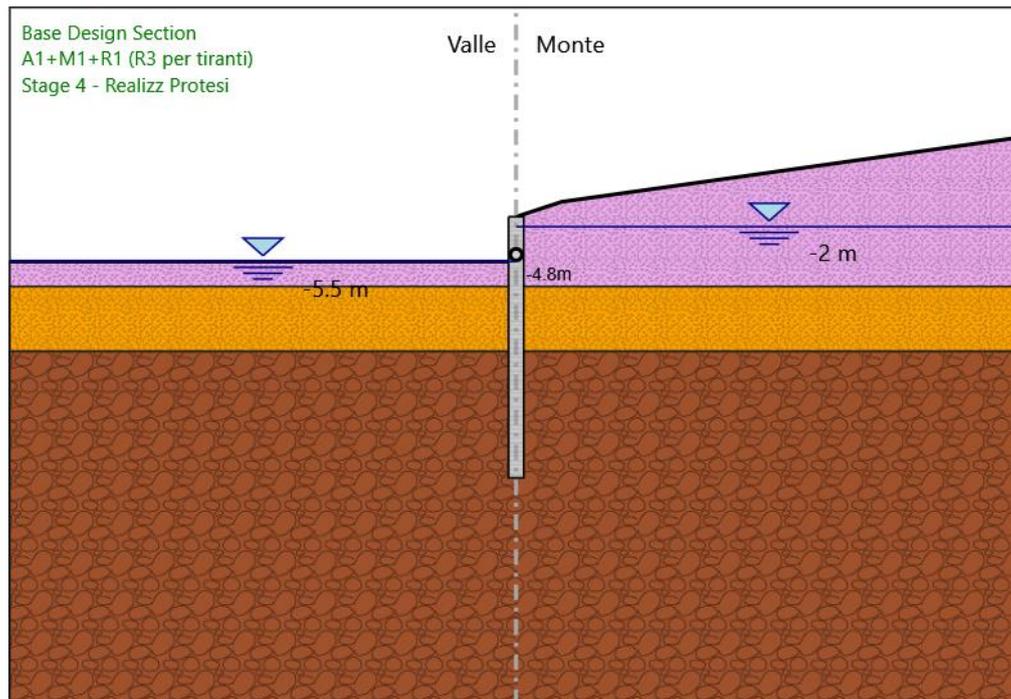
Quota in alto : -1 m

Quota di fondo : -27.2 m

Sezione : Pali1500/1.7

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 77 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

### 4.4. Stage 4 - Realizz Protesi



#### Stage 4 - Realizz Protesi

##### Scavo

##### Muro di destra

Lato monte : -1 m

Lato valle : -5.5 m

##### Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-5.5 m

##### Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-1)

(4.5;0.5)

(50;7)

##### Falda acquifera

Falda di sinistra : -5.5 m

Falda di destra : -2 m



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 78 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : -1 m

Quota di fondo : -27.2 m

Sezione : Pali1500/1.7

Vincolo fisso : FixedSupport

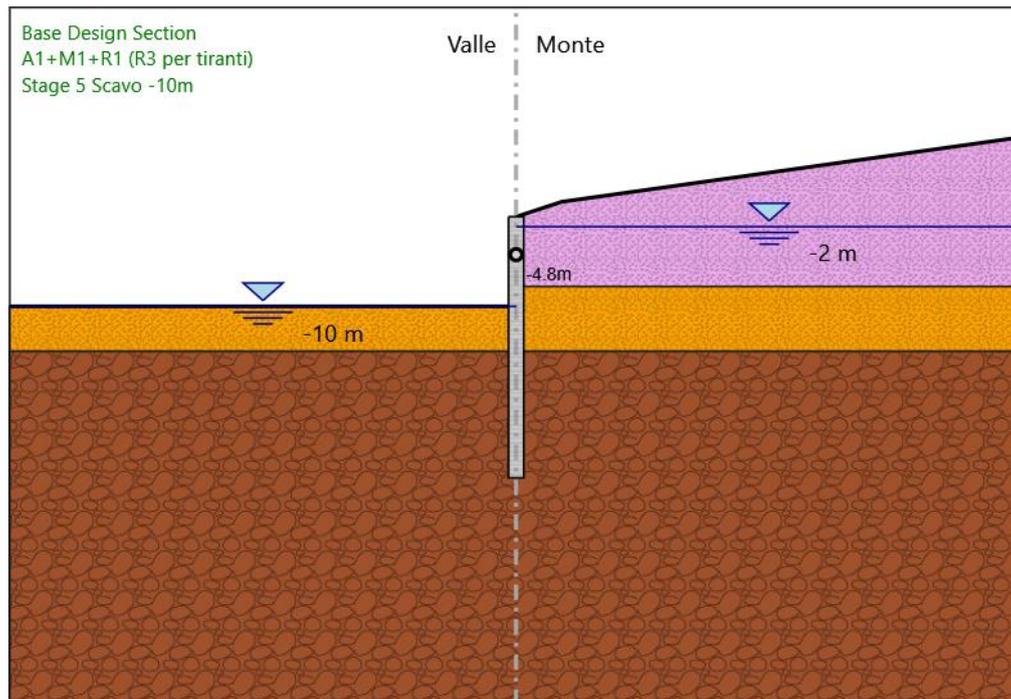
X : 0 m

Z : -4.8 m

Angolo : 0 °

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 79 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 4.5. Stage 5 Scavo -10m



Stage 5 Scavo -10m

Scavo

Muro di destra

Lato monte : -1 m

Lato valle : -10 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-10 m

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-1)

(4.5;0.5)

(50;7)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -10 m

Falda di destra : -2 m



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 80 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : -1 m

Quota di fondo : -27.2 m

Sezione : Pali1500/1.7

Vincolo fisso : FixedSupport

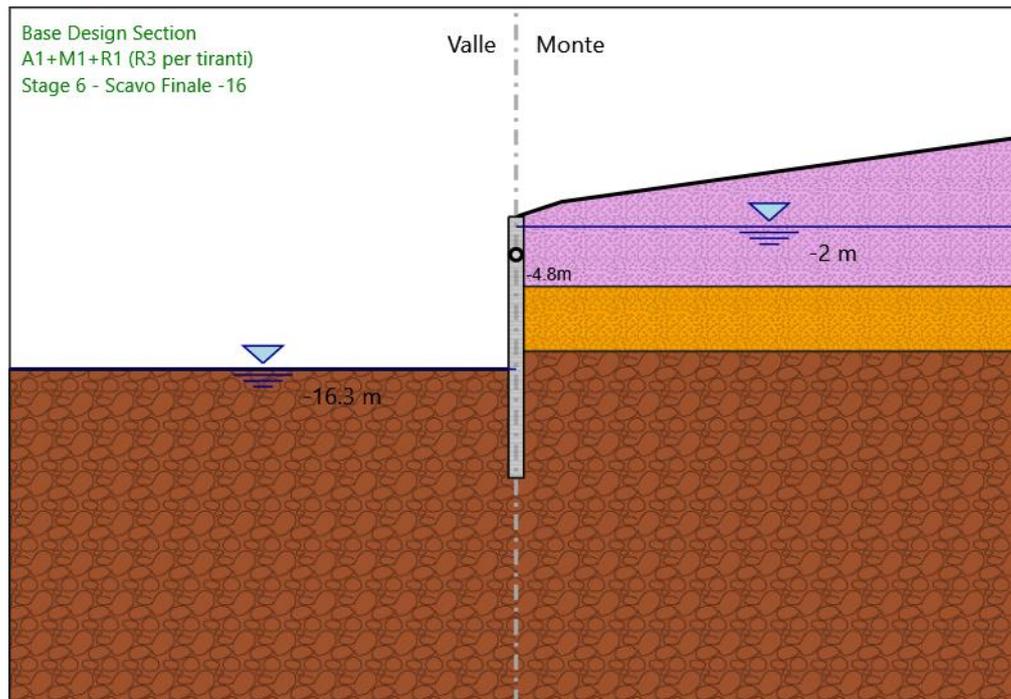
X : 0 m

Z : -4.8 m

Angolo : 0 °

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 81 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### 4.6. Stage 6 - Scavo Finale -16



Stage 6 - Scavo Finale -16

Scavo

Muro di destra

Lato monte : -1 m

Lato valle : -16.3 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-16.3 m

Linea di scavo di destra (Irregolare)

(0;-1)

(4.5;0.5)

(50;7)

Falda acquifera

Falda di sinistra : -16.3 m

Falda di destra : -2 m



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 82 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : -1 m

Quota di fondo : -27.2 m

Sezione : Pali1500/1.7

Vincolo fisso : FixedSupport

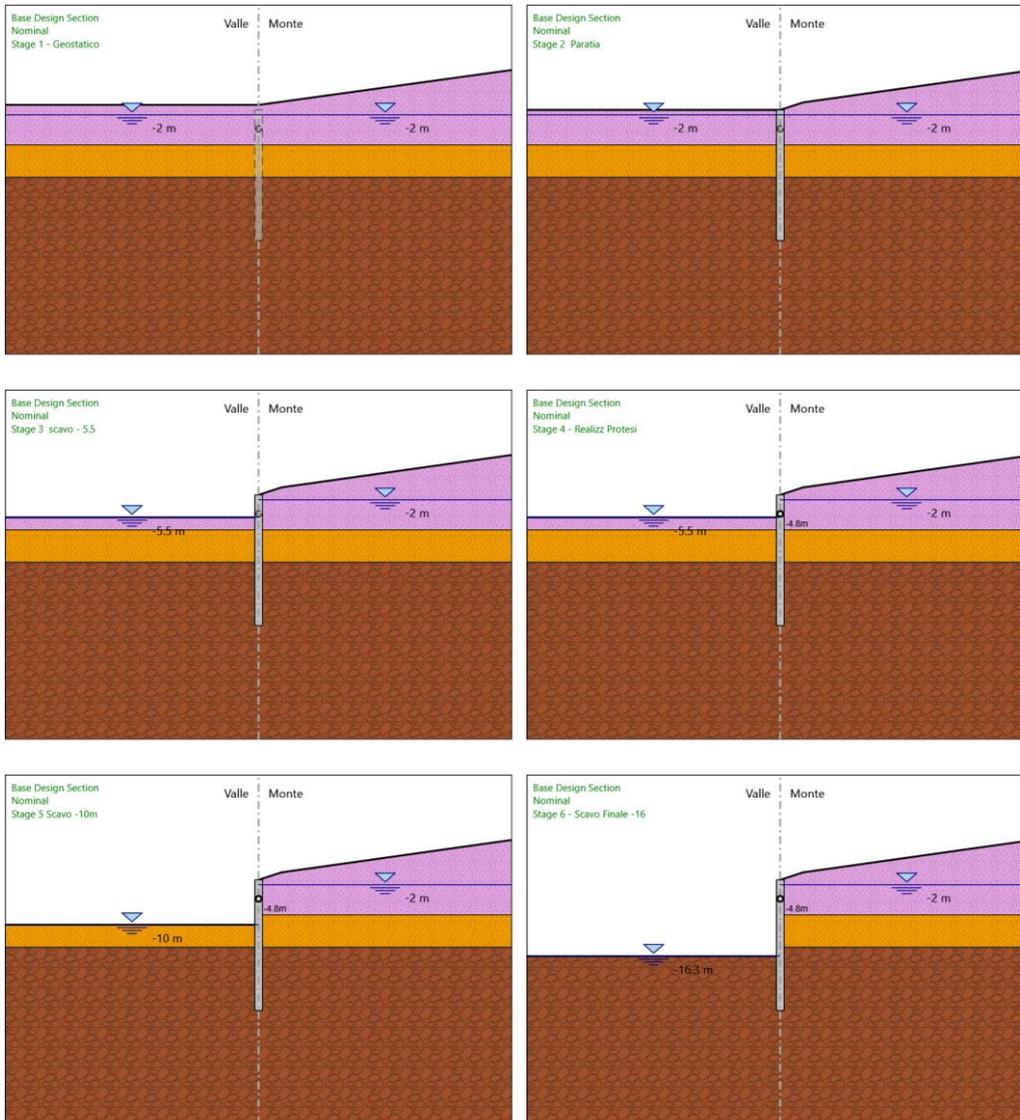
X : 0 m

Z : -4.8 m

Angolo : 0 °

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 83 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

### 4.7. Tabella Configurazione Stage (Nominal)



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 84 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 5. Descrizione Coefficienti Design Assumption

### Coefficienti A

Nome	Carichi	Carichi	Carichi	Carichi	Carico	Pressio	Pressio	Carichi	Carichi	Carichi	Carichi	Carichi	Carichi
	Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load _unfavour)	Permanenti Favorevoli (F_dead_loa d_favour)	Variabili Sfavorevoli (F_live_load_ unfavour)	Variabili Favorevoli (F_live_loa d_favour)	Sismico (F_seism _load)	ni Acqua Lato Monte (F_Wat erDR)	ni Acqua Lato Valle (F_Wat erRes)	Permane nti Destabili zzanti (F_UPL_ GDStab)	Perman enti Stabilizz anti (F_UPL_ GStab)	Variabili Destabili zzanti (F_UPL_ QDStab)	Permane nti Destabiliz zanti (F_HYD_ GDStab)	Perman enti Stabilizz anti (F_HYD_ GStab)	Variabili Destabiliz zanti (F_HYD_ QDStab)
Simbo lo	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_Q$	$\gamma_Q$	$\gamma_{QE}$	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A1+M 1+R1 (R3 per tiranti )	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
A2+M 2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

### Coefficienti M

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	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1

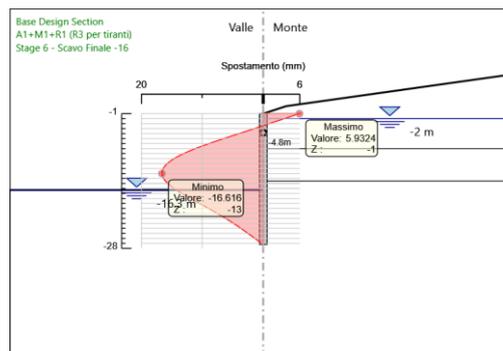
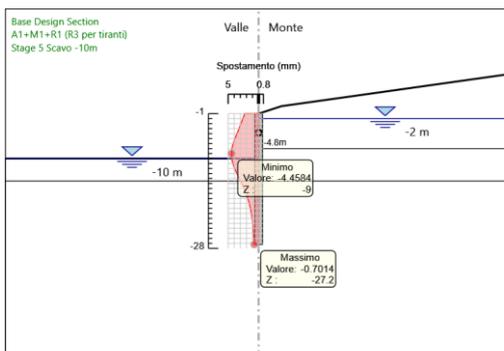
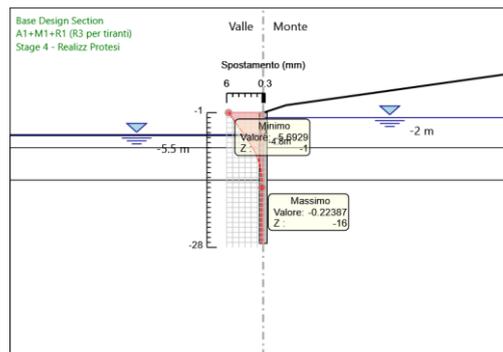
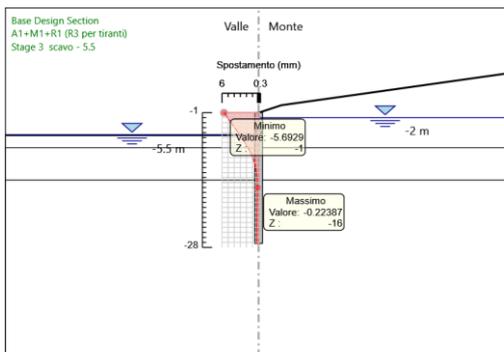
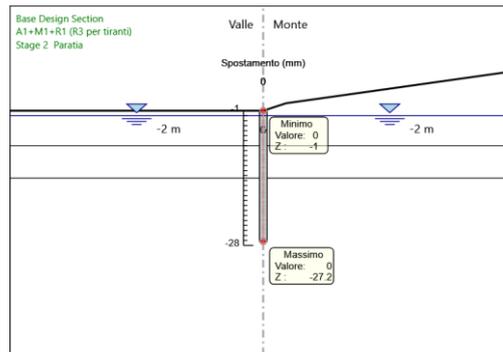
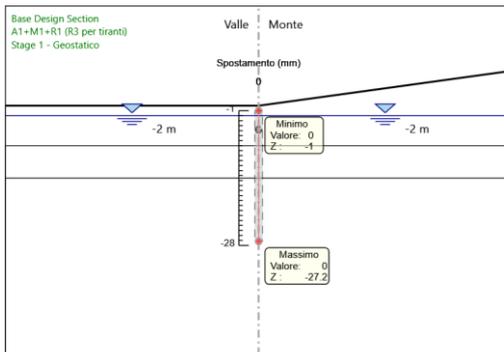
### Coefficienti R

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	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{ap}$	$\gamma_{at}$	
Nominal	1	1	1	1
A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 85 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------

### 5.1. Risultati A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

#### 5.1.1. Tabella Grafici dei Risultati



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

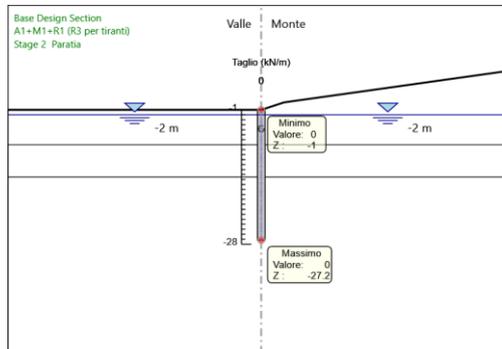
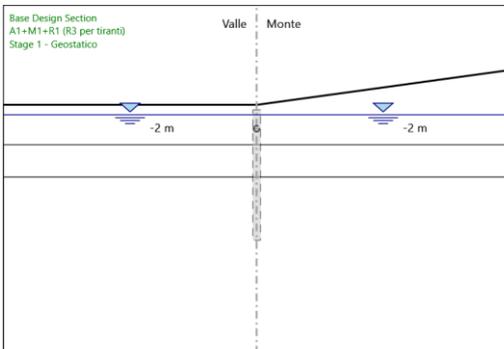
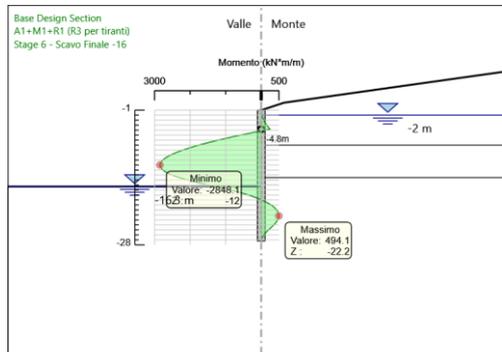
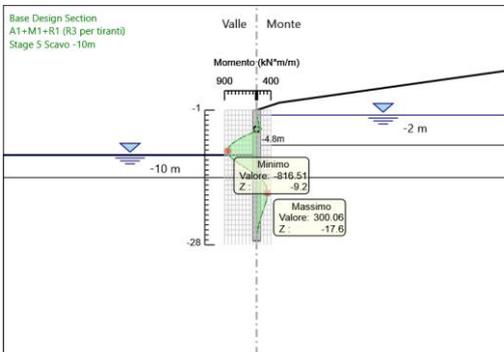
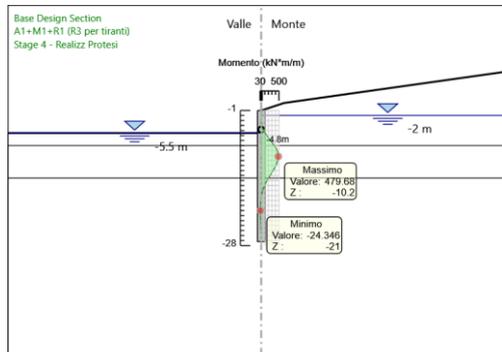
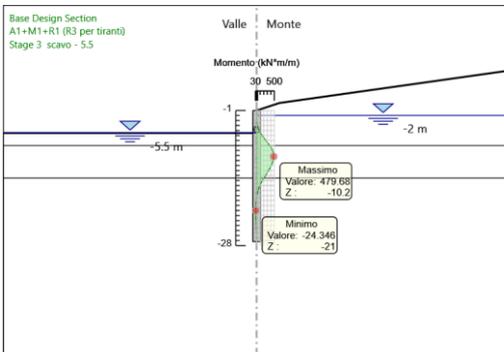
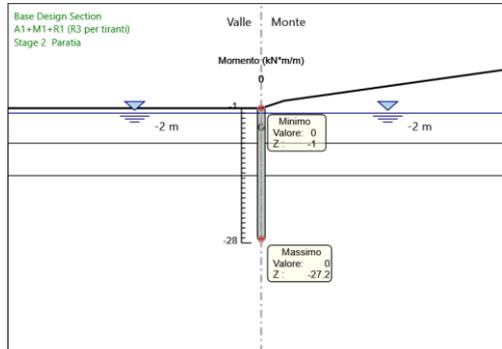
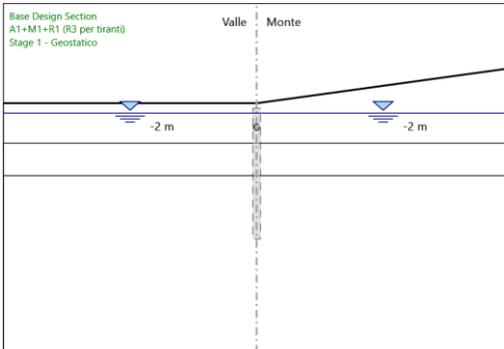
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 86 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

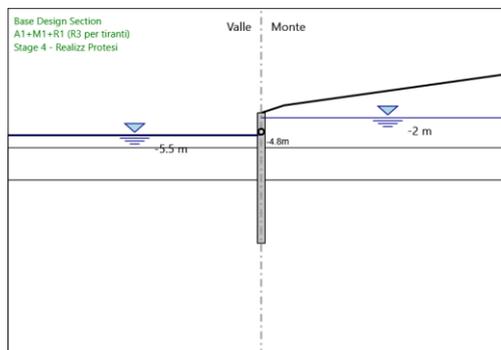
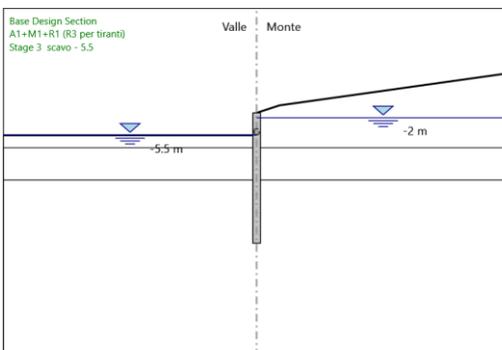
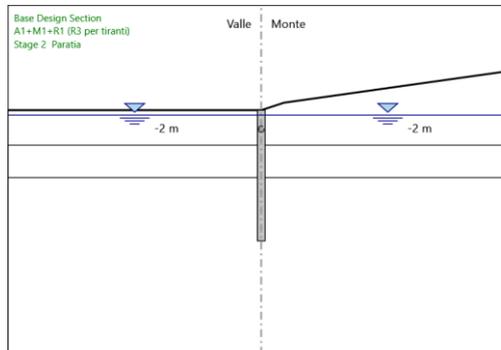
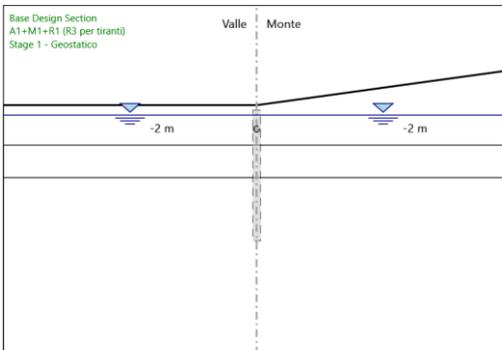
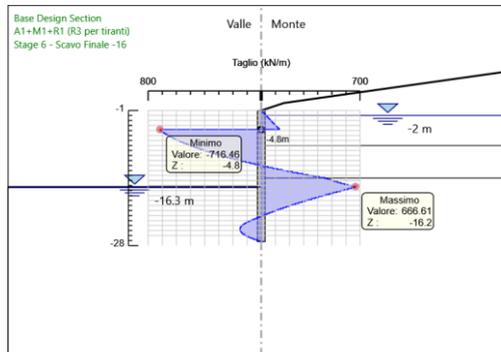
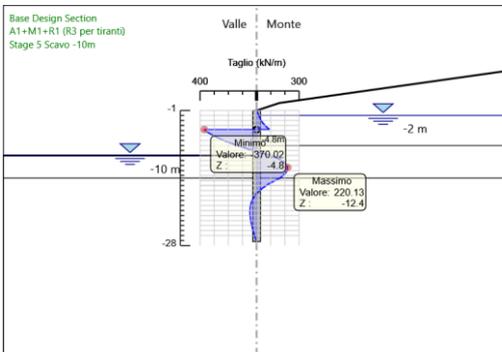
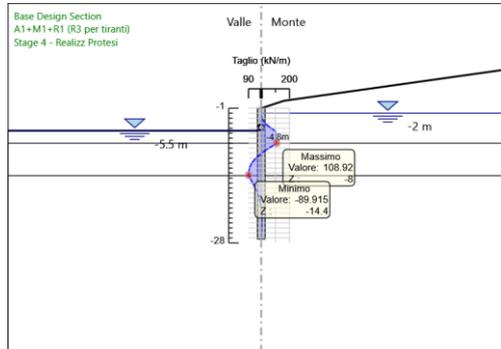
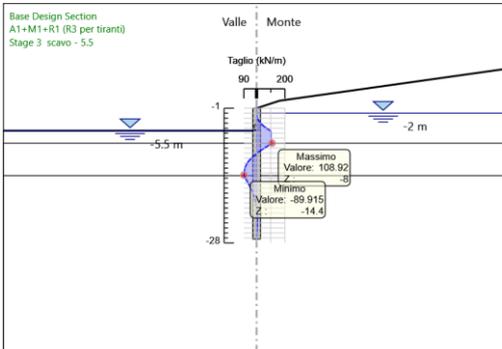
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 87 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

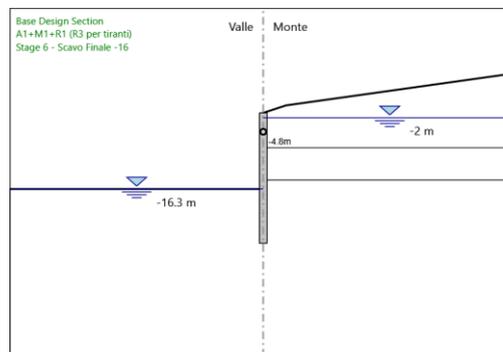
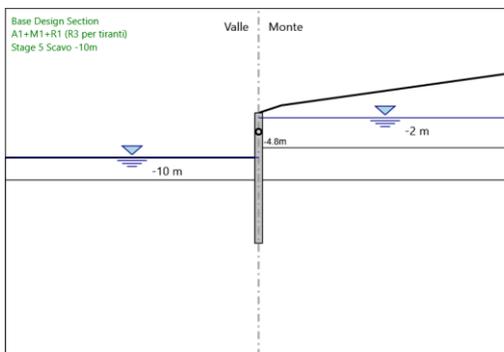
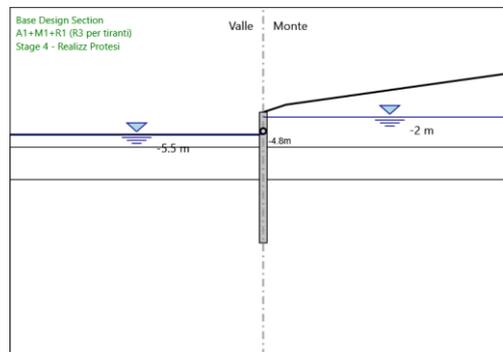
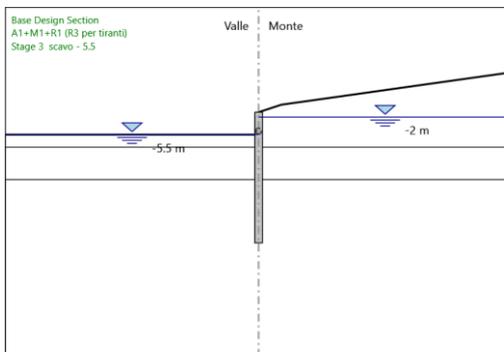
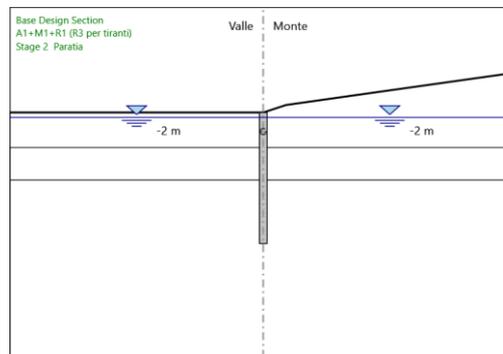
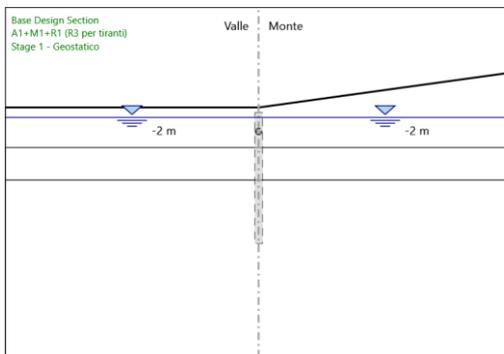
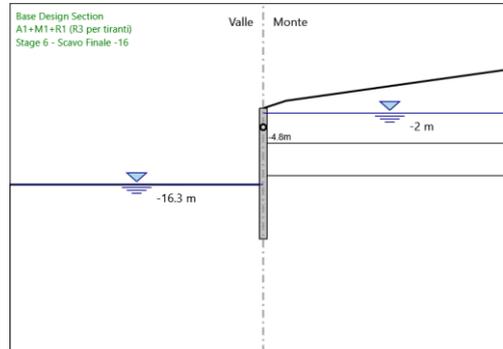
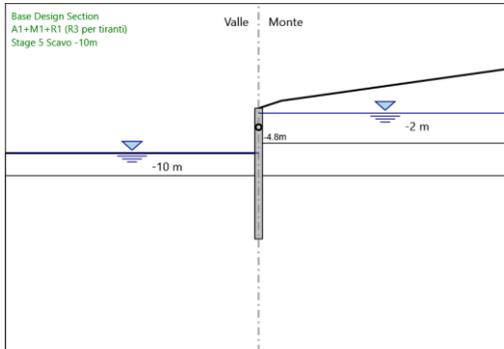
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 88 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------



### 5.1.2. Risultati Elementi strutturali - A1+M1+R1 (R3 per tiranti)



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 89 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

**Design Assumption: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) Sollecitazione FixedSupport**

Stage	Forza (kN/m)
Stage 4 - Realizz Protesi	0
Stage 5 Scavo -10m	-466.80283
Stage 6 - Scavo Finale -16	-853.49173

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

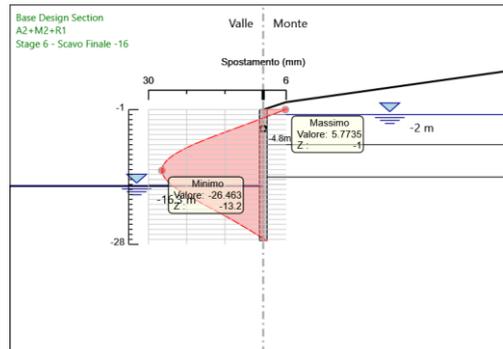
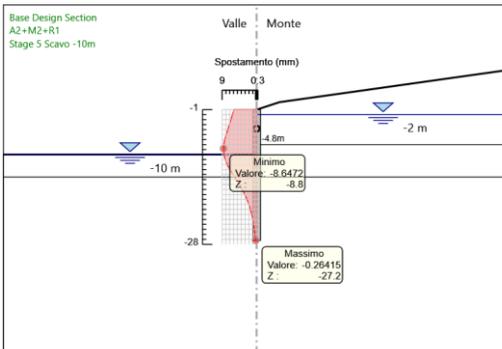
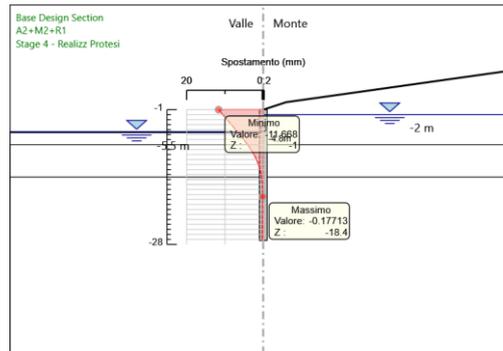
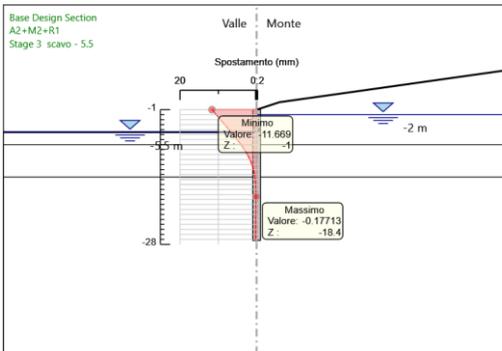
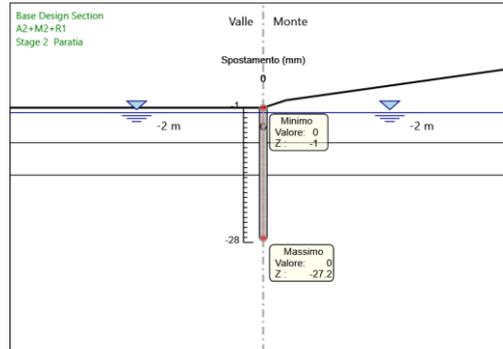
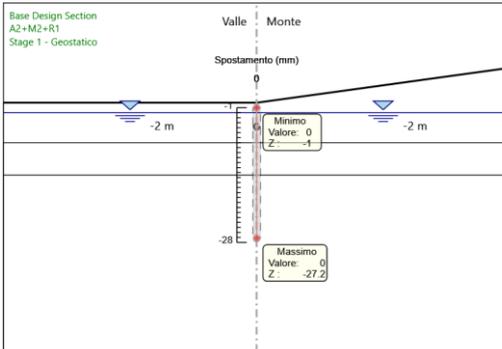
Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 90 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## 5.2. Risultati A2+M2+R1

### 5.2.1. Tabella Grafici dei Risultati



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

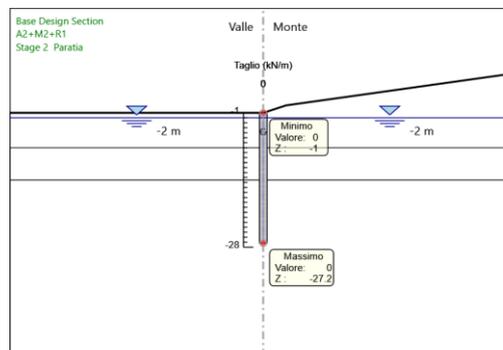
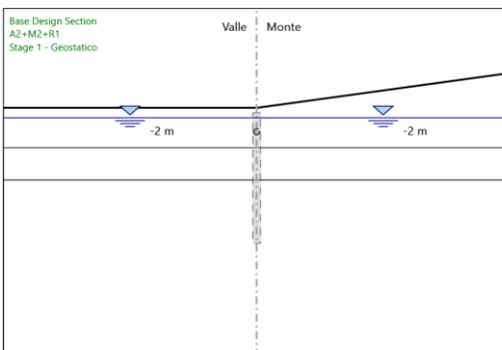
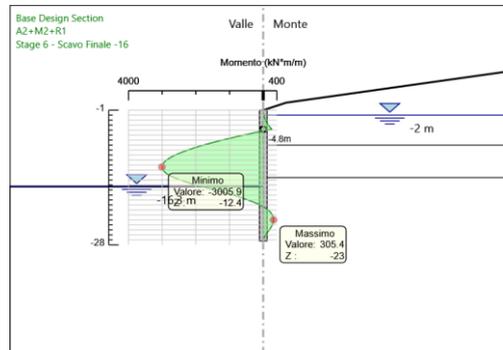
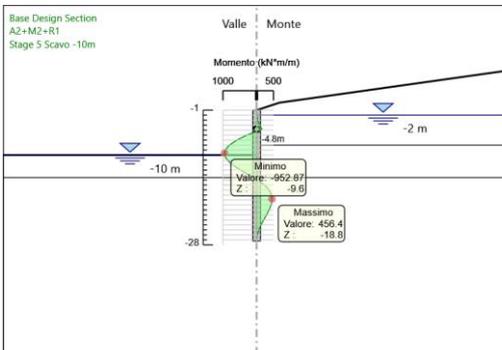
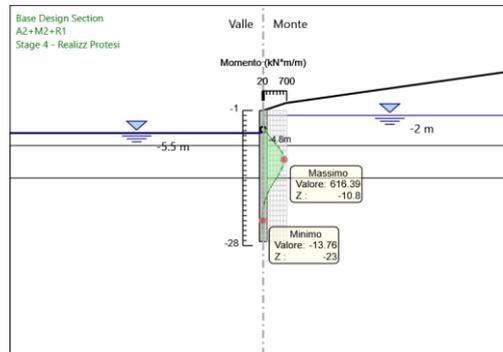
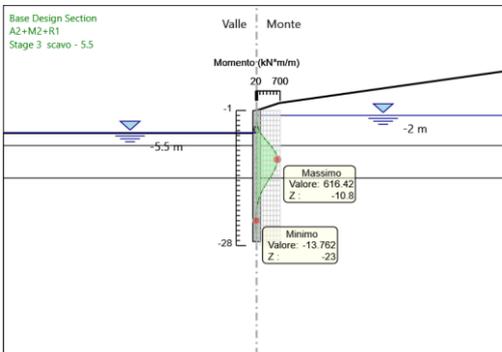
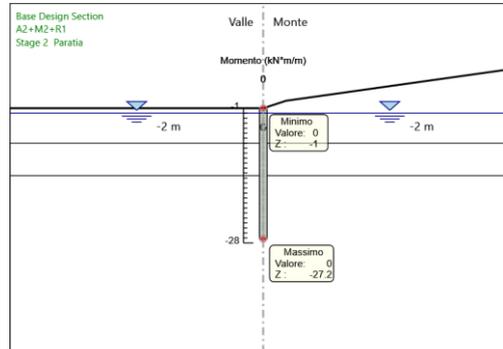
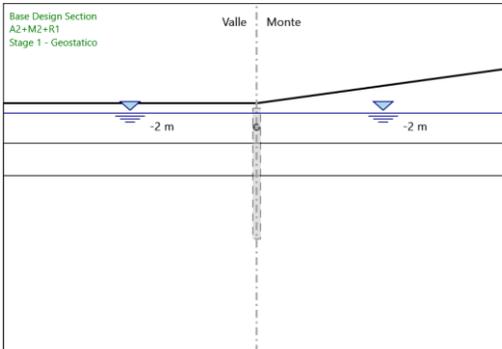
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 91 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

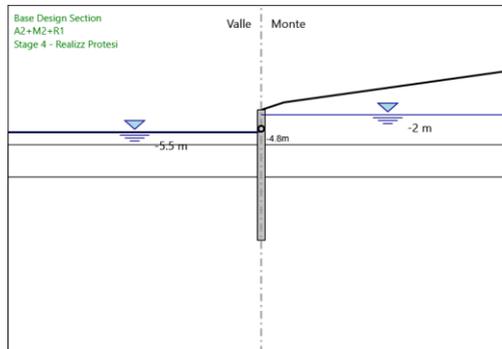
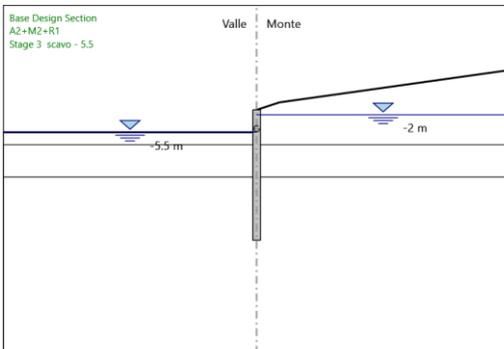
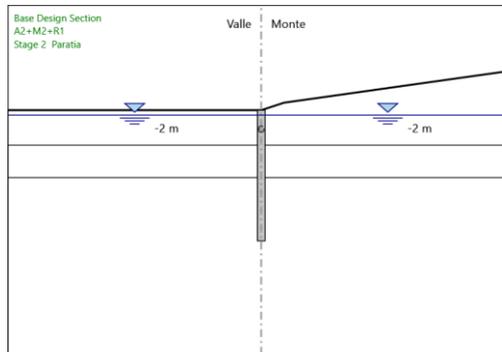
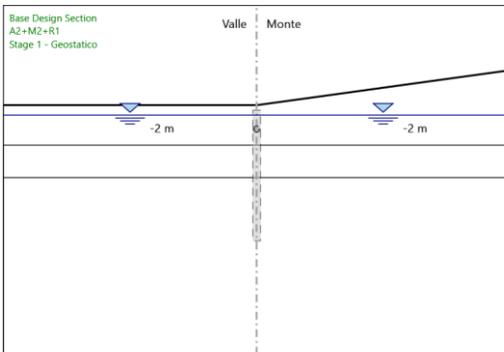
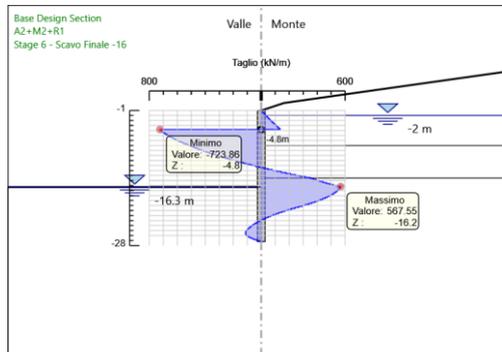
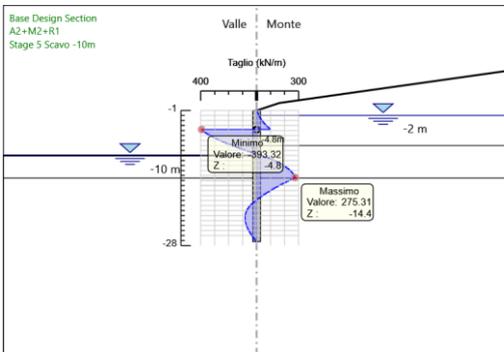
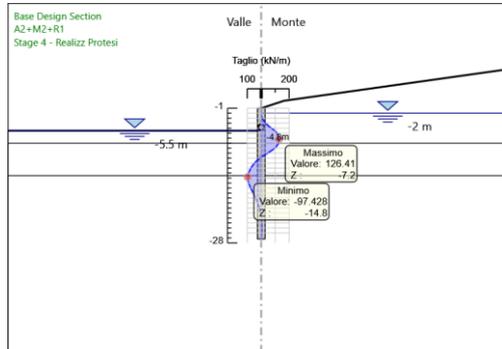
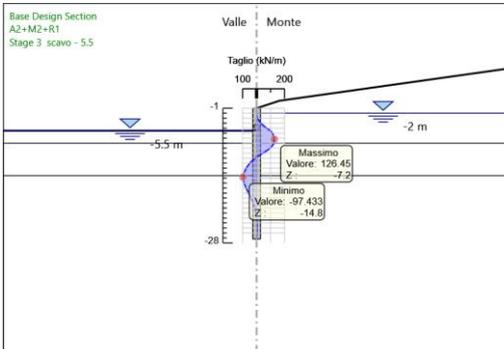
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 92 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

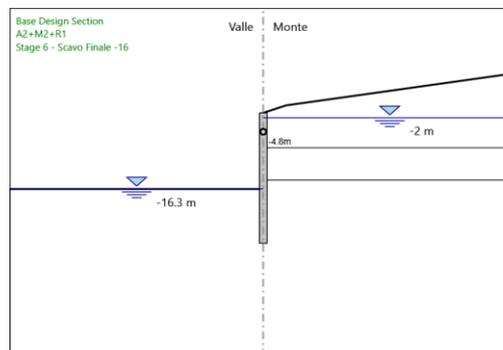
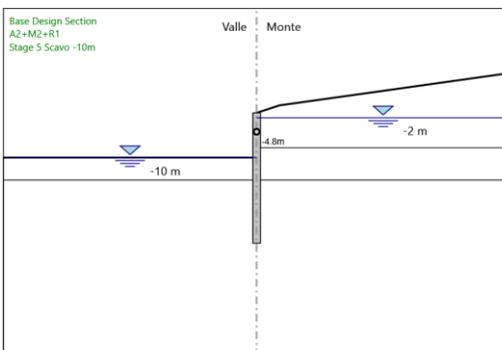
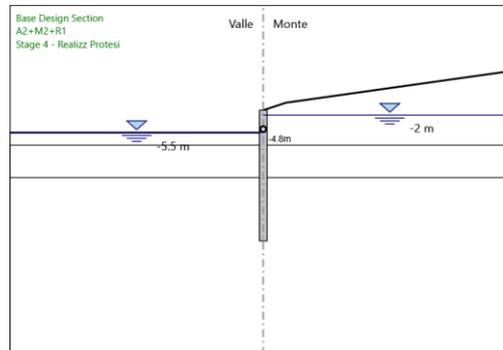
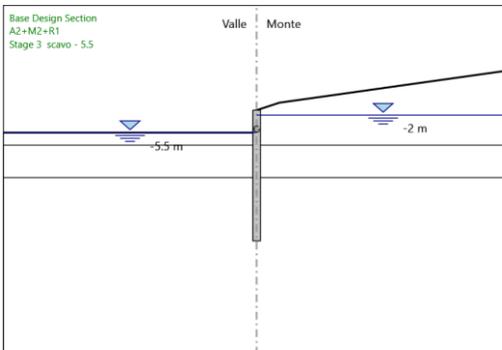
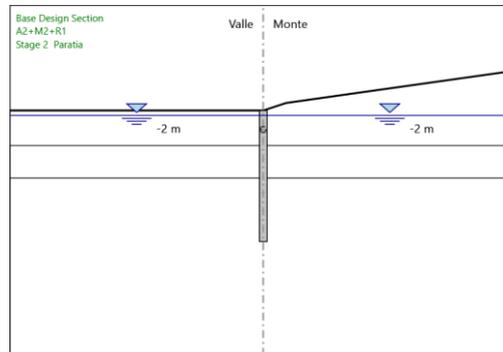
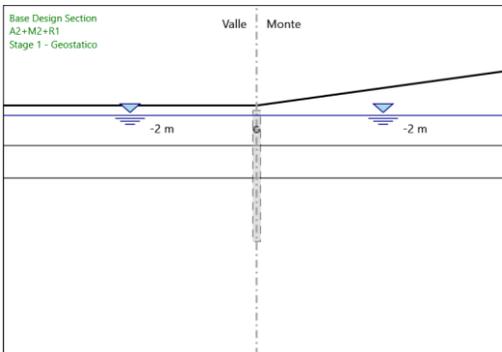
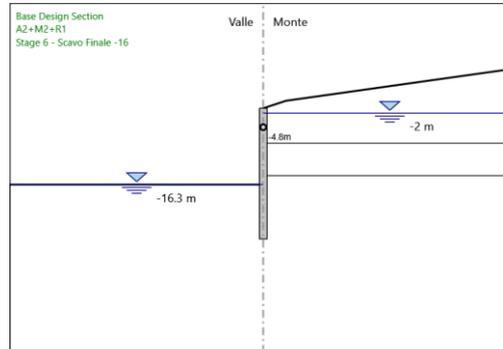
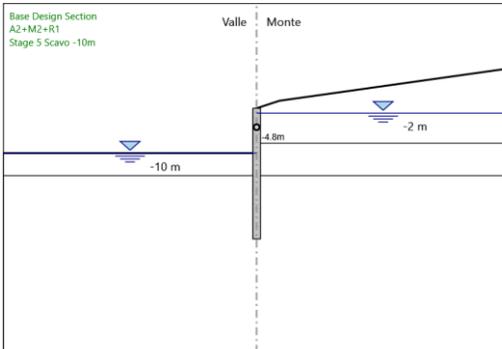
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 93 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	---------------------------



### 5.2.2. Risultati Elementi strutturali - A2+M2+R1



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 94 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### Design Assumption: A2+M2+R1 Sollecitazione FixedSupport

Stage	Forza (kN/m)
Stage 4 - Realizz Protesi	-0.043368086
Stage 5 Scavo -10m	-499.8172
Stage 6 - Scavo Finale -16	-866.928

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 95 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

## 6. Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali

### Normative Verifiche

Calcestruzzo	EC2
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

### Coefficienti per Verifica Tiranti

GEO FS	1
$\xi_{a3}$	1.8
$\gamma_s$	1.15

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 96 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

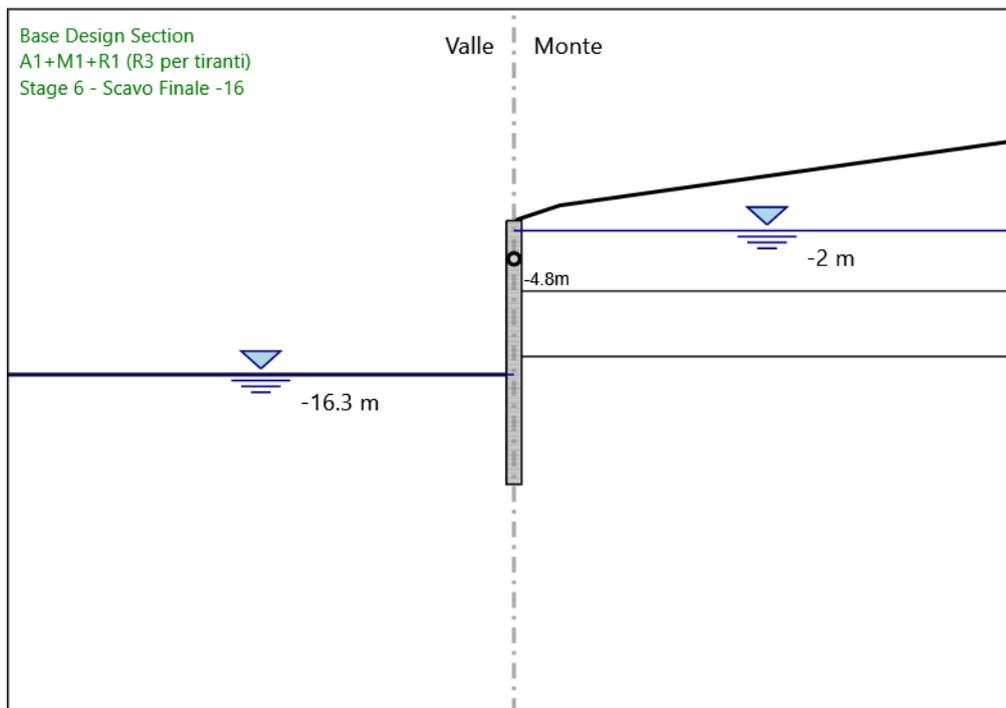
## 6.1. Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Stage 1 - Geostatico	Stage 2 Paratia	Stage 3 scavo - 5.5	Stage 4 - Realizz Protesi	Stage 5 Scavo - 10m	Stage 6 - Scavo Finale - 16
A1+M1+R1 (R3 per tiranti) A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 97 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

## 6.2. Risultati Cover

### 6.2.2. Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Cover



Involuppi

Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Cover

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

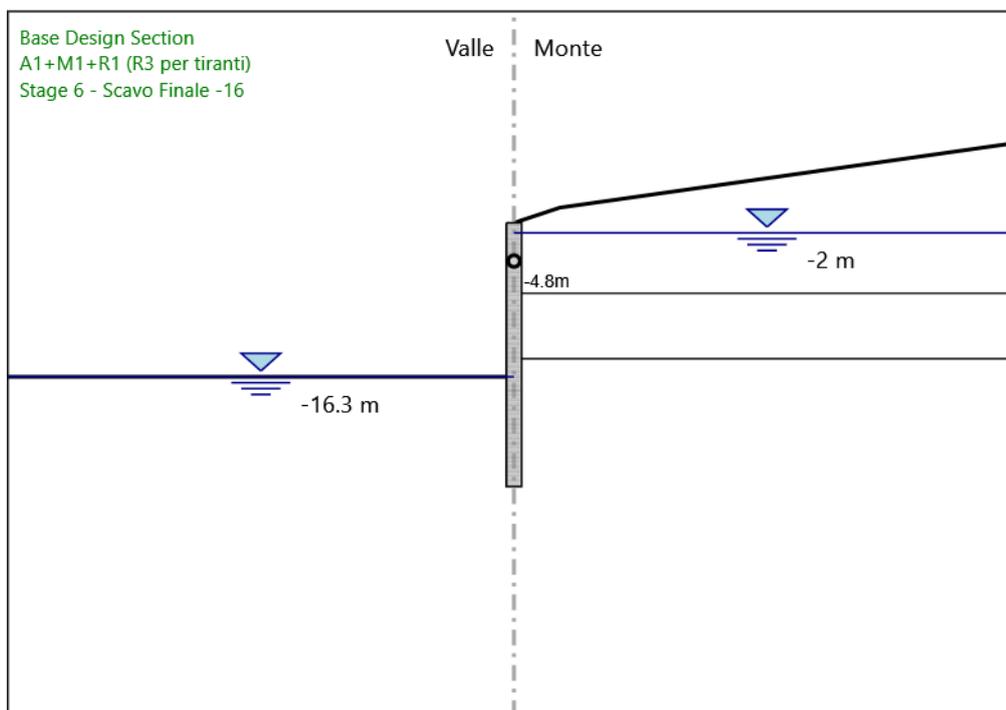
Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 98 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

### 6.2.4. Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver



Involuppi  
Tasso di Sfruttamento Armature - Caver

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

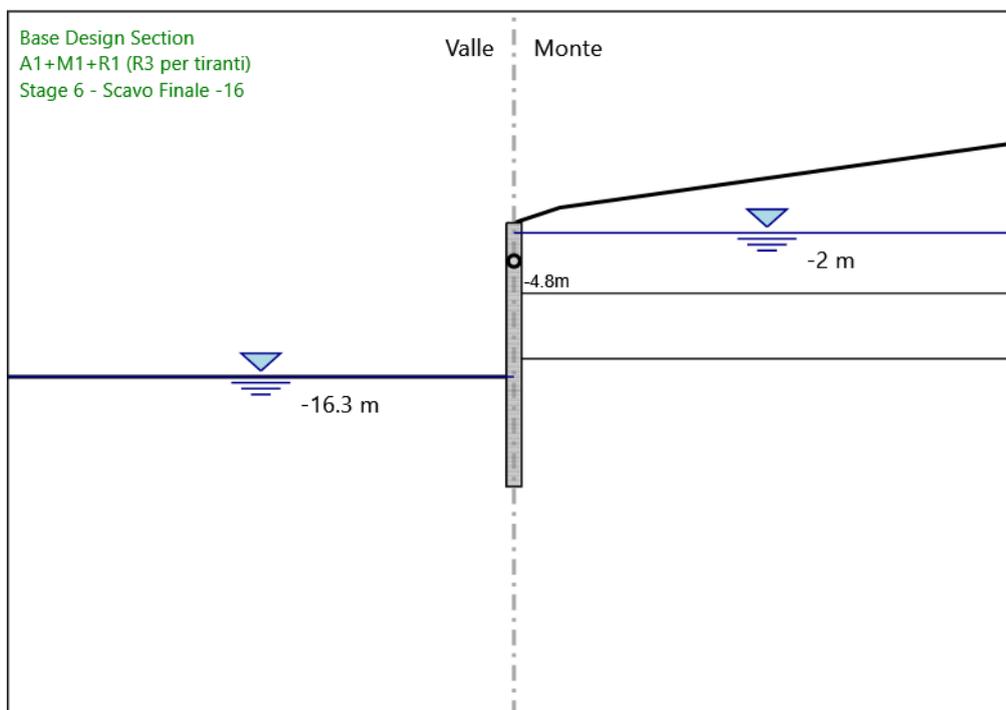
Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 99 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	-------------------------

#### 6.2.6. Grafico Inviluppi Apertura Fessure - Caver



Inviluppi  
Apertura Fessure - Caver

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 100 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	----------------	-----------	----------------------------

#### 6.2.7. Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver : RIGHT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver		RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver	
-2		0.01
-2.2		0.01
-2.4		0.011
-2.6		0.014
-2.8		0.018
-3		0.022
-3.2		0.026
-3.4		0.031
-3.6		0.037
-3.8		0.042
-4		0.049
-4.2		0.055
-4.4		0.062
-4.6		0.07
-4.8		0.078
-5		0.033
-5.2		0.025
-5.4		0.056
-5.6		0.099
-5.8		0.141
-6		0.183
-6.2		0.224
-6.4		0.265
-6.6		0.304
-6.8		0.343
-7		0.38
-7.2		0.417
-7.4		0.453
-7.6		0.487
-7.8		0.52
-8		0.553
-8.2		0.584
-8.4		0.613
-8.6		0.642
-8.8		0.669
-9		0.695
-9.2		0.72
-9.4		0.743
-9.6		0.765
-9.8		0.785
-10		0.804
-10.2		0.821
-10.4		0.836
-10.6		0.85
-10.8		0.862
-11		0.873
-11.2		0.882
-11.4		0.888
-11.6		0.893
-11.8		0.896
-12		0.897
-12.2		0.896
-12.4		0.893
-12.6		0.888
-12.8		0.881
-13		0.872
-13.2		0.86
-13.4		0.846

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 101 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver		RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver	
-13.6	0.83	
-13.8	0.811	
-14	0.791	
-14.2	0.767	
-14.4	0.741	
-14.6	0.713	
-14.8	0.683	
-15	0.652	
-15.2	0.62	
-15.4	0.586	
-15.6	0.55	
-15.8	0.513	
-16	0.475	
-16.2	0.434	
-16.4	0.392	
-16.6	0.352	
-16.8	0.313	
-17	0.276	
-17.2	0.241	
-17.4	0.207	
-17.6	0.175	
-17.8	0.145	
-18	0.116	
-18.2	0.093	
-18.4	0.092	
-18.6	0.09	
-18.8	0.089	
-19	0.087	
-19.2	0.085	
-19.4	0.082	
-19.6	0.08	
-19.8	0.077	
-20	0.088	
-20.2	0.1	
-20.4	0.111	
-20.6	0.121	
-20.8	0.13	
-21	0.137	
-21.2	0.143	
-21.4	0.148	
-21.6	0.152	
-21.8	0.154	
-22	0.155	
-22.2	0.156	
-22.4	0.155	
-22.6	0.153	
-22.8	0.15	
-23	0.146	
-23.2	0.14	
-23.4	0.134	
-23.6	0.127	
-23.8	0.12	
-24	0.111	
-24.2	0.102	
-24.4	0.093	
-24.6	0.084	
-24.8	0.074	
-25	0.065	
-25.2	0.056	
-25.4	0.047	
-25.6	0.038	
-25.8	0.03	



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 102 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

RIGHT

Z (m)

Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

-26

0.023

-26.2

0.016

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

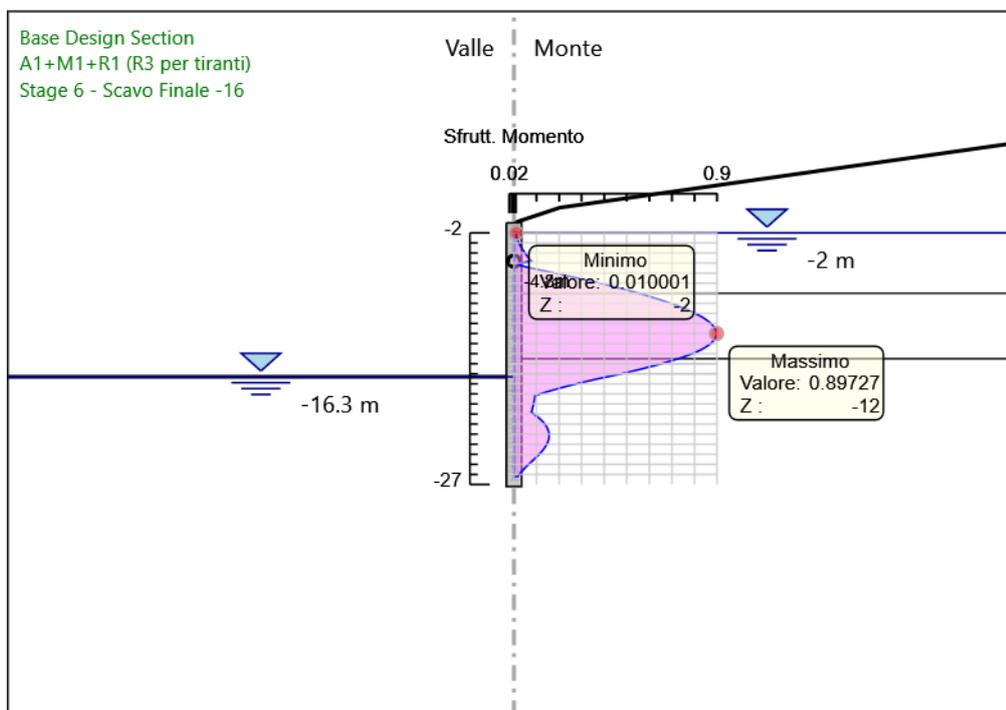
Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N.prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 103 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

### 6.2.8. Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver



Inviluppi

Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 104 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

#### 6.2.9. Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver : RIGHT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
-2	0.038
-2.2	0.044
-2.4	0.051
-2.6	0.058
-2.8	0.064
-3	0.071
-3.2	0.078
-3.4	0.084
-3.6	0.091
-3.8	0.098
-4	0.105
-4.2	0.112
-4.4	0.12
-4.6	0.128
-4.8	0.71
-5	0.71
-5.2	0.701
-5.4	0.692
-5.6	0.681
-5.8	0.671
-6	0.659
-6.2	0.647
-6.4	0.634
-6.6	0.62
-6.8	0.606
-7	0.591
-7.2	0.576
-7.4	0.559
-7.6	0.542
-7.8	0.525
-8	0.507
-8.2	0.488
-8.4	0.469
-8.6	0.449
-8.8	0.429
-9	0.409
-9.2	0.387
-9.4	0.365
-9.6	0.342
-9.8	0.319
-10	0.295
-10.2	0.27
-10.4	0.244
-10.6	0.218
-10.8	0.191
-11	0.181
-11.2	0.191
-11.4	0.199
-11.6	0.206
-11.8	0.211
-12	0.215
-12.2	0.217
-12.4	0.218
-12.6	0.218
-12.8	0.218
-13	0.216
-13.2	0.218
-13.4	0.254

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi  
 Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 105 di 108
----------------	---------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
-13.6	0.291
-13.8	0.329
-14	0.367
-14.2	0.406
-14.4	0.445
-14.6	0.467
-14.8	0.489
-15	0.511
-15.2	0.535
-15.4	0.559
-15.6	0.583
-15.8	0.608
-16	0.634
-16.2	0.661
-16.4	0.661
-16.6	0.635
-16.8	0.608
-17	0.582
-17.2	0.556
-17.4	0.529
-17.6	0.504
-17.8	0.478
-18	0.453
-18.2	0.427
-18.4	0.403
-18.6	0.378
-18.8	0.354
-19	0.331
-19.2	0.307
-19.4	0.285
-19.6	0.262
-19.8	0.24
-20	0.218
-20.2	0.197
-20.4	0.176
-20.6	0.155
-20.8	0.135
-21	0.115
-21.2	0.096
-21.4	0.076
-21.6	0.058
-21.8	0.047
-22	0.047
-22.2	0.046
-22.4	0.045
-22.6	0.048
-22.8	0.065
-23	0.081
-23.2	0.096
-23.4	0.11
-23.6	0.121
-23.8	0.131
-24	0.138
-24.2	0.144
-24.4	0.148
-24.6	0.149
-24.8	0.149
-25	0.148
-25.2	0.146
-25.4	0.141
-25.6	0.135
-25.8	0.126



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.diPag. 106 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
-26	0.115
-26.2	0.103

## 2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

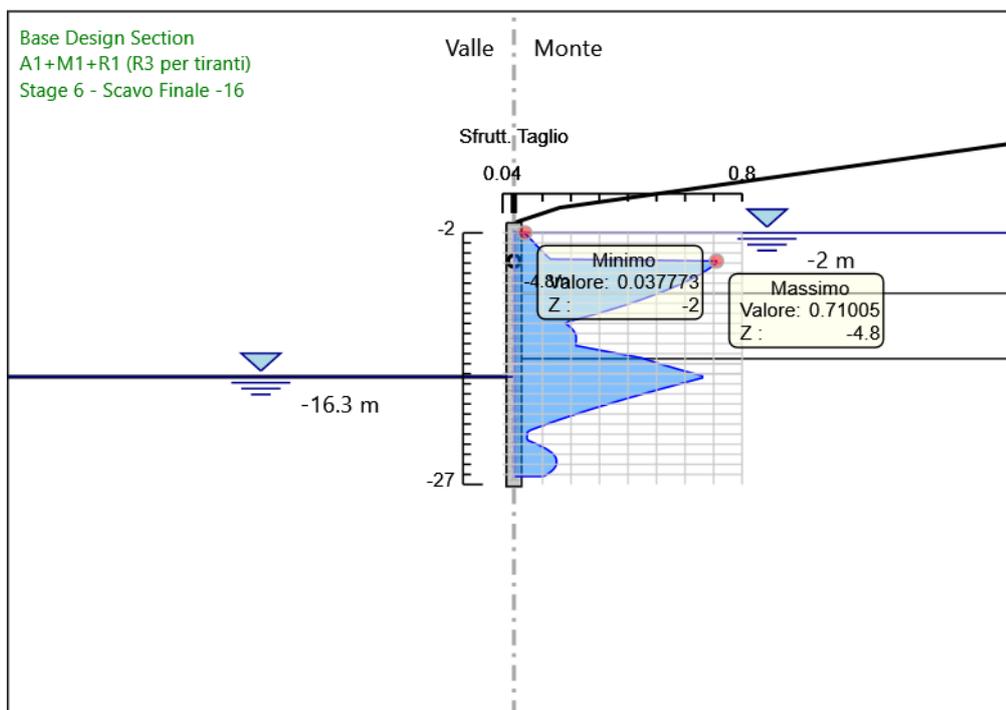
Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N.prog.	Rev.	Pag.diPag.
L0703	2B	E	14	GA420	REL	02	A	107 di 108

### 6.2.10. Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver



Inviluppi  
Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver



**QUADRILATERO**  
Marche Umbria S.p.A.

### **2.1.3 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**

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

**Opere d'arte maggiori: Gallerie Naturali**

Galleria Naturale S.Barbara: Relazione tecnica e di calcolo Opere e Scavi

Provvisionali Imbocchi

Opera L0703	Tratto 2B	Settore E	CEE 14	WBS GA420	Id.doc. REL	N,prog. 02	Rev. A	Pag.di Pag. 108 di 108
----------------	--------------	--------------	-----------	--------------	----------------	---------------	-----------	---------------------------