


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

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




PROGETTO ESECUTIVO

<p>CONTRAENTE GENERALE:</p> 	<p><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>
--	---	--

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese

Mandataria:

			
--	--	---	--

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

<p>IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>Ing. Giulio Petrizzelli</p>		
---	--	--

<p>2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica sud/Castelraimondo nord</p> <p>OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIE ARTIFICIALI Galleria Artificiale Mistranello Relazione tecnica e di calcolo delle opere di protezione</p>	<p>SCALA: -</p> <p>DATA: Febbraio 2016</p>
---	--

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

Codice Elaborato:	Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	1
	L 0 7 0 3	2 1 2	E	1 5	G A 2 9 0 0	R E L	0 2	

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto	Controllato	Approvato
A	Febbraio 2016	Emissione per progetto esecutivo	PROGIN	A. D'Alterio	S. Lieto

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 2 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

I N D I C E

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	4
2.2 BIBLIOGRAFIA.....	5
3. DESCRIZIONE DELL'OPERA	6
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	9
5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	10
6. MODELLI DI CALCOLO	13
6.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	13
6.2 DESCRIZIONE SEZIONI E FASI DI CALCOLO	14
7. RISULTATI DELLE ANALISI	16
7.1 SOLLECITAZIONI PROTESI E PALI.....	16
8. VERIFICHE.....	19
8.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE SLU	19
8.2 VERIFICHE A TAGLIO SLU	21
8.3 ANALISI DI STABILITÀ DEGLI SCAVI PROVVISORIALI	22

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

1. INTRODUZIONE

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

Nella presente relazione sono riportate le analisi, il dimensionamento e le verifiche di sicurezza relative alle opere di protezione per la realizzazione della Galleria Artificiale Mistrianello, nonché le verifiche di sicurezza nelle fasi di scavo.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 4 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

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

Normative sulle costruzioni

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

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

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

Normativa sui terreni, opere di sostegno, opere di fondazione

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

Normativa sismica

- D.M. 16.01.1996: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" e relative istruzioni (Circ. Min. LL. PP. 10.04.1997, n. 65/AA.GG.).
- O.P.C.M. 20.03.2003, n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" con i relativi allegati e le successive modifiche e integrazioni (O.P.C.M. n. 3316 del 02.10.2003 e O.P.C.M. n. 3431 del 03.05.2005).
- O.P.C.M. 28.04.2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Associazione Geotecnica Italiana, "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee guida" Ed. provvisoria Marzo 2005.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 5 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

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 L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La Galleria Artificiale "Mistranello" si estende dalla progressiva 4+995 fino alla 5+280 La lunghezza complessiva è pari a 285 m. La struttura policentrica prevede la presenza di calotta, murette ed arco rovescio.

La galleria è di tipo artificiale e viene realizzata mediante opere di sostegno costituite da pali in calcestruzzo armato puntonati da una protesi ovvero un elemento in calcestruzzo armato ad asse curvo.

Tale scelta progettuale permette di limitare gli scavi ed interferire il meno possibile con l'assetto idrogeologico della zona in oggetto.

In corrispondenza di entrambi gli estremi della galleria sono presenti gli imbocchi detti a "becco di flauto", essi sono realizzati attraverso uno scavo libero e presentano rivestimenti in calcestruzzo armato di spessore minimo pari 0.70 m per calotta, murette ed arco rovescio. Tale sezione viene denominata "Tipo 1".

I rivestimenti interni in calcestruzzo armato presentano spessori minimi pari a 0.70 m per la calotta, murette ed arco rovescio. Lo spessore minimo della protesi/puntone è di 1.30 m. Si prevedono dei pali $\phi 1000$ di lunghezza pari a 14 m e di interasse variabile tre 1.10 m, 1.20 m e 1.30 m in funzione della copertura. Essa può arrivare ad un massimo di 12 m circa. Tali sezioni vengono denominate in funzione dell'interasse adottato per i pali provvisori e rispettivamente "Tipo 2", Tipo 3" e "Tipo 4" in funzione dell'interasse 1.10/1.20/1.30.

Si prevede un sistema di drenaggio finalizzato a contenere il livello di falda soprattutto durante le fasi di esecuzione dell'opera. Tale sistema è composto da dreni sub-orizzontali con tubo da 2" protetto da TNT, con perforazione $\Phi 100$ mm, inclinazione 5% interasse longitudinale 4.0 m e lunghezza complessiva 25.0 m di cui 5.0 m ciechi e 20.0 microfessurati. Inoltre viene previsto un camino drenante di dimensioni 1.00m x 0.50m avente lo stesso interasse longitudinale dei dreni sub-orizzontale.

A protezione delle scarpate di scavo si prevede un intervento diffuso costituito da chiodature e spritz beton. I chiodi avranno lunghezza 5.0 m, interasse (3x3m), costituiti da una barra $\phi 20$; la perforazione sarà da 70 mm, mentre la piastra di ancoraggio avrà dimensioni 200 x 200 mm e spessore 10 mm.

Lo spritz beton (C 15/20) avrà spessore 15 cm, armato con rete metallica $\phi 8$ maglia 200 x 200 mm.

Tale intervento va previsto in corrispondenza delle porzioni terrose del substrato, ovvero delle porzioni degradate. Si stima un impiego per circa il 20% della superficie delle scarpate.

Per la galleria artificiale Mistranello si prevedono le seguenti fasi di lavorazione:

FASE1: Scavo fino a quota estradosso calotta galleria, realizzazione interventi di drenaggio e protezione scarpate, esecuzione dei pali con un primo tratto a vuoto;

FASE2: Scavo a ribasso fino a quota testa pali per conci longitudinali di 20m, esecuzione della protesi e rinterro fino a quota estradosso estradosso calotta galleria di progetto;

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 7 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

FASE3: Posa in opera della trincea e dei dreni longitudinali, rinterro fino a quota +5.00 da estradosso calotta galleria di progetto;

FASE4: Scavo in avanzamento della galleria;

FASE 5: Realizzazione dei rivestimenti definitivi e rinterro fino a quota campagna con sistemazioni definitive.

Si riporta, a titolo illustrativo una rappresentazione della sezione tipo:

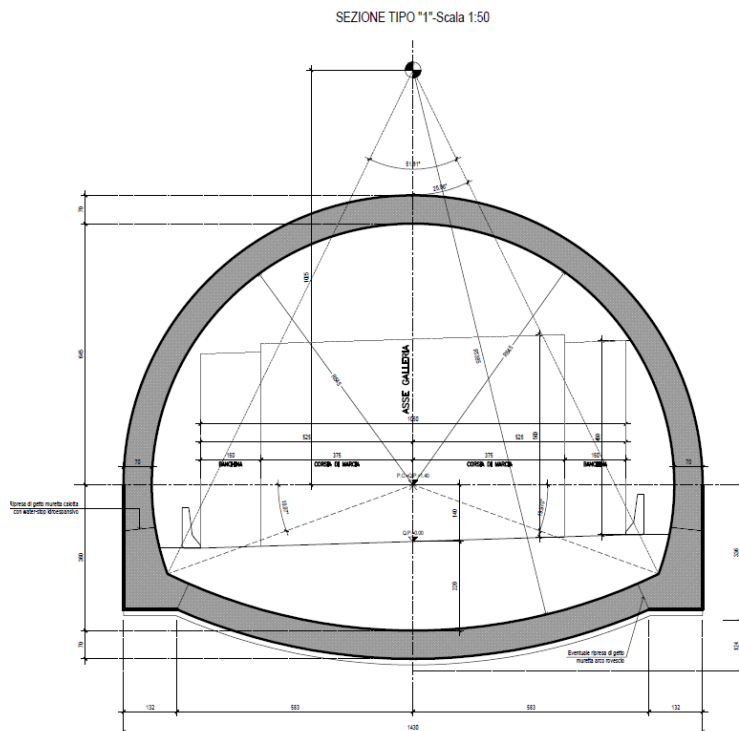


Figura 1: Sezione Tipo 1

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 8 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

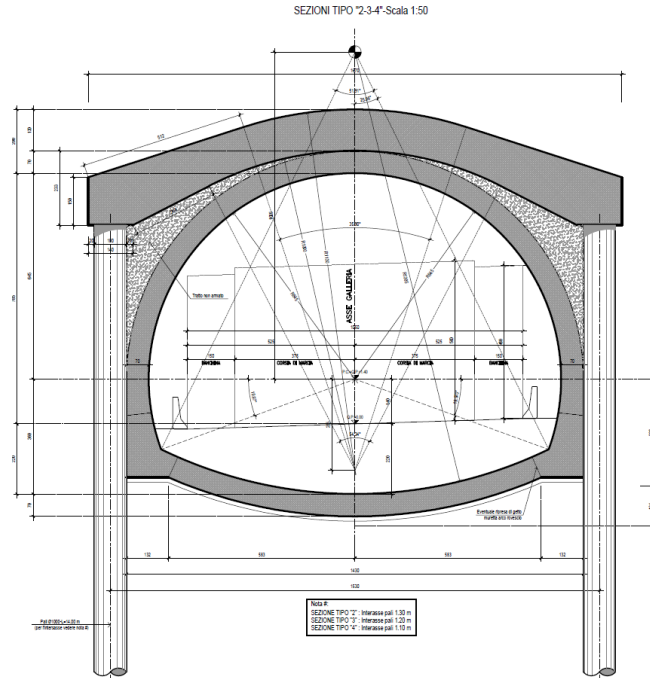


Figura 2: Sezione Tipo 4

Si riportano di seguito uno stralcio planimetrico ed i profili delle opere in progetto.

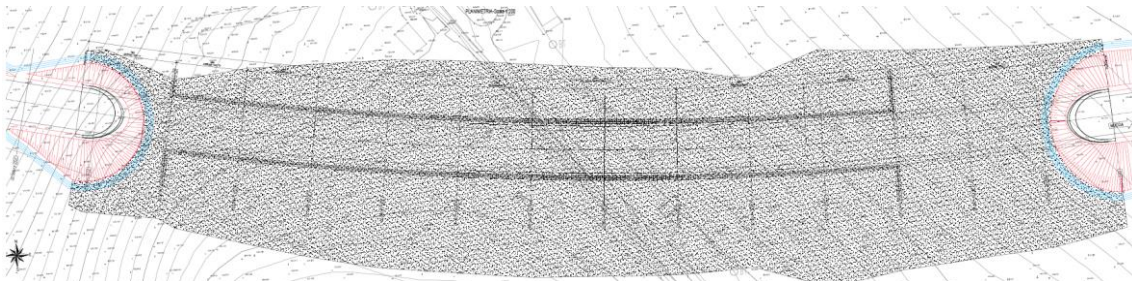


Figura 3: Galleria Artificiale Mistranello - Stralcio Planimetrico

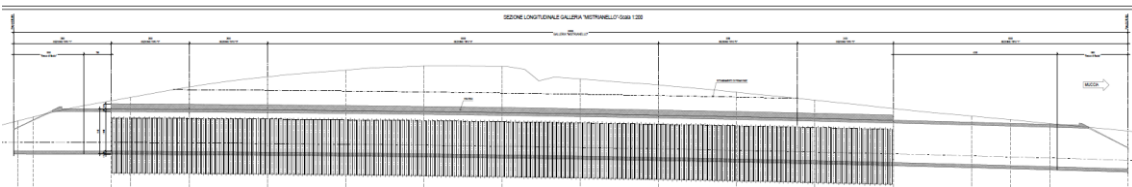


Figura 4: Galleria Artificiale Mistranello – Profilo longitudinale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 9 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	-------------------------

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

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

Calcestruzzo per pali e protesi

Tipo (secondo UNI EN 206-1):	C25/30
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	$R_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Modulo elastico secante:	$E_{cm} = 32'800 \text{ MPa}$

Acciaio per cemento armato

Tipo: B 450 C (ex Fe B 44k)	
Tensione caratteristica di rottura a trazione:	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di calcolo ($\gamma_s=1.15$):	$f_{yd} = 450 / 1.15 = 391 \text{ MPa}$
Modulo elastico:	$E = 210'000 \text{ MPa}$

Spritz-beton

Tipo:	C15/20
Resistenza cubica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck, cube} \geq 20 \text{ MPa}$
Resistenza cilindrica caratteristica (t=28 gg):	$f_{ck} \geq 15 \text{ MPa}$

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 10 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

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



Figura 5: Stralcio planimetrico con indicazione dei punti di indagine

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

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

Di seguito si riportano le unità geotecniche riscontrate:

- Unità R - Terreno di riporto e coltre vegetale: si includono i riporti di origine antropica ed il terreno vegetale; si tratta generalmente di limo sabbioso e sabbia limosa con clasti e frammenti vegetali e di laterizi;

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

- Unità EC - Depositi eluvio colluviali: si tratta di depositi a composizione granulometrica variegata ma generalmente a prevalente componente fine limo argillosa (Unità ECl_a); localmente si rinviene sabbia limosa con clasti derivanti dalla disgregazione del substrato roccioso (Unità ECl_s). Localmente sono state individuate zone con coperture di materiale di accumuli di frana (unità a);
- Unità A - 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 Salt – substrato alterato: si tratta di una fascia di spessore variabile costituita da argilla limosa consistente che sovrasta il substrato a carattere da semilitoide a litoide, rappresenta la parte superiore alterata del substrato;
- Unità Pa - Substrato Pelitico – Arenaceo con $0,2 \leq A/P \leq 1$ (Formazione di Camerino): rappresentata da litofacies pelitico-arenacee con un rapporto A/P < 1;
- Unità Ap - Substrato Arenaceo – Pelitico $A/P \geq 1$ (Formazione di Camerino): formata essenzialmente da litofacies costituite da arenarie e marne siltose grigie con un rapporto A/P > 1;
- Unità Sch – Formazione dello Schlier: si tratta di alternanze di marne, marne siltose calcaree e argillose a volte arenacee, di colore grigio verde, e da calcari marnosi.

Si riportano di seguito i parametri geomeccanici di interesse:

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\phi' = 38\div 42^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E_o = 200\div 600 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale

- Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo / Unità Ap – substrato arenaceo pelitico
 $\gamma = 23.0\div 23.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

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

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

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

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

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

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

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

$c' = 120 \text{ kPa}$ coesione drenata

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

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

$c' = 220 \text{ kPa}$ coesione drenata

Da rilievo geomeccanico carote sondaggio:

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

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

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

La falda è stata individuata a circa 3/4 metri dal piano campagna.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

6. MODELLI DI CALCOLO

Al fine di eseguire l'analisi, il dimensionamento e le verifiche di sicurezza delle opere di protezione si è implementato un modello di calcolo piano e si è eseguita una analisi agli elementi finiti per 1 m di sviluppo longitudinale della struttura.

Il modello adottato è composto da elementi bidimensionali del tipo "Plane Strain" che simulano il sottosuolo e gli elementi in calcestruzzo armato pali e protesi. Il legame costitutivo che caratterizza gli elementi bidimensionali simulanti il sottosuolo è del tipo Mohr-Culomb a cui sono stati assegnati i parametri di progetto in termini di resistenza e rigidità. Esso ha un comportamento non lineare dal punto di vista meccanico.

Al fine di semplificare la lettura dello stato di sollecitazione sugli elementi strutturali il c.a. vengono introdotti degli elementi fittizi "frame" che presentano le reali proprietà inerziali scalate per un fattore pari a 10^6 . Tali elementi fittizi vengono resi solidali con i nodi di mezzera dei pali e della protesi/puntone. In tal modo è possibile leggere le sollecitazioni su tali elementi strutturale moltiplicando a singola caratteristica della sollecitazione per un fattore pari a 10^6 .

Al fine di cogliere in maniera compiuta l'evoluzione dello stato tenso-deformativo del sistema geostrutturale si esegue un tipo di analisi "Construction Stage" in cui vengono riprodotte tutte le fasi realizzative dell'opera.

Il codice di calcolo adottato è Midas GTS, tale software risulta particolarmente indicato al fine di analizzare le problematiche geo-strutturali.

Il volume di terreno significativamente interessato dalla realizzazione della galleria è stato reso discreto con una mesh di circa n. 45'000 elementi, esso ha una estensione di 120 m x 50 m.

Le dimensioni della mesh, in relazione alla profondità ed al diametro della galleria, sono sufficienti a garantire che i risultati delle analisi siano indipendenti dalla particolare mesh adottata e sono tali da permettere di vincolare il lato inferiore della mesh bloccando gli spostamenti sia verticali che orizzontali, ed i lati sinistro e destro bloccando gli spostamenti orizzontali.

6.1 MODELLAZIONE GEOTECNICA

Lungo il tracciato della galleria artificiale vengono individuati tre strati di terreno le cui caratteristiche meccaniche di progetto vengono riportate nella seguente tabella:

Tabella 6: Parametri geotecnici

Tipo	γ	c'	ϕ'	E
[-]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[°]	[MPa]
ECl _a	20	10	25	50
Salt	20	0	28.5	75
Pa/Ap	23	135	33	100

Il sistema di drenaggio disposto lungo il tracciato garantisce di mantenere il livello di falda nella zona dell'arco rovescio della galleria.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 14 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

6.2 DESCRIZIONE SEZIONI E FASI DI CALCOLO

Come descritto in precedenza si individua la sezione più gravosa ovvero quella di "Tipo 4" di massima copertura.

SEZIONE TIPO 4

Per la sezione tipo 4 dopo la fase di simulazione "geostatica" del modello si considera lo scavo superficiale fino alla quota di estradotto della calotta della galleria. Nello step seguente vengono introdotti gli elementi che simulano le opere provvisorie quali protezioni e pali in c.a.. Successivamente dopo un ritombamento parziale di circa 5 metri si esegue lo scavo in avanzamento della galleria artificiale e la realizzazione dei rivestimenti strutturali. Infine si simula la fase di ritombamento definitivo ed il decadimento delle opere provvisorie.

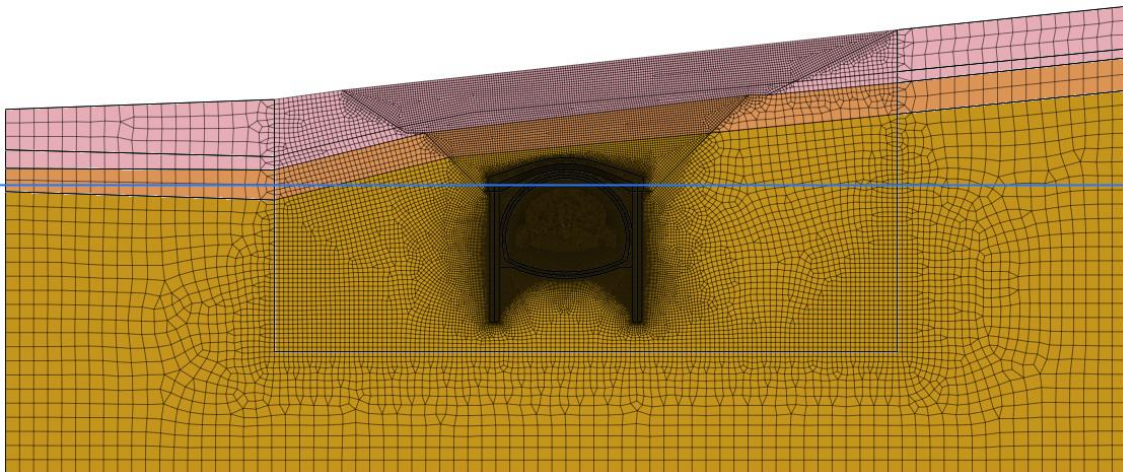


Figura 7: Sezione Tipo 4 – Inizializzazione

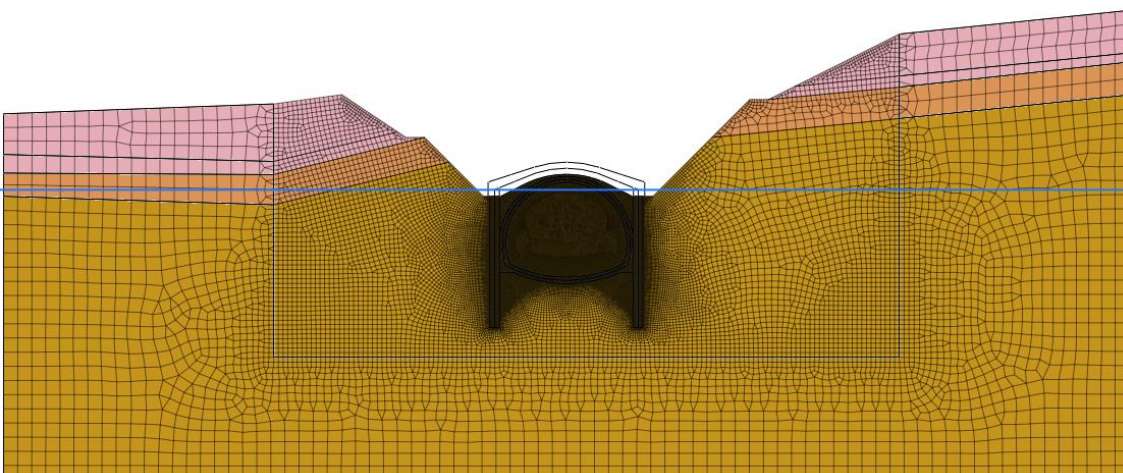


Figura 8: Sezione Tipo 4 – Scavo superficiale

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

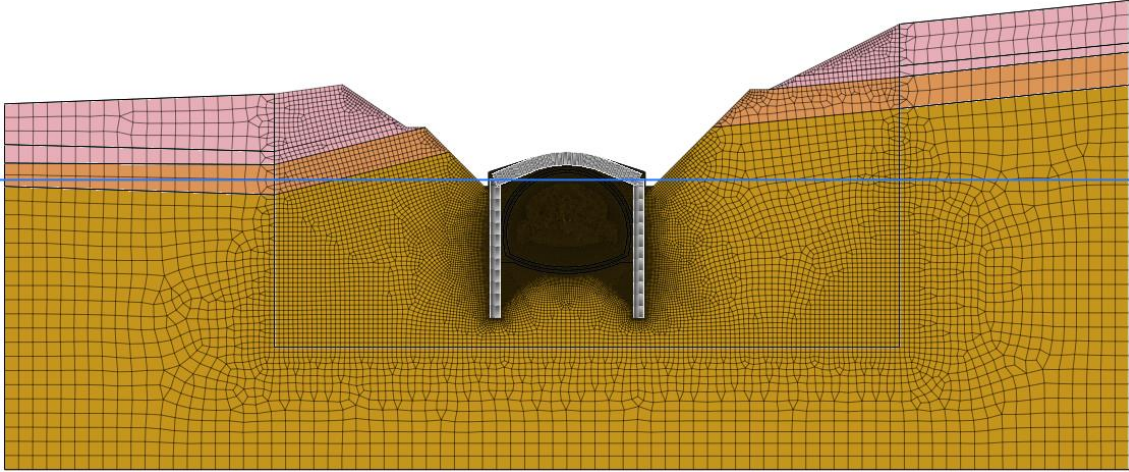


Figura 9: Sezioe Tipo 4 – Realizzazione opere provvisionali – protesi e pali

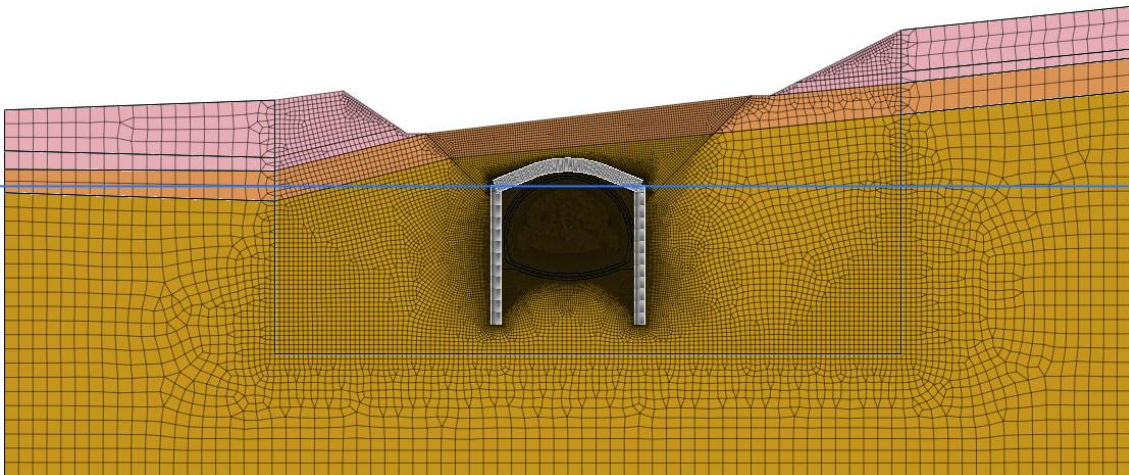


Figura 10: Sezioe Tipo 4 – Ritombamento parziale

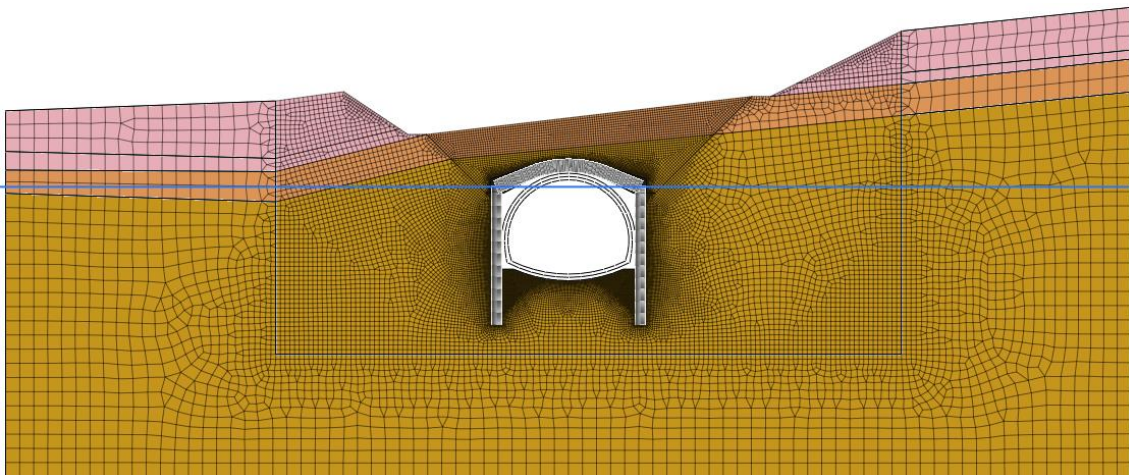


Figura 11: Sezioe Tipo 4 – Scavo in avanzamento

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 16 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

7. RISULTATI DELLE ANALISI

In questo capitolo vengono illustrati i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni sugli elementi strutturali allo stato limite di esercizio SLE, allo stato limite ultimo SLU.

7.1 SOLLECITAZIONI PROTESI E PALI

Si riportano di seguito i risultati delle analisi in termini di sollecitazioni sugli elementi strutturali per gli stati limite SLE. I valori dei diagrammi sono scalati per un fattore pari a 10^6 .

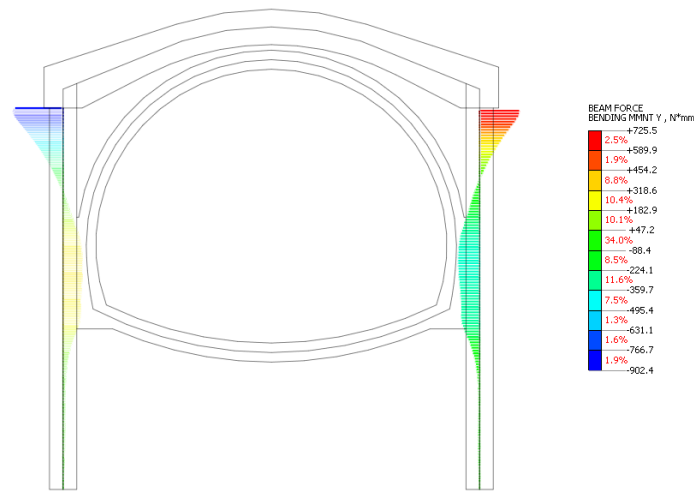


Diagramma momento flettente – Pali – SLE

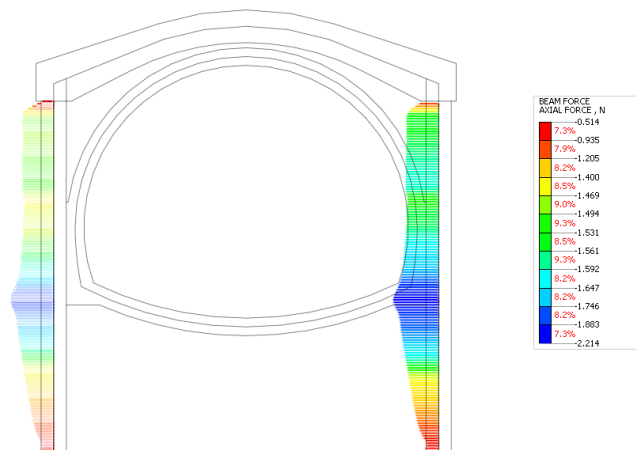


Diagramma sforzo normale Pali – SLE

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 17 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

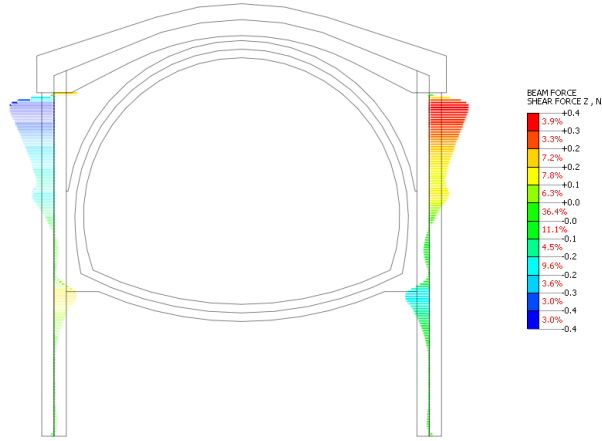


Diagramma taglio Pali – SLE

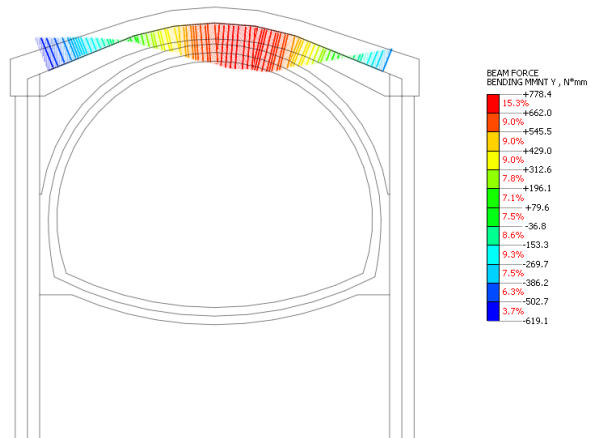


Diagramma momento flettente – Protesi – SLE

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

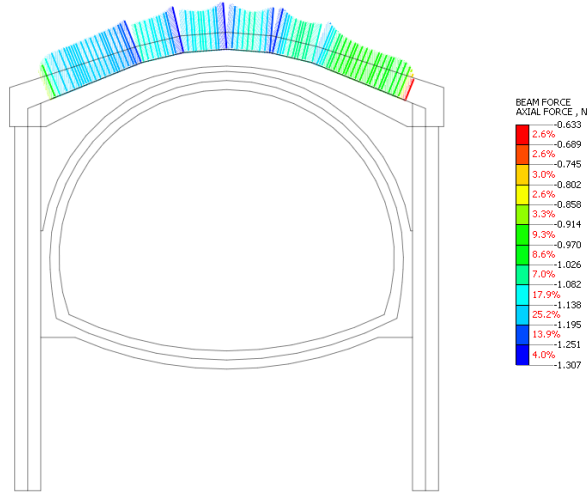


Diagramma sforzo normale Protesi – SLE

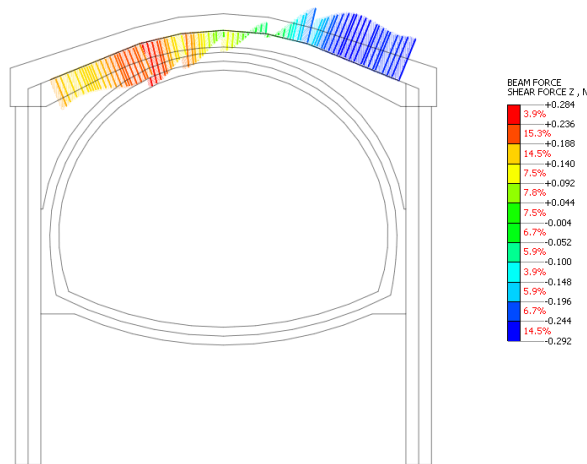


Diagramma taglio Protesi – SLE

8. VERIFICHE

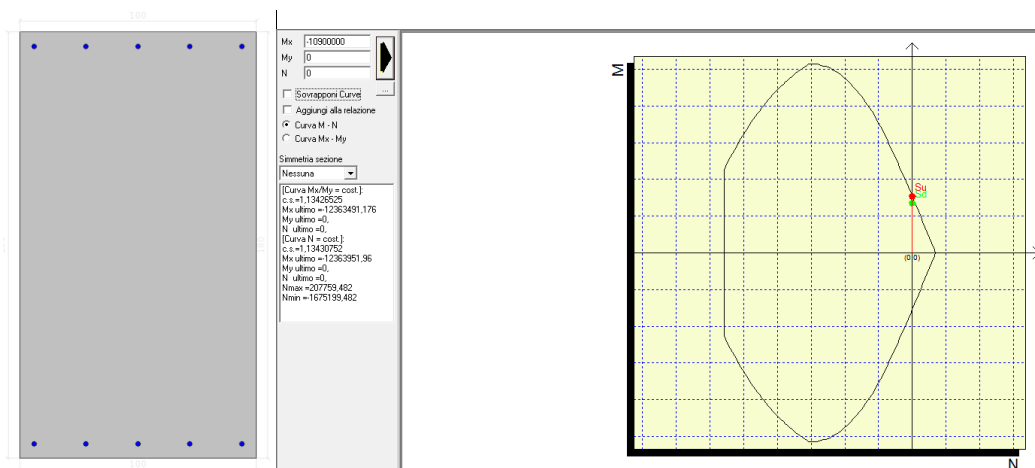
8.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE SLU

Si riportano di seguito le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi

PROTESI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione della protesi/puntone. Lo spessore è pari a 1.3 m.

Verifica Protesi - SLU			
Sezione	Verifica a flessione		
	$M_{Ed,max}$	M_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]
Mezzeria	1090	1230	1.13



PALI IN CALCESTRUZZO ARMATO – SEZIONE DI TESTA

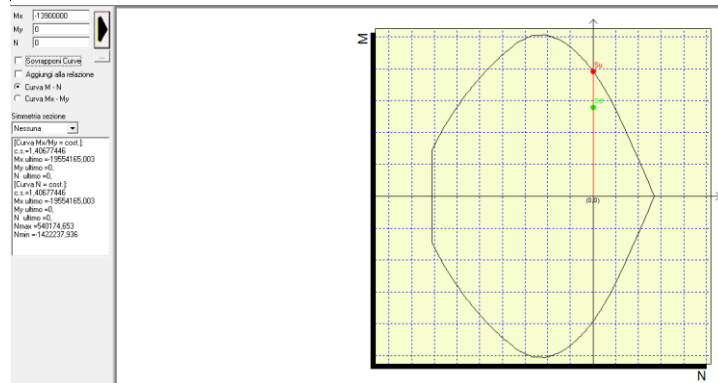
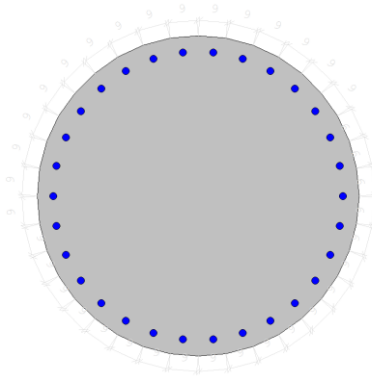
Si riporta di seguito la verifica a pressoflessione dei pali. Il diametro del palo è pari a $\phi 1000$ l'interasse è pari a 1.1 m.

Verifica Pali - SLU			
Sezione	Verifica a flessione		
	$M_{Ed,max}$	M_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]
Testa	1390	1946	1.40

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Come si osserva dalla precedente immagine il coefficiente di sicurezza risulta essere uguale a 1.40 pertanto la verifica è soddisfatta.

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

8.2 VERIFICHE A TAGLIO SLU

Per la verifica di resistenza allo SLU con riferimento alle sollecitazioni taglianti deve risultare:

$$V_{Rd} > V_{Ed}$$

Nel caso in esame, dunque, il taglio V_{Ed} è pari ai massimi valori del taglio sollecitante derivante dall'analisi per i vari elementi strutturali. Per tutti gli elementi strutturali il massimo taglio si riscontra in corrispondenza della sezione di attacco tra l'elemento stesso e quello ad esso ortogonale.

[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);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$ 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} :

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

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

VERIFICA PROTESI

Per la verifica a taglio della protesi in fase di scavo si ha:

Verifica Protesi - SLU		
Verifica a taglio		
$T_{Ed,max}$	T_{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[kN/m]	[kN/m]	[-]
390	750	1.92

VERIFICA PALI

Per la verifica a taglio del palo in fase di scavo, si considera un spirale $\phi 14/10$ cm. Pertanto si ha:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	--------------------	----------------	-----------	--------------------------

Verifica Pali - SLU		
Verifica a taglio		
T _{Ed,max}	T _{Rd}	Coefficiente Sicurezza
[kN/m]	[kN/m]	[-]
584	762	1.31

8.3 ANALISI DI STABILITÀ DEGLI SCAVI PROVVISORIALI

E' stata inoltre analizzata la stabilità globale degli scavi provvisoriali, necessari per raggiungere il piano di imposta della calotta-protesi (fino a circa 15 m max dal p.c. locale).

La verifica di stabilità è stata condotta mediante un calcolo all'equilibrio limite; considerando il metodo di Bishop semplificato valido per superfici di scivolamento circolari. Il modello è stato inoltre implementato con un'analisi di filtrazione in regime stazionario (Steady State Groundwater mode), al fine di simulare la variazione delle pressioni interstiziali al termine del processo di scavo. A favore di sicurezza non è stato considerato l'effetto benefico dei drenaggi sub-orizzontali, comunque previsti sulle scarpate come presidio per limitare le infiltrazioni sulle scarapate. E' stato utilizzato il programma Rockscience Slide 7.

L'analisi è stata effettuata secondo la Combinazione A2+M2. La verifica risulta soddisfatta poiché, per le superfici di scorrimento critiche, si ottiene un fattore di sicurezza minimo maggiore del valore limite richiesto da normativa pari a 1.1 (FS = 1,638 > 1.1).

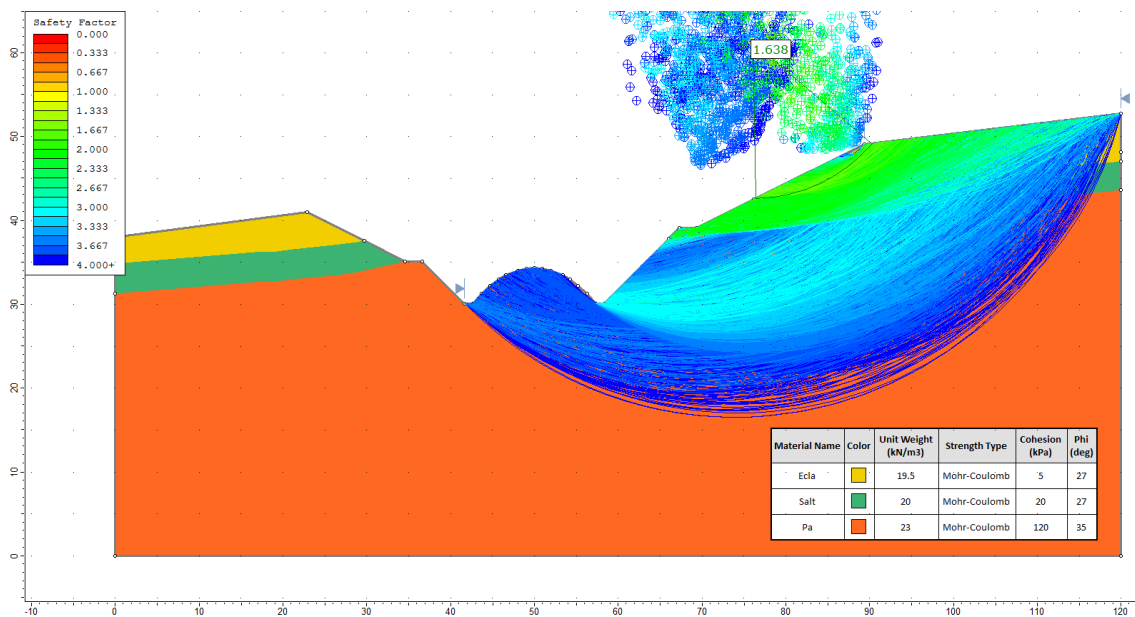


Figura 12: Verifica di stabilità globale

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

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

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 15	WBS GA2900	Id. doc. REL	N. prog. 02	Rev. A	Pag. di Pag. 23 di 23
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

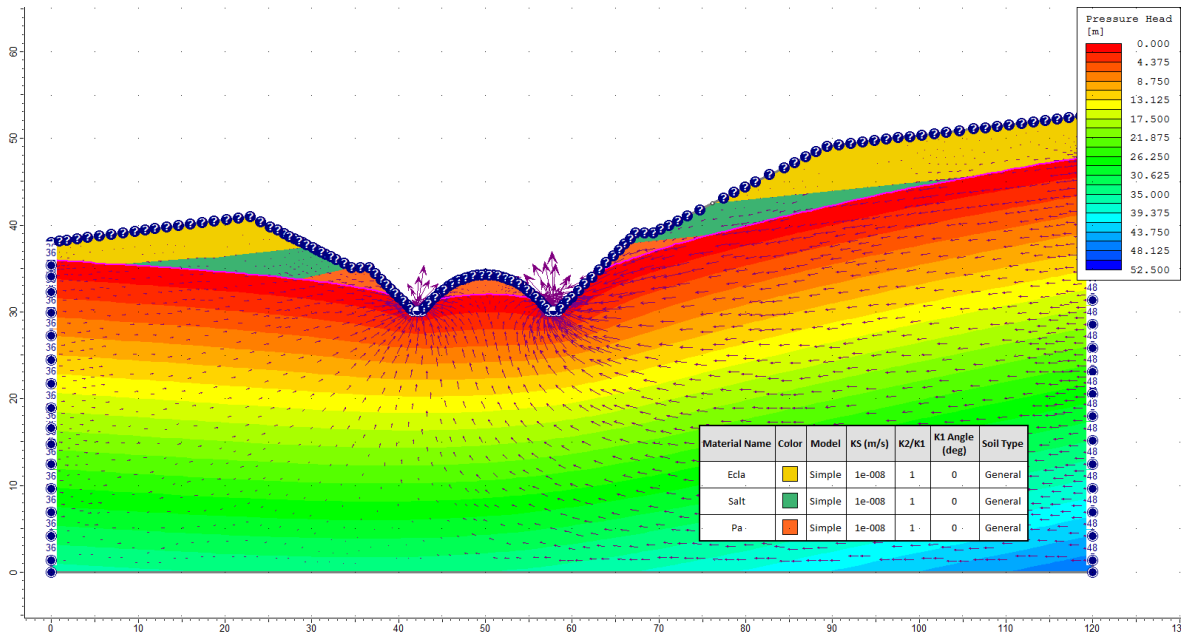


Figura 13: Vettori di flusso dell'analisi di filtrazione