


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 style="text-align: center;">Ing. Federico Montanari</p>	<p><i>Il responsabile Integrazioni delle Prestazioni Specialistiche:</i></p> <p style="text-align: center;">Ing. Salvatore Lieto</p>
--	---	--

<p><i>PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese</i> <i>Mandataria:</i></p>			
			

<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. Iginio Farotti</p>		
---	--	--

<p>2.1.3 - PEDEMONTANA DELLE MARCHE</p> <p>3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud</p> <p>4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia</p> <p>OPERE D'ARTE MINORI: OPERE DI SOSTEGNO E DRENI</p> <p>INTERVENTO DI STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI</p> <p>Trincee Drenanti da km 12+340 a Km 12+540 e da Km 10+520 a Km 10+960</p> <p>Relazione Tecnica e di Calcolo</p>	<p>SCALA:</p> <hr/> <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	01	OS1001	REL	01	A

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

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 2 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	3
3. AREE DI INTERVENTO E INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	4
4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO	7
4.1 MODELLI GEOTECNICO DI PROGETTO	12
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	15
6. TRINCEE DRENANTI: ASPETTI GENERALI E DI CALCOLO.....	16
6.1 L' EFFICIENZA IDRAULICA.....	17
6.2 DIMENSIONAMENTO DI TRINCEE DRENANTI IN CONDIZIONI DI FLUSSO PIANE	19
7. EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DI PROGETTO	21
8. STABILITA' DEI PENDII : RICHIAMI E PRESCRIZIONI NORMATIVE	24
8.1 RICHIAMI TEORICI	24
8.1.1 IL METODO DI MORGESTERN E PRICE.....	25
8.2 PRESCRIZIONI DM 14-01-08	27
8.2.1 STABILITA DI PENDII NATURALI.....	27
8.2.2 VERIFICHE IN FASE SISMICA	28
9. ANALISI DI STABILITA' DEI VERSANTI OGGETTO DI INTERVENTO	29
9.1 ANALISI STATICA ANTE OPERAM (BACK-ANALYSIS)	32
9.1 MODELLO GEOTECNICO DI VERSANTE ANTE OPERAM	33
9.2 ANALISI SISMICA ANTE OPERAM.....	34
9.3 MODELLO GEOTECNICO DI VERSANTE POST- OPERAM.....	35
9.4 ANALISI STATICA POST OPERAM.....	36
9.5 ANALISI SISMICA POST OPERAM.....	36

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 3 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

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".

Oggetto della trattazione nel seguito esposta è in particolare e la valutazione dell'efficienza degli interventi di drenaggio, costituiti da reticoli di trincee drenanti, previsti in due tratti del tracciato di progetto compresi tra le pk. 10+520 - 10+960 e pk.12+340 - 12+540, ove è segnalata la presenza di coltri instabili.

2. 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"
-

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	E16OS1001	REL	01	A	4 di 37

3. AREE DI INTERVENTO E INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Come anticipato in premessa, in alcune aree interessate dalla realizzazione delle opere in progetto nell'ambito del presente appalto, è stata prevista la realizzazione di una rete di trincee drenanti finalizzate ad incrementare localmente le condizioni generali di stabilità del versante, in relazione al rischio frana emerso dalle risultanze delle indagini geognostiche, dei rilievi geomorfologici in sito e delle cartografie PAI, lungo il tracciato di progetto della viabilità.

I tratti di versante oggetto degli interventi sono in particolare quelli compresi tra le progressive 10+520 - 10+960 e 12+340 - 12+540, di cui nel seguito si riportano i relativi stralci grafici estratti dagli elaborati grafici di progetto a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

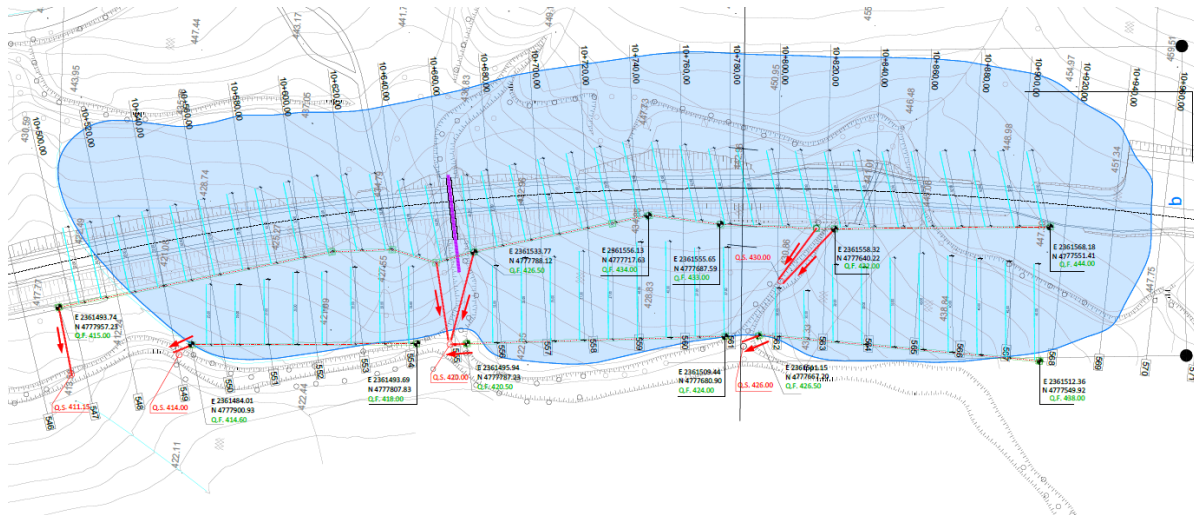


Figura 1 – Area di intervento con trincee drenanti da pk 10+520 a pk 10+960

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabiano

Relazione di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id. doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L0703	213	E	14	E16OS1001	REL	01	A	5 di 37

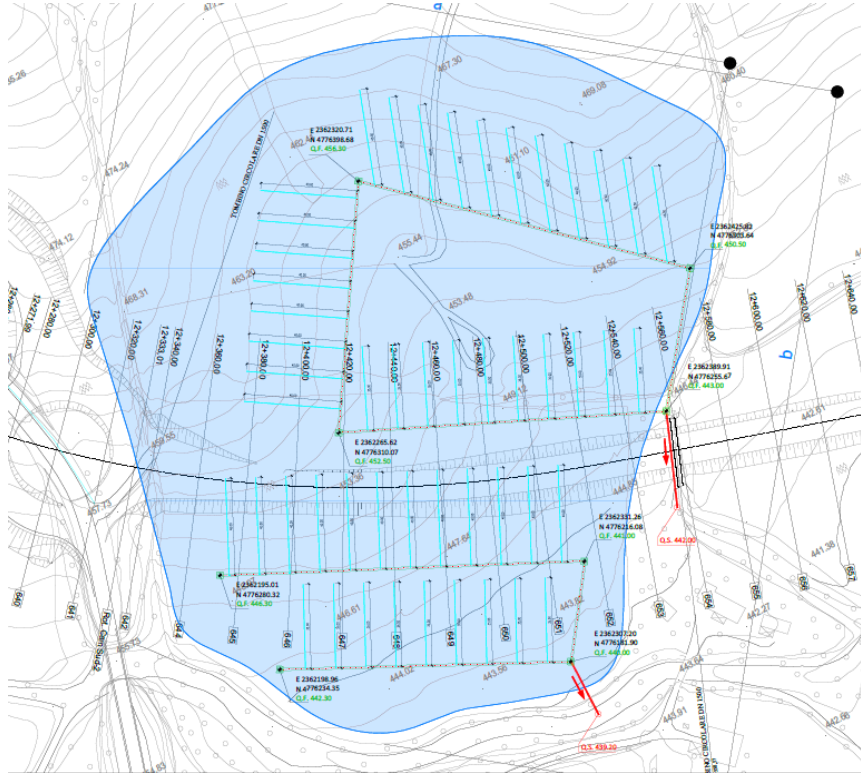


Figura 2 – Area di intervento con trincee drenanti da pk 12+340 a pk 12+540

Nella fattispecie, dalle progressive 10+520 e 10+830 circa, è segnalato in particolare il piede di un antico corpo di frana che più a monte interessa una vasta area già catalogata dal PAI. L'area catalogata PAI ha sigla F16-0683 (P3). Le strumentazioni inclinometriche installate nell'area sono SN2238 e X4.4.

Proseguendo attorno al colle di Camerino, poco dopo lo svincolo per Muccia il tracciato dalle progressive 12+400 e 12+530 circa, attraversa un'altra area identificata come dissesto, facente parte del piede di un vecchio corpo di frana ubicato più a monte, denominato dal PAI F19-1682 (P3). Nell'area è installato l'inclinometro SN2244.

Le registrazioni inclinometriche effettuate hanno evidenziato la presenza di coltri instabili caratterizzate da spessori di 4-5m circa.

Le figure seguenti riportano gli stralci delle aree in oggetto estratti dalle carte geomorfologiche di progetto:

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud
 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia
 Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano
 Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 6 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

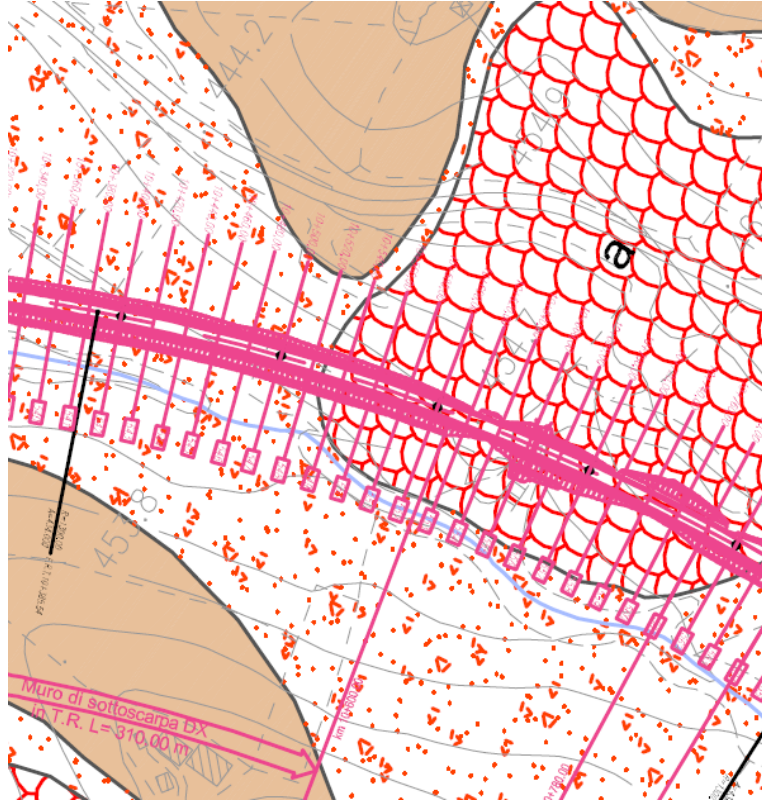


Figura 3 – Area 8 progressive 10+520 e 10+830 circa

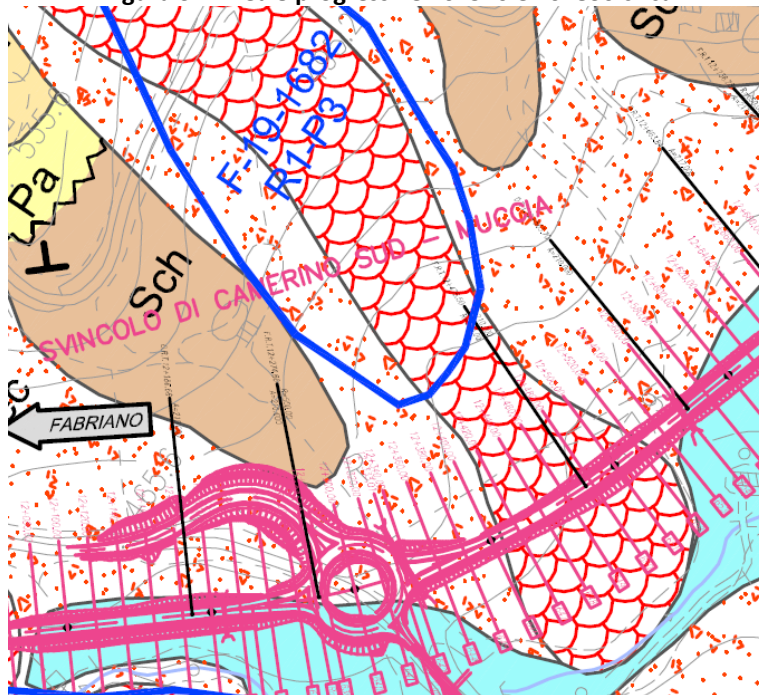


Figura 4 – Area 10 progressive 12+400 e 12+530 circa

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 7 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	-------------------------

4. INQUADRAMENTO 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 "Mistrianello".

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

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud****4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia**

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 8 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	-------------------------

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 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 ≥ 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

 QUADRILATERO Marche Umbria S.p.A.	2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano Relazione di calcolo							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A

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.

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_a, ECl_s, a - 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 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.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 10 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

- **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).

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
--------------------------------	-------------------------

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 11 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$\phi' = 33 \div 34^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0$ kPa coesione drenata
 $E_o = 150 \div 350$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Ag - Depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi

$\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 36 \div 42^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 0$ kPa coesione drenata
 $V_s = 120 \div 350$ m/s velocità delle onde di taglio
 $G_o = 30 \div 250$ MPa modulo di deformazione a taglio iniziale
 $E_o = 70 \div 650$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Aate - Depositi alluvionali terrazzati antichi limoso sabbiosi argillosi

$\gamma = 19.0$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 27 \div 36^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata
 $\phi_r' = 26^\circ$ angolo di resistenza al taglio residuo
 $c_r' = 0$ kPa coesione drenata residua
 $c_u = 70 \div 170$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $G_o = 30 \div 260$ MPa modulo di deformazione a taglio iniziale
 $E_o = 80 \div 600$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 19.0 \div 21.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\phi' = 23 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio
 $c' = 5 \div 15$ kPa coesione drenata
 $\phi_r' = 20 \div 22^\circ$ angolo di resistenza al taglio residuo
 $c_r' = 0$ kPa coesione drenata residua
 $c_u = 50 \div 300$ kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
 $G_o = 80 \div 350$ MPa modulo di deformazione a taglio iniziale
 $E_o = 400 \div 900$ MPa modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Ap – substrato arenaceo pelitico

$\gamma = 23.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\sigma_c = 1 \div 30$ (10) MPa resistenza a compressione assiale (media)
 $E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z$ MPa per $z < 40$ m modulo di deformazione elastico operativo
 $E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z$ MPa per $z > 40$ m

Z [m]	c' [kPa]	ϕ' [°]
15	70	36
25	95	32
50	140	27
75	175	25

Unità Pa – Substrato pelitico arenaceo

$\gamma = 22.5$ kN/m³ peso di volume naturale
 $\sigma_c = 0.1 \div 4$ (2) MPa resistenza a compressione assiale (media)
 $E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z$ MPa per $z < 40$ m modulo di deformazione elastico operativo
 $E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z$ MPa per $z > 40$ m

Z [m]	c' [kPa]	ϕ' [°]
20	35 ÷ 40	22 ÷ 23

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 12 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

30	45÷70	19÷26
50	60÷100	16÷22

Unità Sch – Formazione dello Schlier

$$\gamma = 22.0 \text{ kN/m}^3$$

peso di volume naturale

$$\sigma_c = 1 \div 14 \text{ (8) MPa}$$

resistenza a compressione assiale (media)

$$E'_{op} = 20 + 5.75 \cdot z \text{ MPa per } z < 40 \text{ m}$$

modulo di deformazione elastico operativo

$$E'_{op} = 100 + 3.75 \cdot z \text{ MPa per } z > 40 \text{ m}$$

Z [m]	c' [kPa]	ϕ' [°]
20	55	29
30	70	27
50	90	23

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.

4.1 MODELLI GEOTECNICO DI PROGETTO

In corrispondenza dei tratti interessati dalla realizzazione degli interventi di mitigazione in progetto, si rinvengono le seguenti successioni stratigrafiche estratte dal profilo geotecnico generale di progetto:

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

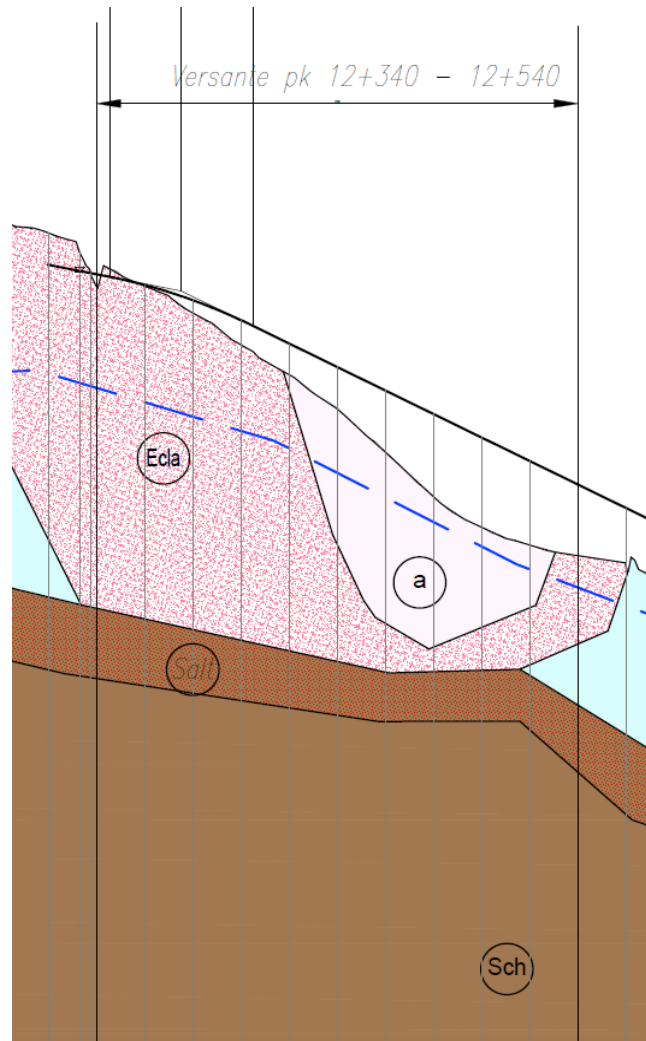
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 13 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Profilo Geotecnico da pk 12+340 a pk 12+540

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

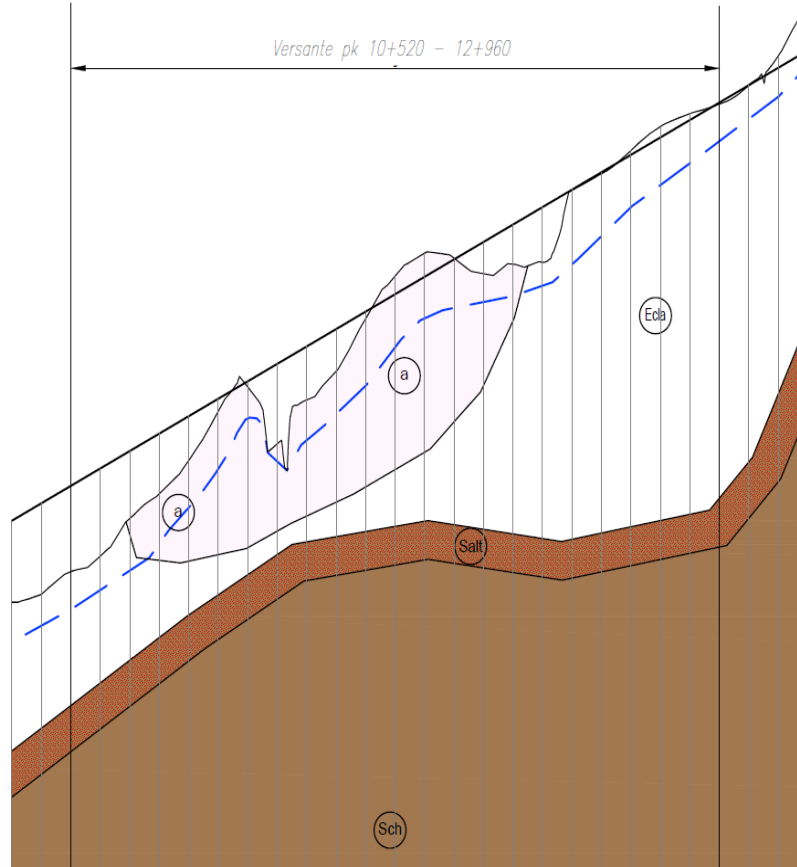
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 14 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Profilo Geotecnico da pk 10+520 a pk 10+960

L'esame degli stralci grafici di cui in precedenza, unitamente alle registrazioni inclinometriche effettuate in prossimità delle aree direttamente interessate dai fenomeni di presenza di coltre potenzialmente instabile, consentono di individuare il seguente modello geotecnico medio di riferimento per le analisi da effettuare:

Da 0 a -4/5m da P.c. : Unita A (Coltri in frana)

Da -4/5 a -10m da P.c. : Unita Ecla

Da -10 m a -13m da P.c. : Unita Salt

Da -13m a massime profondità di interesse : Unita Sch

Livello medio della falda da p.c. : 1.50 – 2.00m

rimandando, per ciò che concerne la caratterizzazione fisico meccanica delle diverse unità a quanto già ampiamente illustrato al precedente paragrafo.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 15 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'infrastruttura in oggetto è progettata per una vita nominale V_N pari a 50 anni ed una classe d'uso III ai sensi del D. Min. 14/01/2008, da cui deriva un coefficiente d'uso $CU = 1.5$.

L'azione sismica di progetto è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base del sito su cui l'opera insiste, descritta in termini geografici e temporali:

- attraverso i valori di accelerazione orizzontale di picco a_g (attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale) e le espressioni che definiscono le ordinate del relativo spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$;
- in corrispondenza del punto del reticolo che individua la posizione geografica dell'opera;
- con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR.

In particolare, la forma spettrale prevista dalla normativa è definita, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g , accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 , valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I suddetti parametri sono calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il punto caratterizzante la posizione dell'opera, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

In particolare, si può notare come F_0 descriva la pericolosità sismica locale del sito su cui l'opera insiste. Infatti, da quest'ultimo, attraverso le espressioni fornite dalla normativa, sono valutati i valori d'amplificazione stratigrafica e topografica.

Per la valutazione dei parametri di pericolosità sismica di base, si è fatto riferimento, per il caso specifico, alla località di Camerino, cui corrisponde, con riferimento alla zona attraversata dal tracciato di progetto dell'infrastruttura, il massimo valore di a_g , caratterizzato in ogni caso da una scarsa variabilità lungo l'intero tracciato; i parametri sismici di base sono in particolare quelli di seguito riportati:

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.220 g
F_0	2.544
T_C^*	0.333 s

Riguardo la valutazione della risposta sismica locale, si è fatto infine riferimento alla categoria di sottosuolo C in linea con quanto indicato per i tratti in oggetto nella Relazione Sismica di progetto (pk 9+800 – 13+118), mentre per la categoria topografica di riferimento è la T1; conseguentemente, i coefficienti di riferimento per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica e topografica sono quelli di seguito riportati:

S_s , fattore stratigrafico 1.364;

	2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano Relazione di calcolo							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A

ST, fattore topografico 1.0;

Cc, fattore correttivo del periodo TC* 1.51.

6. TRINCEE DRENANTI: ASPETTI GENERALI E DI CALCOLO

Le trincee drenanti sono delle strutture lineari disposte in genere parallelamente alla linea di massima pendenza del versante, con profondità limitate, possono raggiungere i 4 - 6 m, e larghezze dell'ordine del metro (dagli 80 cm a 1,20 m).

È tuttavia possibile raggiungere profondità anche maggiori, fino a ca. 10 m, procedendo a scavi in fasi successive, senza dover ricorrere alla formazione di cunicoli e gallerie.

Le modalità di realizzazione delle trincee drenanti sono diverse in funzione della profondità e delle diverse situazioni idrogeologiche locali.

Le trincee devono essere realizzate con attenzione alla stabilità delle pareti di scavo, a piccoli tratti, procedendo da valle verso monte in modo che, anche se costruite parzialmente, esse possano già esercitare la loro azione.

Il fondo dello scavo può avere una pendenza uniforme in caso di versanti poco inclinati (10°-15°), mentre nel caso di pendii maggiormente inclinati o di trincee molto estese in lunghezza, si procede alla gradonatura del fondo scavo e al posizionamento di pozzetti-caditoia.

Sul fondo della trincea vengono poste tubazioni di tipo filtrante, microfessurate, in polietilene, acciaio o cemento. In generale, al di sopra del tubo di raccolta è posto il corpo drenante che può essere formato da un filtro in terreno naturale, o in alternativa da geocompositi (geotessili non-tessuti accorpati a geostuoie sintetiche) che ispessiscono il setto filtrante.

Ordinariamente si può avere, negli schemi costruttivi più semplici, il corpo drenante costituito da ghiaia e sabbia pulita, con scarso materiale fine (non maggiore del 3% in peso), ricoperto da uno strato sommitale di terreno vegetale, con spessore di circa 0.5 m.

Più frequentemente il corpo drenante è formato da uno strato di ghiaia pulita (spesso tra i 50 e i 200 mm), completamente avvolto con un telo di geotessile non tessuto posto a contatto col terreno da drenare.

Al disopra di questo il riempimento della trincea è completato da uno strato di sabbia e dallo strato sommitale di terreno vegetale. In taluni casi, il materiale drenante ghiaia o sassi può raggiungere la sommità dell'opera e quindi lo strato più superficiale di versante; si può vedere in questo caso la forma della trincea drenante, anche una volta finita, osservando la posizione del pietrame.

Queste opere sono un efficace sistema di drenaggio profondo delle acque di infiltrazione e di quelle della falda.

L'effetto delle trincee drenanti può essere tradotto, nei riguardi degli aspetti progettuali, in un locale

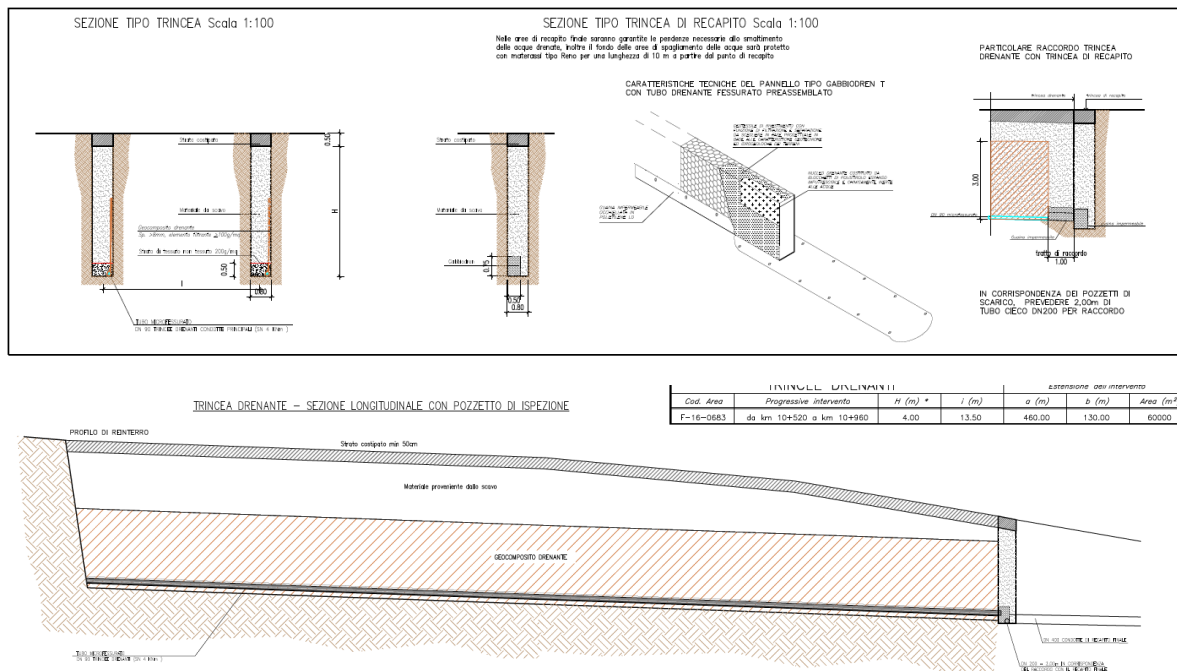
2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia
Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabiano
Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 17 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

abbassamento della falda rispetto al livello medio risultante dalle indagini eseguite, per effetto della maggiore permeabilità assicurata localmente da tali interventi, con conseguente miglioramento delle condizioni generali di stabilità del pendio in cui si inseriscono.

Nelle figure seguenti si riportano alcuni schemi grafici rappresentativi di questo tipo di interventi, con riferimento alla soluzione tipo prevista per gli interventi del progetto di riferimento, rimandando agli elaborati grafici specifici per ulteriori approfondimenti:



Schemi tipo di Interventi con trincee drenanti

Per ciò che concerne gli aspetti di calcolo, nei successivi paragrafi si illustrano criteri generali alla base del dimensionamento di questo tipo di interventi, e successivamente, i risultati della valutazione dell'efficienza del campo di Trincee previsti nell'ambito del progetto in esame e relativo effetto sulla stabilità dei versanti.

6.1 L'EFFICIENZA IDRAULICA

Le condizioni di stabilità di un pendio sono in genere espresse mediante il rapporto tra la resistenza al taglio disponibile τ_f e lo sforzo di taglio τ_m agente lungo la superficie di scorrimento, effettiva o potenziale. Con riferimento allo schema semplice di pendio indefinito sede di un moto di filtrazione stazionario con flusso monodimensionale parallelo al piano campagna, sulla generica superficie di scorrimento, parallela al piano campagna e a profondità z da esso, il coefficiente di sicurezza è:

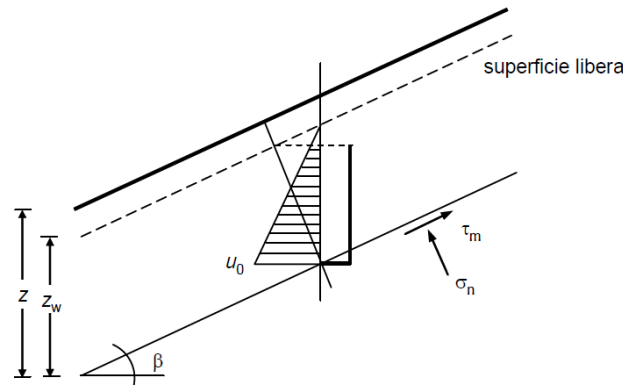
2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 18 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_m} = \frac{c' + (\sigma_n - u_0) \operatorname{tg} \varphi'}{\tau_m}$$



. Fig 1 - Schema di pendio indefinito

dove:

 $\tau_m = \gamma z \cdot \operatorname{sen} \beta \cos \beta$ = tensione tangenziale sulla superficie di scorrimento

 $\sigma_n = \gamma z \cdot \cos^2 \beta$ = tensione totale normale sulla superficie di scorrimento

 $u_0 = \gamma_w z_w \cdot \cos^2 \beta$ = pressione interstiziale sulla superficie di scorrimento

 z_w = profondità dalla superficie libera

 β = inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale

 Se lungo tutta la superficie di scorrimento le pressioni interstiziali vengono ridotte ad un valore $u < u_0$ ($\Delta u = u - u_0$), l'incremento del coefficiente di sicurezza è

$$\Delta F = \frac{-\Delta u \operatorname{tg} \varphi'}{\tau_m}$$

 che assume il massimo valore quando si annullano le pressioni interstiziali ($\Delta U_{\max} = -u_0$):

$$\Delta F_{\max} = \frac{u_0 \operatorname{tg} \varphi'}{\tau_m}$$

 Per efficienza idraulica puntuale E di un drenaggio si intende il rapporto tra la riduzione di pressione interstiziale ottenuta nel punto in esame ($-\Delta u$) e la massima riduzione possibile

$$E(t) = \frac{-\Delta u}{u_0} = \frac{u_0 - u(t)}{u_0} = 1 - \frac{u(t)}{u_0}$$

Essa dipende dal tempo perché, a seguito dell'esecuzione di un drenaggio, le pressioni interstiziali si riducono progressivamente fino al raggiungimento delle condizioni di regime.

 Per il caso di pendio indefinito, e nell'ipotesi di riduzione costante delle pressioni interstiziali sulla superficie di scorrimento, l'efficienza idraulica media coincide con quella puntuale e rappresenta il rapporto tra l'incremento del coefficiente di sicurezza al tempo t e quello massimo ottenibile annullando

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 19 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

le pressioni interstiziali:

$$\bar{E}(t) = E(t) = \frac{u_0 - u(t)}{u_0} = \frac{\Delta F(t)}{\Delta F_{\max}}$$

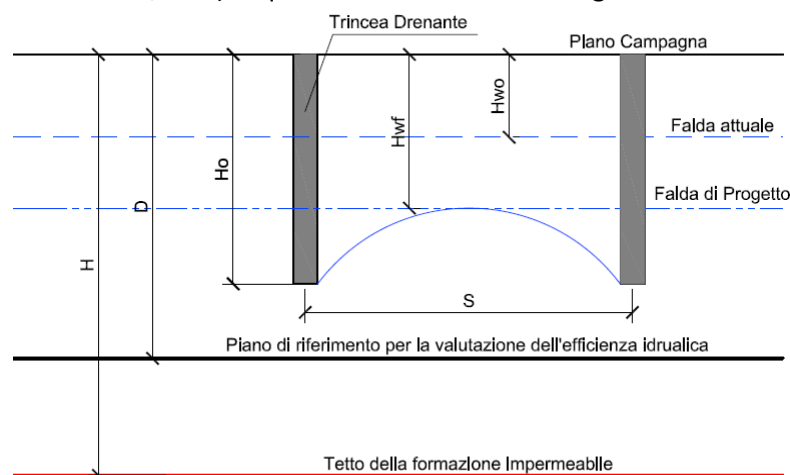
È possibile mostrare che per pendii omogenei, o in presenza di modeste variazioni dei valori di ϕ' lungo la superficie di scorrimento, l'efficienza idraulica media $E(t)$ coincide ancora con il rapporto $\Delta F(t) / \Delta F_{\max}$ anche per geometrie e condizioni di flusso più complesse di quelle relative allo schema di pendio indefinito. In tali condizioni, la soluzione del problema idraulico connesso con l'installazione di un sistema di drenaggio e la valutazione dell'evoluzione temporale dell'efficienza idraulica sulla superficie di scorrimento permettono una stima dell'incremento del coefficiente di sicurezza e delle sue variazioni nel tempo:

$$\Delta F(t) = \bar{E}(t) \cdot \Delta F_{\max}$$

dove ΔF_{\max} è semplicemente ottenuto da un'analisi di stabilità del pendio con pressioni interstiziali nulle lungo la superficie di scorrimento. È quindi possibile rappresentare i risultati ottenuti risolvendo il problema idraulico connesso con l'installazione di un sistema di drenaggio in termini di efficienza idraulica media E , essendo essa direttamente correlata all'incremento del coefficiente di sicurezza ΔF .

6.2 DIMENSIONAMENTO DI TRINCEE DRENANTI IN CONDIZIONI DI FLUSSO PIANE

L'efficienza idraulica di un sistema di trincee drenanti può essere valutata con riferimento allo schema di Figura seguente. Le trincee, disposte secondo le linee di massima pendenza, hanno sezione rettangolare (larghezza B e profondità H_0); il piano campagna è orizzontale e le condizioni idrauliche iniziali sono idrostatiche. Lo strato di terreno sede del processo di drenaggio è omogeneo e isotropo nei riguardi della permeabilità ed è limitato inferiormente da un terreno impermeabile posto a profondità $H = n \times H_0$. Lo schema è analogo a quello utilizzato da altri autori (Hutchinson, 1977; Di Maio et al., 1986; Burghignoli e Desideri, 1983 e Desideri et al., 1997) ai quali si fa riferimento nel seguito.



Schema di riferimento per il dimensionamento di una trincea drenante

La soluzione dipende dai rapporti S/H_0 , B/H_0 , H/H_0 . Negli abachi proposti da Desideri et al. (1997) nell'ipotesi di lama d'acqua in superficie (Fig. 3), il rapporto B/H_0 è stato assunto costante e pari a 0.16,

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 20 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

dal momento che la larghezza della trincea è abitualmente proporzionale alla sua profondità e che le variazioni del rapporto B/H_0 non influenzano la soluzione significativamente.

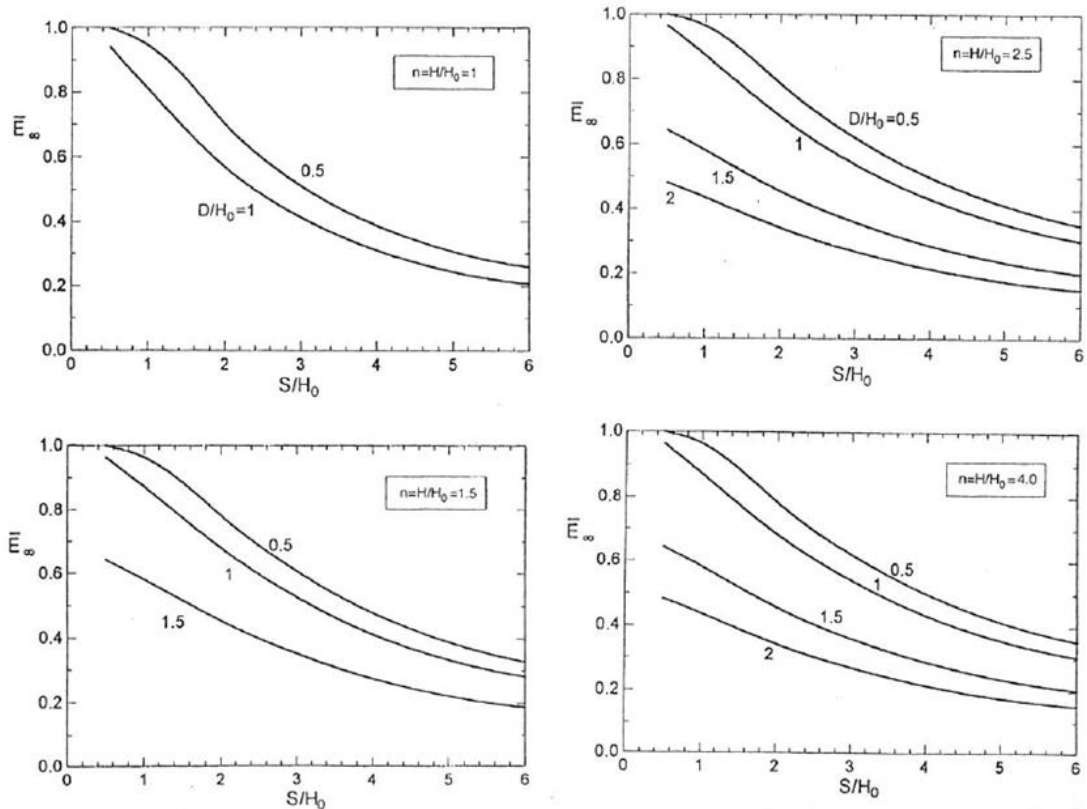


Fig 3 - Efficienza idraulica a regime di un sistema di trincee drenanti – lama d'acqua al piano campagna (Desideri et al., 1997)

Per il rapporto H/H_0 sono stati considerati quattro valori: 1, 1.5, 2.5 e 4. Non sono stati considerati valori di $n > 4$ dal momento che i risultati non differiscono apprezzabilmente tra loro nell'intorno delle trincee al crescere di n oltre tale valore. Tenuto conto degli interassi utilizzati più frequentemente, si sono considerati infine valori di S/H_0 compresi nell'intervallo 1-6.

L'efficienza idraulica media è stata valutata su quattro piani orizzontali posti a diverse profondità D dal piano campagna: $D/H_0 = 0.5, 1, 1.5, 2$. L'integrazione di E è stata estesa a tutto l'interasse S , assumendo pressioni interstiziali nulle all'interno della trincea. L'evoluzione temporale dell'efficienza è stata espressa in funzione del fattore tempo T , espresso nella forma:

$$T = \frac{k_v}{\gamma_w H_0^2} \frac{E'}{2(1+v')(1-2v')} \cdot t$$

Dal punto di vista operativo dunque, si procede, **per problemi di progetto**, nel modo seguente:

1. Si fissa un valore di depressione della falda Δu e quindi un'efficienza idraulica del sistema da ottenere
2. Si determina il rapporto H/H_0 in funzione della posizione del tetto impermeabile, e quindi si individua l'abaco di riferimento tra quelli proposti da Desideri

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE**3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud****4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia**

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 21 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

3. Si determina il rapporto D/H_o funzione della posizione delle superficie rispetto alla quale valutare l'efficienza idraulica , e quindi individua una delle curve presenti nell'abaco scelto
4. In funzione del valore di efficienza di progetto, di determina nell'abaco stesso il rapporto S/H_o e quindi l'interasse **S** da assegnare alle trincee drenanti.

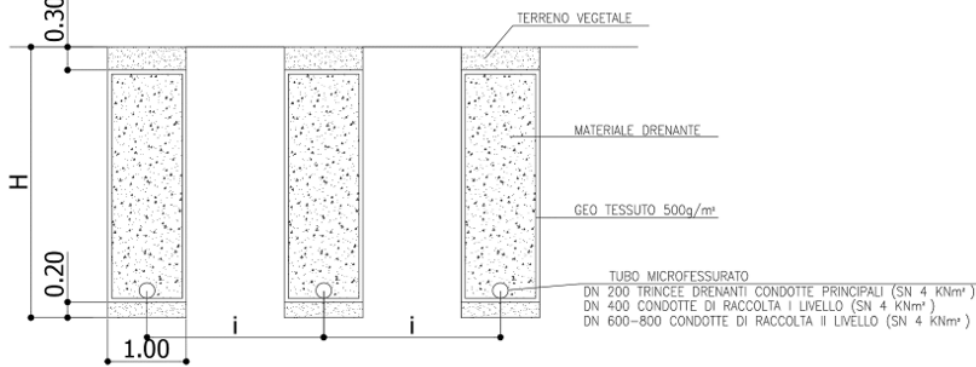
Per problemi di verifica, invece risulta già definito il valore S/H_o quale dato di progetto, si determina il corrispondente valore di efficienza E è quindi il livello della falda finale H_{wf} che può essere assunto nelle verifiche post operam, a valle della realizzazione dell'intervento di drenaggio.

7. EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DI PROGETTO

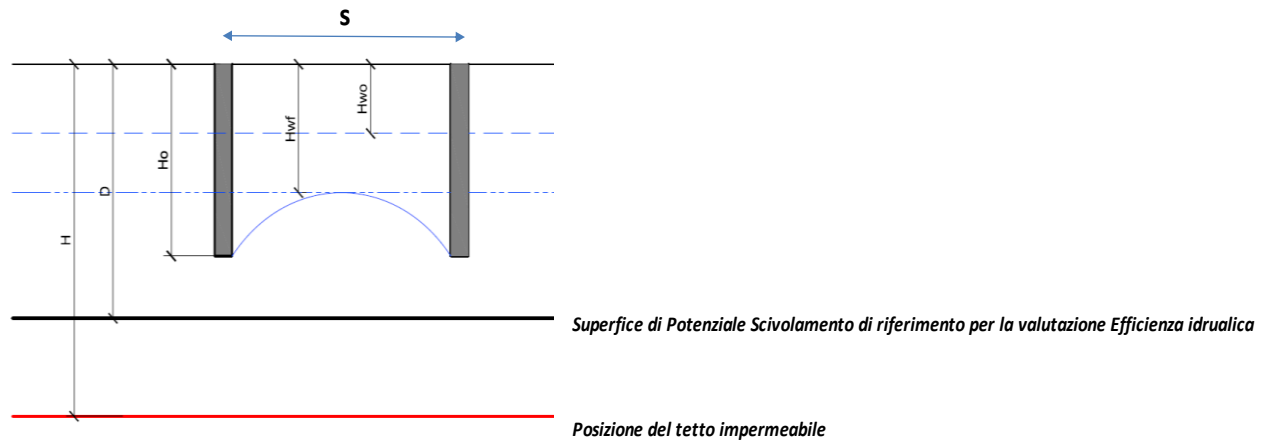
Le caratteristiche delle trincee drenanti di progetto, sono riepilogate nella tabella e nello schema grafico seguente:

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 22 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Trincee drenanti				
Codice Area	PK iniz.	PK fin.	H (m)	i (m)
F-16-0683	10+520,00	10+960,00	4,00	13,50
F-19-1682	12+340,00	12+540,00	3,50	12,50

TRINCEE DRENANTI SEZ. A-A
SCALA 1:50


Per la valutazione dell'efficienza idraulica degli interventi previsti, si fa riferimento ai criteri già esposti al precedente paragrafo 6.2



Modello di riferimento per la valutazione Efficienza Trincee Drenanti

Tenendo conto dei dati geotecnici-geomorfologici già esposti nei precedenti paragrafi, è possibile fissare i seguenti dati di progetto utili alla valutazione dell'efficienza idraulica.

Profondità media della Superficie di Potenziale Scivolamento (D) = 4.5 m

Livello medio di Falda ante-operam (Hwo) = 1.5 m da p.c. (4.4m da superficie di scivolamento)

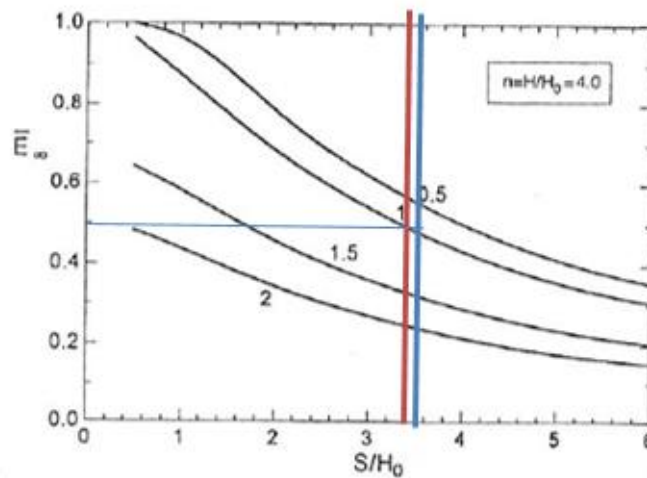
Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 23 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

Posizione media del tetto impermeabile (H) = 13m

Sulla scorta dei dati precedenti, e tenendo conto dei criteri generali esposti al precedente paragrafo 6.2, si riportano di seguito in forma tabellare i risultati della valutazione dell'efficienza degli interventi di drenaggio previsti nelle due aree in esame.

VALUTAZIONE EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI aree 8 e 10

Trincea	H ₀ (m)	(H/H ₀)	(H/H ₀) calcolo	D(m)	D/H ₀	H _{w0} (m)	u ₀ (KPa)	S(m)	S/H ₀ (m)	E (abaco)	Δu=E x U ₀ (KPa)	U _F = U ₀ -Δu (KPa)	H _{wf} (m)
10+520-10+960	4	3,25	4	4,50	1,13	1,5	30	13,50	3,38	0,50	15	15	3,00
12+340-12+540	3,5	3,71	4	4,50	1,29	1,5	30	12,50	3,57	0,50	15	15	3,00


Determinazione Efficienza da Abachi di Desideri

I risultati delle analisi effettuate di cui alla tabella precedente, evidenziano pertanto che gli interventi di drenaggio in progetto, garantiscono un livello di falda di progetto a lungo termine H_{wf} (post operam) \cong 3.00 da p.c., quale riferimento per le Analisi di Stabilità dei versanti a lungo termine.

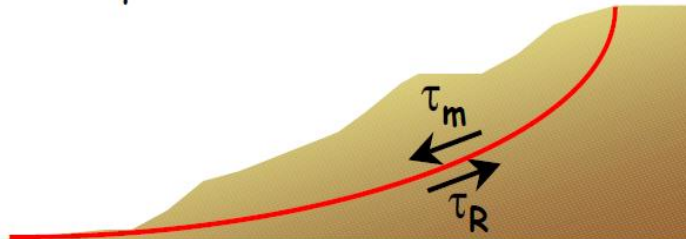
Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 24 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

8. STABILITA' DEI PENDII : RICHIAMI E PRESCRIZIONI NORMATIVE

8.1 RICHIAMI TEORICI

Per la analisi di stabilità globale presentate nel seguito del presente documento, si è fatto riferimento ai 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:



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

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.

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

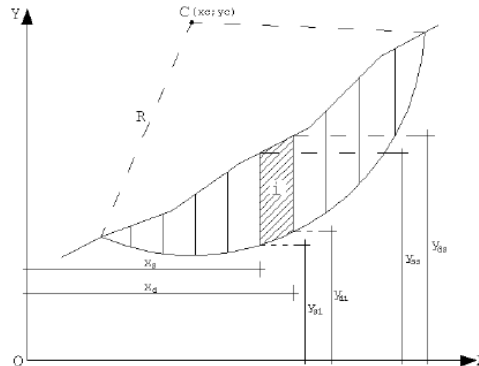
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

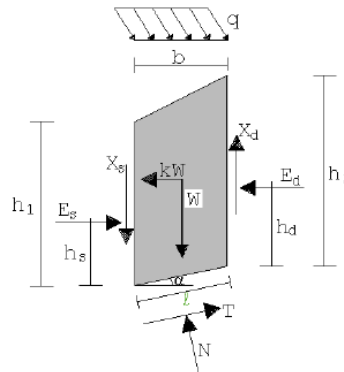
Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabiano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 25 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------



Il sistema di riferimento assunto è riportato in figura.



Come anticipato, in linea generale, gran parte dei metodi di equilibrio limite, considerano superfici di scivolamento di forma circolare, a parte qualche caso come quello messo a punto da **Morgestern e Price** che consente di effettuare le verifiche anche a superfici di forma generica.

Per tale ragione, dovendo valutare per il caso in studio coefficienti di sicurezza disponibili anche rispetto a superfici con andamento pressochè lineare o comunque poligonali, rappresentate nella fattispecie dalle zone di contatto tra le formazioni superficiali alterate ed il substrato, nelle aree del tracciato catalogate come in aree in frana attiva, si è previsto di impiegare il suddetto metodo, di cui nel seguito si riporta la trattazione teorica

8.1.1 IL METODO DI MORGESTERN E PRICE

La principale ipotesi del metodo di Morgenstern-Price è quella di considerare nota la forma della funzione che lega le forze di interstriscia tangenziali X con le forze normali E .

In particolare la suddetta relazione si esprime come

$$X = \lambda f(x) E$$

dove λ è una costante scalare incognita ed $f(x)$ è una funzione di inclinazione definibile dall'Utente con la limitazione $|f(x)| \leq 1$.

Questo metodo consente l'analisi di stabilità per qualsiasi forma della superficie di rottura.

Supponendo che la linea di rottura abbia equazione $y = y(x)$ e la linea delle forze abbia equazione

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 26 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

$y = y_t(x)$ il coefficiente di sicurezza nel metodo di Morgenstern-Price si ottiene risolvendo il sistema di equazioni differenziali che esprimono l'equilibrio alla traslazione e quello alla rotazione.

Lo stesso Morgenstern ammette che la risoluzione di queste equazioni differenziali è tutt'altro che agevole, e suggerisce di linearizzare il problema in modo

la superficie di rottura ha sulla striscia un'espressione del tipo $y = Ax + B$

la funzione $f(x)$ ha sulla striscia un'espressione del tipo $f(x) = kx + m$

la funzione peso ha sulla striscia un'espressione del tipo $\frac{dW}{dx} = px + q$

Con queste assunzioni le equazioni differenziali risolutive possono esprimersi nella seguente forma:

$$\frac{dE}{dx}(Kx + L) + KE = Nx + P$$

$$X = \frac{dE}{dx}y - \frac{d}{dx}(Ey_t)$$

le cui condizioni al contorno sono:

$$E(x) = E_a \quad \text{quando } x = x_0$$

$$E(x) = E_b \quad \text{quando } x = x_n$$

$$M = E(y - y_t) = \int_{x_0}^{x_n} \left(X - E \frac{dy}{dx} \right) dx = 0$$

I termini del sistema sono dati da:

$$K = \lambda k \left(\frac{\tan \phi}{F} + A \right)$$

$$L = \lambda m \left(\frac{\tan \phi}{F} + A \right) + A \frac{\tan \phi}{F} - 1$$

$$N = p \left[A + \frac{\tan \phi}{F} - r_u (1 + A^2) \frac{\tan \phi}{F} \right]$$

$$P = q \left[A + \frac{\tan \phi}{F} - r_u (1 + A^2) \frac{\tan \phi}{F} \right] + \frac{c}{F} [1 + A^2]$$

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 27 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Inoltre il termine ru è il coefficiente adimensionale che tiene conto della pressione neutra ed è definito dalla relazione: $ru = u_w/W_b$.

Lo schema iterativo che permette di determinare il coefficiente di sicurezza è il seguente:

si assegnano due valori ad F ed a λ ;

si calcolano M_i ed E_i dalle equazioni riportate;

si calcolano $\delta\lambda$ e δF ;

si incrementano $\lambda = \lambda + \delta\lambda$ ed $F = F + \delta F$;

si controlla la convergenza nel qual caso si ferma l'iterazione altrimenti si torna al punto 2.

dove gli incrementi per λ ed F sono espressi da:

Per la determinazione degli incrementi si ricorre al procedimento di Newton-Rapshon a due variabili:

$$\delta\lambda = \frac{M_n \frac{dE_n}{dF} - E_n \frac{dM_n}{dF}}{\frac{dE_n}{d\lambda} \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{d\lambda} \frac{dE_n}{dF}}$$

$$\delta F = \frac{E_n \frac{dM_n}{dF} - M_n \frac{dE_n}{dF}}{\frac{dE_n}{d\lambda} \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{d\lambda} \frac{dE_n}{dF}}$$

dove M_n ed E_n sono i valori di M ed E all'ultima striscia.

8.2 PRESCRIZIONI DM 14-01-08

Le NTC affrontano il tema della Stabilità Globale distinguendo il caso dei Pendii Naturali da quello delle opere in terra in materiali sciolti e fronti di scavo (quali ad esempio rilevati stradali ed opere annesse, scavi di rimodellamento dei versanti ecc.) fornendo prescrizioni differenti circa i criteri di verifica da adottare nei due casi.

8.2.1 STABILITÀ DI PENDII NATURALI

Il punto 6.3 delle NTC e relativa circolare applicativa, tratta l'argomento della verifica di stabilità di pendii naturali, nella fattispecie, al punto 6.3.4 "Verifiche di Sicurezza" viene prescritto quanto di seguito:

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali.

Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.

	2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE 3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud 4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano Relazione di calcolo							
	Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A

Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Il livello di sicurezza è espresso, in generale, come rapporto tra resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico, e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale.

Il grado di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve essere giustificato sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

In sintesi dunque, per la verifica delle condizioni di stabilità di Pendii Naturali, sia le azioni che le resistenze vanno considerate con il relativo valore caratteristico, senza cioè impiego di coefficienti correttivi tipici dei metodi semi-probabilistici agli stati limite.

8.2.2 VERIFICHE IN FASE SISMICA

Per ciò che concerne le verifiche in condizioni sismiche, la normativa fornisce al punto 7.11.3.5 indicazioni circa le azioni aggiuntive da considerare nell'ambito delle verifiche di Stabilità di Pendii in occasione di eventi sismici; nella fattispecie, si specifica che L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nei metodi pseudostatici, di riferimento per le analisi esposte nel seguito del documento, l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tali forze possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W \quad (\text{azione sismica orizzontale})$$

$$F_v = k_v \times W \quad (\text{azione sismica verticale})$$

risultando:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad (7.11.3)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.4)$$

con:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, come da indicazioni Tab 7.11.1 ;

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 29 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Tabella 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g \text{ (accelerazione massima attesa al sito)}$$

S_S : coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_T : coefficiente di amplificazione topografica

Relativamente alla combinazione degli effetti sismici con le altre azioni e relative verifiche di sicurezza, ancora la circolare 617, per il caso dei **Pendii Naturali**, specificano al punto C7.11.3.5 "Stabilità dei Pendii" viene specificato che le verifiche di sicurezza devono essere effettuate utilizzando i valori caratteristici delle proprietà meccaniche dei terreni; nei metodi pseudostatici la condizione di stato limite ultimo viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza, FS, definito come rapporto tra resistenza al taglio disponibile e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale)

9. ANALISI DI STABILITA' DEI VERSANTI OGGETTO DI INTERVENTO

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle verifiche di stabilità dei versanti oggetto degli interventi di stabilizzazione con trincee drenanti, effettuate con i criteri stabiliti dalla normativa per il caso dei pendii naturali, facendo dunque riferimento ai parametri caratteristici delle unità geotecniche; i risultati delle analisi di stabilità devono garantire in questo caso il soddisfacimento della relazione $R_d > E_d$, ovvero il coefficiente di sicurezza risultante dalla verifica deve risultare almeno pari all'unità.

Le verifiche in condizione Ante Operam sono state eseguite con riferimento al livello medio di falda relativo allo stato attuale, mentre per le condizioni post operam, si è tenuto conto del livello di falda di progetto garantito dagli interventi di drenaggio (-3m da p.c.) in tutta la zona di potenziale effetto degli interventi, stimata pari a circa 100m a cavallo del corpo stradale di progetto.

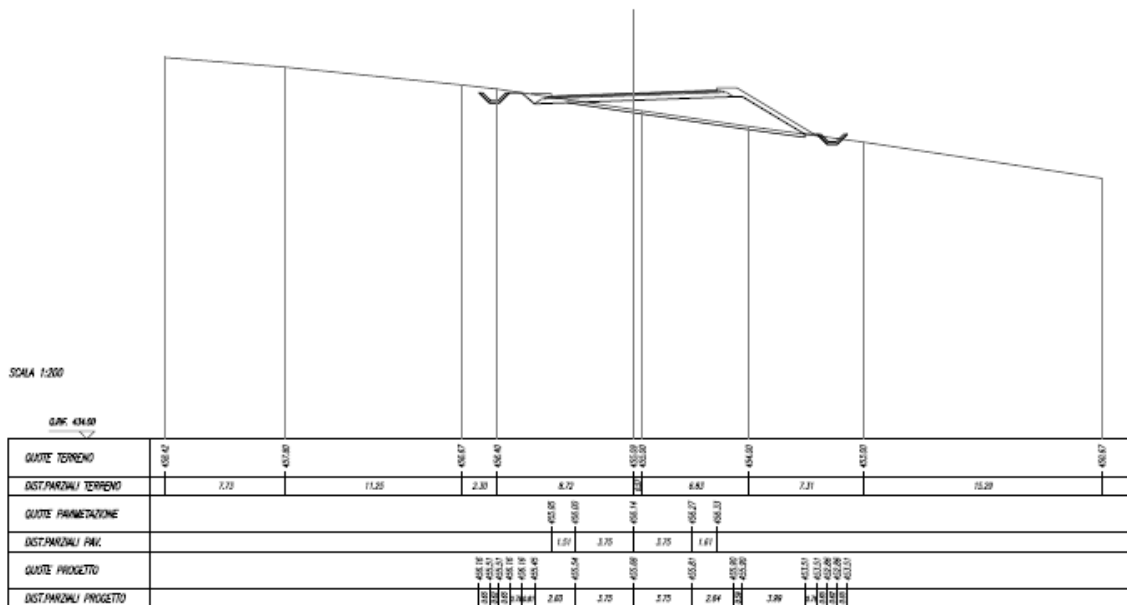
Per la modellazione della configurazione geometrica e di carico dei versanti nelle condizioni ante e post operam, si è fatto riferimento alle seguenti sezioni trasversali rappresentative dei due tratti di intervento:

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud
4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 31 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

 SEZIONE N. : 654
 Q. PROGETTO : 456.136
 DIST. PKL : 12+400,00


- Sezione Trasversale tipo Tratto da pk 12+340 a pk 12+540 -

Tenendo conto dell'analogia di configurazione dei due tratti di versante sia in termini di configurazione geometrica che geotecnica, nonché per ciò che concerne l'efficienza degli interventi di drenaggio previsti, si è fatto riferimento per le analisi ad un unico modello rappresentativo delle condizioni maggiormente gravose ai fini delle analisi, schematizzato come segue:

- Inclinazione media : 11-12 °
- Spessore coltre instabile : 4.50m
- Estensione del rilevato su p.c. per configurazione post-operam : 30m
- Carico rappresentativo della sagoma del rilevato su p.c. post-operam : 100 Kpa

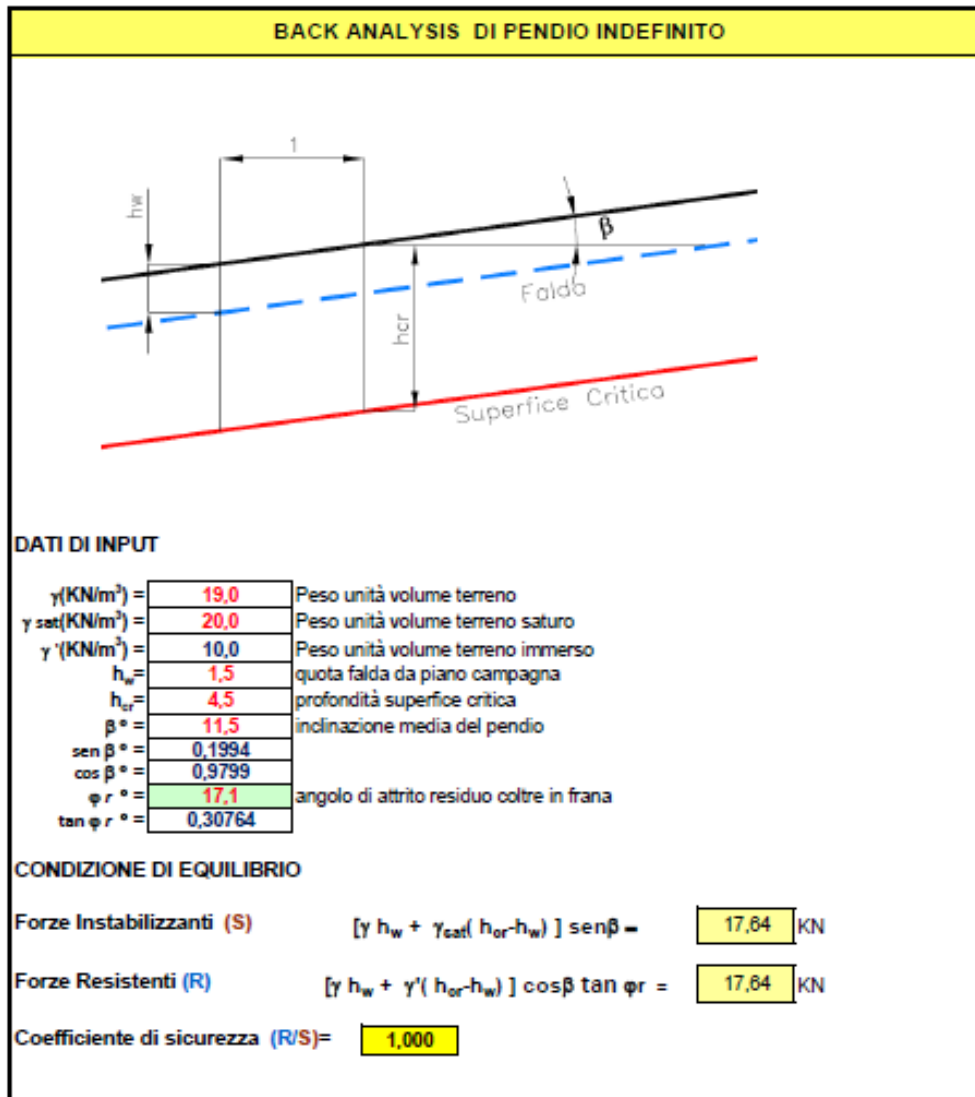
Con le ipotesi appena descritte sono stati implementati i modelli di Analisi di Stabilità effettuate con l'ausilio del Software Stab full prodotto dalla Aztec Informatica, che evidenziano il beneficio apportato dagli interventi di progetto tra le condizioni Ante e Post Operam

I modelli implementati ed i risultati delle analisi effettuate sono esposti in forma grafica ai paragrafi successivi, da cui si evince il beneficio apportato dagli interventi di drenaggio, che garantiscono, per la condizione Post Operam, il rispetto dei coefficienti di sicurezza minimi di normativa sia in fase statica che in fase sismica.

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 32 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

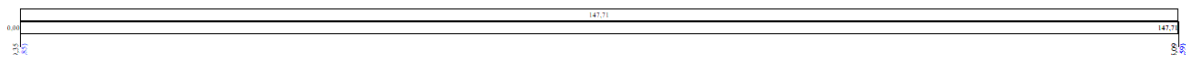
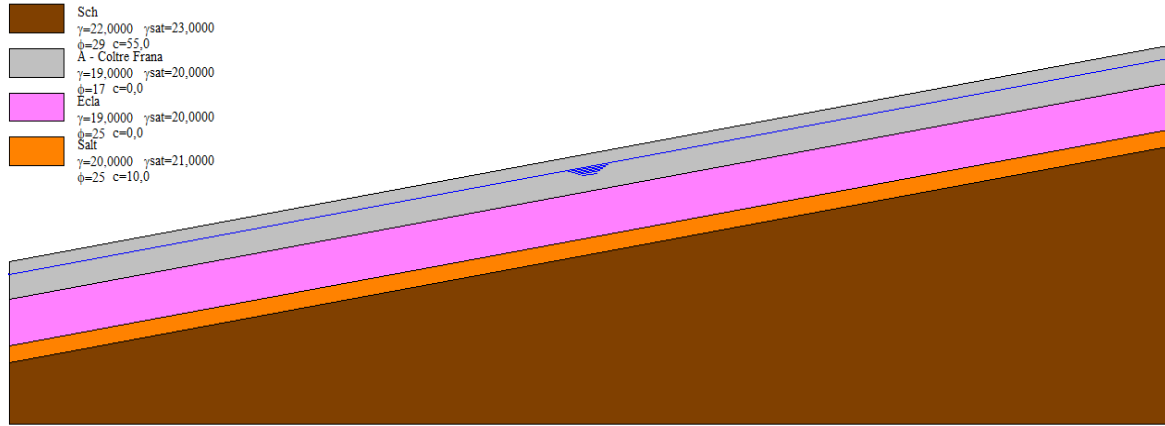
9.1 ANALISI STATICA ANTE OPERAM (BACK-ANALYSIS)

L'analisi statica Ante-operam, o Back Analysis, consente di definire il valore dell'angolo di attrito residuo della coltre instabili nelle condizioni attuali; come evidente dall'esito della verifica effettuata con riferimento alla condizione di pendio indefinito, per $\varphi=17.1^\circ$ quale valore dell'angolo residuo della coltre in frana, la verifica di stabilità globale restituisce un coefficiente di sicurezza unitario.

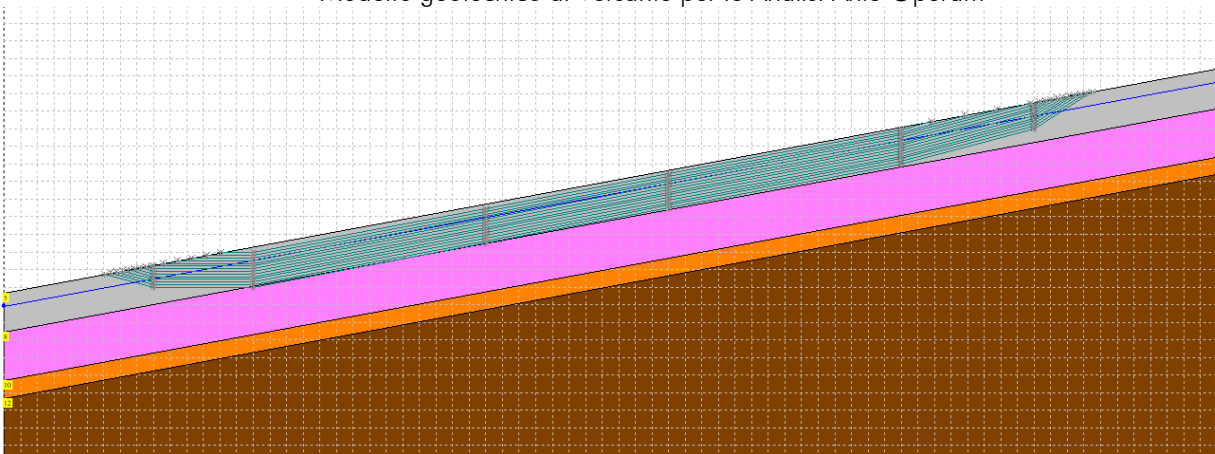


Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 33 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

9.1 MODELLO GEOTECNICO DI VERSANTE ANTE OPERAM



Modello geotecnico di Versante per le Analisi Ante Operam



Configurazione delle potenziali superfici di scorrimento indagate

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 34 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------

9.2 ANALISI SISMICA ANTE OPERAM

Opzioni sisma

D.M. 1996

Coefficiente di intensità sismica %

Intensità sismica - verticale/Drizzontale

N.T.C. 2008/2018

	SLV	SLD
Accelerazione al suolo a_g [m/s ²] ag/g = 0.220	2,158	0,000
Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0	2,544	0,000
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc*	0,333	0,000
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S _s	Tipo C <input type="text" value="1,364"/>	1,500
Coeff. amplificazione topografica S ^T	T1 <input type="text" value="1,00"/>	
Coefficiente di riduzione (β _s)	C <input type="text" value="0,28"/>	0,28
Coefficiente di riduzione (β _{s2})	<input type="text" value="0,38"/>	0,47

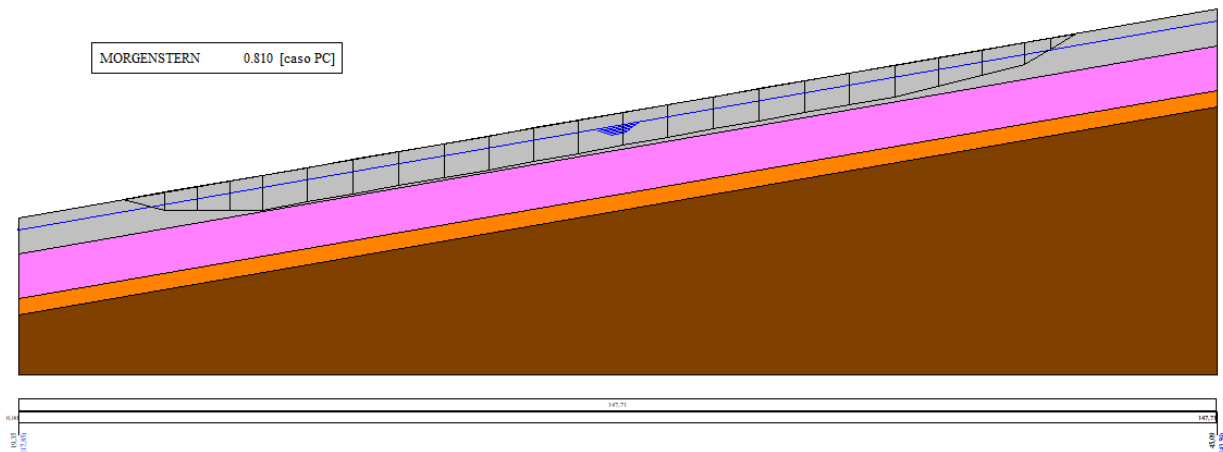
Coeff. di intensità sismica orizzontale (PC) - Kh [%] = 8,40

Coeff. di intensità sismica orizzontale (A2-M2) - Kh [%] = 8,40

Intensità sismica - Verticale/Drizzontale

<< Importa parametri sismici >> Dettagli -->

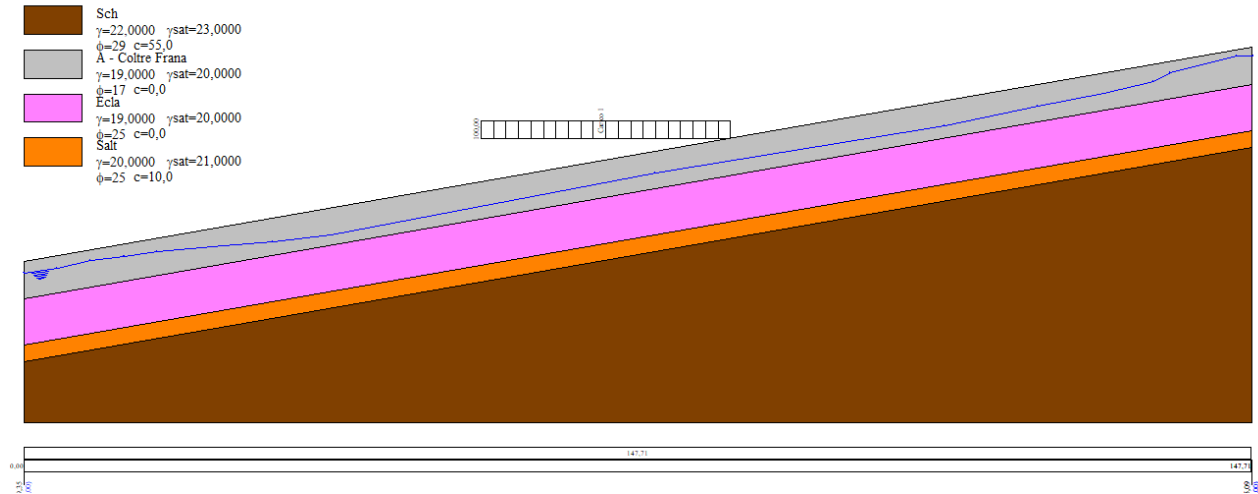
Accetta Annulla Help



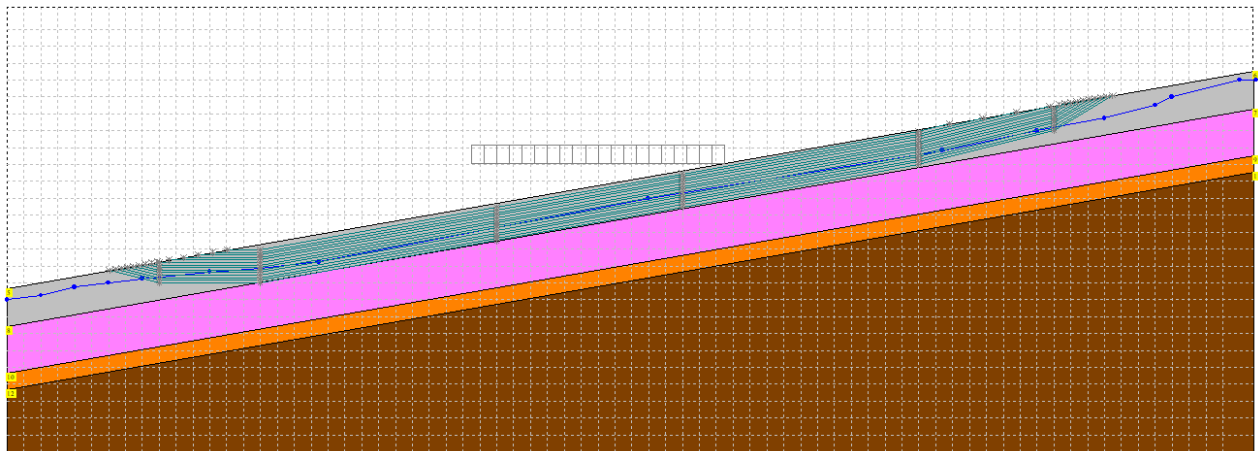
Analisi Sismica Ante – Operam ($F_s \approx 0.81 < 1$)

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 35 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

9.3 MODELLO GEOTECNICO DI VERSANTE POST- OPERAM



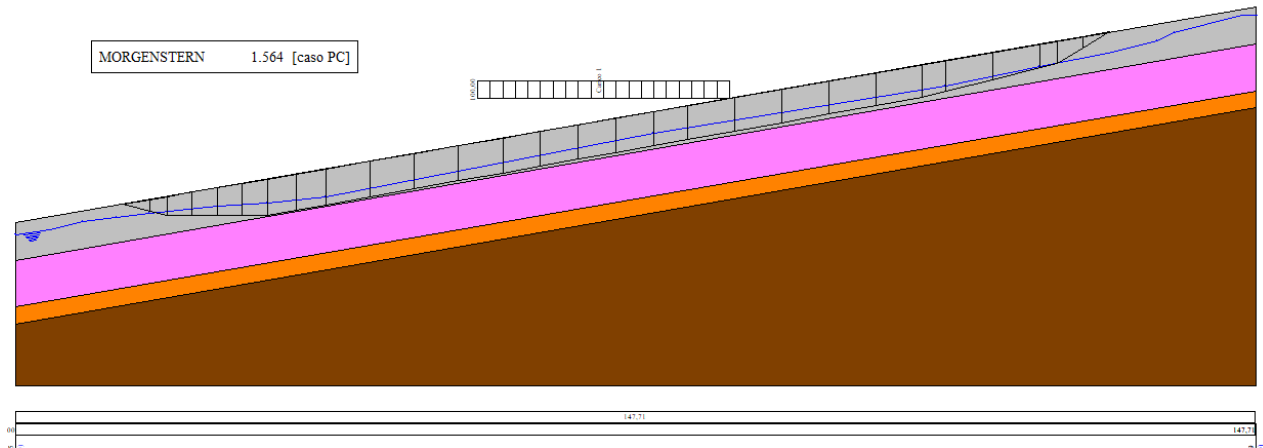
Modello geotecnico di versante – Post Operam



Configurazione delle potenziali superfici indagate

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id. doc. REL	N. prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 36 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	-----------------	----------------	-----------	--------------------------

9.4 ANALISI STATICA POST OPERAM



Analisi Statica Post – Operam ($F_s \approx 1.564 > 1$)

9.5 ANALISI SISMICA POST OPERAM

Opzioni sisma

D.M. 1996

Coefficiente di intensità sismica %

Intensità sismica verticale/Orizzontale

N.T.C. 2008/2018

	SLV	SLD
Accelerazione al suolo a_g [m/s^2] $a_g/g = 0.220$	2,158	0,000
Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0	2,544	0,000
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*	0,333	0,000
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico S_s	Tipo C <input type="text" value="1,364"/>	1,500
Coeff. amplificazione topografica S^T	T1 <input type="text" value="1,00"/>	
Coefficiente di riduzione (β_s)	C <input type="text" value="0,28"/>	0,28
Coefficiente di riduzione (β_{s2})	<input type="text" value="0,38"/>	0,47

Coeff. di intensità sismica orizzontale (PC) - K_h [%] = 8,40

Coeff. di intensità sismica orizzontale (A2-M2) - K_h [%] = 8,40

Intensità sismica Verticale/Orizzontale

<< Importa parametri sismici >> Dettagli -->

Accetta Annulla Help

2.1.1 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

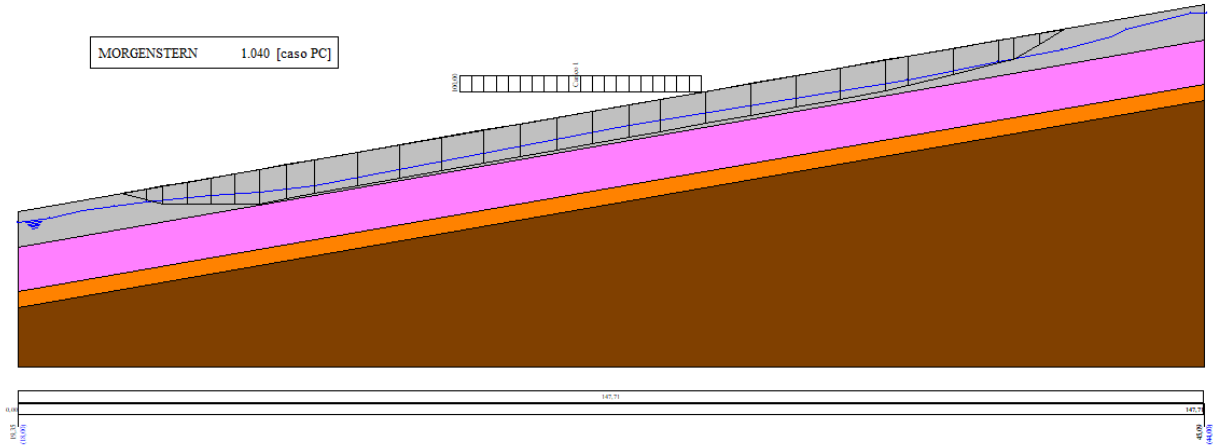
3° stralcio funzionale: Castelraimondo nord - Castelraimondo sud

4° stralcio funzionale: Castelraimondo sud - innesto S.S. 77 a Muccia

Spingitubo attraversamento linea FS Civitanova Marche-Fabriano

Relazione di calcolo

Opera L0703	Tratto 213	Settore E	CEE 14	WBS E16OS1001	Id.doc. REL	N.prog. 01	Rev. A	Pag. di Pag. 37 di 37
----------------	---------------	--------------	-----------	------------------	----------------	---------------	-----------	--------------------------



Analisi Sismica Post – Operam ($F_s \cong 1.04 > 1$)