

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

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

PROGETTAZIONE: Associazione Temporanea di Imprese
Mandataria:

			
--	--	---	--

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

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Ing. Giulio Petrizzelli		
--	--	--

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord OPERE D'ARTE MINORI Opere di Sostegno e Dreni Stabilità Versanti e Trincee Drenanti: Relazione Tecnica e di Calcolo	SCALA: DATA: Maggio 2017
--	--

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

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

REV.	DATA	DESCRIZIONE	Redatto		Controllato	Approvato
C	FEBBRAIO 2017	Emissione a seguito di istruttoria	PROGIN	A.FALACE	S.LIETO	A.GRIMALDI
D	APRILE 2017	Emissione a seguito di istruttoria	PROGIN	A.FALACE	S.LIETO	A.GRIMALDI
E	MAGGIO 2017	Emissione per validazione RINA	PROGIN	A.FALACE	S.LIETO	A.GRIMALDI

I N D I C E

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. AREE OGGETTO DI STUDIO ED INTERVENTI DI MITIGAZIONE	5
4. QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	9
5. ANALISI DI STABILITA' GLOBALE: CRITERI E PRESCRIZIONI NORMATIVE	11
5.1 RICHIAMI TEORICI	11
5.1.1 Il metodo di Morgenstern e Price	12
5.2 PRESCRIZIONI NORMATIVE.....	15
5.2.1 Stabilità di pendii naturali – Condizioni statiche.....	15
5.2.2 Stabilità dei pendii naturali – Fase sismica.....	15
6. ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI VERIFICA.....	17
6.1 PESI PROPRI E PERMANENTI	17
6.2 AZIONI ACCIDENTALI	17
6.3 AZIONI SISMICHE.....	17
6.4 COMBINAZIONI DI CARICO	18
7. TRINCEE DRENANTI: ASPETTI GENERALI E DI CALCOLO	19
7.1 L' EFFICIENZA IDRAULICA.....	20
7.2 DIMENSIONAMENTO DELLE TRINCEE	22
7.3 EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI DI PROGETTO	25
7.3.1 Trincee zona imbocco nord Galleria Croce di Calle (km 1+680 - 1+900).....	25
7.3.2 Trincee zona imbocco sud Galleria Croce di Calle (km 3+240-3+320).....	28
7.3.3 Trincee drenanti zona Monte Gallo 1 (km 4+628 - 4+740).....	30
7.3.4 Trincee drenanti zona Monte Gallo 2 (km 4+860 - 4+980).....	32
8. RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DI STABILITA'	34
8.1 VERSANTE SUD CROCE DI CALLE – F12-1435.....	35
8.2 VERSANTE NORD MONTE GALLO – F12-1423	38
8.3 VERSANTE NORD MONTE GALLO – F12-1418	41

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica e di calcolo viene inquadrata nell'ambito del progetto di completamento della direttrice Perugia – Ancona "Pedemontana delle Marche": Sub Lotto 2.2 Tratto Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord.

Il tracciato stradale in progetto interferisce con n. 5 aree a rischio idrogeologico moderato (R1) e pericolosità elevata e moderata (P3 e P2) censite con i codici F-12-1433, F-12-1439, F-12-1435, F12-1423 e F12-1418 nel Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche approvato con Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004.

Lungo il tratto è prevista la realizzazione interventi di stabilizzazione costituiti da drenaggi superficiali composti da reticoli di aste drenanti ed un opera di presidio rappresentata da un muro su pali. Tali interventi sono finalizzati a migliorare le condizioni generali di stabilità dei versanti potenzialmente instabili intercettati dal tracciato di progetto dell'Infrastruttura.

Oggetto della trattazione nel seguito esposta è pertanto l'illustrazione di alcuni aspetti di carattere generale e di calcolo relativi agli interventi di stabilizzazione dei versanti con trincee drenanti, la valutazione dell'efficienza idraulica, e quindi le verifiche di stabilità per i corpi in dissesto.

Verranno illustrati i calcoli di dimensionamento per i sistemi di trincee drenanti di seguito riportati:

- Trincee drenanti zona Imbocco Nord Galleria Croce di Calle (km 1+680 – 1+900);
- Trincee drenanti zona Imbocco Sud Galleria Croce di Calle (km 3+240 – 3+320);
- Trincee drenanti zona Monte Gallo 1 (km 4+628 – 4+740);
- Trincee drenanti zona Monte Gallo 2 (km 4+860 – 4+980);

Vengono inoltre svolte le analisi dei versanti sia ante-operam che post-operam al fine di evidenziare i miglioramenti ottenuti mediante gli interventi di mitigazione e di eseguire le verifiche di sicurezza prescritte dalla normativa:

- Stabilità versante Sud Croce di Calle (Zona F-12-1435);
- Stabilità versante Nord Monte Gallo 1 (Zona F12-1423);
- Stabilità versante Nord Monte Gallo 2 (Zona F12-1418).

Per le zone di versante instabile segnalati dal PAI non trattati in questo documento si rimanda alla "Relazione Geologica, Geomorfologica e Geoidrologica Generale" – L0703212E02GE0000REL01".

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la redazione del progetto degli interventi oggetto della presente relazione, si è fatto riferimento alle seguenti normative:

- **D.M. 14/01/2008.**
Norme tecniche per le costruzioni.
- **Circolare del 02/02/2009.**
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14/01/2008.
- **D.M. LL. PP. 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.

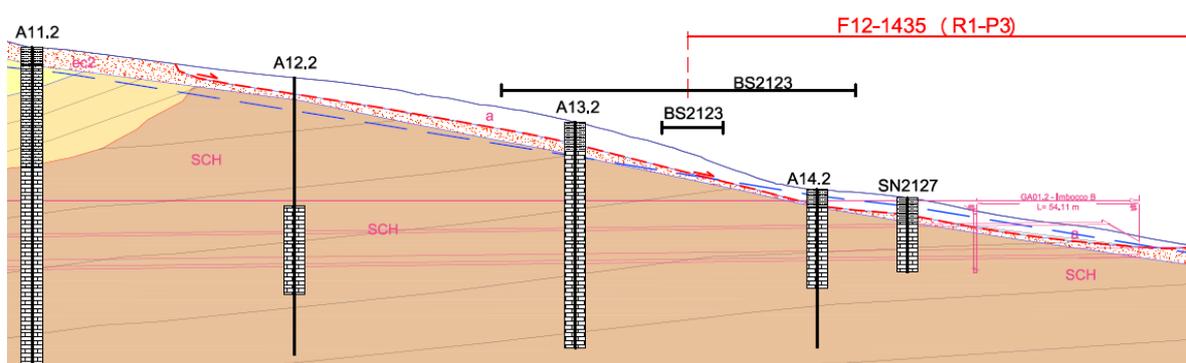
3. AREE OGGETTO DI STUDIO ED INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Come anticipato in premessa, in alcune delle aree interessate dalle realizzazioni delle opere in progetto 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 individuato per l'area in questione dalle Mappe di Franosità, per i cui dettagli si rimanda a quanto indicato nella Relazione Geologica Generale di Progetto. Per ciascuna area censita nel PAI si è proceduto ad una analisi geomorfologica dei versanti interessati oltre al loro monitoraggio mediante l'installazione di inclinometri e piezometri.

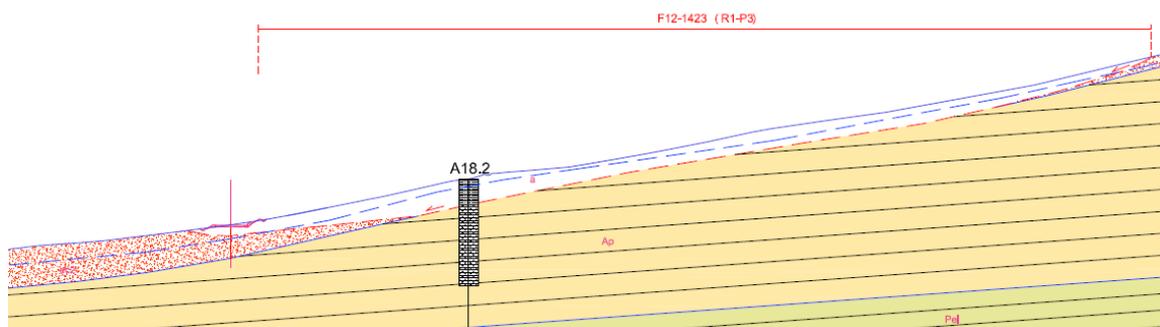
Si è pertanto proceduto a verifiche di stabilità dei versanti in oggetto finalizzate principalmente alla valutazione quantitativa degli effetti del drenaggio delle acque di circolazione, che risultano tra le cause principali delle condizioni di dissesto.

I tratti di versante oggetto di intervento sono quelli intercettati dal tracciato di progetto tra le pk 1+680 e 1+900 (zona di imbocco Nord della Galleria Naturale Croce di Calle), tra le pk 3+240 e 3+320 (zona di imbocco Sud della Galleria Naturale Croce di Calle), tra le pk 4+628 e 4+740 e tra le pk 4+860 e 4+980 ricadenti nella zona Nord del Monte Gallo.

Si riportano di seguito gli stralci delle zone di interesse estratti dai profili e dalle sezioni geologiche:



Profilo Geologico – Versante Sud Croce di Calle - F12-1435



Sezione Geologica Trasversale – Versante Nord Monte Gallo - F12-1423

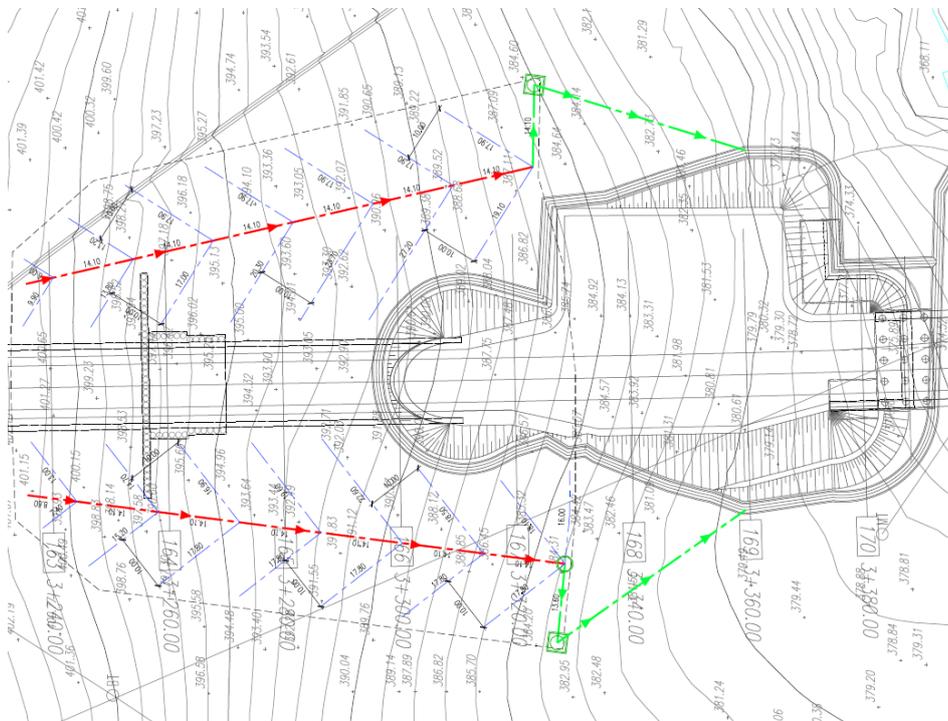
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

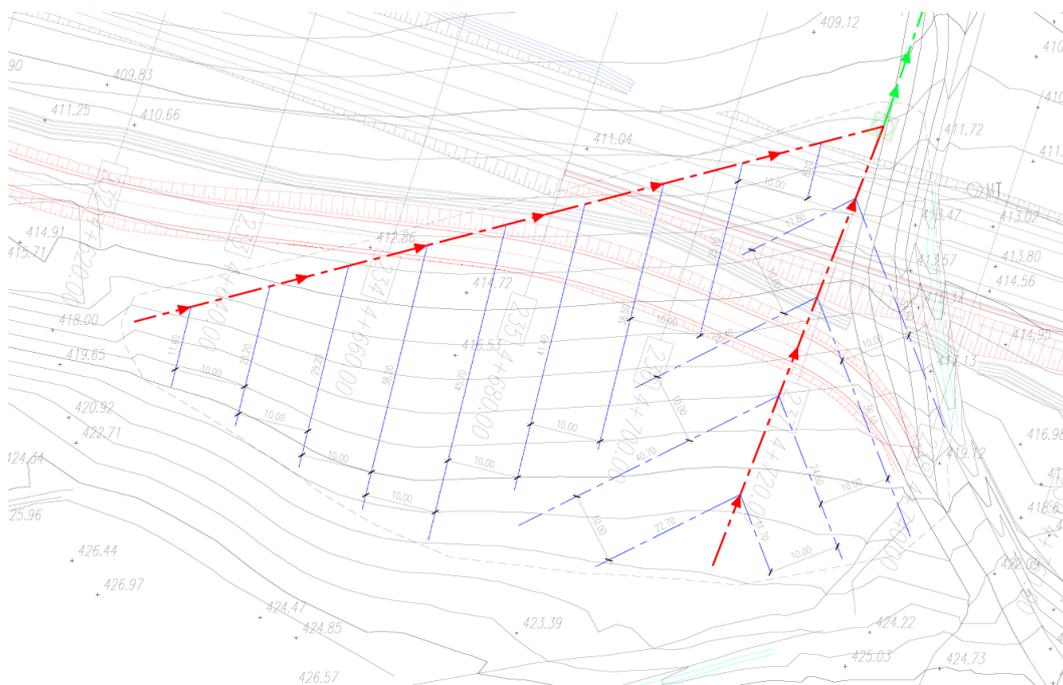
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.cbc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	O1000	REL	01	E	7 di 44



Area di intervento con trincee drenanti – Zona Imbocco Sud GN Croce di Calle – F12-1435



Area di intervento con trincee drenanti – Pk 4+628 e 4+740 – F12-1423

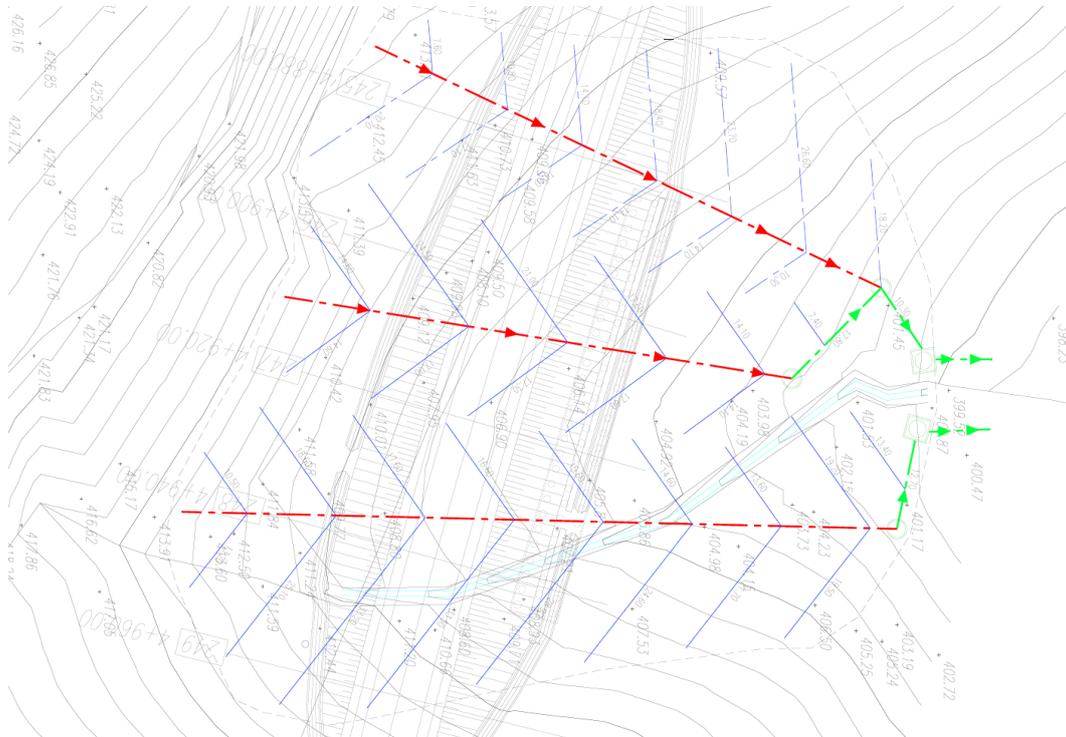
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.dbc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	8 di 44



Area di intervento con trincee drenanti – Pk 4+860 e 4+980 – F12-1418

4. QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Nel seguito si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le varie unità geotecniche.

Unità Ecla - Depositi eluvio colluviali limoso argillosi

$\gamma = 18.5 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 24 \div 27^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$ coesione drenata

$\varphi_r' = 14^\circ \div 21^\circ$ **angolo di resistenza al taglio residuo (i parametri minimi vanno associate alle coltri con instabilità attiva, unità a)**

$c_r' = 0 \text{ kPa}$ **coesione drenata residua**

$c_u = 50 \div 160 \text{ kPa}$ resistenza al taglio in condizioni non drenate

$E_o = 100 \div 400 \text{ MPa}$ modulo di deformazione elastico iniziale

Unità Salt – Substrato alterato argilloso limoso

$\gamma = 20.0 \div 20.5 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

$\varphi' = 27 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 20 \text{ kPa}$ coesione drenata

$E_o = 150 \div 600 \text{ MPa}$ 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

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

$\varphi' = 31 \div 35^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 120 \div 150 \text{ kPa}$ coesione drenata

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

$\varphi' = 25 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 220 \div 250 \text{ kPa}$ coesione drenata

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

$E'_{op} = 250 + 0.8 \cdot z \text{ MPa}$ per $z > 40\text{m}$

Unità Sch – Formazione dello Schlier

$\gamma = 23.0 \div 24.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale

per tensioni $\sigma_v' < 550 \text{ kPa}$:

$\varphi' = 26 \div 28^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 50 \div 60 \text{ kPa}$ coesione drenata

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 010000	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. E	Pag. di Pag. 10 di 44
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

per tensioni $\sigma_v' > 550$ kPa:

$\varphi' = 25 \div 30^\circ$ angolo di resistenza al taglio

$c' = 220 \div 250$ kPa coesione drenata

$E'_{operativo} = 20 + 5.75 \cdot z$ MPa per $z < 40$ m modulo di deformazione elastico
operativo

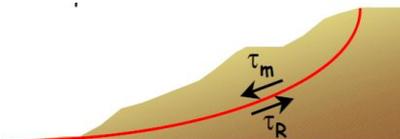
$E'_{operativo} = 250 + 0.8 \cdot z$ MPa per $z > 40$ m.

5. ANALISI DI STABILITA' GLOBALE: CRITERI E PRESCRIZIONI NORMATIVE

5.1 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.

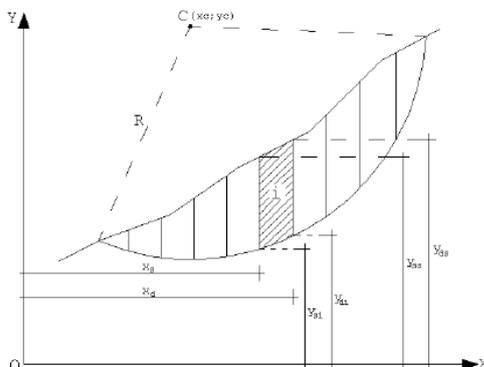
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

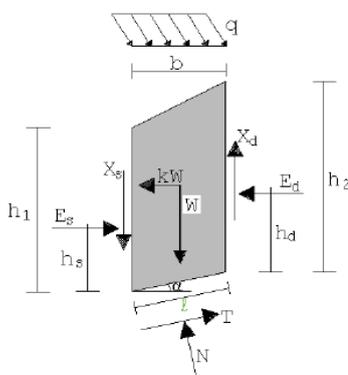
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	12 di 44



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 (M.P.)** 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 rispetto a superfici con andamento pressoché lineare, e sub-parallelo alla superficie di zona di contatto tra la formazioni superficiali alterate e/o interessate da movimenti gravitativi, ed il substrato stabile, si è previsto di esaminare le condizioni di stabilità dei Versanti in oggetto proprio mediante il metodo di **M.P.**, di cui nel seguito si riporta una descrizione della relativa impostazione teorica

5.1.1 Il metodo di Morgestern e Price

La principale ipotesi del metodo di Morgestern 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 incognita ed $f(x)$ è una funzione di inclinazione 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

$y = y_t(x)$ 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:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 010000	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. E	Pag. di Pag. 14 di 44
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

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

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

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

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

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

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.

5.2 PRESCRIZIONI NORMATIVE

Tutte le analisi e le modellazioni svolte rispettano le prescrizioni normative dettate sia dalle NTC2008 che dal D.M. LL. PP. 11-03-88.

Le NTC 2008 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.

5.2.1 Stabilità di pendii naturali – Condizioni statiche

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.

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.

Il pendio potrà considerarsi stabile se le azioni resistenti R risultano non inferiori alle azioni mobilitanti M, dovendo risultare in particolare $R/M \geq 1$

5.2.2 Stabilità dei pendii naturali – 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:

$F_h = k_h \times W$ (azione sismica orizzontale)

$F_v = k_v \times W$ (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 ;

Tabella 7.11.1 – 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

$a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$ (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 C 7.11.3.5 "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)

Il pendio potrà considerarsi stabile se le azioni resistenti **R** risultano non inferiori alle azioni mobilitanti **M**, dovendo risultare in particolare $R/M \geq 1$

6. ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI VERIFICA

Di seguito si riporta la valutazione dell'entità dei carichi previsti nell'ambito delle analisi presentate nei paragrafi successivi.

6.1 PESI PROPRI E PERMANENTI

La valutazione dei pesi propri associati alle masse potenzialmente coinvolte nell'eventuale scivolamento è condotta in automatico dal software di calcolo, in base ai pesi dell'unità di volume delle unità Geotecniche definite nella Relazione Geotecnica e di Calcolo dell'Opera.

Per quanto riguarda la valutazione dei Pesi delle opere in terra, quali rilevati o opere di stabilizzazione quali terre rinforzate ecc., inputati nei modelli di calcolo utilizzati con la effettiva geometria di progetto, si è assunto un peso dell'unità di volume $\gamma = 20 \text{ KN/mc}$ ($\varphi = 35^\circ$)

6.2 AZIONI ACCIDENTALI

Ai fini delle verifiche si è tenuto conto anche della presenza di un'azione variabile in corrispondenza della piattaforma stradale di progetto, di un carico equivalente rappresentativo delle azioni di traffico, assunto nello specifico pari a 20 KN/mq .

6.3 AZIONI SISMICHE

La simulazione degli effetti dell'azione sismica è stata con il metodo pseudostatico, applicando cioè alle masse ed ai carichi fissi e variabili presenti, due azioni statiche equivalenti proporzionali al peso, ovvero all'intensità del carico secondo quanto di seguito indicato

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

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

con:

W: Peso del generico concio di terreno o intensità dell'eventuale carico permanente / variabile previsto

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

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

dove

$$\beta_s = 0.28$$

$$a_{\max} = a_g \times F_o \times S_T \times S_s = 0.202 \times 2.500 \times 1.196 \times 1.00 = 5.93 \text{ m/s}^2$$

e quindi:

$$k_h = 0.169$$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 010000	Id.dbc. REL	N. prog. 01	Rev. E	Pag. di Pag. 18 di 44
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

$$k_v = \pm 0.084$$

6.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Di seguito si riporta una tabella di riepilogo contenente i coefficienti di combinazioni parziali sulle azioni e sulle resistenze dei materiali adottati nelle analisi, che per quanto detto in precedenza, risultano tutti pari all'unità.

Fase	Stato Limite di Verifica	COMB. COEFF.	Coefficienti di Combinazione Carichi Elementari (A)						Coefficienti Materiali (M)		
			Carichi Permanenti	Carichi Permanenti SFAV	Permanenti non Strutturali	Azioni Accidentali		tg ϕ	c'	c _u	
			Pesi Propri	Spinte Terreno	fav / Sfav	1a Azione (Ψ γ)	Azioni Sismiche				
STATICA	STABILITA' GLOBALE	-	1	1	1	1	1	0	1	1	1

REF. 6.3.4 NTC 08 - Circolare C6.3.4

Fase	Stato Limite di Verifica	COMB. COEFF.	Pesi Propri	Spinte Terreno	Spinte Terreno	1a Azione (Ψ γ)	Azioni Sismiche	tg ϕ	c'	c _u
SISMICA	STABILITA' GLOBALE	-	1	1	1	1	1	1	1	1

Per quanto già detto in precedenza inoltre, per ciascuna delle condizioni statiche e sismiche, la normativa impone

$$F_s = R/S \geq 1$$

7. 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. Al di sopra del tubo di raccolta è posto il corpo drenante che è formato da un filtro in terreno naturale che ispessisce il setto filtrante.

Il corpo drenante è costituito da terreno a grana grossa, con scarso materiale fine (non maggiore del 3% in peso). Tale materiale drenante è composto da ghiaia e sabbia pulita con diametro degli inerti minimo e massimo compresi nel seguente range:

- $D_{MIN} = 5 \text{ mm}$
- $D_{MAX} = 30 \text{ mm}$

Nella zona di contatto tra il corpo drenante ed il sottosuolo viene adottato uno strato di geotessile non tessuto ed in sommità dello stesso si esegue un ricoprimento con materiale proveniente dagli scavi.

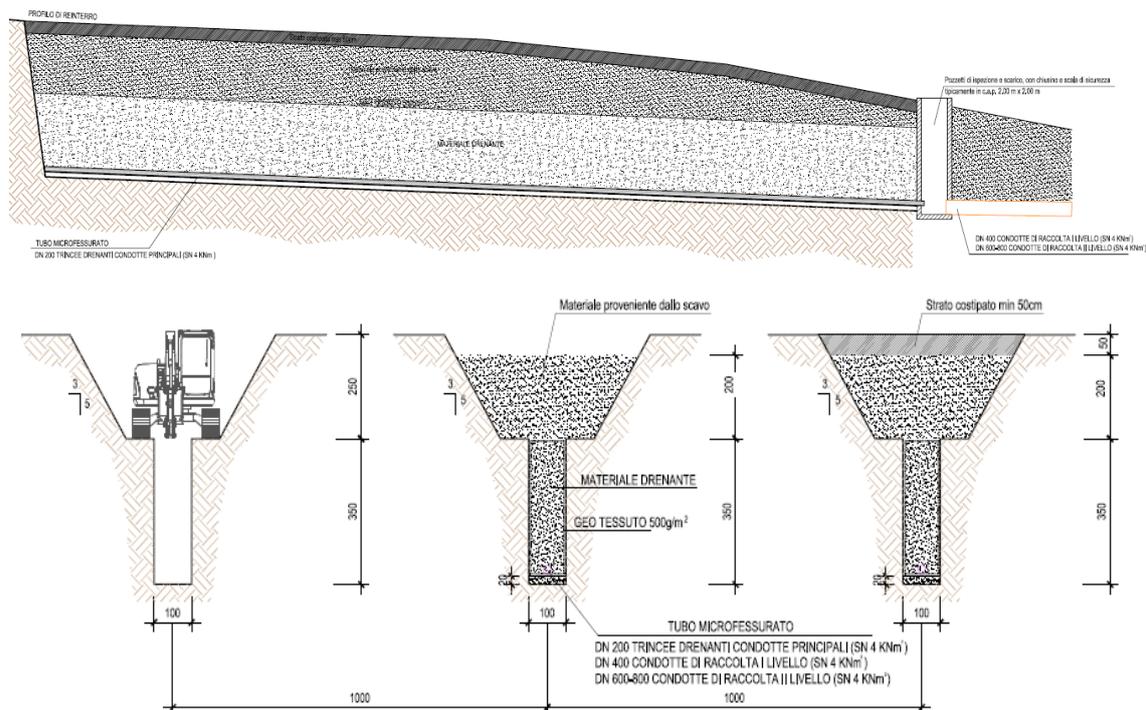
Queste opere sono un efficace sistema di drenaggio profondo delle acque di infiltrazione e di quelle della falda.

L'effetto delle trincee drenanti può essere tradotto, nei riguardi degli aspetti progettuali, in un locale 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, rimandando agli elaborati grafici specifici per ulteriori approfondimenti:

TRINCEA DRENANTE - SEZIONE LONGITUDINALE CON POZZETTO DI ISPEZIONE



Schemi tipo di Interventi con trincee drenanti

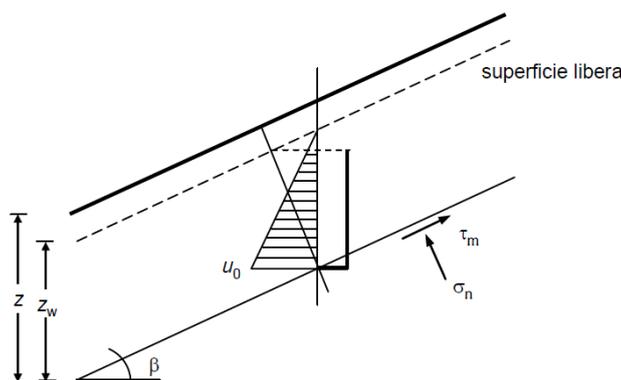
Per ciò che concerne gli aspetti di calcolo, nei successivi paragrafi si illustrano criteri generali alla base del dimensionamento di questo tipo di interventi, e successivamente, i risultati della valutazione dell'efficienza del campo di Trincee previsti nell'ambito del progetto in esame.

7.7 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:

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



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

$u_0 = \gamma w z \cdot \cos^2 \beta$ = 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

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

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

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

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 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 .

7.2 DIMENSIONAMENTO DELLE TRINCEE

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.

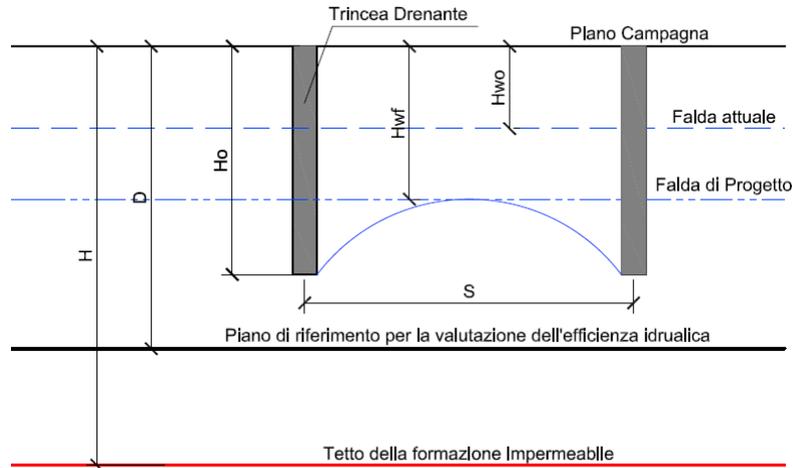
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 010000	Id.dbc. REL	N. prog. 01	Rev. E	Pag. di Pag. 23 di 44
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------



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, 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.

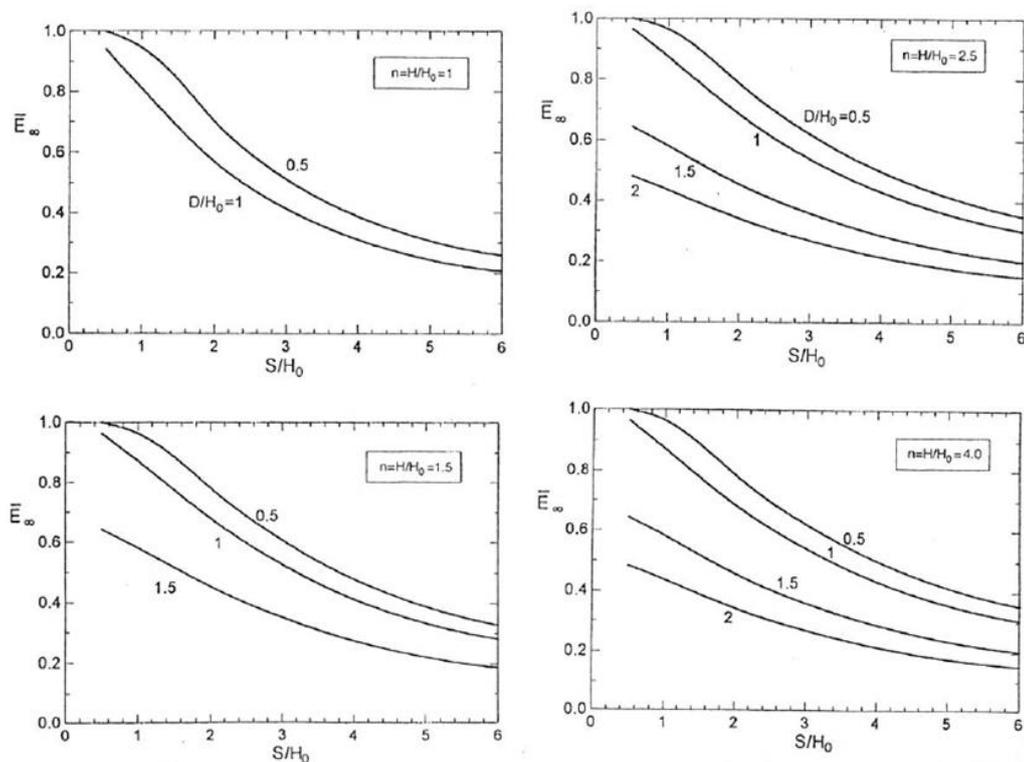


Fig 3 - Efficienza idraulica a regime di un sistema di trincee drenanti – lama d'acqua al piano

campagna (Desideri et al., 1997)

Per il rapporto H/H0 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 interessi utilizzati più frequentemente, si sono considerati infine valori di S/H0 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/H0 = 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/H0 in funzione della posizione del tetto impermeabile, e quindi si individua l'abaco di riferimento tra quelli proposti da Desideri
3. Si determina il rapporto D/H0 in funzione della posizione delle superfici rispetto alla quale valutare l'efficienza idraulica, e quindi si individua una delle curve presenti nell'abaco scelto
4. In funzione del valore di efficienza di progetto, si determina nell'abaco stesso il rapporto S/H0 e quindi l'interasse **S** da assegnare alle trincee drenanti.

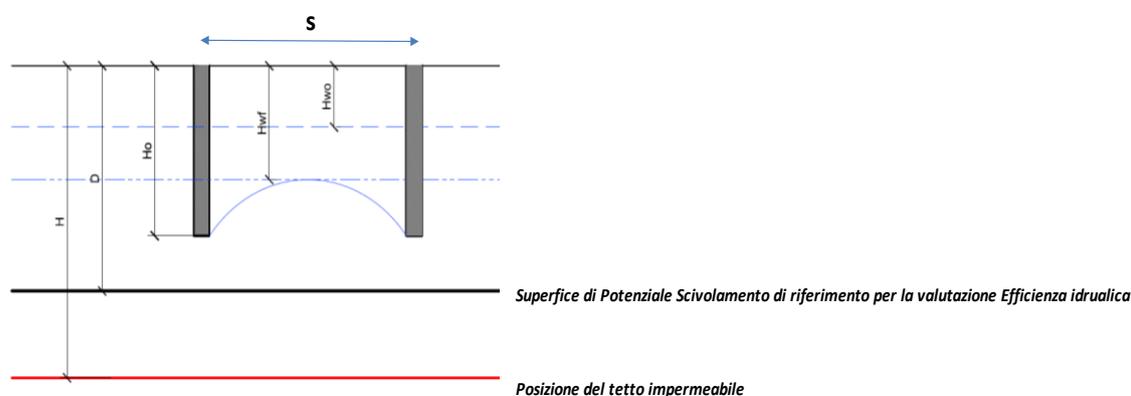
Per problemi di verifica, invece risulta già definito il valore **S/H0** quale dato di progetto, si determina il corrispondente valore di efficienza **E** e quindi il livello della falda finale **H_{wf}** che può essere assunto nelle verifiche post operam, a valle della realizzazione dell'intervento di drenaggio.

7.3 EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI DI PROGETTO

Nel seguito si riportano i risultati di valutazione dell'efficienza idraulica dei diversi campi di trincee drenanti previsti per la mitigazione del rischio di rischio Frana nelle aree già descritte al paragrafo 3

7.3.1 Trincee zona imbocco nord Galleria Croce di Calle (km 1+680 - 1+900)

Nel seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati della valutazione dell'efficienza idraulica del campo di trincee drenanti previste in progetto dal km 1+680 al km 1+920



Modello di riferimento per la valutazione Efficienza Trincee Drenanti

Per la determinazione dei dati di base necessari alla determinazione del parametro E, si è fatto riferimento a quanto indicato nella Relazione Geologica Generale, nell'ambito della sezione dedicata alle Verifiche di Stabilità del Versante Imbocco Nord Galleria "Croce di Calle", da cui risulta:

Profondità media della Superficie di Potenziale Scivolamento (D) = 5 m

Livello di Falda ante-operam (Hwo) = 0.6 m da p.c. (4.4m da superficie di scivolamento)

Dall'esame degli elaborati di progetto specifici del campo di trincee drenanti in questione, risulta:

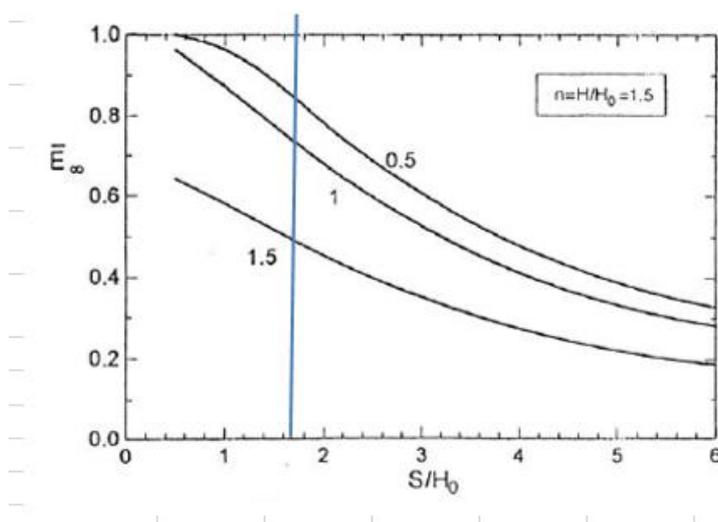
$H_o = 6\text{m}$

Potendo inoltre ritenere il substrato locale (Formazione Ap) costituisca la formazione impermeabile nell'ambito del modello di valutazione dell'Efficienza, dall'esame del profilo Geotecnico Locale è possibile assumere $H/H_o \cong 1.5$

Avendo previsto inoltre di disporre le singole aste drenanti del reticolo ad un interasse medio di 10m, risulta:

$$S/H_0 = 1.67$$

Dagli Abachi di Desideri riferiti al caso $H/H_0 = 1,5m$ è possibile quindi stimare per una curva $D/H_0=0.83$, un valore di E pari a circa 0.8:



Ne consegue pertanto un livello di falda "post operam" $H_{wf} \cong 4.00$ secondo quanto riportato nella successiva tabella:

VALUTAZIONE EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI DA PK 1+680 A PK 1+900

Trincea	H_0 (m)	(H/Ho) CAL	D(m)	D/Ho	H_{w0} (m)	u_0 (KPa)	S(m)	S/Ho (m)	E (abaco)	$\Delta u = E \times U_0$ (KPa)	$U_F = U_0 - \Delta u$ (KPa)	H_{wf} (m)
1+680 - 1+900	6	1.50	5.00	0.83	0.6	44	10.00	1.67	0.80	35.2	8.8	4.12

È possibile pertanto concludere che l'intervento con trincee drenanti previsto per la stabilizzazione del Versante di Imbocco Nord della Galleria Naturale Croce di Calle, assicura un livello di Falda stabile a tempo infinito di circa 4m dal piano campagna ovvero, un battente d'acqua rispetto alla superficie di potenziale scivolamento del corpo di frana pari a circa 1m.

Tale dato costituisce pertanto il livello di falda di progetto per le verifiche di stabilità del versante nella condizione "post operam".



QUADRILATERO

Marche Umbria S.p.A.

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

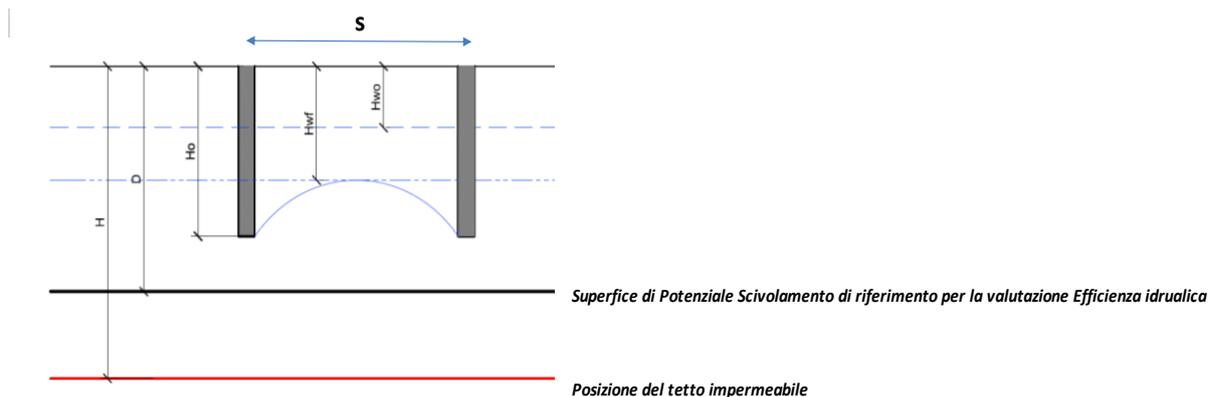
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 010000	Id.doc. REL	N. prog. 01	Rev. E	Pag. di Pag. 27 di 44
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

7.3.2 Trincee zona imbocco sud Galleria Croce di Calle (km 3+240-3+320)

Nel seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati della valutazione dell'efficienza idraulica del campo di trincee drenanti previste in progetto dal km 3+240 al km 3+320



Modello di riferimento per la valutazione Efficienza Trincee Drenanti

Per la determinazione dei dati di base necessari alla determinazione del parametro E, si è fatto riferimento a quanto indicato nella Relazione Geologica Generale, nell'ambito della sezione dedicata alle Verifiche di Stabilità del Versante Imbocco Sud Galleria "Croce di Calle", da cui risulta:

Profondità media della Superficie di Potenziale Scivolamento (D) = 5 m

Livello di Falda ante-operam (Hwo) = 1.5 m da p.c. (3.5m da superficie di scivolamento)

Dall'esame degli elaborati di progetto specifici del campo di trincee drenanti in questione, risulta:

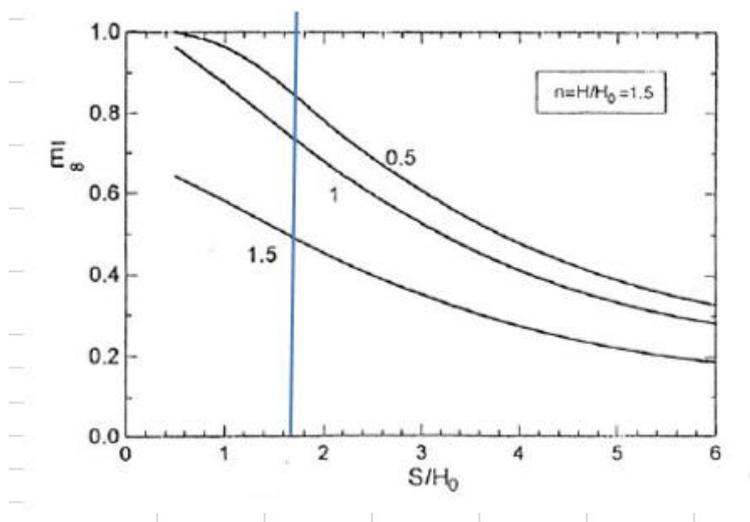
$H_o = 6\text{m}$

Potendo inoltre ritenere il substrato locale (Formazione dello Schlier) costituisca la formazione impermeabile nell'ambito del modello di valutazione dell'Efficienza, dall'esame del profilo Geotecnico Locale è possibile assumere $H/H_o \cong 1.5$

Avendo previsto inoltre di disporre le singole aste drenanti del reticolo ad un interasse medio di 10m, risulta:

$S/H_o = 1.67$

Dagli Abachi di Desideri riferiti al caso $H/H_0 = 1,5m$ è possibile quindi stimare per una curva $D/H_0=0,83$, un valore di E pari a circa 0,8:



Ne consegue pertanto un livello di falda "post operam" $H_{wf} \cong 4,00$ secondo quando riportato nella successiva tabella:

VALUTAZIONE EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI DA PK 1+680 A PK 1+900

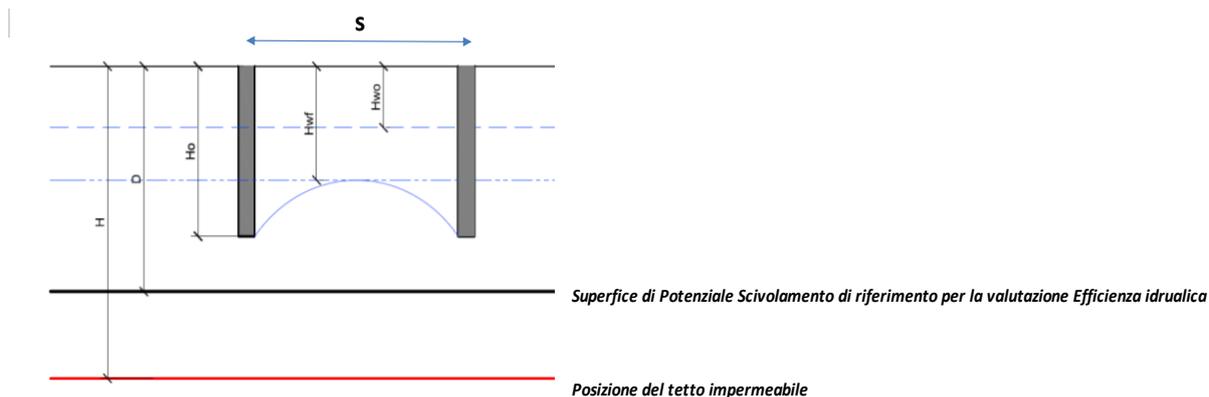
Trincea	H_0 (m)	(H/H_0) CAL	D(m)	D/ H_0	H_{w0} (m)	u_0 (KPa)	S(m)	S/ H_0 (m)	E (abaco)	$\Delta u = E \times$ U_0 (KPa)	U_F $= U_0 - \Delta u$ (KPa)	H_{wf} (m)
3+240 - 3+320	6	1.50	5.00	0.83	1.5	35	10.00	1.67	0.80	28	7	4.50

È possibile pertanto concludere che l'intervento con trincee drenanti previsto per la stabilizzazione del Versante di Imbocco Sud della Galleria Naturale Croce di Calle, assicura un livello di Falda stabile a tempo infinito di circa 4.5m dal piano campagna ovvero, un battente d'acqua rispetto alla superficie di potenziale scivolamento del corpo di frana pari a circa 0.5m.

Tale dato costituisce pertanto il livello di falda di progetto per le verifiche di stabilità del versante nella condizione "post operam".

7.3.3 Trincee drenanti zona Monte Gallo 1 (km 4+628 - 4+740)

Nel seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati della valutazione dell'efficienza idraulica del campo di trincee drenanti previste in progetto dal km 4+628 al km 4+740



Modello di riferimento per la valutazione Efficienza Trincee Drenanti

Per la determinazione dei dati di base necessari alla determinazione del parametro E, si è fatto riferimento a quanto indicato nella Relazione Geologica Generale, nell'ambito della sezione dedicata alle Verifiche di Stabilità dei Versanti, da cui risulta:

Profondità media della Superficie di Potenziale Scivolamento (D) = 6 m

Livello di Falda ante-operam (Hwo) = 1.0 m da p.c.

Dall'esame degli elaborati di progetto specifici del campo di trincee drenanti in questione, risulta:

$H_o = 4\text{m}$

Potendo inoltre ritenere il substrato locale (Formazione dello Schlier) costituisca la formazione impermeabile nell'ambito del modello di valutazione dell'Efficienza, dall'esame del profilo Geotecnico Locale è possibile assumere $H/H_o \cong 1.5$

Avendo previsto inoltre di disporre le singole aste drenanti del reticolo ad un interasse medio di 10m, risulta:

$S/H_o = 1.67$

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

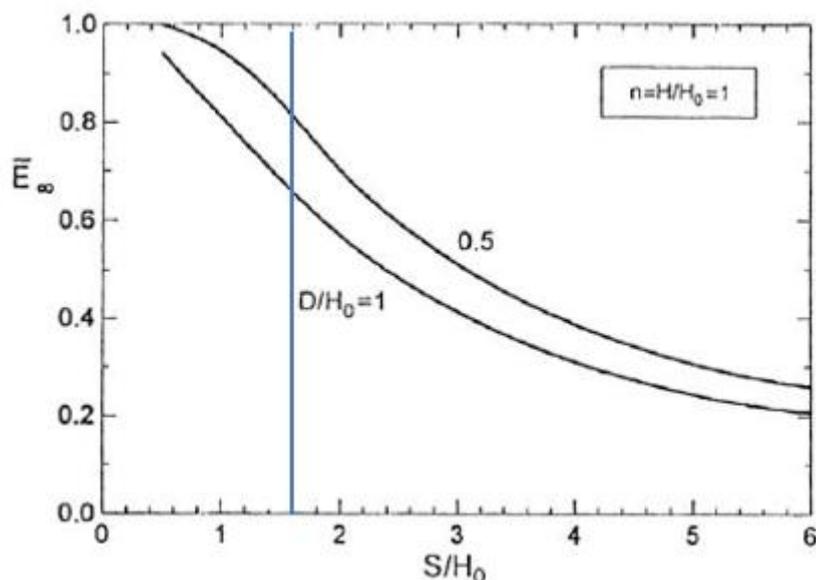
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera L073	Tratto 212	Settore E	CEE 17	WBS 010000	Id.dbc. REL	N. prog. 01	Rev. E	Pag. di Pag. 31 di 44
---------------	---------------	--------------	-----------	---------------	----------------	----------------	-----------	--------------------------

Dagli Abachi di Desideri riferiti al caso $H/H_0 = 1,5m$ è possibile quindi stimare per una curva $D/H_0=0.83$, un valore di E pari a circa 0.70:



Ne consegue pertanto un livello di falda "post operam" $H_{wf} \cong 3.80$ secondo quando riportato nella successiva tabella:

VALUTAZIONE EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI DA PK 4+628 A PK 4+740

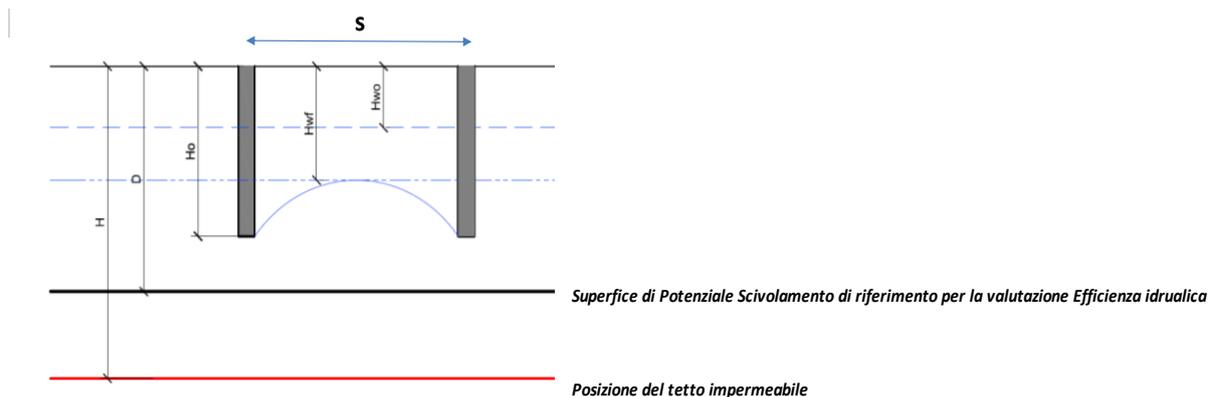
Trincea	H_0 (m)	(H/H ₀) CAL	D(m)	D/H ₀	H_{w0} (m)	u_0 (KPa)	S(m)	S/H ₀ (m)	E (abaco)	$\Delta u = E \times U_0$ (KPa)	$U_f = U_0 - \Delta u$ (KPa)	H_{wf} (m)
4+628 - 4+740	6	1.00	5.00	0.83	1.0	40	10.00	1.67	0.70	28	12	3.80

È possibile pertanto concludere che l'intervento con trincee drenanti previsto per la stabilizzazione del Versante assicura un livello di Falda stabile a tempo infinito di circa 4m dal piano campagna.

Tale dato costituisce pertanto il livello di falda di progetto per le verifiche di stabilità del versante nella condizione "post operam".

7.3.4 Trincee drenanti zona Monte Gallo 2 (km 4+860 - 4+980)

Nel seguito si riportano, in forma tabellare, i risultati della valutazione dell'efficienza idraulica del campo di trincee drenanti previste in progetto dal km 4+860 al km 4+980



Modello di riferimento per la valutazione Efficienza Trincee Drenanti

Per la determinazione dei dati di base necessari alla determinazione del parametro E, si è fatto riferimento a quanto indicato nella Relazione Geologica Generale, nell'ambito della sezione dedicata alle Verifiche di Stabilità dei Versanti, da cui risulta:

Profondità media della Superficie di Potenziale Scivolamento (D) = 4 m

Livello di Falda ante-operam (Hwo) = 1.0 m da p.c.

Dall'esame degli elaborati di progetto specifici del campo di trincee drenanti in questione, risulta:

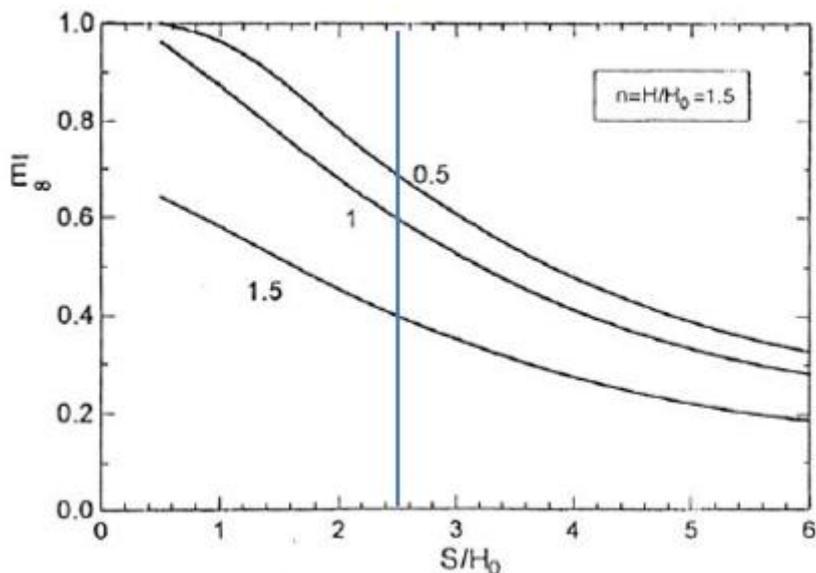
$H_o = 4\text{m}$

Potendo inoltre ritenere il substrato locale (Formazione dello Schlier) costituisca la formazione impermeabile nell'ambito del modello di valutazione dell'Efficienza, dall'esame del profilo Geotecnico Locale è possibile assumere $H/H_o \cong 1.5$

Avendo previsto inoltre di disporre le singole aste drenanti del reticolo ad un interasse medio di 10m, risulta:

$S/H_o = 2.50$

Dagli Abachi di Desideri riferiti al caso $H/H_0 = 1,5$ m è possibile quindi stimare per una curva $D/H_0=1.25$, un valore di E pari a circa 0.65:



Ne consegue pertanto un livello di falda "post operam" $H_{wf} \cong 3.60$ secondo quando riportato nella successiva tabella:

VALUTAZIONE EFFICIENZA IDRAULICA TRINCEE DRENANTI DA PK 4+860 A PK 4+980

Trincea	H_0 (m)	(H/H_0) CAL	D(m)	D/ H_0	H_{w0} (m)	u_0 (KPa)	S(m)	S/ H_0 (m)	E (abaco)	$\Delta u = E \times U_0$ (KPa)	$U_F = U_0 - \Delta u$ (KPa)	H_{wf} (m)
4+860 - 4+980	4	1.25	5.00	1.25	1.0	40	10.00	2.50	0.65	26	14	3.60

È possibile pertanto concludere che l'intervento con trincee drenanti previsto per la stabilizzazione del Versante assicura un livello di Falda stabile a tempo infinito di circa 3.6m dal piano campagna.

Tale dato costituisce pertanto il livello di falda di progetto per le verifiche di stabilità del versante nella condizione "post operam".

8. RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE DI STABILITA'

Come già anticipato al precedente, il tracciato di progetto dell'opera interferisce con alcune aree a rischio frana di pericolosità elevata e moderata (P3 e P2) del Piano di Assetto idrogeologico della Regione Marche, per le quali, a seguito dell'analisi geomorfologica di dettaglio dei versanti interessati oltre che del monitoraggio strumentale mediante inclinometri e piezometri, sono state riscontrate condizioni di instabilità limite nelle zone coltri di copertura eluvio-colluviali.

In relazione a tale evidenza, si è pertanto proceduto ad effettuare opportune Analisi di Stabilità dei Versanti esaminando, per ciascuna delle sezioni rappresentative, diverse condizioni, come di seguito descritto:

- Back Analysis

Si è proceduto ad effettuare in condizioni statiche e sismiche delle specifiche Back Analysis finalizzate alla ricerca del parametro critico $\phi'r$ (angolo d'attrito residuo) tale da soddisfare l'uguaglianza $R(\text{azioni resistenti}) = M(\text{azioni mobilitanti})$, indagando a tal riguardo famiglie di potenziale scivolamento parallele al p.c., per i dettagli delle Back Analysis si rimanda all'elaborato "Relazione geologica, geomorfologica, geoidrologica generale - L0703212E02GE0000REL01C".

- Analisi in condizioni Ante Operam

Per l'esame della condizione "Ante-Operam", si è proceduto ad effettuare in condizioni statiche e sismiche rispetto all'attuale configurazione del versante (condizioni topografiche, condizioni geotecniche e di falda) delle specifiche di stabilità Ante Operam indagando sulle condizioni di stabilità del versante in funzione dei parametri di progetto. Tali analisi sono rappresentative delle condizioni attuali di instabilità limite del versante.

- Analisi in Condizioni Post Operam:

Sulla scorta dei parametri meccanici della coltre desunti dalla B.A, si è proceduto ad effettuare specifiche Analisi in condizione post-operam, tenendo conto degli interventi in progetto, con riferimento sia alle opere/sistemazione del corpo stradale, sia agli interventi di mitigazione previsti (trincee drenanti) a cui, come evidenziati al paragrafo specifico, è associato un abbassamento del livello di falda rispetto alle attuali condizioni.

Tali analisi sono state effettuata sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, con riferimento alla Stabilità dell'intero versante, seguendo a tal riguardo le prescrizioni fornite dal DM 14-01-08 per il *Caso dei Pendii Naturali*.

Ulteriori Analisi di Stabilità a livello più locale, sono state eseguite nell'ambito delle relazioni di calcolo delle opere di sostegno presenti nell'area già citate al paragrafo degli elaborati di riferimento, a cui espressamente si rimanda.

Nei riguardi degli aspetti di calcolo prettamente geotecnici si specifica infine che, in ossequio a quanto prescritto dalla Circolare n.617/09 al punto C7.11.3.5 "Stabilità dei pendii", ove si specifica che nei pendii interessati da frane attive o quiescenti, che possono essere riattivate in occasione del sisma, le analisi sono state effettuate considerando per i terreni i parametri di resistenza efficaci, c' e ϕ' , più appropriati in questi casi secondo la norma rispetto a quelle in tensioni totali. Nei successivi paragrafi si riportano tutti i risultati delle analisi effettuate.

8.1 VERSANTE SUD CROCE DI CALLE – F12-1435

La zona potenzialmente instabile F-12-1435 viene intercettata dalla infrastruttura nella zona di imbocco sud della galleria naturale Croce di Calle. Si riporta di seguito la modellazione, l'analisi e le verifiche di stabilità eseguite.

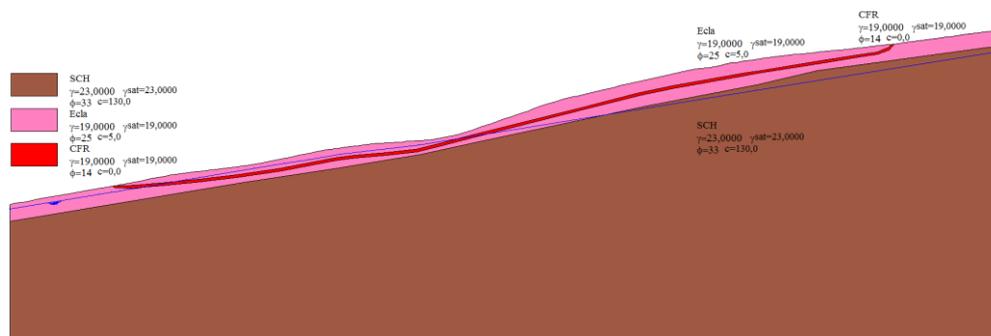
La stratigrafia di progetto prevede:

0.0 m – 5.0 m Coltre in frana Ecla
 da 5.0 m Substrato SCH

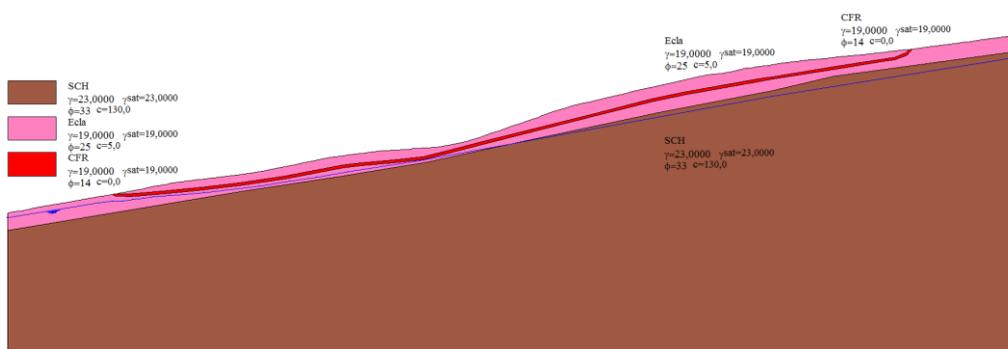
La falda nella condizione ante-operam raggiunge quota -1.5 m da piano campagna. La falda nella condizione post-operam, tenuto conto degli interventi di drenaggio adottati, viene fissata a quota -4.0 m da piano campagna.

La coltre in frana viene modellata con uno strato sottile costituito da terreno con caratteristiche residue: $c' = 0$ kPa, $\varphi' = 14^\circ$.

Si riportano di seguito i modelli adottati:



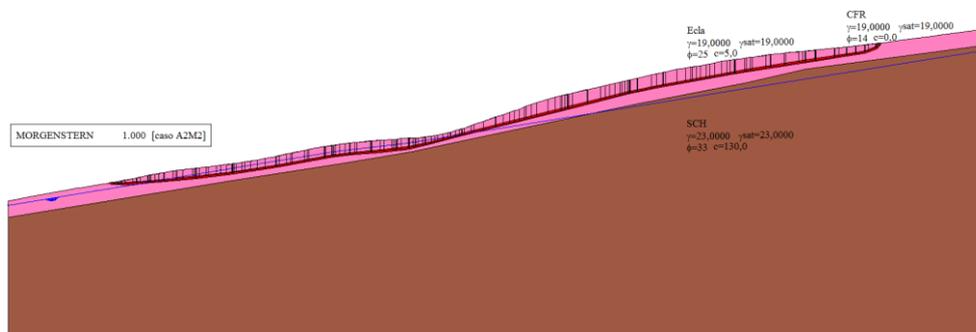
Versante Sud Croce di Calle – F12-1435 – Modello Ante Operam



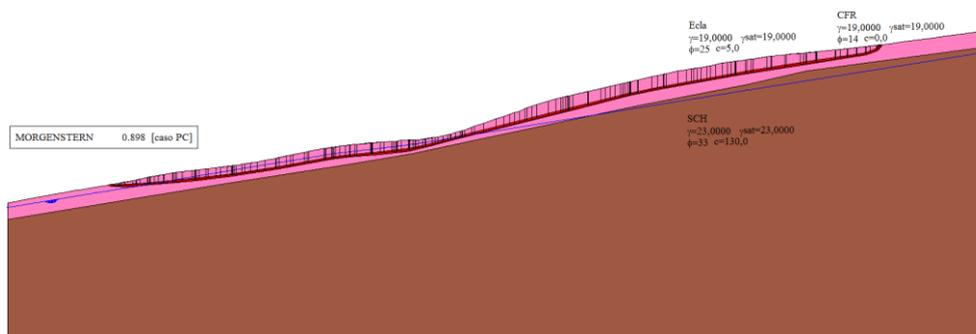
Versante Sud Croce di Calle – F12-1435 – Modello Post Operam

Si riportano i risultati delle analisi rappresentando le superfici di scivolamento a cui corrispondono i coefficienti di sicurezza minimi sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche e nelle configurazioni ante-operam e post-operam. Si illustrano inoltre tipologie di superficie sia a carattere globale che superfici localizzate in alcune zone del versante:

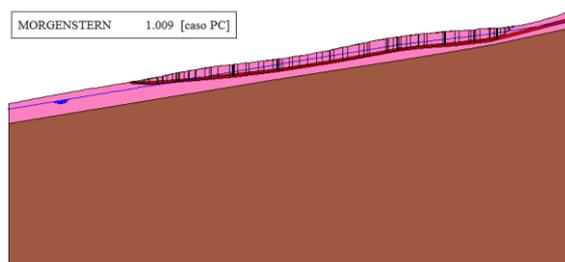
Risultati Analisi Ante-Operam



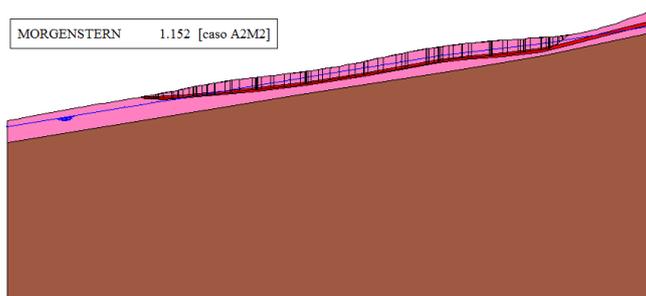
Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Ante Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Ante Operam – Superficie Globale



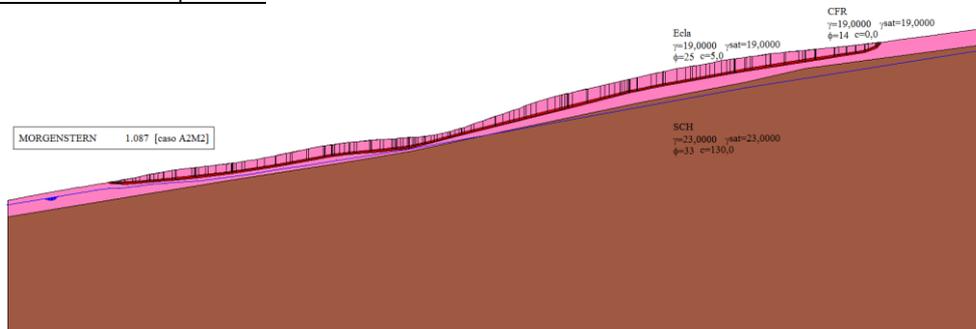
Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Ante Operam – Superficie Locale



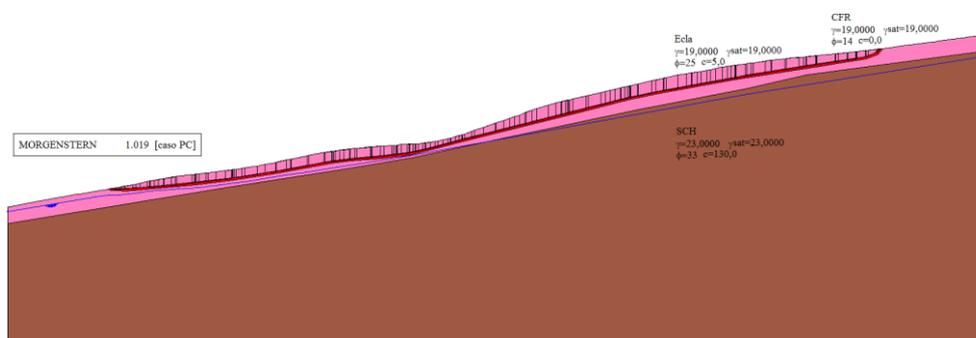
Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Ante Operam – Superficie Locale

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	37 di 44

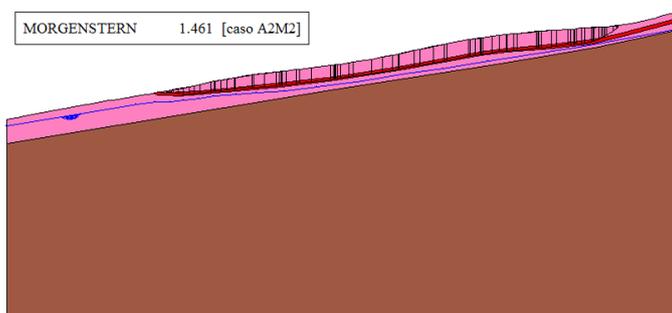
Risultati Analisi Post-Operam



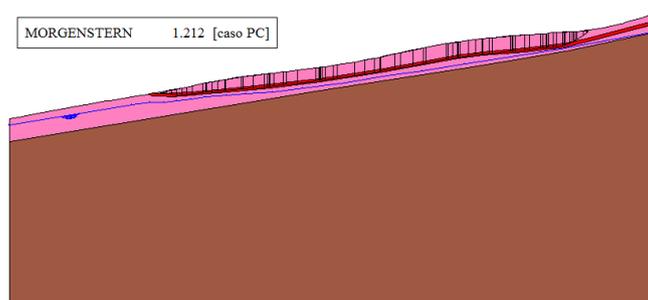
Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Post Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Post Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Post Operam – Superficie Locale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Post Operam – Superficie Locale

8.2 VERSANTE NORD MONTE GALLO – F12-1423

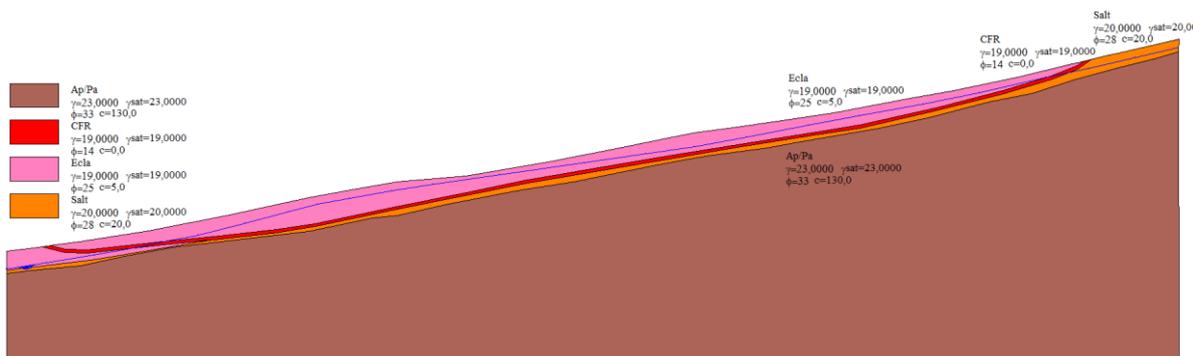
La zona potenzialmente instabile F-12-1423 viene intercettata dalla infrastruttura sostanzialmente a raso. Si riporta di seguito la modellazione, l'analisi e le verifiche di stabilità eseguite. La stratigrafia di progetto prevede:

0.0 m – 6.0 m Coltre in frana Ecla
 6.0 m – 10.0 m Substrato alterato Salt
 da 10.0 m Substrato Ap/Pa

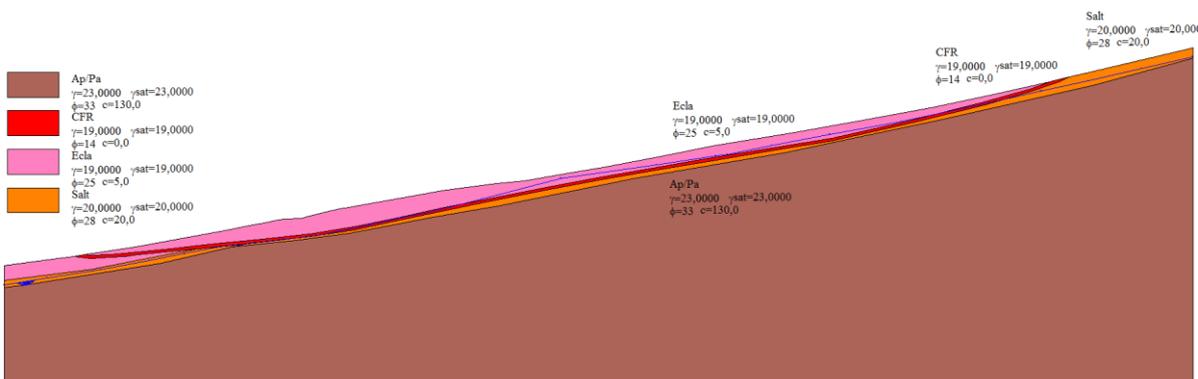
La falda nella condizione ante-operam è situata a -1.0 m da piano campagna. La falda nella condizione post-operam, tenuto conto degli interventi di drenaggio adottati, viene fissata a quota -4.0 m da piano campagna.

La coltre in frana viene modellata con uno strato sottile costituito da terreno con caratteristiche residue: $c' = 0$ kPa, $\varphi' = 14^\circ$.

Si riporta di seguito il modello adottato:



Versante Nord Monte Gallo – F12-1423 – Modello Ante Operam



Versante Nord Monte Gallo – F12-1423 – Modello Post Operam

Si riportano i risultati delle analisi rappresentando le superfici di scivolamento a cui corrispondono i coefficienti di sicurezza minimi sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche e nelle configurazioni ante-operam e post-operam. Si illustrano inoltre tipologie di superficie sia a carattere globale che superfici localizzate in alcune zone del versante:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

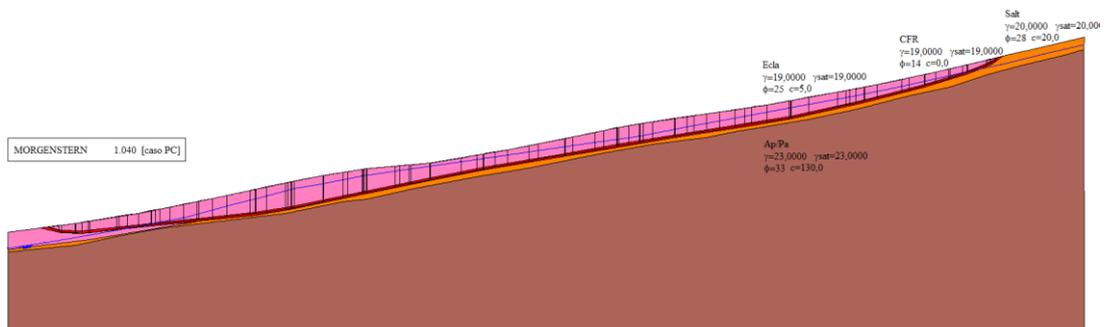
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

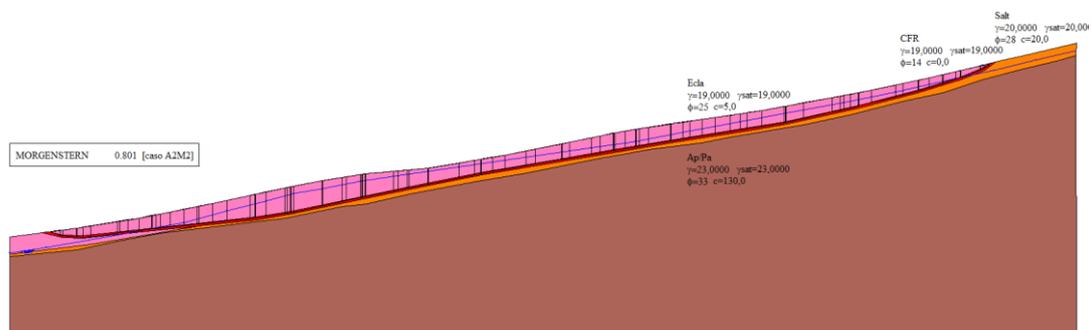
Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.doc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	39 di 44

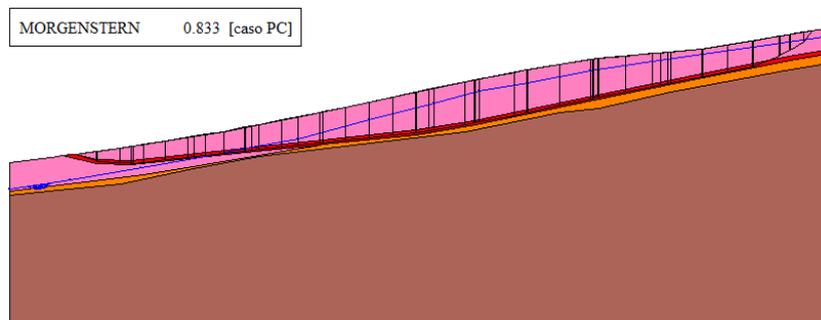
Risultati Analisi Ante-Operam



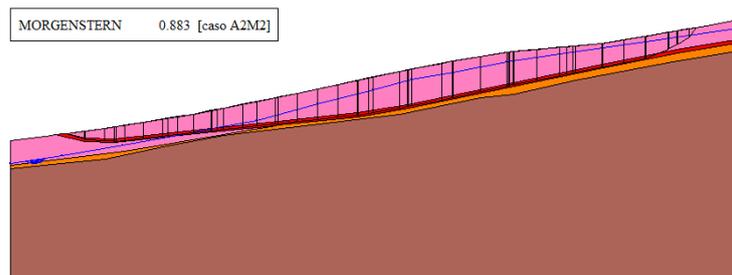
Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Ante Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Ante Operam – Superficie Globale

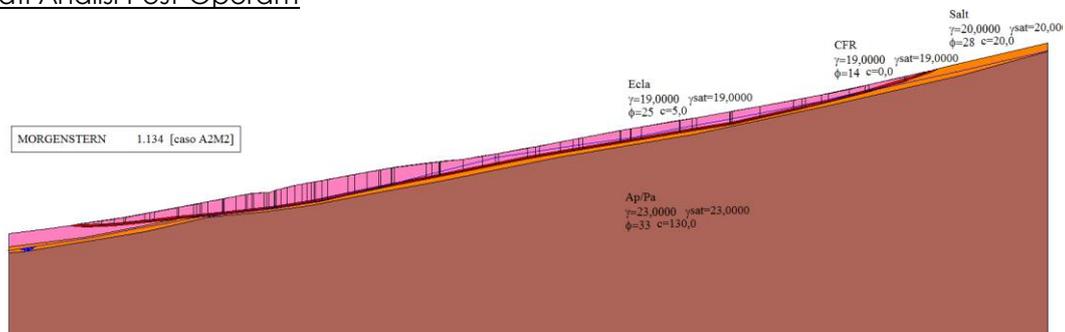


Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Ante Operam – Superficie Locale

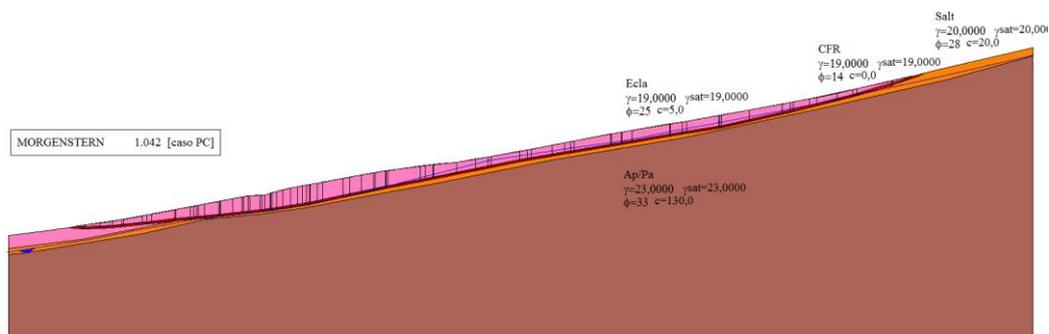


Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Ante Operam – Superficie Locale

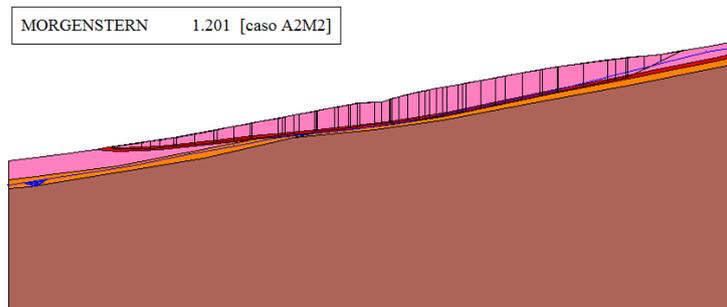
Risultati Analisi Post-Operam



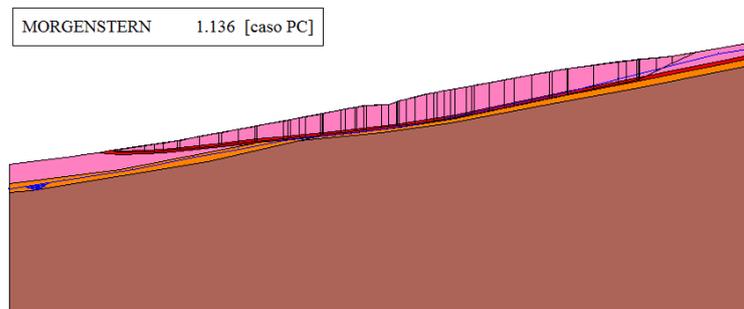
Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Post Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Post Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Post Operam – Superficie Locale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Post Operam – Superficie Locale

8.3 VERSANTE NORD MONTE GALLO – F12-1418

La zona potenzialmente instabile F-12-1423 viene intercettata dalla infrastruttura in rilevato. È stata prevista per questa zona una opera di presidio composta da un muro su pali. Per le analisi di stabilità si rimanda all'elaborato specifico "Relazione tecnica e di calcolo muro di sottoscarpa SX in c.a. – dal km 4+885 al km 4+945" – L0703212E17MU0000REL04. Per semplicità di lettura si riportano i risultati delle analisi di stabilità effettuate.

L'analisi di stabilità globale è stata condotta seguendo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), sia in condizioni statiche che sismiche, in conformità alla normativa vigente.

Le metodologie di calcolo sono riportate nel documento "Relazione geotecnica generale sulle opere all'aperto".

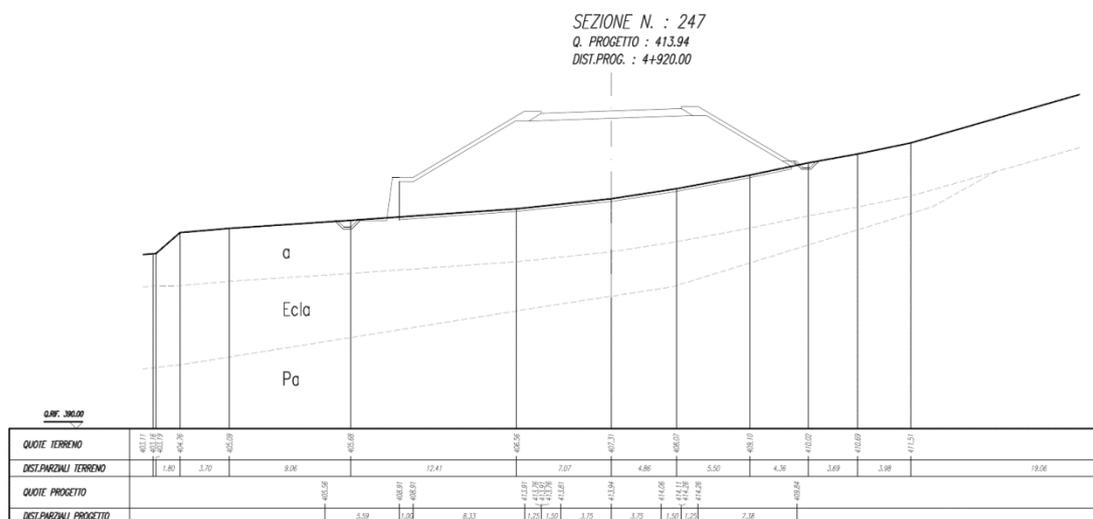
La stratigrafia di calcolo è indicata nella seguente tabella.

Unità geotecnica		Profondità [m da p.c.]
a	Accumuli di frana	0.0÷4.0
Ecla	Depositi eluvio colluviali limoso argillosi	4.0÷8.0
Pa	Substrato pelitico arenaceo	>8.0

L'analisi di stabilità è stata condotta con riferimento alla sezione n. 247 (km 4+920), sezione con la massima altezza del rilevato, pari a 7.0 m circa e spessore della frana pari a 4.0 m.

In corrispondenza della strada è stato considerato un carico accidentale pari a 20 kPa. Nelle analisi, le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A2 (Tabella .6.2. I delle NTC 2008).

Si riporta la sezione di calcolo analizzata.



Si riportano la modellazione adottata ed i risultati delle analisi numeriche:

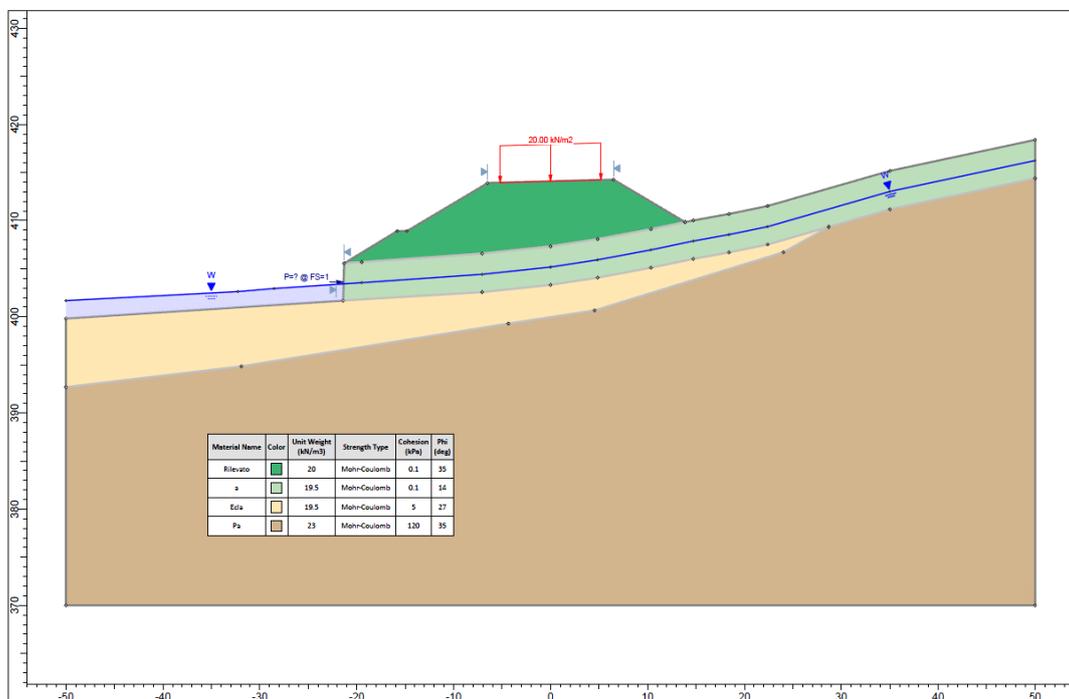
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

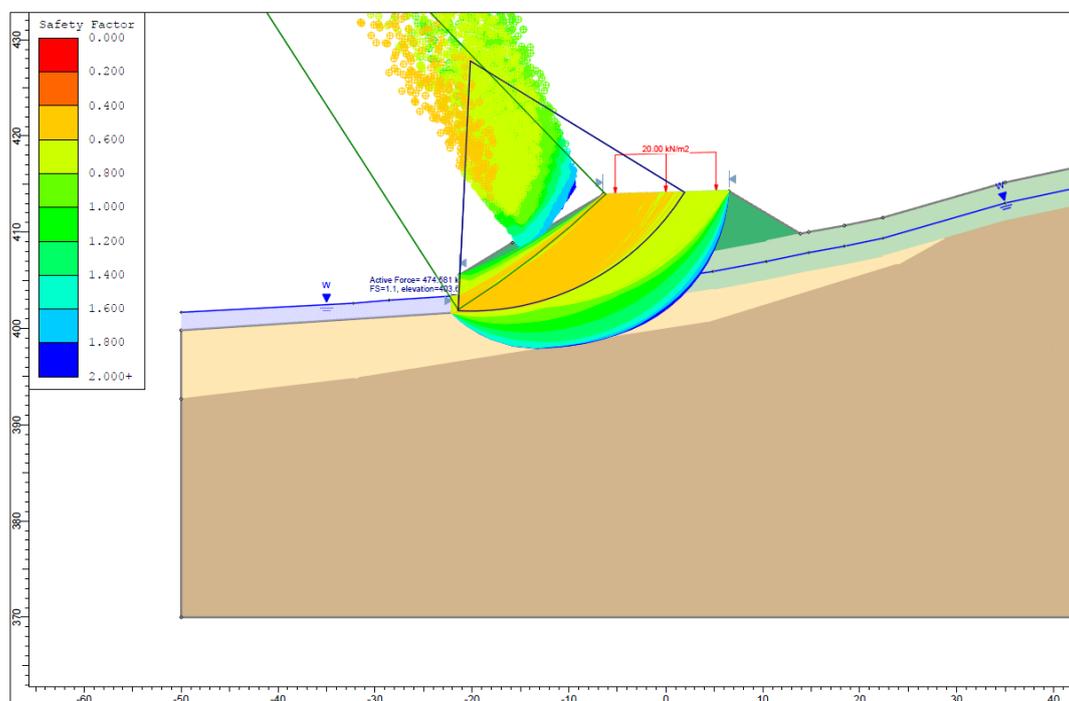
Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.dbc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	42 di 44



Modello di calcolo



Risultati Analisi SLU Statica

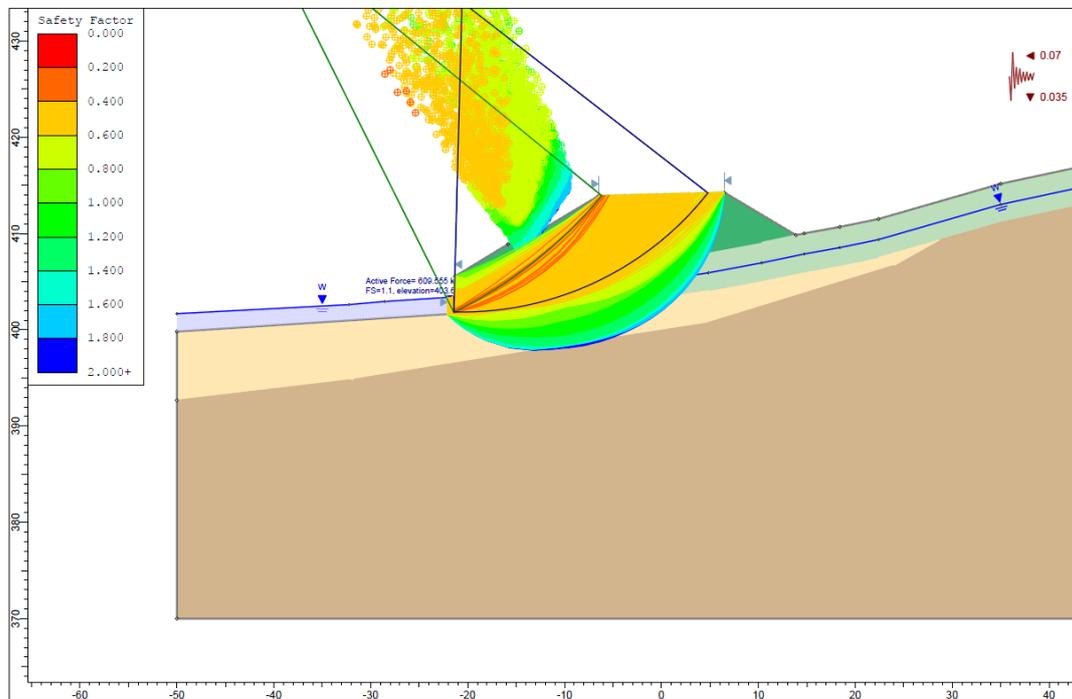
2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.obc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	43 di 44



Risultati Analisi Sismica

Si riportano i risultati delle analisi rappresentando le superfici di scivolamento a cui corrispondono i coefficienti di sicurezza minimi sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche e nelle configurazioni ante-operam e post-operam. Si illustrano inoltre tipologie di superficie sia a carattere globale che superfici localizzate in alcune zone del versante:

2.1.2 PEDEMONTANA DELLE MARCHE

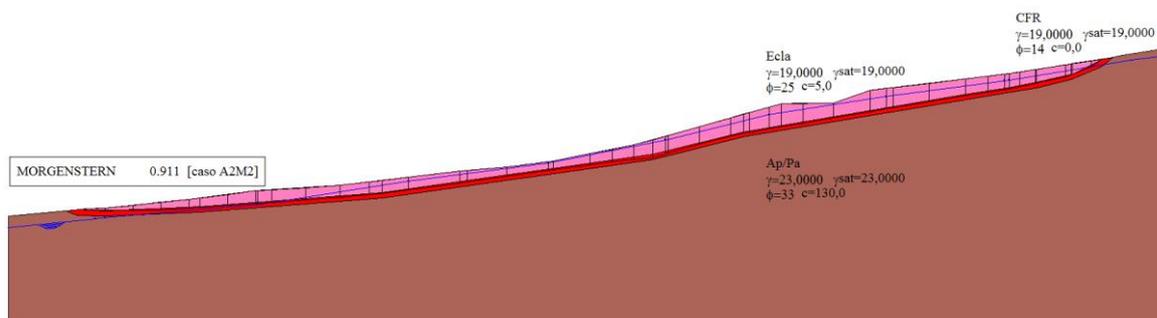
Secondo stralcio funzionale: Matelica Nord – Matelica Sud/Castelraimondo Nord

Opere d'arte minori: Opere di sostegno e dreni

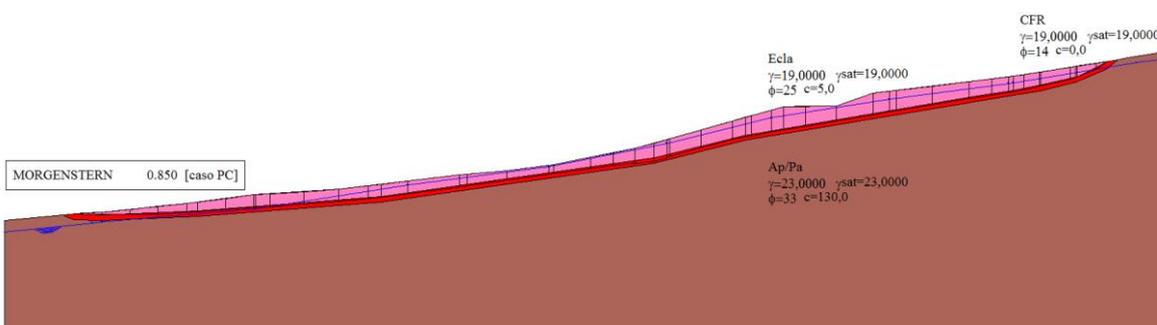
Stabilità dei versanti e trincee drenanti: Relazione tecnica e di calcolo

Opera	Tratto	Settore	CEE	WBS	Id.dbc.	N. prog.	Rev.	Pag. di Pag.
L073	212	E	17	010000	REL	01	E	44 di 44

Risultati Analisi Ante-Operam

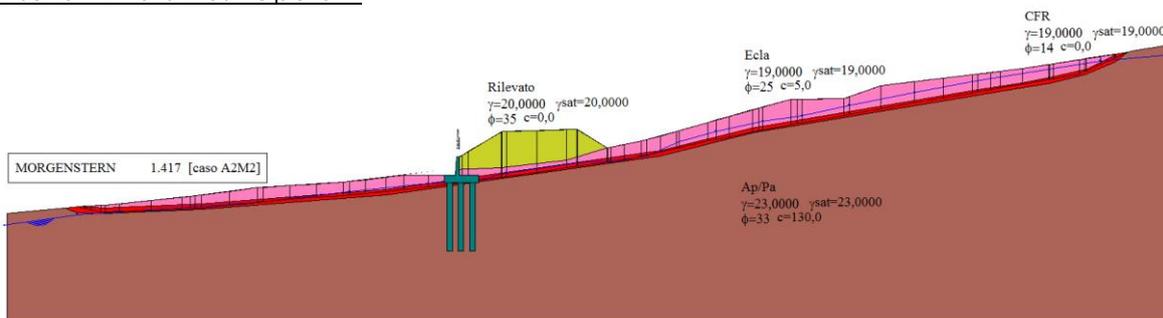


Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Ante Operam – Superficie Globale

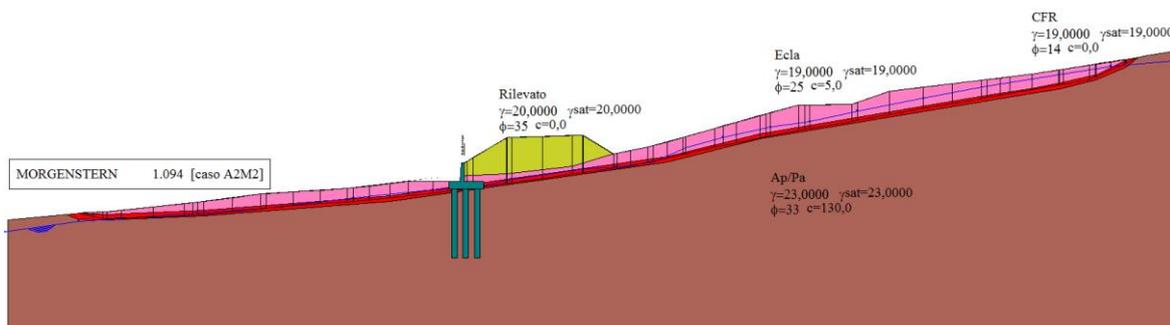


Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Ante Operam – Superficie Globale

Risultati Analisi Post-Operam



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Statica – Post Operam – Superficie Globale



Risultati verifiche di stabilità – Condizione Sismica – Post Operam – Superficie Globale