

NUOVA S.S. 341 "GALLARATESE" - TRATTO DA SAMARATE A CONFINE
CON LA PROVINCIA DI NOVARA - TRATTO NORD

STRALCIO FUNZIONALE DAL KM 6+500 (SVINCOLO S.S. 336 NORD)
AL KM 8+844 (SVINCOLO AUTOSTRADA A8)
"BRETTELLA DI GALLARATE"

PROGETTO ESECUTIVO

 STUDIO CORONA	 Ingegneria del Territorio s.r.l. Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 ECOPLAN S.r.l. Ingegneria e Architettura Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 E&G Engineering & Graphics S.r.l. Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)	 Società designata: GA&M Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. Via Francesco Testa, n. 2 - 70124 Bari Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO Dott. Ing. Giancarlo LUONGO	RESPONSABILE INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  Ing. Renato DEL PRETE	IL PROGETTISTA FIRMATARIO DELLA PRESTAZIONE  Ing. Valerio BAJETTI	GEOLOGO  Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI	COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  Ing. Gaetano RANIERI
--	--	--	--	--

BB 02

B-GEOLOGIA E GEOTECNICA

BB - GEOTECNICA

Verifica di stabilità dei rilevati

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. M I 5 3 3 E 1 8 0 1		NOME FILE BB02_T00GE00GETRE02_B.dwg		REVISIONE A	SCALA: -
CODICE ELAB. P 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 2					
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	LUGLIO 2020	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI	ING. RENATO DEL PRETE
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA	2
1.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO.....	2
2. TRATTI IN RILEVATO	5
2.1 VERIFICHE DI STABILITÀ.....	6
3. ATTENDIBILITA' DEL CODICE DI CALCOLO	9
OUTPUT DEL PROGRAMMA DI CALCOLO	10
SCHEDA 1_CASO 1 : Sezione di riferimento 40 – Asse principale	11
SCHEDA 2_CASO 2 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 42 – Asse principale (H=5.55, B=32.93)	20
SCHEDA 3_CASO 3 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 46 – Asse principale (H=9.60, B=30.43)	28
SCHEDA 4_CASO 4 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 50 – Asse principale (H=12.30, B=26.70)	36
SCHEDA 5_CASO 5 : SEZIONE DI RIFERIMENTO A-7 - Svincolo SCIARE': Rampa A - (H=11.00, B=22.92)	47
SCHEDA 6_CASO 6 : SEZIONE DI RIFERIMENTO B-27 - Svincolo SCIARE': Rampa B - (H=11.03, B=22.58)	56
SCHEDA 7_CASO 7 : SEZIONE DI RIFERIMENTO A-9 - Svincolo A8/PEDEMONTANA: Rampa A – (H=6.05, B=9.75)	64
APPENDICE A: CASI DI PROVA (Fonte : Ce.A.S. s.r.l.)	72
APPENDICE B: Dati Flac 7.00 modello Dyke	92
APPENDICE C: Certificati	98

1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche di stabilità dei rilevati in terra.

Le verifiche di stabilità effettuate riguardano i seguenti casi di scarpate dei rilevati.

Le verifiche sono state effettuate adoperando un programma di calcolo dedicato di ultima generazione, in grado di tener conto della normativa NTC 2018.

La verifica è stata effettuata con l'ausilio del programma "HARPACEAS PARATIE Plus 2019", che consente di calcolare la stabilità complessiva del versante in cui può o meno essere presente un'opera di sostegno flessibile, relativamente ad una generica Design Section, per un generico passo, per tutte le Design Assumptions attive.

1.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 versione 19.1.0 è prodotto da Ce.AS.s.r.l. con la scientifica supervisione di Roberto Nova – professore di Meccanica delle Terre al Politecnico di Milano. L'interfaccia utente è creata con l'aiuto di eFarm Group s.r.l.

PARATIE PLUS è un ambiente grafico interattivo progettato per consentire il calcolo di opere di sostegno flessibili e, più in generale, per lo studio di diverse problematiche di Ingegneria geotecnica correlate alla progettazione di scavi a cielo aperto. Con PARATIE PLUS si può:

- definire la geometria bidimensionale del problema
- assegnare le proprietà dei materiali (terreni, materiali strutturali, ecc.)
- calcolare le strutture che sostengono i fronti di scavo per mezzo del solutore PARATIE, un modellatore numerico che permette un'analisi d'interazione tra parete e terreno basata su uno schema monodimensionale (subgrade reaction method)
- condurre lo studio di moti di filtrazione, limitatamente ad alcune tipologie ricorrenti di problemi geotecnici, e con l'obiettivo prevalente di stimare le pressioni interstiziali sulle opere di sostegno
- verificare gli elementi strutturali (pareti, puntoni, tiranti ecc.) secondo diverse Normative
- analizzare la stabilità dei fronti di scavo, con metodi di calcolo all'equilibrio limite
- condurre diverse altre verifiche di dettaglio (ad esempio la verifica di tiranti)
- produrre un report di calcolo.

Ai fini delle verifiche di stabilità HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prende in esame la configurazione del pendio, nella generica fase, prescindendo dalla sequenza costruttiva precedente. Questa tecnica appartiene all'ambito dei metodi all'equilibrio limite che operano, di fatto, indipendentemente dal comportamento deformativo dell'opera, o, meglio, che prescindono dalla successione temporale delle deformazioni reversibili o irreversibili sviluppatasi prima della configurazione esaminata.

Nel suddetto programma, in ambiente WINDOWS, l'input dei dati è il seguente:

- *profilo del pendio*: la superficie del terreno è definita mediante linee, introducendo le coordinate dei punti che le appartengono nella point list;
- *discontinuità litologiche (strati)*: questa operazione consiste nel posizionare geometricamente la successione di strati orizzontali. E' necessario definire per ogni strato il nome del terreno dal quale desumere le proprietà, la quota sommitale, il valore di OCR e il coefficiente di spinta a riposo K_0 .
- *profilo della falda*: il programma prevede l'introduzione di una o più falde idriche.

- *caratteristiche geotecniche*: i parametri necessari a definire le caratteristiche del terreno utilizzati per le verifiche di stabilità sono stati ricavati dalla Relazione Geotecnica, rif. All.T00GE00GETRE01).
- *sisma*: può essere inserito il coefficiente sismico sia orizzontale che verticale, con riferimento alle seguenti normative:
 - EC2
 - NTC 2008
 - NTC 2018
 - Opzione utente (personalizzabile)
- *carichi*: è previsto l'inserimento di carichi superficiali distribuiti, di cui vengono richiesti la forza verticale e le ascisse che ne delimitano l'applicazione sul pendio.
- *metodi di calcolo della stabilità*: vengono offerte le seguenti opzioni:
 - a) BISHOP semplificato: consente di analizzare superfici di rottura circolare, in ambiente sia statico che dinamico;
 - b) JANBU semplificato: consente di analizzare superfici di rottura circolare o di forma qualunque, in ambiente sia statico che dinamico;
 - c) MORGENSTERN & PRICE: consente di analizzare superfici di rottura circolare, in ambiente sia statico che dinamico.

Tutti questi metodi, appartenenti alla famiglia dei metodi all'equilibrio limite, si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo di una potenziale superficie di scorrimento.

Il coefficiente di sicurezza associato alla superficie generica è calcolato imponendo le condizioni di equilibrio nelle quali vengono introdotte le resistenze offerte dal terreno affette da tale coefficiente di sicurezza. Tutti i metodi suddividono la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e istituiscono le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si ottiene un sistema risolvibile in cui le incognite (il coefficiente di sicurezza e le azioni interne fra i conci) superano le equazioni disponibili. La differenza fra i diversi metodi risiede nel modo in cui il problema viene reso staticamente determinato: in generale vengono introdotte ulteriori ipotesi, diverse da un metodo all'altro, relativamente alle azioni di interazione fra conci adiacenti.

Nel caso in questione, le analisi di stabilità sono state condotte utilizzando il metodo di **Morgenstern e Price**. In questo metodo l'ipotesi fondamentale introdotta consiste nell'assumere la seguente relazione tra componenti normali e tangenziali delle forze di contatto tra i conci:

$$X_j = \lambda_1 f(x_j) X E_j \quad j = 1, 2, \dots, n - 1$$

nella quale l'indice j si riferisce alla generica superficie interna di contatto tra i conci, X_j rappresenta la coordinata orizzontale di tale superficie nel sistema di riferimento globale assunto $f(x)$ è una funzione assegnata di X_j e λ_1 è un coefficiente scalare incognito da determinare come parte della soluzione.

L'idea alla base della ipotesi di Morgenstern e Price è che la soluzione finale del problema sia relativamente indipendente dalla particolare forma della funzione $f(x)$ adottata, purché questa corrisponda ad una distribuzione ammissibile delle forze di contatto. Morgenstern e Price suggeriscono che per soddisfare tale requisito, la funzione $f(x)$ debba fornire valori relativamente elevati laddove la superficie di scorrimento presenta la maggiore curvatura, e relativamente modesti in presenza di pressioni interstiziali elevate, laddove le tensioni efficaci sono piccole. Nella

formulazione originale Morgenstern e Price derivano le relazioni esistenti tra le forze esterne agenti, le forze lungo la superficie di scorrimento e le forze di contatto tra le varie strisce sotto forma di equazioni differenziali, ricavate imponendo le condizioni di equilibrio lungo due direzioni ortogonali ad una striscia di spessore infinitesimo dx. L'integrazione di tali equazioni lungo il corpo di frana fornisce un sistema di equazioni algebriche non lineari la cui soluzione mediante il metodo di Newton-Raphson consente la determinazione del coefficiente di sicurezza FS e del parametro incognito λ_1 .

Tale procedura è piuttosto complicata e si preferisce utilizzare l'approccio proposto da Fredlund e Krahn (1977), frequentemente fatto coincidere con il metodo dell'equilibrio limite generalizzato (GLE), che fornisce valori praticamente identici a quelli ottenibili mediante l'approccio originale, ma risulta più semplice da un punto di vista concettuale.

Tramite tale approccio il coefficiente di sicurezza FS ed il fattore di scala λ_1 si determinano sfruttando contemporaneamente le due equazioni di equilibrio globale alla rotazione rispetto ad un punto O arbitrario del piano e di equilibrio globale alla traslazione in direzione orizzontale.

La prima equazione di equilibrio fornisce un valore del coefficiente di sicurezza indicato con F_m :

$$F_m = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i l_i R_i + (P_i - U_i) R_i \tan \phi_i]}{-\sum_{i=1}^n P_i f_i + \sum_{i=1}^n W_i x_i + \sum_{i=1}^n Q_i e_i}$$

La seconda equazione fornisce un valore del coefficiente di sicurezza indicato con F_f :

$$F_f = \frac{\sum_{i=1}^n [c_i l_i + (P_i - U_i) R_i \tan \phi_i] \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n P_i \sin \alpha_i + \sum_{i=1}^n Q_i}$$

Entrambi i valori del coefficiente di sicurezza F_m e F_f dipendono dalla particolare distribuzione delle forze di contatto (e quindi da λ_1) attraverso i valori di P_i , che devono essere determinati da equazioni di equilibrio locale delle singole strisce. La soluzione effettiva del problema si ottiene per l'unico valore di λ_1 cui corrisponde la condizione: $F_m(\lambda_1) = F_f(\lambda_1)$.

Le verifiche di stabilità vengono effettuate con i coefficienti di sicurezza parziali nella combinazione:

A2+M2+R2

Con:

- A2 coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:
 - carichi permanenti – effetto sfavorevole $A_2 = 1,00$
- M2 coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:
 - tangente dell'angolo di attrito $\gamma_{\tan} = 1,25$
 - coesione efficace $\gamma_c = 1,25$
 - peso dell'unità di volume $\gamma_g = 1,00$
- R2 coefficiente parziali per la resistenza $R_2 = 1,1$.

Per valutare l'azione sismica secondo quanto stabilito dalla nuova normativa (NTC 2018) è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale. Si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Le verifiche SLV sono state eseguite ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 NTC18) e impiegando le resistenze di progetto con coefficienti parziali $\gamma_R = 1,2$ (tab 7.11.III. NTC18).

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza. Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_h = K_o W \quad F_v = K_v W$$

F_h e F_v rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W : peso concio

K_o , K_v : Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Tali coefficienti K_o e K_v vengono calcolati come segue:

$$K_o = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o \quad \text{con}$$

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock;

g accelerazione di gravità.

Ai fini della verifica sismica sono stati assegnati i seguenti dati:

- Latitudine: 45,661 Longitudine: 8,795
- Classe d'uso: Classe III Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1
- Vita Nominale: 100 anni Coefficiente d'uso: 1.5 Vita di riferimento: 150 anni

I parametri sismici per lo Stato Limite Ultimo SLV sono riportati nella seguente Tabella.

a_g	F_o	T^*c	S_s	S_t	C_c	a_{max}/g	k_h	k_v
0.0495g	2.6825	0.3119	1.5	1	1.5423	0.07425	0.028215	0.0141075

Nelle verifiche sismiche si è tenuto conto del coefficiente pseudostatico verticale, considerato positivo verso il basso lungo la direzione verticale.

2. TRATTI IN RILEVATO

I **parametri geotecnici di calcolo** utilizzati nelle verifiche geotecniche sono i seguenti valori indicati tra parentesi, corrispondenti ai valori medi del range di variabilità indicati per ogni unità geotecnica d'interesse:

Unità geotecnica	Descrizione	γ_n (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	18-20 (19)	0-5 (3)	27-34 (30)	10-40 (25)
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	19-21 (19)	0	35-40 (37)	70-130 <25m 150-200 >25m (100)

VERIFICHE DI STABILITÀ

Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	18-20 (19)	0-10 (5)	30-35 (32)	80-130 <25m 150-200 >25m (100)
-----	-----------------------------------	---------------	-------------	---------------	--------------------------------------

Le unità geotecniche Ug3 ed Ug4 sono presenti oltre i 45m, dunque non sono interessate direttamente dalle opere in progetto, neppure dove è prevista la realizzazione di fondazioni profonde su pali. Gli scavi interessano principalmente i litotipi appartenenti alle unità Ug1a, Ug1 e Ug2.

Per il corpo del rilevato e lo strato di bonifica (di spessore pari a 1m), comprensivo di 0.20m di scotico, sono assunti i seguenti parametri geotecnici:

corpo rilevato e strato bonifica: $\gamma_t=19 \text{ kN/m}^3$ $c'=0 \text{ kPa}$ $\Phi'=37^\circ$

Il livello della falda risulta essere sempre profondo lungo l'intero il tracciato, tra i 20÷35 m di profondità rispetto al piano campagna. Pertanto, le verifiche geotecniche saranno condotte individuando caso per caso il livello di falda dal profilo geotecnico, per ogni sezione di rilevato analizzata.

Nelle verifiche SLU e SLV il valore caratteristico del sovraccarico stradale resta invariato ed è assunto pari a 20 kPa/ml. L'assunzione del carico uniformemente distribuito pari a 20 kPa è conforme a quanto utilizzato anche in altri progetti redatti per Lavori ANAS (ad esempio Reggio Emilia).

2.1 VERIFICHE DI STABILITÀ

E' stata esaminata la stabilità di numerose sezioni rappresentative delle tipologie di sezioni adottate nella progettazione stradale nella configurazione corrente lungo l'asse principale, in modo da tenere conto della variabilità dell'altezza dei rilevati e della larghezza degli stessi. Lungo l'asse degli svincoli Sciarè e A8 Pedemontana, tra le sezioni trasversali di progetto in rilevato si è focalizzata l'attenzione sulle sezioni con rilevato di maggiore altezza.

Nelle figure seguenti è riportato un esempio di output del programma, relativo al caso 1 esaminato. L'output di calcolo consente di visualizzare tutte le superfici di scorrimento analizzate e, in particolare, la superficie critica. Il programma prevede la stampa del listato dei dati di input e la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. La figura 0.1 mostra lo schema geometrico della sezione e la suddivisione in zone (rilevato, terreni di fondazione, livello falda, ecc.).

VERIFICHE DI STABILITÀ

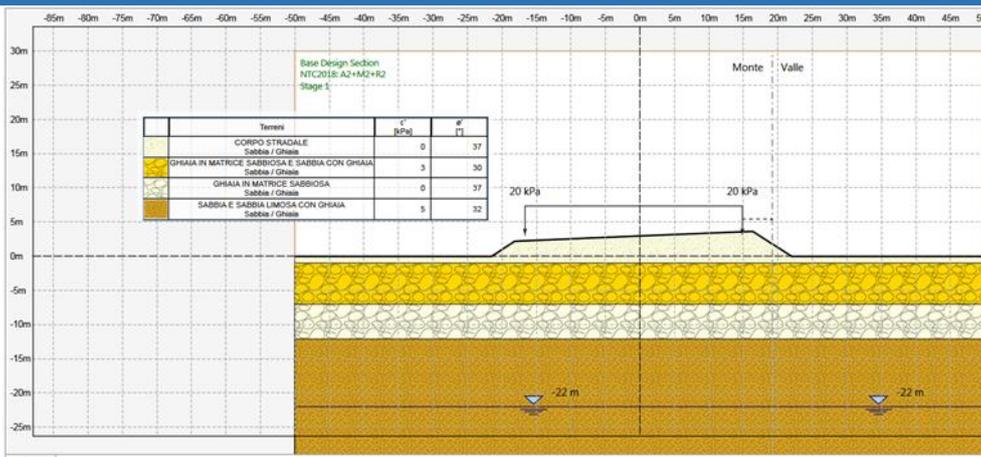


Fig.0.1 - Sezione tipo di calcolo

La figura 0.2 mostra il reticolo dei centri e le superfici di scorrimento analizzate. Per ogni centro, posto su una griglia quadrangolare definita dall'utente, vengono generate numerose superfici di scorrimento. Il raggio massimo è stabilito in modo che la superficie non interessi una zona di terreno sotto una quota stabilita Z_{min} ; il raggio minimo è stabilito facendo in modo che vi sia un approfondimento minimo D_{min} locale rispetto alla superficie del terreno. Dunque, Z_{min} e D_{min} rappresentano i limiti geometrici dei raggi e sono rappresentati graficamente dalla linea blu scura tratto-punto. La griglia dei centri è definita dalle coordinate di quattro punti (A, B, C, D), assegnati in modo che il percorso chiuso da A ad A descriva una rotazione anti-oraria. Con questa modalità è possibile ricavare la classica rappresentazione delle iso-asfaliche, ossia delle curve a equal coefficiente di sicurezza nella regione corrispondente alla griglia dei centri. Al colore delle superfici è associato un range di valori del fattore di sicurezza decrescenti dal blu al rosso. Le superfici in rosso sono quelle con il minor valore del fattore di sicurezza. Fra esse è evidenziata quella con il fattore di sicurezza minimo riportato a fianco della superficie interessata.

Infine, nella figura 0.3 è mostrato un dettaglio della zona del rilevato attraversata dalle superfici con i valori più bassi del fattore di sicurezza. La superficie con il valore minimo è evidenziata in grassetto e con, a fianco, il valore del fattore di sicurezza. La regione di terreno mobilitata, compresa tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento minima, è suddivisa in conci verticali (slices).

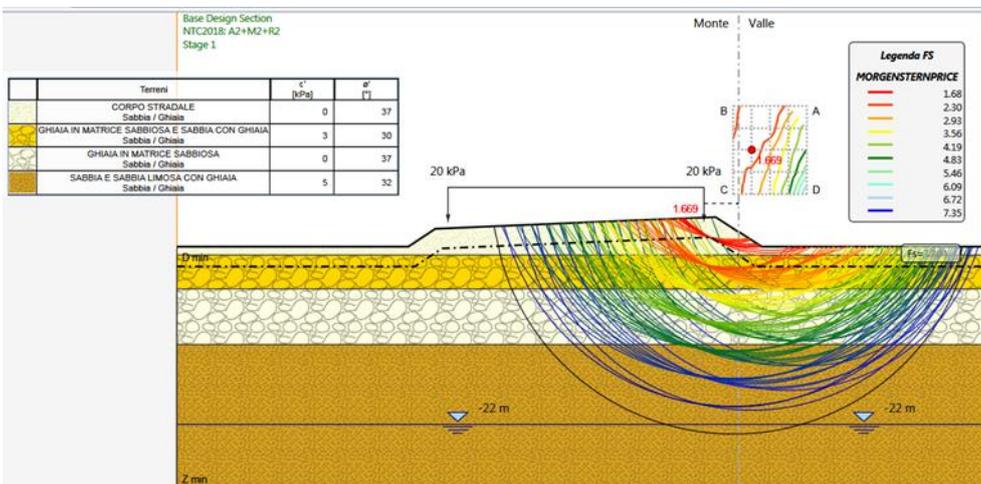


Fig.0.2 - Fascio di superfici di scorrimento analizzate (in evidenza quella col minor fattore di sicurezza)

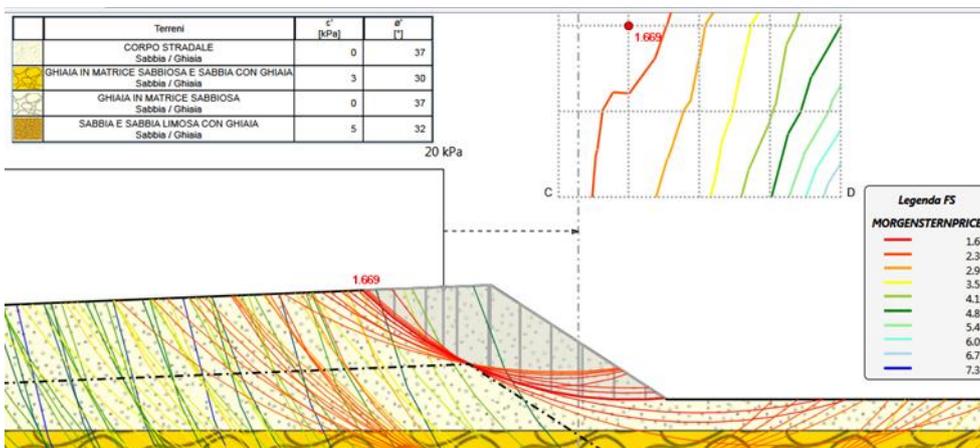


Fig.0.3 - Dettaglio delle superfici di scorrimento con i più bassi valori del fattore di sicurezza (in evidenza quella col minor fattore di sicurezza) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

Le verifiche, effettuate sia in condizioni statiche che sismiche, hanno fornito i valori del rapporto Rd/Ed riportati nella tabella seguente per i vari tipi di sezione; la stabilità è risultata sempre verificata, sia in condizioni normali che sismiche, per la configurazione geometrica e geotecnica adottata:

Tabella 1 - Tabella riassuntiva delle verifiche di stabilità dei rilevati

caso	Intervento	N° sezione	Tipologia	Dimensioni		Rd/Ed	
				H [m]	B [m]	Statica	Sismica
1	Asse principale	40	Rilevato	3,80	34.50	1,669	1,952
2		42	Rilevato	5,55	23.93	1,614	1,895
3		46	Rilevato	9,60	30.43	1,657	1,918
4		50	Rilevato	12,30	26.70	1,399	1,642
5	Svincolo Sciarè - Rampa A	A-7	Rilevato	11.00	22.92	1,15	1,359
6	Svincolo Sciarè - Rampa B	B-27	Rilevato	11.03	22.58	1,146	1,345
7	Svincolo A8/Pedemontana - Rampa A	A-9	Rilevato	6.05	9,75	1,727	2,038

Nelle schede di seguito allegate è riportato l'output del programma per ciascuna delle sezioni esaminate.

3. ATTENDIBILITA' DEL CODICE DI CALCOLO

In appendice alla presente relazione si riportano alcuni esempi di analisi di stabilità di pendii risolti con il programma Harpaceas e con altri programmi di calcolo da cui è possibile evincere che i risultati ottenuti sono perfettamente confrontabili.

Si allegano anche le dichiarazioni di affidabilità del codice di calcolo.

OUTPUT DEL PROGRAMMA DI CALCOLO

SCHEDA 1_CASO 1 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 40 – Asse principale (H=3.80, B=34.50)

CASO 1 – SEZIONE DI RIFERIMENTO 40-ASSE PRINCIPALE

La sezione 40 è rappresentativa di un rilevato alto circa 3.80 m e largo alla base circa 43.45 m, realizzato con ghiaia sabbiosa lungo l'asse principale. In Tabella 1.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 22m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-5.2
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	5.20-12.1
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	>12.1

Tab.1.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.1.1 e 1.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]		Falda acquifera [m]	
sinistra	destra	sinistra	destra
(-50.00;0.00)	(0.00;3.00)	-22.00	-22.00
(-21.49;0.00)	(16.34;3.67)		
(-18.17;2.22)	(21.96;0.00)		
(0.00;3.00)	(50.00;0.00)		

Tab.1.1 - Dati di input del modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore	Valore
Name	CORPO RILEVATO	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA	SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA
InitialStressK0nc	0.398	0.426	0.398	0.5
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³
PermeabilityKz	0.00000001 m/s	0.000001 m/s	0.00000001 m/s	0.00000001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	3 kPa	0 kPa	5 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	37 °	30 °	37 °	32 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	100000 kPa	250000 kPa	100000 kPa	100000 kPa
ElasticConstantEur	300000 kPa	750000 kPa	300000 kPa	160000 kPa
Alpha_up	0	0	0	0
Alpha_down	0	0	0	0

Tab.1.2 - Dati di input della stratigrafia (parametri geotecnici)

In Figura 1.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti nel calcolo.

VERIFICHE DI STABILITÀ

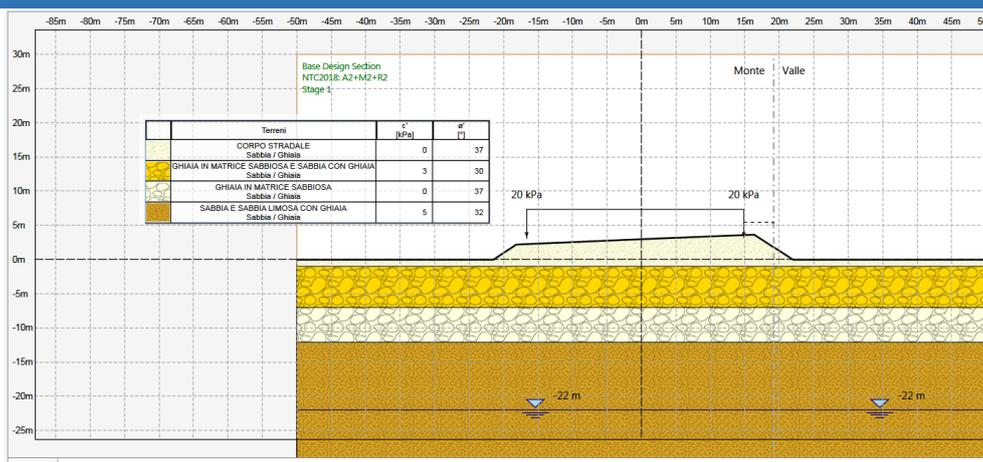


Figura 1.1 – Modello geometrico di calcolo

In Figura 1.2 sono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Figura 1.2 – Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche.

Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Fig.1.3).

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.669 (Figura 1.4).

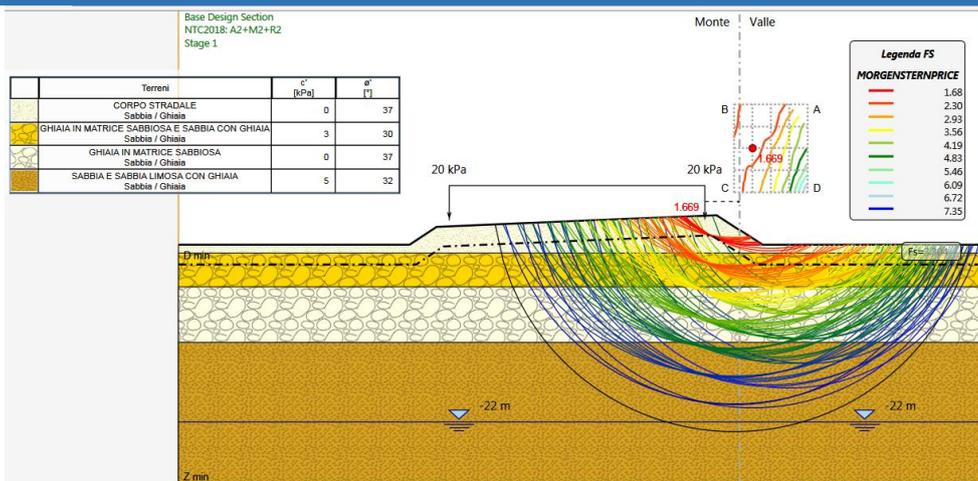


Figura 1.3 – Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti Fs

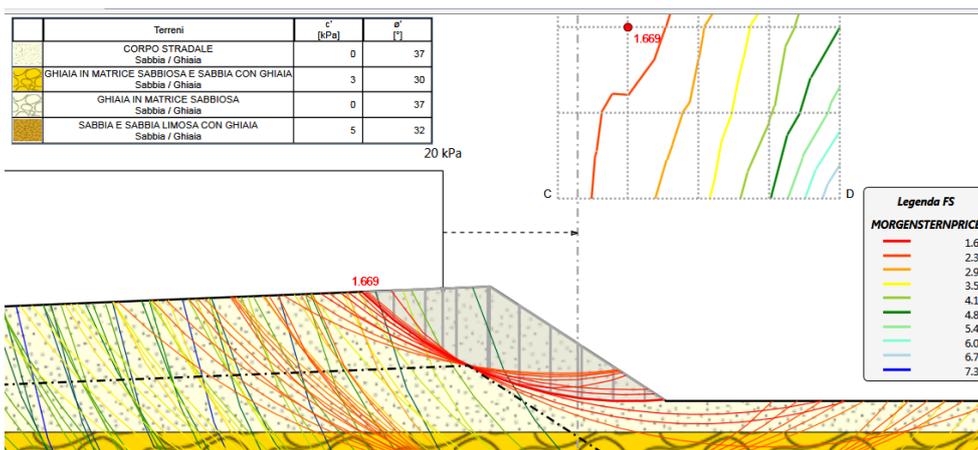


Fig.1.4 – Dettaglio del piede del rilevato con le superfici di scorrimento con Fs min (Fsmin=1.669) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.1.3):

Totale Superfici analizzate:119						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.669	0.356	6	20.75	12	12.001
VALID	1.774	0.283	5	23	17.5	17.939
VALID	1.811	0.324	6	20.75	14.75	14.537
VALID	1.814	0.265	5	23	14.75	15.472
VALID	1.965	0.325	6	18.5	6.5	6.0745
VALID	1.969	0.302	6	20.75	17.5	17.139

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	2.027	0.295	5	18.5	9.25	8.5992
VALID	2.206	0.266	5	18.5	12	11.23
VALID	2.322	0.209	7	18.5	6.5	9.4551
VALID	2.347	0.199	4	18.5	9.25	12.005
VALID	2.408	0.244	6	18.5	14.75	13.907
VALID	2.418	0.197	4	25.25	17.5	18.973
VALID	2.453	0.187	5	18.5	12	14.649
VALID	2.455	0.251	6	18.5	17.5	16.608
VALID	2.463	0.169	5	20.75	9.25	12.881
VALID	2.475	0.164	5	20.75	12	15.335
VALID	2.548	0.157	5	20.75	14.75	17.894
VALID	2.585	0.175	6	18.5	14.75	17.334
VALID	2.648	0.15	5	20.75	17.5	20.513
VALID	2.666	0.151	6	20.75	6.5	10.527
VALID	2.725	0.164	5	18.5	17.5	20.041
VALID	2.82	0.142	5	23	14.75	18.725
VALID	2.846	0.137	5	23	17.5	21.223
VALID	2.852	0.145	6	23	12	16.325
VALID	3.068	0.134	6	23	9.25	13.973
VALID	3.304	0.128	6	25.25	17.5	22.142
VALID	3.346	0.132	7	23	6.5	11.621
VALID	3.379	0.13	6	25.25	14.75	19.771
VALID	3.829	0.126	7	25.25	12	17.419
VALID	3.887	0.125	7	18.5	9.25	15.41
VALID	3.948	0.128	8	18.5	6.5	12.836
VALID	3.95	0.12	6	18.5	12	18.068
VALID	4.065	0.114	6	18.5	14.75	20.761
VALID	4.113	0.131	7	25.25	9.25	14.806
VALID	4.12	0.114	7	20.75	12	18.668
VALID	4.162	0.109	6	20.75	14.75	21.251
VALID	4.166	0.116	7	20.75	9.25	16.177
VALID	4.205	0.109	6	18.5	17.5	23.473
VALID	4.252	0.105	6	20.75	17.5	23.886
VALID	4.358	0.115	8	20.75	6.5	13.774
VALID	4.501	0.123	7	27.5	14.75	20.306
VALID	4.551	0.104	6	23	14.75	21.978
VALID	4.56	0.101	5	23	17.5	24.508
VALID	4.619	0.107	7	23	12	19.535
VALID	4.773	0.108	8	23	9.25	17.133
VALID	4.779	0.13	8	25.25	6.5	12.056
VALID	4.823	0.127	7	27.5	12	17.556
VALID	5.071	0.107	9	23	6.5	14.731
VALID	5.209	0.1	4	25.25	14.75	22.894
VALID	5.366	0.102	7	25.25	12	20.492
VALID	5.519	0.105	8	25.25	9.25	17.861
VALID	5.731	0.124	8	27.5	9.25	14.806
VALID	5.754	0.088	5	18.5	9.25	18.816

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	5.809	0.085	5	18.5	12	21.487
VALID	5.834	0.087	6	18.5	6.5	16.216
VALID	5.916	0.082	5	20.75	12	22.001
VALID	5.932	0.082	5	18.5	14.75	24.188
VALID	5.958	0.083	6	20.75	9.25	19.473
VALID	5.973	0.105	8	27.5	12	20.611
VALID	5.973	0.08	5	20.75	14.75	24.608
VALID	6.084	0.078	5	20.75	17.5	27.259
VALID	6.089	0.079	5	18.5	17.5	26.906
VALID	6.089	0.098	4	25.25	6.5	15.111
VALID	6.153	0.081	6	20.75	6.5	17.021
VALID	6.279	0.078	6	23	14.75	25.231
VALID	6.324	0.08	6	23	12	22.744
VALID	6.461	0.08	6	23	9.25	20.292
VALID	6.584	0.101	8	27.5	9.25	17.861
VALID	6.748	0.079	7	23	6.5	17.841
VALID	6.95	0.077	6	25.25	12	23.564
VALID	7.078	0.079	6	25.25	9.25	20.917
VALID	7.238	0.062	7	18.5	9.25	22.222
VALID	7.281	0.06	7	20.75	12	25.334
VALID	7.293	0.06	8	20.75	9.25	22.769
VALID	7.294	0.062	7	18.5	12	24.906
VALID	7.313	0.061	8	18.5	6.5	19.597
VALID	7.352	0.122	10	27.5	6.5	12.056
VALID	7.353	0.059	7	20.75	14.75	27.965
VALID	7.371	0.08	7	25.25	6.5	18.167
VALID	7.412	0.06	7	18.5	14.75	27.615
VALID	7.462	0.059	8	20.75	6.5	20.267
VALID	7.503	0.059	8	23	12	25.953
VALID	7.571	0.058	7	18.5	17.5	30.338
VALID	7.594	0.059	8	23	9.25	23.452
VALID	7.677	0.083	6	27.5	9.25	20.917
VALID	7.702	0.099	4	27.5	6.5	15.111
VALID	7.829	0.057	9	23	6.5	20.951
VALID	8.018	0.059	8	25.25	9.25	23.972
VALID	8.275	0.059	9	25.25	6.5	21.222
VALID	8.298	0.085	7	27.5	6.5	18.167
VALID	8.66	0.047	9	20.75	12	28.667
VALID	8.66	0.047	10	18.5	9.25	25.627
VALID	8.688	0.047	9	18.5	12	28.325
VALID	8.692	0.047	10	20.75	9.25	26.065
VALID	8.783	0.046	12	18.5	6.5	22.978
VALID	8.791	0.046	9	18.5	14.75	31.042
VALID	8.882	0.045	12	20.75	6.5	23.514
VALID	8.922	0.063	9	27.5	6.5	21.222
VALID	8.936	0.046	10	23	9.25	26.612
VALID	9.163	0.045	13	23	6.5	24.06

VALID	9.513	0.047	13	25.25	6.5	24.278
VALID	10.323	0.037	14	18.5	9.25	29.033
VALID	10.432	0.036	16	18.5	6.5	26.358
VALID	10.443	0.036	16	20.75	6.5	26.76
VALID	12.146	0.029	6	18.5	6.5	29.739

Tabella 1.3 – Analisi statica - Sezione n.40

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.952 (Fig.1.5).

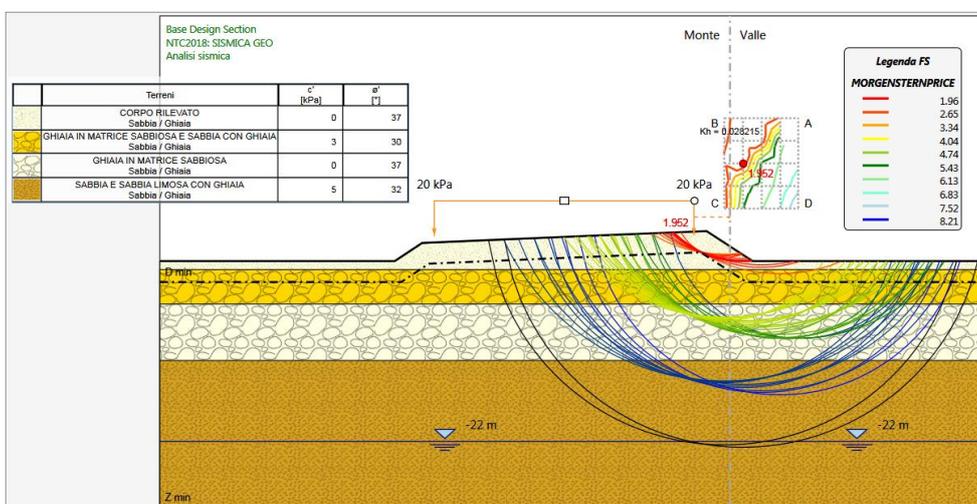


Figura 1.5 – Traccia superfici analizzate e contour dei coefficienti Fs

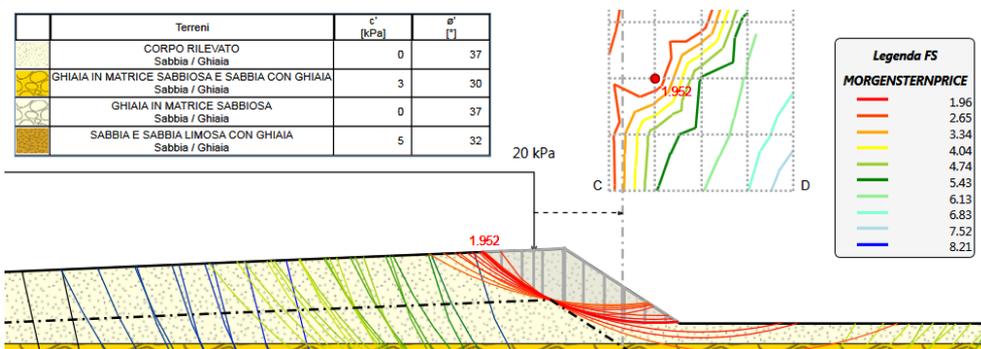


Fig.1.6- Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con $F_{smin}=1.952$ e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.1.4):

Totale Superfici analizzate:59						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.952	0.411	7	20.75	12	12.001
VALID	2.064	0.319	6	23	17.5	17.939
VALID	2.109	0.291	5	23	14.75	15.472
VALID	2.111	0.385	6	20.75	14.75	14.537
VALID	2.288	0.368	6	20.75	17.5	17.139
VALID	2.299	0.368	6	18.5	6.5	6.0745
VALID	2.361	0.343	6	18.5	9.25	8.5992
VALID	2.556	0.318	6	18.5	12	11.23
VALID	2.742	0.211	6	25.25	17.5	18.973
VALID	2.776	0.299	5	18.5	14.75	13.907
VALID	2.841	0.3	4	18.5	17.5	16.608
VALID	4.88	0.135	7	18.5	9.25	16.262
VALID	4.897	0.132	7	18.5	12	18.923
VALID	4.975	0.128	6	18.5	14.75	21.618
VALID	5.014	0.134	8	18.5	6.5	13.681
VALID	5.041	0.124	7	20.75	12	19.501
VALID	5.049	0.121	7	20.75	14.75	22.09
VALID	5.085	0.124	6	18.5	17.5	24.331
VALID	5.11	0.119	6	20.75	17.5	24.729
VALID	5.137	0.124	7	20.75	9.25	17.001
VALID	5.378	0.114	7	23	17.5	25.329
VALID	5.399	0.115	7	23	14.75	22.791
VALID	5.404	0.121	8	20.75	6.5	14.586
VALID	5.502	0.116	7	23	12	20.337
VALID	5.711	0.116	8	23	9.25	17.923
VALID	5.99	0.11	7	25.25	14.75	23.674
VALID	6.087	0.113	9	23	6.5	15.508
VALID	6.182	0.111	8	25.25	12	21.26
VALID	6.388	0.113	8	25.25	9.25	18.625
VALID	6.685	0.113	8	27.5	12	21.375
VALID	6.796	0.113	10	25.25	6.5	15.875
VALID	7.251	0.109	9	27.5	9.25	18.625
VALID	8.165	0.07	7	20.75	12	27.001
VALID	8.169	0.071	6	18.5	14.75	29.329
VALID	8.176	0.071	7	18.5	12	26.615
VALID	8.219	0.107	12	27.5	6.5	15.875
VALID	8.268	0.07	7	18.5	9.25	23.925
VALID	8.312	0.069	7	20.75	9.25	24.417
VALID	8.512	0.068	8	18.5	6.5	21.287
VALID	8.545	0.067	8	23	9.25	25.032
VALID	8.612	0.065	8	20.75	6.5	21.89
VALID	8.922	0.064	8	23	6.5	22.505
VALID	9.241	0.065	8	25.25	6.5	22.75

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	11.628	0.044	14	20.75	6.5	29.195
VALID	11.699	0.045	14	18.5	6.5	28.894

Tabella 1.4 – Analisi sismica - Sezione n.40

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica di stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

**SCHEDA 2_CASO 2 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 42 – Asse principale
(H=5.55, B=32.93)**

CASO 2 – SEZIONE DI RIFERIMENTO 42 ASSE PRINCIPALE

La sezione 42 è rappresentativa di un rilevato alto circa 5.55 m e largo alla base circa 47.05 m, realizzato con ghiaia sabbiosa lungo l'asse principale. In Tabella 2.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 22m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-5.4
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	5-12.1
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	>12.1

Tab.2.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.2.1 e 2.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]		Falda acquifera [m]	
sinistra	destra	sinistra	destra
(-50.00;0.00)	(0.00;4.90)	-22.00	-22.00
(-25.04;0.00)	(13.75;5.53)		
(-19.18;3.94)	(22.01;0.00)		
(0.00;4.90)	(50.00;0.00)		

Tab.2.1 – Dati di input del modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore	Valore
Name	CORPO RILEVATO	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA	SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA
InitialStressK0nc	0.398	0.426	0.398	0.5
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m³	19 kN/m³	19 kN/m³	19 kN/m³
PermeabilityKz	0.00000001 m/s	0.000001 m/s	0.00000001 m/s	0.00000001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	3 kPa	0 kPa	5 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	37 °	30 °	37 °	32 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	100000 kPa	250000 kPa	100000 kPa	100000 kPa
ElasticConstantEur	300000 kPa	750000 kPa	300000 kPa	160000 kPa
Alpha_up	0	0	0	0
Alpha_down	0	0	0	0

Tab.2.2 - Dati di input della stratigrafia (parametri geotecnici)

In Figura 2.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti a base del calcolo.

VERIFICHE DI STABILITÀ

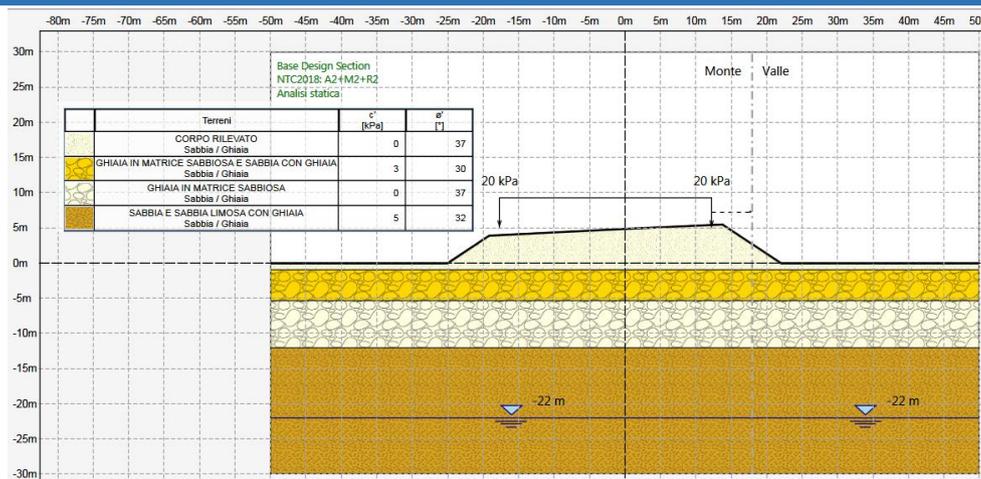


Fig. 2.1 – Modello geometrico di calcolo

In Figura 2.2 sono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Fig. 2.2 – Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche. Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Fig.2.3 e 2.4).

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.614.

VERIFICHE DI STABILITÀ

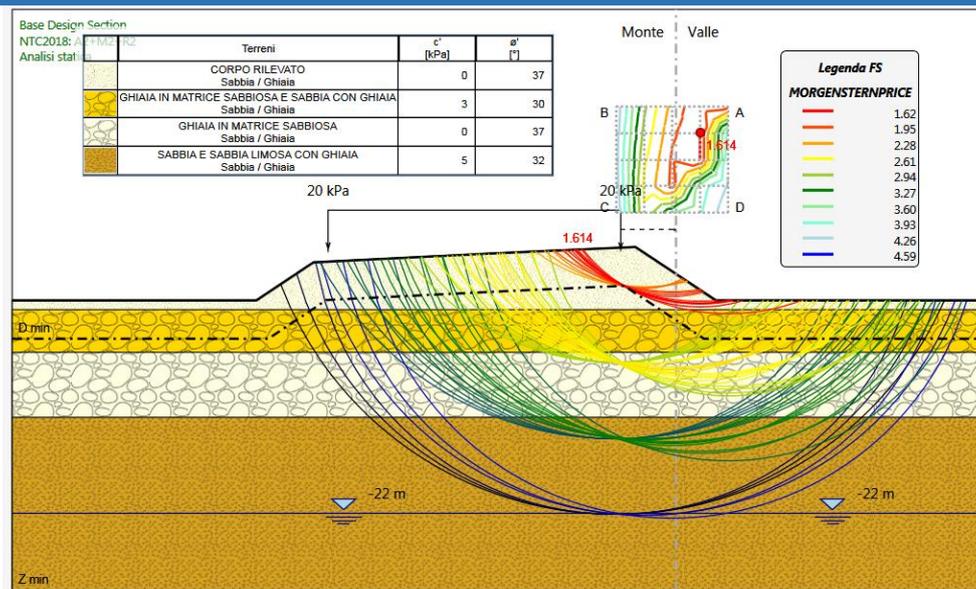


Fig.2.3 – Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti Fs

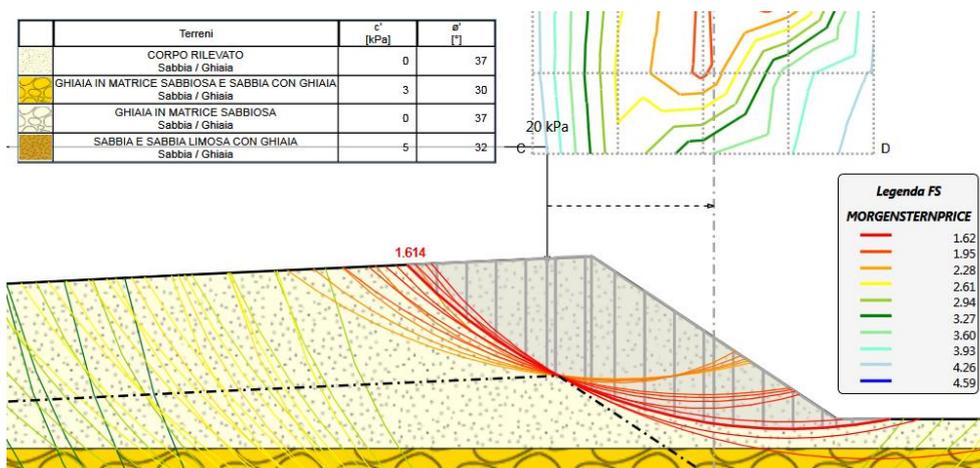


Fig.2.4 – Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fsmin=1.614) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui di seguito (Tab.2.3):

Totale Superfici analizzate:72						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.614	0.374	6	20.375	17.25	17.58
VALID	1.614	0.36	6	20.375	14.5	15.161
VALID	1.701	0.356	6	20.375	20	20.084
VALID	1.81	0.259	5	23.25	20	21.36
VALID	1.858	0.33	6	17.5	11.75	11.377

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	1.89	0.329	6	17.5	14.5	13.911
VALID	2.021	0.306	6	17.5	17.25	16.514
VALID	2.161	0.286	5	17.5	20	19.158
VALID	2.54	0.257	6	14.625	11.75	10.47
VALID	2.65	0.237	6	14.625	9	7.789
VALID	2.684	0.241	6	14.625	14.5	13.18
VALID	2.844	0.227	5	14.625	17.25	15.903
VALID	3.007	0.214	5	14.625	20	18.634
VALID	3.498	0.146	6	17.5	11.75	18.97
VALID	3.518	0.142	6	17.5	14.5	21.558
VALID	3.564	0.147	7	17.5	9	16.478
VALID	3.58	0.137	6	17.5	17.25	24.198
VALID	3.655	0.157	6	14.625	11.75	18.29
VALID	3.664	0.132	6	17.5	20	26.869
VALID	3.669	0.162	6	14.625	9	15.592
VALID	3.706	0.128	6	20.375	17.25	24.997
VALID	3.706	0.151	6	14.625	14.5	21.01
VALID	3.71	0.131	7	20.375	14.5	22.495
VALID	3.742	0.125	6	20.375	20	27.563
VALID	3.773	0.132	7	20.375	11.75	20.078
VALID	3.789	0.144	6	14.625	17.25	23.74
VALID	3.889	0.137	6	14.625	20	26.476
VALID	3.902	0.131	7	20.375	9	17.677
VALID	4.112	0.12	7	23.25	17.25	26.08
VALID	4.187	0.122	7	23.25	14.5	23.679
VALID	4.308	0.122	8	23.25	11.75	21.278
VALID	4.402	0.149	6	11.75	14.5	20.914
VALID	4.431	0.154	6	11.75	11.75	18.166
VALID	4.434	0.142	6	11.75	17.25	23.662
VALID	4.501	0.136	6	11.75	20	26.41
VALID	4.52	0.122	8	23.25	9	18.876
VALID	4.595	0.159	7	11.75	9	15.418
VALID	5.895	0.074	6	17.5	11.75	26.563
VALID	5.912	0.073	6	17.5	14.5	29.205
VALID	5.959	0.073	7	17.5	9	23.985
VALID	5.976	0.072	6	17.5	17.25	31.882
VALID	5.985	0.072	6	20.375	11.75	27.302
VALID	6.085	0.077	6	14.625	11.75	26.11
VALID	6.087	0.07	7	20.375	9	24.785
VALID	6.118	0.077	6	14.625	9	23.394
VALID	6.12	0.075	6	14.625	14.5	28.84
VALID	6.198	0.073	6	14.625	17.25	31.577
VALID	6.301	0.071	6	14.625	20	34.317
VALID	6.418	0.069	7	23.25	9	25.584
VALID	6.63	0.078	6	11.75	11.75	26.028
VALID	6.63	0.076	6	11.75	14.5	28.776
VALID	6.685	0.074	6	11.75	17.25	31.525

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	6.714	0.079	6	11.75	9	23.279
VALID	6.844	0.069	6	11.75	20	34.273
VALID	8.456	0.045	12	17.5	9	31.493
VALID	8.71	0.046	12	14.625	9	31.197
VALID	8.713	0.044	10	14.625	11.75	33.93
VALID	9.397	0.042	13	11.75	9	31.139
VALID	9.647	0.037	13	11.75	11.75	33.889
VALID	10.177	0.03	13	11.75	14.5	36.638

Tabella 2.3 – Analisi statica - Sezione n.42

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.895 .

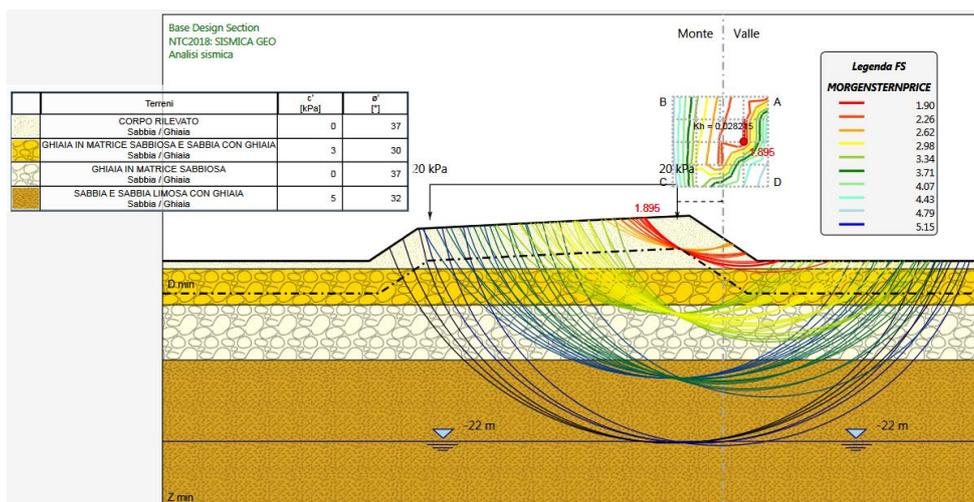


Figura 2.5 – Traccia superfici analizzate e contour dei coefficienti Fs

VERIFICHE DI STABILITÀ

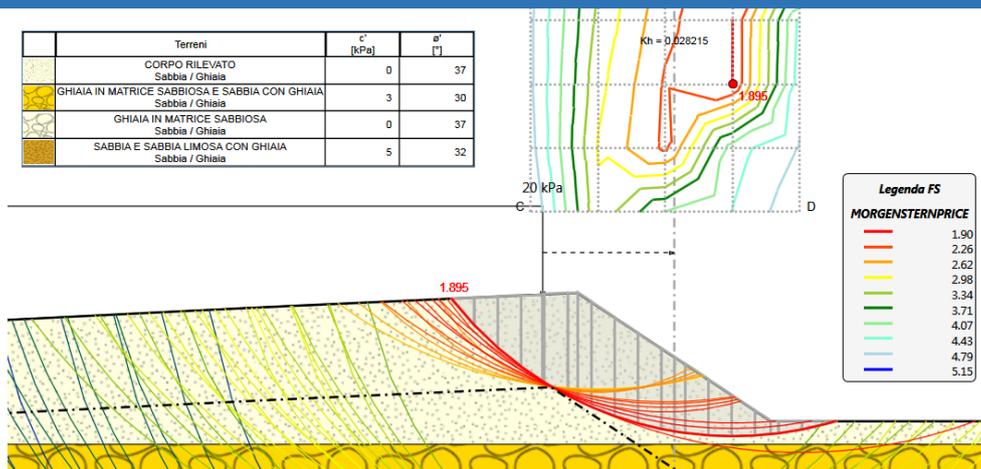


Fig.2.6 - Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fsmin=1.895) e regione di terreno mobilitata in conchi verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui di seguito (Tab.2.4):

Totale Superfici analizzate:72						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.895	0.403	7	20.375	14.5	15.161
VALID	1.897	0.422	7	20.375	17.25	17.58
VALID	1.993	0.409	7	20.375	20	20.084
VALID	2.101	0.283	5	23.25	20	21.36
VALID	2.178	0.376	6	17.5	11.75	11.377
VALID	2.213	0.373	6	17.5	14.5	13.911
VALID	2.355	0.354	6	17.5	17.25	16.514
VALID	2.506	0.337	6	17.5	20	19.158
VALID	2.946	0.293	5	14.625	11.75	10.47
VALID	3.077	0.275	6	14.625	9	7.789
VALID	3.09	0.28	5	14.625	14.5	13.18
VALID	3.252	0.269	5	14.625	17.25	15.903
VALID	3.417	0.259	5	14.625	20	18.634
VALID	3.967	0.166	6	17.5	14.5	21.558
VALID	3.977	0.168	6	17.5	11.75	18.97
VALID	4.006	0.162	6	17.5	17.25	24.198
VALID	4.07	0.158	6	17.5	20	26.869
VALID	4.086	0.167	6	17.5	9	16.478
VALID	4.137	0.184	5	14.625	11.75	18.29
VALID	4.139	0.149	6	20.375	17.25	24.997
VALID	4.153	0.147	6	20.375	20	27.563
VALID	4.157	0.179	5	14.625	14.5	21.01
VALID	4.169	0.151	6	20.375	14.5	22.495
VALID	4.195	0.187	6	14.625	9	15.592
VALID	4.215	0.173	6	14.625	17.25	23.74
VALID	4.269	0.151	7	20.375	11.75	20.078

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	4.293	0.167	6	14.625	20	26.476
VALID	4.446	0.148	7	20.375	9	17.677
VALID	4.551	0.139	7	23.25	17.25	26.08
VALID	4.658	0.139	7	23.25	14.5	23.679
VALID	4.818	0.139	7	23.25	11.75	21.278
VALID	4.853	0.173	6	11.75	17.25	23.662
VALID	4.856	0.179	6	11.75	14.5	20.914
VALID	4.89	0.168	6	11.75	20	26.41
VALID	4.929	0.184	6	11.75	11.75	18.166
VALID	5.084	0.136	8	23.25	9	18.876
VALID	5.156	0.186	6	11.75	9	15.418
VALID	6.348	0.092	5	17.5	14.5	29.205
VALID	6.351	0.092	5	17.5	17.25	31.882
VALID	6.397	0.092	5	17.5	11.75	26.563
VALID	6.477	0.088	5	20.375	11.75	27.302
VALID	6.537	0.089	5	17.5	9	23.985
VALID	6.544	0.096	5	14.625	14.5	28.84
VALID	6.555	0.095	5	14.625	17.25	31.577
VALID	6.581	0.096	5	14.625	11.75	26.11
VALID	6.596	0.093	5	14.625	20	34.317
VALID	6.654	0.085	6	20.375	9	24.785
VALID	6.698	0.095	5	14.625	9	23.394
VALID	6.961	0.083	6	23.25	9	25.584
VALID	6.991	0.097	4	11.75	17.25	31.525
VALID	7.011	0.098	4	11.75	14.5	28.776
VALID	7.068	0.093	5	11.75	20	34.273
VALID	7.092	0.099	4	11.75	11.75	26.028
VALID	7.271	0.098	4	11.75	9	23.279
VALID	8.859	0.06	9	17.5	9	31.493
VALID	8.954	0.062	8	14.625	11.75	33.93
VALID	9.088	0.062	9	14.625	9	31.197
VALID	9.68	0.059	9	11.75	9	31.139
VALID	9.721	0.056	9	11.75	11.75	33.889
VALID	9.986	0.051	9	11.75	14.5	36.638

Tab.2.4 – Analisi sismica - Sezione 42

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica di stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

SCHEDA 3_CASO 3 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 46 – Asse principale (H=9.60, B=30.43)

CASO 3 – SEZIONE DI RIFERIMENTO 46-ASSE PRINCIPALE

La sezione 42 è rappresentativa di un rilevato alto circa 9.60 m e largo alla base circa 61.08 m, realizzato con ghiaia sabbiosa lungo l'asse principale. In Tabella 3.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 22m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-6.1
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	6.1-12.5
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	>12.5

Tab.3.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.2.1 e 2.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]		Falda acquifera [m]	
sinistra	destra	sinistra	destra
(-50.00;0.00)	(0.00;8.98)	-22.00	-22.00
(-30.90;0.00)	(13.75;9.60)		
(-26.18;3.22)	(21.25;4.66)		
(-24.18;3.26)	(23.25;4.65)		
(-16.68;8.32)	(30.18;0.00)		
(0.00;8.98)	(50.00;0.00)		

Tab.3.1: Dati di input del modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore	Valore
Name	CORPO RILEVATO	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA	SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA
InitialStressK0nc	0.398	0.426	0.398	0.5
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m³	19 kN/m³	19 kN/m³	19 kN/m³
PermeabilityKz	0.0000001 m/s	0.000001 m/s	0.0000001 m/s	0.0000001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	3 kPa	0 kPa	5 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	37 °	30 °	37 °	32 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	100000 kPa	250000 kPa	100000 kPa	100000 kPa
ElasticConstantEur	300000 kPa	750000 kPa	300000 kPa	160000 kPa
Alpha_up	0	0	0	0
Alpha_down	0	0	0	0

Tab.3.2: Dati di input della stratigrafia (parametri geotecnici)

In Fig.3.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti a base del calcolo.

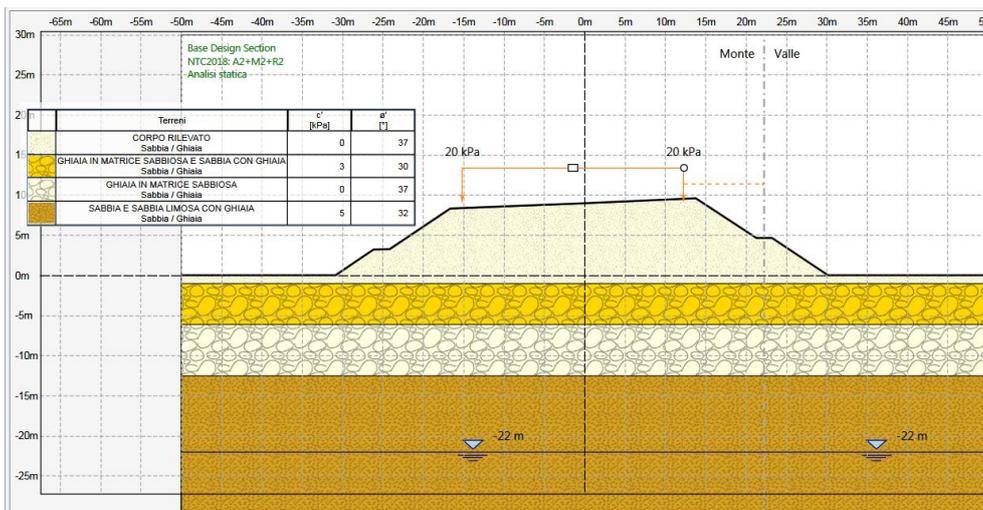


Fig.3.1 - Modello geometrico di calcolo

In Fig.3.2 sono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Fig.3.2 - Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche. Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza.

Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Fig.3.3).

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.657.

VERIFICHE DI STABILITÀ

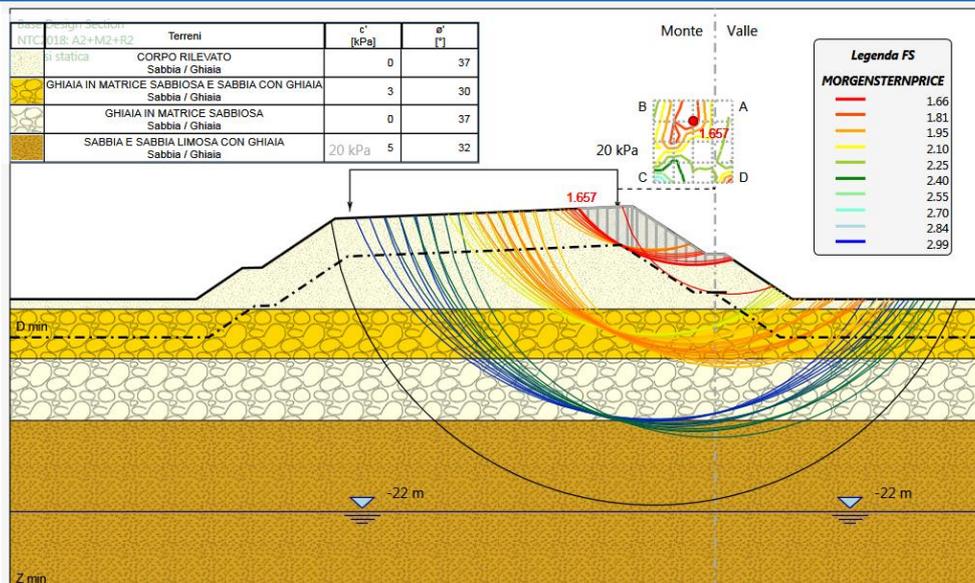


Fig.3.3 - Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti Fs

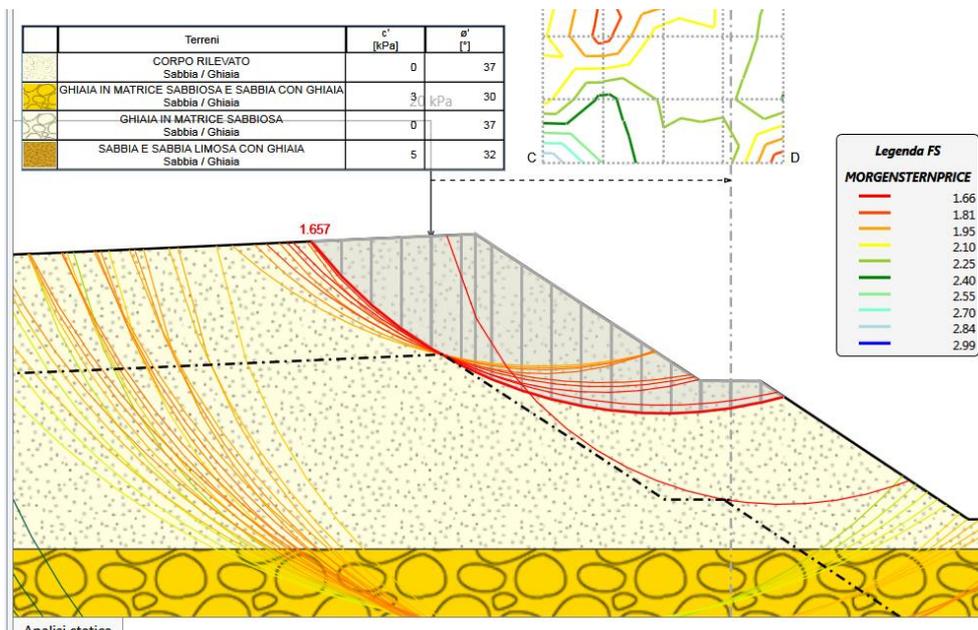


Fig.3.4 - Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fs min = 1.657) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui seguito (Tab.3.3):

Totale Superfici analizzate:63						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.657	0.353	6	20	18.375	14.794

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	1.667	0.43	7	24	12	11.482
VALID	1.699	0.344	6	20	20.5	16.67
VALID	1.734	0.361	6	18	16.25	11.974
VALID	1.811	0.341	6	18	18.375	13.907
VALID	1.903	0.322	6	18	20.5	15.888
VALID	2.046	0.315	7	16	14.125	9.2162
VALID	2.125	0.223	6	22	18.375	23.993
VALID	2.125	0.298	5	16	16.25	11.221
VALID	2.127	0.222	6	22	20.5	25.859
VALID	2.132	0.225	6	22	16.25	22.131
VALID	2.197	0.234	6	20	18.375	23.189
VALID	2.202	0.236	6	20	16.25	21.306
VALID	2.208	0.231	6	20	20.5	25.128
VALID	2.209	0.228	7	22	14.125	20.269
VALID	2.226	0.236	6	20	14.125	19.444
VALID	2.231	0.281	5	16	18.375	13.264
VALID	2.28	0.215	6	24	18.375	24.819
VALID	2.28	0.235	7	20	12	17.582
VALID	2.338	0.217	7	24	16.25	22.956
VALID	2.348	0.265	5	16	20.5	15.329
VALID	2.352	0.231	7	22	12	18.407
VALID	2.398	0.228	6	18	18.375	22.524
VALID	2.404	0.219	7	24	14.125	21.094
VALID	2.404	0.225	6	18	20.5	24.541
VALID	2.41	0.228	6	18	16.25	20.543
VALID	2.451	0.226	7	18	14.125	18.621
VALID	2.462	0.22	7	24	12	19.112
VALID	2.537	0.221	7	18	12	16.757
VALID	2.757	0.202	6	16	20.5	24.121
VALID	2.769	0.201	6	16	18.375	22.042
VALID	2.802	0.2	4	16	16.25	19.978
VALID	2.869	0.196	5	16	14.125	17.943
VALID	2.992	0.189	5	16	12	15.96
VALID	3.903	0.133	7	20	16.25	29.621
VALID	3.931	0.132	7	20	14.125	27.671
VALID	3.938	0.124	8	22	12	26.271
VALID	3.987	0.13	8	20	12	25.721
VALID	4.052	0.139	7	18	16.25	29.112
VALID	4.055	0.139	7	18	18.375	31.141
VALID	4.075	0.139	7	18	14.125	27.122
VALID	4.134	0.137	8	18	12	25.171
VALID	4.363	0.141	7	16	20.5	32.914
VALID	4.365	0.144	7	16	18.375	30.819
VALID	4.386	0.145	7	16	14.125	26.671
VALID	4.388	0.145	7	16	16.25	28.736
VALID	4.439	0.144	7	16	12	24.64
VALID	5.693	0.079	6	16	12	33.32

Tab. 3.3 – Analisi statica - Sezione n.46

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.918 .

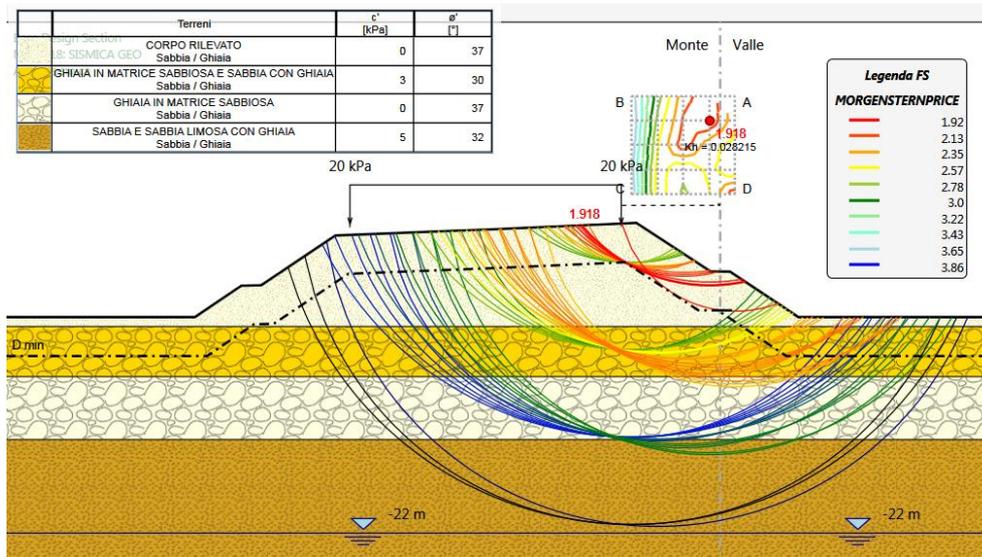


Fig. 3.5 – Traccia superfici analizzate e contour dei coefficienti F_s

VERIFICHE DI STABILITÀ

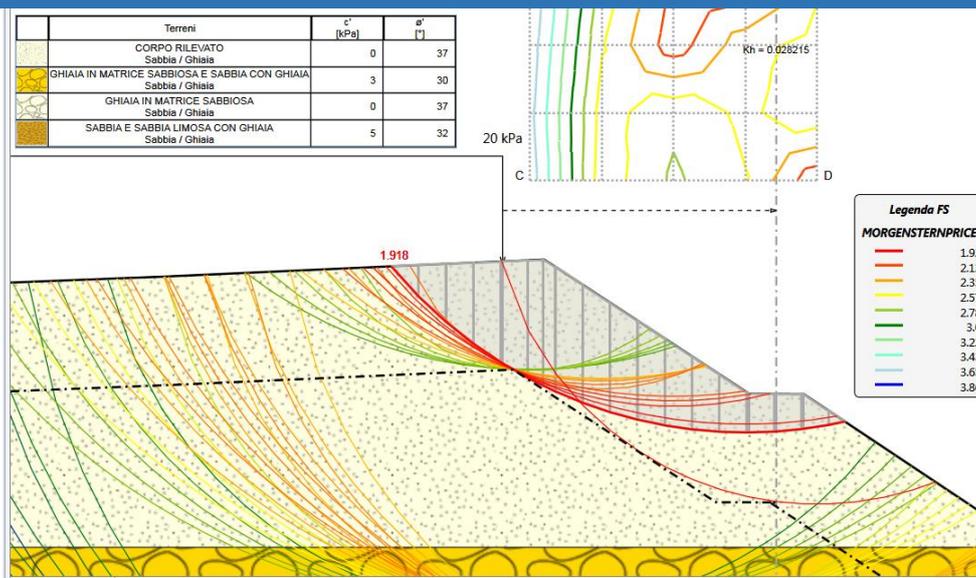


Fig.3.6 - Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fs min =1.918) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.3.4):

Totale Superfici analizzate:66						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.918	0.391	6	21.125	20	16.764
VALID	1.966	0.445	7	23.75	12.5	11.923
VALID	1.968	0.382	6	21.125	22.5	18.962
VALID	2.011	0.403	7	18.5	17.5	13.316
VALID	2.109	0.386	6	18.5	20	15.599
VALID	2.229	0.37	6	18.5	22.5	17.941
VALID	2.434	0.355	7	15.875	12.5	7.6727
VALID	2.469	0.338	7	15.875	15	9.9946
VALID	2.479	0.261	6	21.125	20	25.073
VALID	2.485	0.261	6	21.125	17.5	22.866
VALID	2.492	0.259	6	21.125	22.5	27.346
VALID	2.514	0.26	6	21.125	15	20.675
VALID	2.517	0.238	6	23.75	20	26.139
VALID	2.58	0.257	7	21.125	12.5	18.484
VALID	2.586	0.322	6	15.875	17.5	12.386
VALID	2.645	0.242	6	23.75	17.5	23.949
VALID	2.685	0.267	6	18.5	20	24.2
VALID	2.688	0.268	6	18.5	17.5	21.862
VALID	2.701	0.264	6	18.5	22.5	26.58
VALID	2.727	0.266	6	18.5	15	19.595
VALID	2.727	0.308	6	15.875	20	14.813
VALID	2.744	0.244	7	23.75	15	21.758
VALID	2.823	0.26	7	18.5	12.5	17.401
VALID	2.866	0.243	7	23.75	12.5	19.567

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	2.875	0.296	5	15.875	22.5	17.261
VALID	3.145	0.237	6	15.875	22.5	26.071
VALID	3.16	0.236	6	15.875	20	23.61
VALID	3.201	0.233	7	15.875	17.5	21.165
VALID	3.285	0.227	7	15.875	15	18.746
VALID	3.445	0.217	7	15.875	12.5	16.38
VALID	3.72	0.237	6	13.25	15	9.4745
VALID	3.787	0.233	6	13.25	17.5	11.97
VALID	3.788	0.239	7	13.25	12.5	6.9817
VALID	3.803	0.203	6	13.25	22.5	25.849
VALID	3.865	0.2	5	13.25	20	23.351
VALID	3.897	0.227	6	13.25	20	14.468
VALID	3.966	0.196	5	13.25	17.5	20.853
VALID	4.022	0.222	6	13.25	22.5	16.966
VALID	4.132	0.189	5	13.25	15	18.356
VALID	4.406	0.15	7	21.125	15	28.783
VALID	4.413	0.178	6	13.25	12.5	15.861
VALID	4.493	0.147	7	21.125	12.5	26.489
VALID	4.514	0.162	6	18.5	17.5	30.408
VALID	4.553	0.161	7	18.5	15	28.063
VALID	4.643	0.158	7	18.5	12.5	25.767
VALID	4.887	0.169	6	15.875	20	32.407
VALID	4.925	0.171	6	15.875	17.5	29.943
VALID	5.004	0.172	6	15.875	15	27.497
VALID	5.056	0.169	7	15.875	12.5	25.086
VALID	5.352	0.166	6	13.25	20	32.234
VALID	5.376	0.172	6	13.25	17.5	29.735
VALID	5.382	0.16	6	13.25	22.5	34.733
VALID	5.506	0.173	6	13.25	15	27.237
VALID	5.724	0.172	7	13.25	12.5	24.741
VALID	6.3	0.098	4	15.875	12.5	33.793
VALID	6.831	0.094	5	13.25	12.5	33.62
VALID	6.88	0.089	5	13.25	15	36.119

Tab.3.4 – Analisi sismica - Sezione n.46

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica di stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

SCHEDA 4_CASO 4 : SEZIONE DI RIFERIMENTO 50 – Asse principale (H=12.30, B=26.70)

CASO 4 – SEZIONE DI RIFERIMENTO 50 – ASSE PRINCIPALE

La sezione 50 è rappresentativa di un rilevato alto circa 12.30 m e largo alla base circa 67.54 m, realizzato con ghiaia sabbiosa. In Tabella 4.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 22.55 m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-7.2
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	7.2-13.2
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	>13.2

Tab.3.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.4.1 e 4.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]		Falda acquifera [m]	
sinistra	destra	sinistra	destra
(-100.00;0.00)	(0.00;11.4)	-22.55	-22.55
(-31.23;0.00)	(13.56;12.32)		
(-22.64;5.74)	(21.06;7.35)		
(-20.46;5.77)	(23.06;7.32)		
(-13.14;10.81)	(30.56;2.42)		
(0.00;11.4)	(32.56;2.43)		
	(36.31;0.00)		
	(100.00;0.00)		

Tab.4.1 - Dati di input del modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore	Valore
Name	CORPO RILEVATO	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA	SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA
InitialStressK0nc	0.398	0.426	0.398	0.5
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³	17.5 kN/m³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m³	19 kN/m³	19 kN/m³	19 kN/m³
PermeabilityKz	0.00000001 m/s	0.000001 m/s	0.00000001 m/s	0.00000001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	3 kPa	0 kPa	5 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	37 °	30 °	37 °	32 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	100000 kPa	250000 kPa	100000 kPa	100000 kPa
ElasticConstantEur	300000 kPa	750000 kPa	300000 kPa	160000 kPa
Alpha_up	0	0	0	0
Alpha_down	0	0	0	0

Tab.4.2 - Dati di input della stratigrafia (parametri geotecnici)

In Fig.4.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti alla base del calcolo.

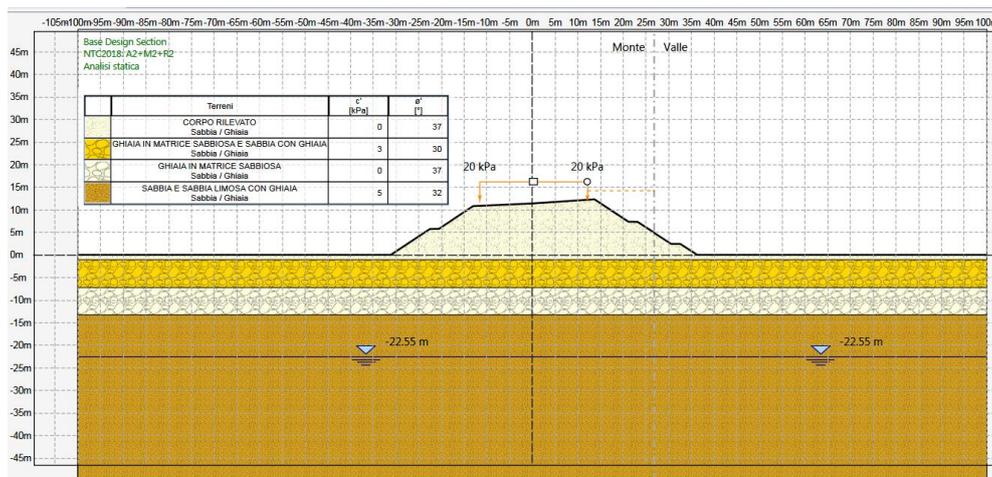


Fig.4.1 – Modello geometrico di calcolo

In Fig.4.2 dono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Fig.4.2 – Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche. Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Figg.4.3 e 4.4).

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.399 .

VERIFICHE DI STABILITÀ

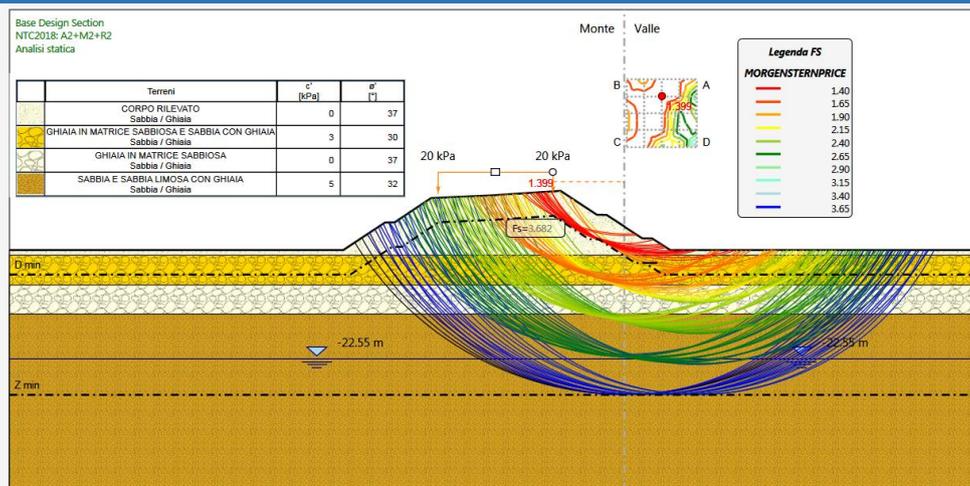


Fig. 4.3 – Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti F_s

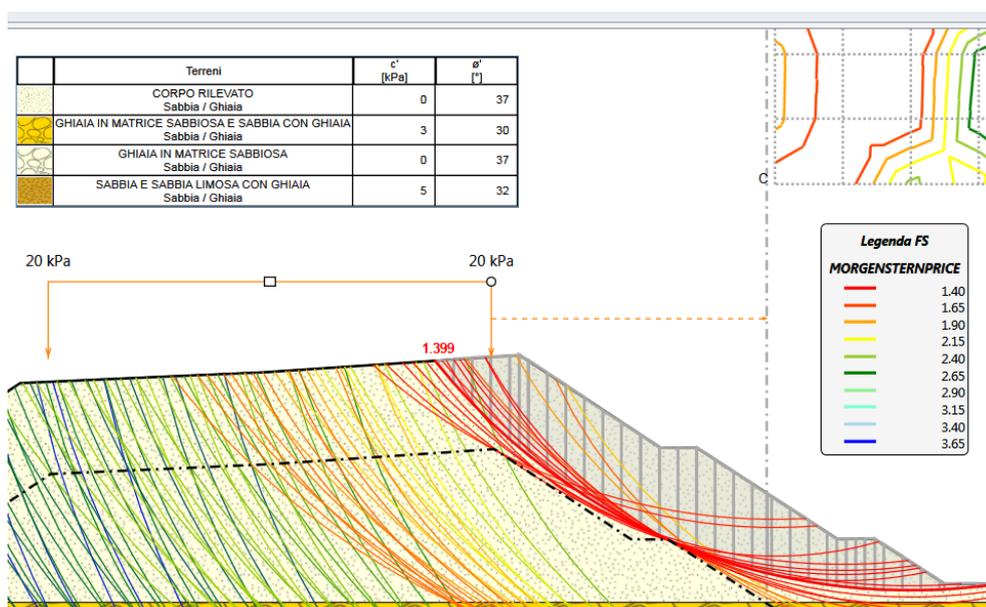


Fig. 4.4 – Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con F_s minimo ($F_s \text{ min} = 1.399$) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.4.3):

Totale Superfici analizzate:119						
Classificazione	F_s	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.399	0.438	7	34.5	32	32.367
VALID	1.409	0.439	7	34.5	28.5	29.193
VALID	1.421	0.425	7	34.5	35.5	35.601
VALID	1.428	0.443	8	30.875	25	24.506
VALID	1.44	0.423	7	34.5	25	26.104

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	1.448	0.423	7	30.875	28.5	27.774
VALID	1.453	0.448	8	30.875	21.5	21.312
VALID	1.481	0.405	7	30.875	32	30.97
VALID	1.49	0.433	7	27.25	21.5	19.991
VALID	1.532	0.346	6	38.125	35.5	37.075
VALID	1.569	0.383	6	27.25	32	28.99
VALID	1.577	0.333	6	38.125	32	33.981
VALID	1.629	0.364	6	27.25	35.5	32.034
VALID	1.949	0.263	7	41.75	35.5	38.833
VALID	1.956	0.239	6	27.25	21.5	27.868
VALID	1.97	0.233	6	27.25	25	31.099
VALID	1.971	0.261	6	38.125	21.5	24.947
VALID	1.981	0.231	6	27.25	28.5	34.162
VALID	2.002	0.229	6	27.25	32	37.243
VALID	2.004	0.218	6	30.875	25	32.13
VALID	2.026	0.211	6	30.875	28.5	35.456
VALID	2.035	0.227	6	27.25	35.5	40.4
VALID	2.052	0.206	6	30.875	32	38.727
VALID	2.061	0.204	6	30.875	35.5	41.79
VALID	2.086	0.228	6	30.875	21.5	28.859
VALID	2.283	0.236	6	41.75	28.5	32.695
VALID	2.291	0.193	5	34.5	35.5	43.076
VALID	2.299	0.199	4	34.5	32	39.775
VALID	2.323	0.205	6	34.5	28.5	36.52
VALID	2.375	0.211	6	34.5	25	33.328
VALID	2.469	0.214	7	34.5	21.5	30.221
VALID	2.544	0.214	6	41.75	25	29.389
VALID	2.601	0.186	5	38.125	35.5	44.182
VALID	2.645	0.191	5	38.125	32	40.986
VALID	2.718	0.194	5	38.125	28.5	37.855
VALID	2.831	0.197	5	38.125	25	34.781
VALID	2.971	0.2	5	38.125	21.5	31.586
VALID	3.035	0.178	5	41.75	35.5	45.5
VALID	3.136	0.18	5	41.75	32	42.413
VALID	3.239	0.184	5	41.75	28.5	39.146
VALID	3.336	0.148	6	27.25	21.5	35.746
VALID	3.353	0.146	6	27.25	25	39.066
VALID	3.363	0.143	7	30.875	21.5	36.406
VALID	3.365	0.141	6	30.875	25	39.753
VALID	3.379	0.145	6	27.25	28.5	42.275
VALID	3.386	0.187	5	41.75	25	35.792
VALID	3.391	0.138	6	30.875	28.5	43.137
VALID	3.425	0.135	6	30.875	32	46.485
VALID	3.444	0.141	6	27.25	32	45.495
VALID	3.463	0.133	6	30.875	35.5	49.694
VALID	3.482	0.135	6	34.5	28.5	43.847
VALID	3.487	0.137	7	34.5	25	40.552

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	3.498	0.132	6	34.5	32	47.183
VALID	3.524	0.139	7	34.5	21.5	37.314
VALID	3.529	0.13	6	34.5	35.5	50.551
VALID	3.551	0.136	6	27.25	35.5	48.767
VALID	3.65	0.185	6	41.75	21.5	32.475
VALID	3.665	0.13	7	38.125	32	47.991
VALID	3.668	0.128	6	38.125	35.5	51.288
VALID	3.682	0.132	7	38.125	28.5	44.737
VALID	3.728	0.134	7	38.125	25	41.52
VALID	3.799	0.136	7	38.125	21.5	38.224
VALID	3.904	0.126	7	41.75	35.5	52.166
VALID	3.937	0.128	7	41.75	32	48.942
VALID	3.98	0.131	7	41.75	28.5	45.598
VALID	4.052	0.134	7	41.75	25	42.194
VALID	4.185	0.136	8	41.75	21.5	38.816
VALID	4.386	0.099	4	30.875	21.5	43.953
VALID	4.422	0.094	4	30.875	25	47.377
VALID	4.437	0.093	5	27.25	21.5	43.623
VALID	4.459	0.099	4	34.5	25	47.776
VALID	4.484	0.095	4	34.5	28.5	51.173
VALID	4.488	0.099	4	34.5	21.5	44.407
VALID	4.51	0.088	5	30.875	28.5	50.819
VALID	4.53	0.086	5	27.25	25	47.033
VALID	4.555	0.09	5	34.5	32	54.592
VALID	4.593	0.098	4	38.125	28.5	51.618
VALID	4.603	0.095	4	38.125	32	54.995
VALID	4.621	0.099	4	38.125	25	48.26
VALID	4.634	0.082	5	30.875	32	54.242
VALID	4.654	0.091	5	38.125	35.5	58.394
VALID	4.657	0.08	5	27.25	28.5	50.387
VALID	4.662	0.084	5	34.5	35.5	58.025
VALID	4.675	0.1	6	38.125	21.5	44.862
VALID	4.773	0.076	5	30.875	35.5	57.597
VALID	4.775	0.098	4	41.75	32	55.471
VALID	4.8	0.1	4	41.75	28.5	52.049
VALID	4.818	0.073	5	27.25	32	53.748
VALID	4.85	0.101	7	41.75	25	48.597
VALID	4.944	0.103	8	41.75	21.5	45.158
VALID	5.007	0.067	6	27.25	35.5	57.133
VALID	5.403	0.068	7	34.5	21.5	51.5
VALID	5.407	0.075	6	38.125	21.5	51.5
VALID	5.426	0.072	6	38.125	25	55
VALID	5.501	0.078	6	41.75	25	55
VALID	5.51	0.062	7	34.5	25	55
VALID	5.512	0.067	6	38.125	28.5	58.5
VALID	5.572	0.058	7	30.875	21.5	51.5
VALID	5.572	0.079	6	41.75	21.5	51.5

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	5.678	0.056	7	34.5	28.5	58.5
VALID	5.767	0.052	7	30.875	25	55
VALID	5.888	0.051	7	34.5	32	62
VALID	5.934	0.047	8	27.25	21.5	51.5
VALID	5.992	0.046	7	30.875	28.5	58.5
VALID	6.112	0.046	7	34.5	35.5	65.5
VALID	6.18	0.042	8	27.25	25	55
VALID	6.249	0.042	8	30.875	32	62
VALID	6.478	0.037	8	27.25	28.5	58.5
VALID	6.546	0.037	8	30.875	35.5	65.5
VALID	6.829	0.032	8	27.25	32	62
VALID	7.232	0.026	8	27.25	35.5	65.5

Tab. 4.3 – Analisi statica – n.50

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.642 .

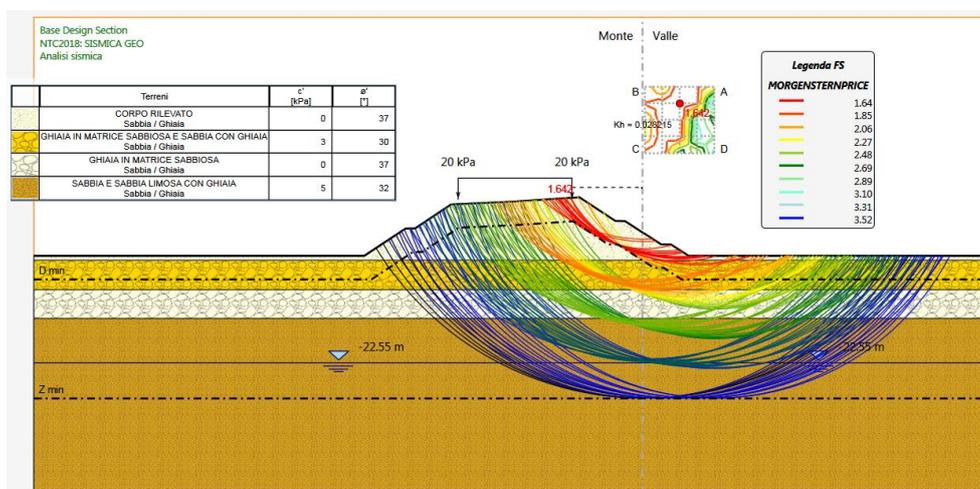


Fig.4.5 – Traccia superfici analizzate e contour dei coefficienti Fs

In condizioni sismiche, il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a 1.549 (Fig.4.5).

VERIFICHE DI STABILITÀ

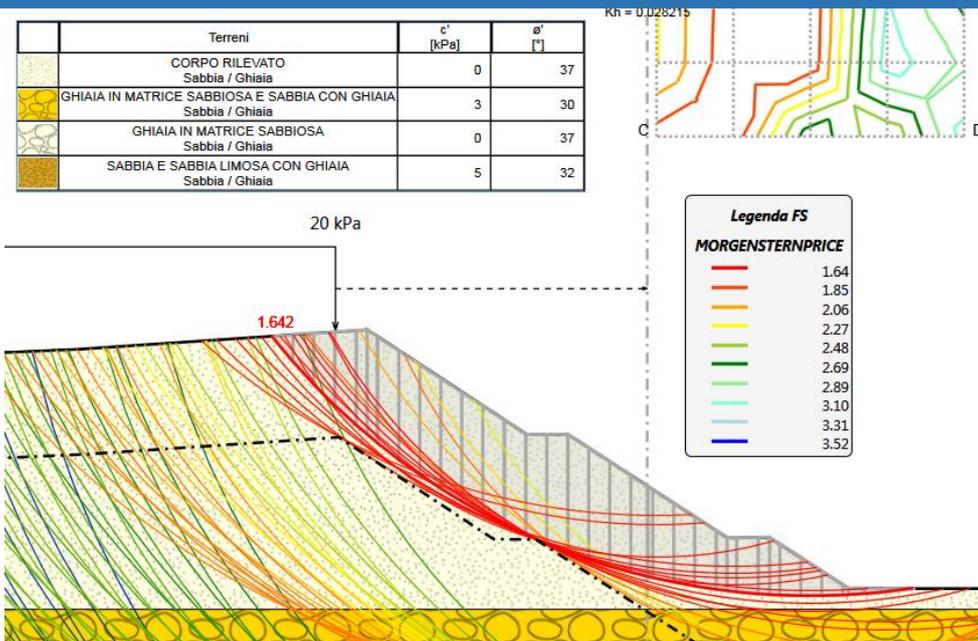


Fig.4.6 - Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con F_s minimo ($F_s \text{ min} = 1.642$) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui di seguito (Tab.4.4):

Totale Superfici analizzate:119						
Classificazione	F_s	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.642	0.47	7	34.5	32	32.367
VALID	1.655	0.466	8	34.5	28.5	29.193
VALID	1.667	0.461	7	34.5	35.5	35.601
VALID	1.68	0.473	7	30.875	25	24.506
VALID	1.688	0.449	7	34.5	25	26.104
VALID	1.701	0.456	8	30.875	28.5	27.774
VALID	1.709	0.477	7	30.875	21.5	21.312
VALID	1.737	0.443	7	30.875	32	30.97
VALID	1.756	0.464	8	27.25	21.5	19.991
VALID	1.785	0.364	6	38.125	35.5	37.075
VALID	1.834	0.349	6	38.125	32	33.981
VALID	1.837	0.427	7	27.25	32	28.99
VALID	1.903	0.411	7	27.25	35.5	32.034
VALID	2.231	0.274	6	41.75	35.5	38.833
VALID	2.275	0.266	6	27.25	21.5	27.868
VALID	2.277	0.272	6	38.125	21.5	25.083
VALID	2.281	0.263	6	27.25	25	31.099
VALID	2.286	0.263	6	27.25	28.5	34.162
VALID	2.302	0.263	6	27.25	32	37.243
VALID	2.317	0.24	6	30.875	25	32.13
VALID	2.332	0.263	6	27.25	35.5	40.4
VALID	2.334	0.235	6	30.875	28.5	35.456

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	2.355	0.231	6	30.875	32	38.727
VALID	2.36	0.231	6	30.875	35.5	41.79
VALID	2.422	0.249	6	30.875	21.5	28.859
VALID	2.591	0.246	6	41.75	28.5	32.854
VALID	2.615	0.214	6	34.5	35.5	43.076
VALID	2.632	0.219	6	34.5	32	39.775
VALID	2.667	0.224	6	34.5	28.5	36.52
VALID	2.733	0.229	7	34.5	25	33.328
VALID	2.848	0.231	7	34.5	21.5	30.221
VALID	2.859	0.225	6	41.75	25	29.565
VALID	2.95	0.204	6	38.125	35.5	44.182
VALID	3.006	0.207	6	38.125	32	40.986
VALID	3.094	0.21	6	38.125	28.5	37.855
VALID	3.179	0.205	6	41.75	21.5	26.33
VALID	3.225	0.212	7	38.125	25	34.781
VALID	3.406	0.213	7	38.125	21.5	31.687
VALID	3.406	0.193	5	41.75	35.5	45.5
VALID	3.521	0.195	5	41.75	32	42.413
VALID	3.659	0.197	5	41.75	28.5	39.265
VALID	3.8	0.168	6	27.25	25	39.066
VALID	3.802	0.169	6	27.25	21.5	35.746
VALID	3.809	0.161	6	30.875	25	39.753
VALID	3.811	0.168	6	27.25	28.5	42.275
VALID	3.818	0.159	6	30.875	28.5	43.137
VALID	3.822	0.199	5	41.75	25	35.924
VALID	3.825	0.162	6	30.875	21.5	36.406
VALID	3.839	0.157	6	30.875	32	46.485
VALID	3.864	0.155	6	30.875	35.5	49.694
VALID	3.864	0.166	6	27.25	32	45.495
VALID	3.907	0.153	6	34.5	28.5	43.847
VALID	3.909	0.152	6	34.5	32	47.183
VALID	3.927	0.149	6	34.5	35.5	50.551
VALID	3.929	0.155	6	34.5	25	40.552
VALID	3.962	0.162	6	27.25	35.5	48.767
VALID	3.987	0.155	7	34.5	21.5	37.314
VALID	4.062	0.146	6	38.125	35.5	51.288
VALID	4.072	0.147	6	38.125	32	47.991
VALID	4.101	0.197	5	41.75	21.5	32.623
VALID	4.105	0.149	6	38.125	28.5	44.737
VALID	4.17	0.15	7	38.125	25	41.52
VALID	4.273	0.15	7	38.125	21.5	38.292
VALID	4.29	0.142	6	41.75	35.5	52.166
VALID	4.338	0.144	7	41.75	32	48.942
VALID	4.406	0.145	7	41.75	28.5	45.677
VALID	4.498	0.148	7	41.75	25	42.282
VALID	4.654	0.149	7	41.75	21.5	38.915
VALID	4.879	0.116	8	30.875	21.5	43.953

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	4.882	0.113	8	30.875	25	47.377
VALID	4.914	0.113	7	34.5	28.5	51.173
VALID	4.918	0.116	8	34.5	25	47.776
VALID	4.93	0.113	8	27.25	21.5	43.623
VALID	4.937	0.108	7	30.875	28.5	50.819
VALID	4.954	0.109	7	34.5	32	54.592
VALID	4.978	0.115	8	34.5	21.5	44.407
VALID	4.985	0.108	7	27.25	25	47.033
VALID	5	0.113	7	38.125	32	54.995
VALID	5.016	0.115	8	38.125	28.5	51.618
VALID	5.025	0.11	7	38.125	35.5	58.394
VALID	5.027	0.103	7	30.875	32	54.242
VALID	5.03	0.104	7	34.5	35.5	58.025
VALID	5.071	0.115	8	38.125	25	48.26
VALID	5.074	0.102	7	27.25	28.5	50.387
VALID	5.13	0.098	4	30.875	35.5	57.597
VALID	5.16	0.115	8	38.125	21.5	44.896
VALID	5.161	0.114	8	41.75	32	55.471
VALID	5.195	0.097	4	27.25	32	53.748
VALID	5.214	0.115	8	41.75	28.5	52.088
VALID	5.291	0.116	8	41.75	25	48.641
VALID	5.342	0.092	4	27.25	35.5	57.133
VALID	5.415	0.116	8	41.75	21.5	45.208
VALID	5.822	0.088	5	38.125	25	55
VALID	5.846	0.084	6	34.5	21.5	51.5
VALID	5.849	0.09	5	38.125	21.5	51.5
VALID	5.86	0.084	6	38.125	28.5	58.5
VALID	5.889	0.093	5	41.75	25	55
VALID	5.898	0.08	6	34.5	25	55
VALID	5.997	0.093	5	41.75	21.5	51.5
VALID	6.003	0.076	6	30.875	21.5	51.5
VALID	6.007	0.075	6	34.5	28.5	58.5
VALID	6.13	0.071	6	30.875	25	55
VALID	6.152	0.071	6	34.5	32	62
VALID	6.283	0.067	6	30.875	28.5	58.5
VALID	6.306	0.067	6	34.5	35.5	65.5
VALID	6.332	0.067	7	27.25	21.5	51.5
VALID	6.46	0.063	6	30.875	32	62
VALID	6.495	0.064	7	27.25	25	55
VALID	6.666	0.059	6	30.875	35.5	65.5
VALID	6.7	0.06	7	27.25	28.5	58.5
VALID	6.942	0.055	7	27.25	32	62
VALID	7.218	0.051	7	27.25	35.5	65.5

Tab.4.4 – Analisi sismica - Sezione 50

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica di stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

SCHEDA 5_CASO 5 : SEZIONE DI RIFERIMENTO A-7
- Svincolo SCIARE': Rampa A -
(H=11.00, B=22.92)

CASO 5 – SEZIONE DI RIFERIMENTO A-7 – SVINCOLO SCIARE': Rampa A

La sezione A-7 è rappresentativa di un rilevato alto circa 11.00 m e largo alla base circa 39.14 m, realizzato con ghiaia sabbiosa. In Tabella 5.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 22 m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-3.7
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	3.7-12.5
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	12.5-26.8
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	12.5-26.81

Tab.5.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.5.1 e 5.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]		Falda acquifera [m]	
sinistra	destra	sinistra	destra
(-19.92;12.57)	(0.00;11.12)	-22.00	-22.00
(-19.58;12.22)	(3.00;11.01)		
(-14.33;12.00)	(10.05;5.91)		
(-5.00;11.46)	(12.50;5.80)		
(0.00;11.12)	(19.22;0.00)		
	(70.00;0.00)		

Tab.5.1 - Dati input modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore
Name	Terreno rilevato	GHIAIA SABBIOSA_bonifica	GHIAIA SABBIOSA
InitialStressK0nc	0.398	0.357	0.398
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³
PermeabilityKz	0.001 m/s	0.001 m/s	0.001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	35 °	40 °	35 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	28000 kPa	32000 kPa	28000 kPa
ElasticConstantEur	44800 kPa	51200 kPa	44800 kPa

Tab.5.2 - Dati input stratigrafia (parametri geotecnici)

In Fig.5.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti alla base del calcolo.

In Fig.5.2 sono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche. Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Fig.5.3).

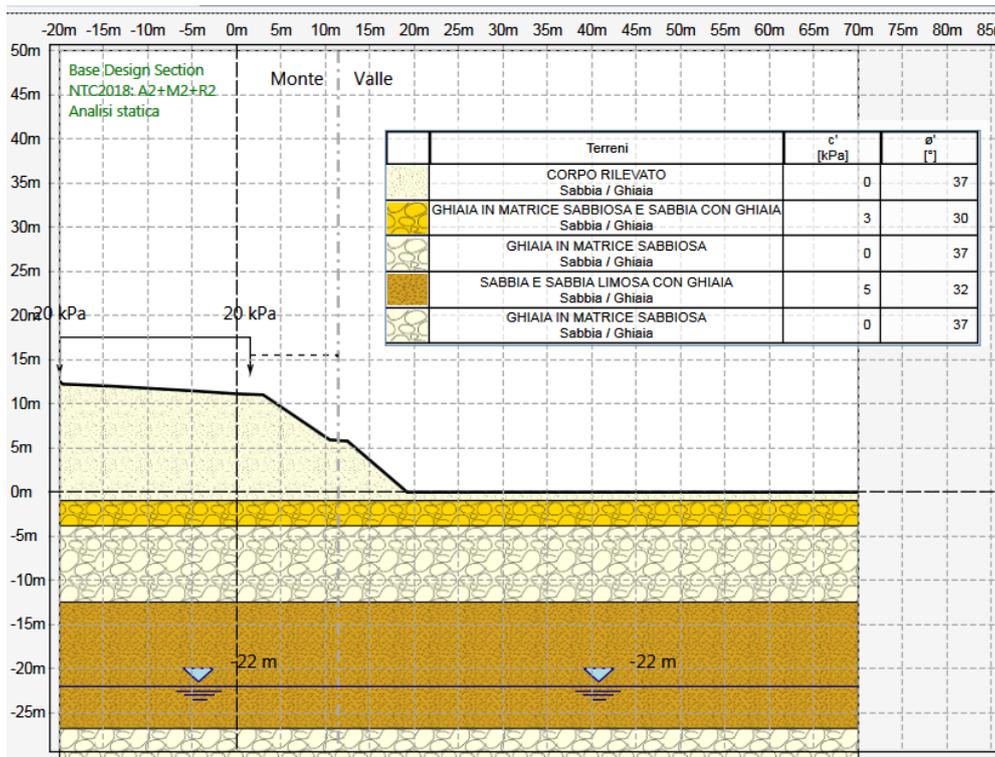


Fig.5.1 - Modello geometrico di calcolo

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Fig.5.2 - Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.150 .

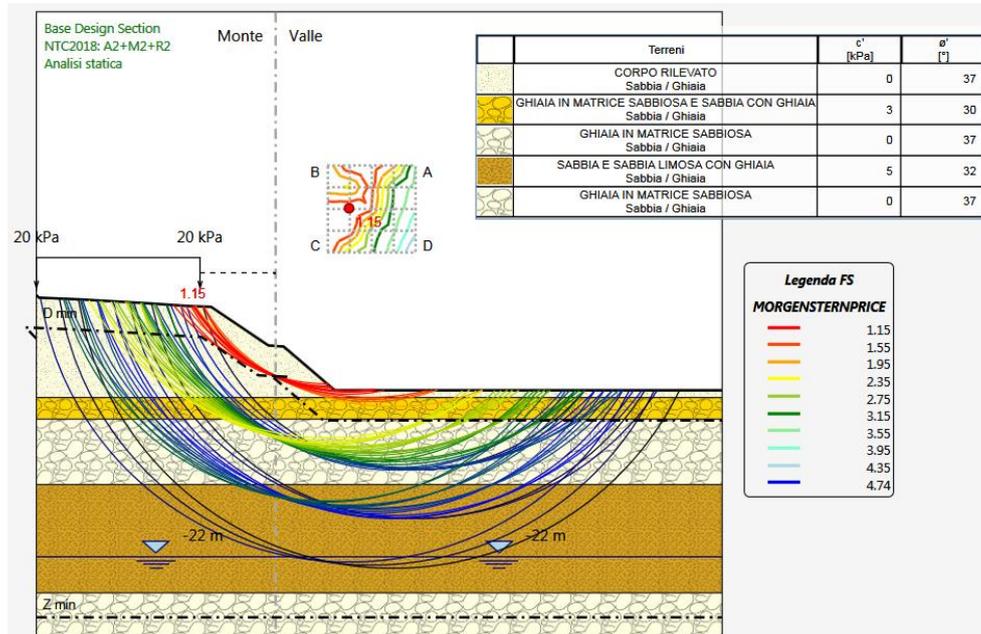


Fig.5.3 - Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti Fs

VERIFICHE DI STABILITÀ

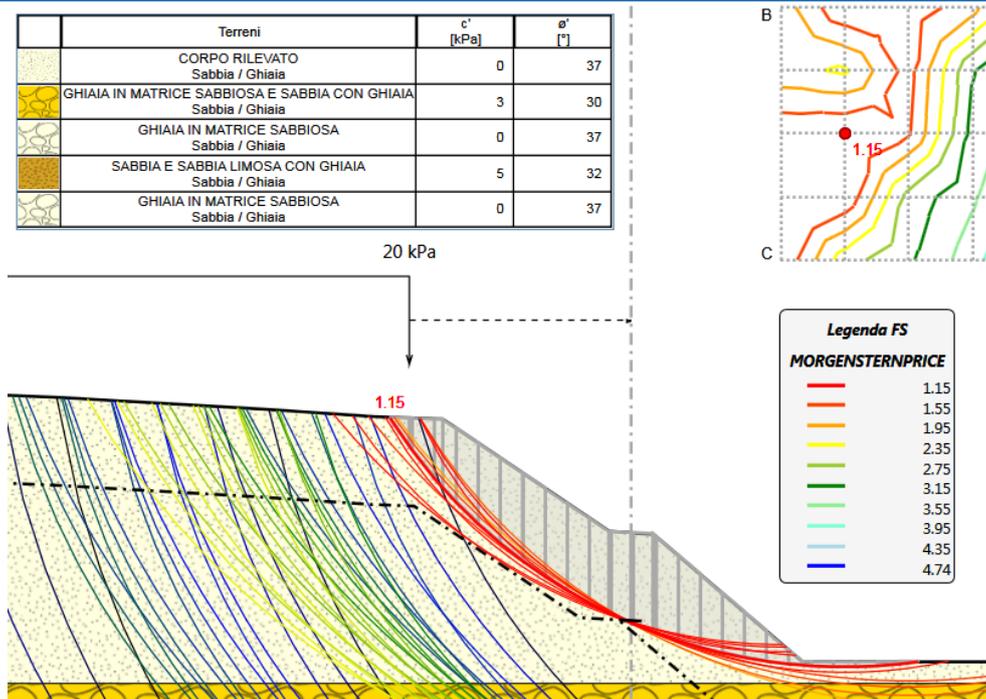


Fig.5.4 - Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fs min =1.150) regione di terreno movimentata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.5.3):

Totale Superfici analizzate:66						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.15	0.546	8	21.125	24	24.229
VALID	1.19	0.569	9	18.25	18.25	17.809
VALID	1.193	0.501	8	21.125	21.125	21.634
VALID	1.194	0.523	8	21.125	29.75	29.576
VALID	1.196	0.551	9	18.25	21.125	20.486
VALID	1.226	0.522	8	18.25	24	23.21
VALID	1.31	0.394	6	24	29.75	30.653
VALID	1.38	0.374	6	24	26.875	28.062
VALID	1.492	0.349	6	24	24	25.533
VALID	1.768	0.296	5	26.875	29.75	31.953
VALID	2.181	0.23	6	18.25	29.75	35.991
VALID	2.215	0.23	6	18.25	26.875	33.49
VALID	2.244	0.231	6	18.25	24	30.908
VALID	2.253	0.235	6	18.25	21.125	28.146
VALID	2.288	0.238	7	18.25	18.25	25.42
VALID	2.401	0.211	6	21.125	29.75	37.119
VALID	2.411	0.215	6	21.125	26.875	34.38
VALID	2.438	0.218	6	21.125	24	31.672

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	2.492	0.22	7	21.125	21.125	29.007
VALID	2.588	0.22	7	21.125	18.25	26.401
VALID	2.644	0.201	6	24	29.75	37.927
VALID	2.693	0.203	6	24	26.875	35.265
VALID	2.771	0.204	6	24	24	32.65
VALID	2.892	0.205	7	24	21.125	30.095
VALID	3.012	0.19	5	26.875	29.75	38.902
VALID	3.079	0.203	7	24	18.25	27.622
VALID	3.117	0.192	5	26.875	26.875	36.326
VALID	3.267	0.191	5	26.875	24	33.81
VALID	3.335	0.147	7	18.25	21.125	35.806
VALID	3.381	0.146	7	18.25	18.25	33.03
VALID	3.449	0.143	7	21.125	24	39.115
VALID	3.481	0.19	5	26.875	21.125	31.37
VALID	3.497	0.143	7	21.125	21.125	36.379
VALID	3.528	0.18	5	29.75	29.75	40.025
VALID	3.577	0.142	7	21.125	18.25	33.684
VALID	3.61	0.139	7	24	26.875	42.469
VALID	3.665	0.139	7	24	24	39.766
VALID	3.688	0.181	6	29.75	26.875	37.375
VALID	3.75	0.139	7	24	21.125	37.105
VALID	3.76	0.187	6	26.875	18.25	28.75
VALID	3.877	0.137	7	24	18.25	34.498
VALID	3.886	0.182	6	29.75	24	34.5
VALID	3.972	0.136	7	26.875	24	40.54
VALID	4.105	0.135	8	26.875	21.125	37.955
VALID	4.208	0.181	6	29.75	21.125	31.625
VALID	4.277	0.134	8	26.875	18.25	35.25
VALID	4.462	0.104	8	21.125	18.25	40.967
VALID	4.513	0.135	8	29.75	21.125	38.125
VALID	4.682	0.104	8	24	18.25	41.374
VALID	4.748	0.171	7	29.75	18.25	28.75
VALID	4.769	0.135	8	29.75	18.25	35.25
VALID	4.973	0.103	9	26.875	18.25	41.75

Tab.5.3 – Analisi statica – Sezione A-7

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.359 .

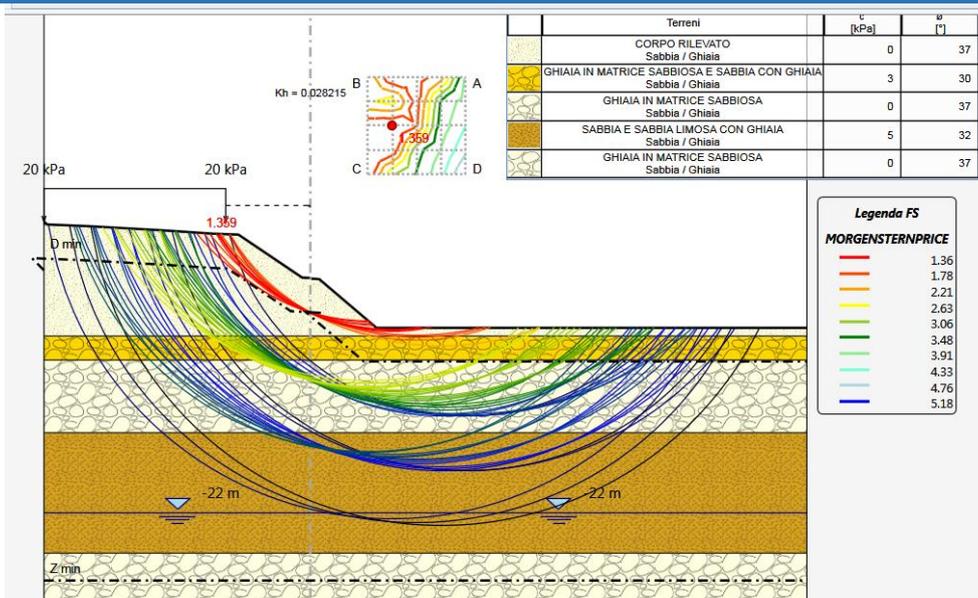


Fig.5.5 - Traccia superfici analizzate e contour dei coefficienti Fs

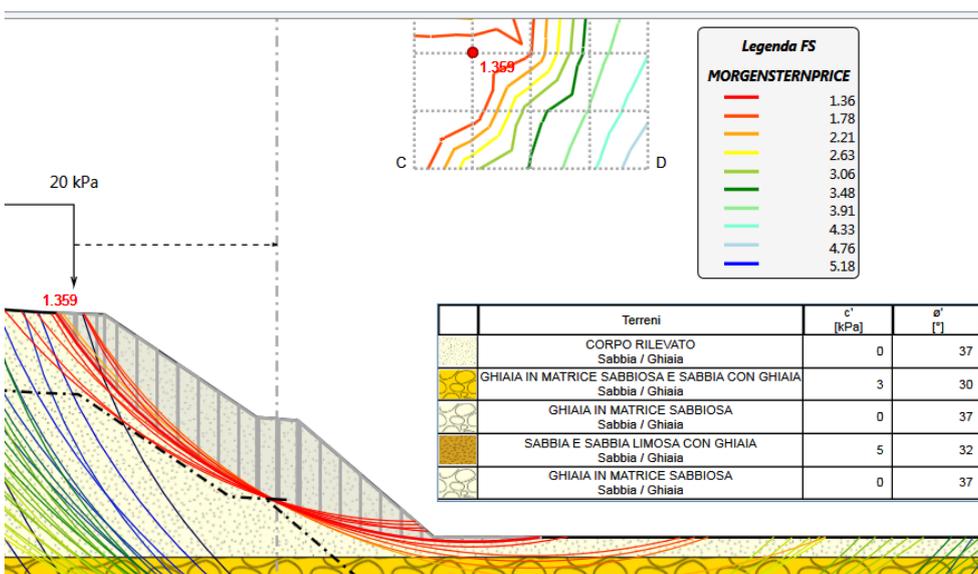


Fig.5.6- Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo ($Fs_{min} = 1.359$) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui di seguito (Tab.5.4):

Totale Superfici analizzate: 66						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	1.359	0.582	8	21.125	24	24.229
VALID	1.408	0.61	9	18.25	18.25	17.809
VALID	1.409	0.53	8	21.125	21.13	21.634
VALID	1.411	0.569	8	21.125	29.75	29.576
VALID	1.415	0.59	8	18.25	21.13	20.486
VALID	1.449	0.562	9	18.25	24	23.21
VALID	1.542	0.412	7	24	29.75	30.653
VALID	1.62	0.388	6	24	26.88	28.062
VALID	1.744	0.361	6	24	24	25.533
VALID	2.043	0.305	6	26.875	29.75	31.953
VALID	2.524	0.252	6	18.25	29.75	35.991
VALID	2.569	0.251	6	18.25	26.88	33.49
VALID	2.607	0.251	6	18.25	24	30.908
VALID	2.624	0.254	6	18.25	21.13	28.146
VALID	2.672	0.255	7	18.25	18.25	25.42
VALID	2.765	0.229	6	21.125	29.75	37.119
VALID	2.781	0.232	6	21.125	26.88	34.38
VALID	2.818	0.234	7	21.125	24	31.672
VALID	2.884	0.235	7	21.125	21.13	29.007
VALID	2.999	0.235	7	21.125	18.25	26.401
VALID	3.024	0.216	6	24	29.75	37.927
VALID	3.083	0.218	7	24	26.88	35.265
VALID	3.174	0.219	7	24	24	32.65
VALID	3.313	0.218	7	24	21.13	30.095
VALID	3.41	0.204	6	26.875	29.75	38.902
VALID	3.524	0.215	7	24	18.25	27.622
VALID	3.528	0.205	6	26.875	26.88	36.326
VALID	3.693	0.204	7	26.875	24	33.81
VALID	3.804	0.164	6	18.25	21.13	35.806
VALID	3.871	0.162	7	18.25	18.25	33.03
VALID	3.903	0.159	6	21.125	24	39.115
VALID	3.928	0.202	7	26.875	21.13	31.37
VALID	3.938	0.193	5	29.75	29.75	40.025
VALID	3.969	0.158	6	21.125	21.13	36.379
VALID	4.049	0.154	6	24	26.88	42.469
VALID	4.071	0.156	7	21.125	18.25	33.684
VALID	4.108	0.193	5	29.75	26.88	37.375
VALID	4.12	0.154	7	24	24	39.766
VALID	4.224	0.153	7	24	21.13	37.105
VALID	4.228	0.199	5	26.875	18.25	28.75
VALID	4.316	0.194	5	29.75	24	34.5
VALID	4.374	0.15	7	24	18.25	34.498
VALID	4.424	0.149	7	26.875	24	40.54
VALID	4.577	0.148	7	26.875	21.13	37.955
VALID	4.644	0.192	5	29.75	21.13	31.625
VALID	4.772	0.146	7	26.875	18.25	35.25
VALID	4.97	0.147	7	29.75	21.13	38.125

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	4.991	0.118	8	21.125	18.25	40.967
VALID	5.181	0.182	6	29.75	18.25	28.75
VALID	5.204	0.117	9	24	18.25	41.374
VALID	5.244	0.147	8	29.75	18.25	35.25
VALID	5.482	0.116	9	26.875	18.25	41.75

Tab.5.4 – Analisi sismica - Sezione A-7

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

**SCHEDA 6_CASO 6: SEZIONE DI RIFERIMENTO B-27 - Svincolo SCIARE':
Rampa B - (H=11.03, B=22.58)**

CASO 6 – SEZIONE DI RIFERIMENTO B-27 – SVINCOLO SCIARE': Rampa B

La sezione B-9 è rappresentativa di un rilevato alto circa 11.03 m e largo alla base circa 40.9 m, realizzato con ghiaia sabbiosa. In Tabella 6.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 22.65 m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-4.5
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	4.5-13.3
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	13.3-28.1
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	>28.1

Tab.6.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.6.1 e 6.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]	
sinistra	destra
(-25.00;10.33)	(0.00;11.03)
(-19.58;10.40)	(10.50;5.94)
(-5.08;10.77)	(11.50;5.92)
(0.00;11.03)	(12.50;5.90)
	(21.30;0.00)
	(70.00;0.00)

Falda acquifera [m]	
sinistra	destra
-22.65	-22.65

Tab.6.1 - Dati input modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore	Valore
Name	CORPO RILEVATO	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA	SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA
InitialStressK0nc	0.398	0.426	0.398	0.5
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³
PermeabilityKz	0.00000001 m/s	0.000001 m/s	0.00000001 m/s	0.0000001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	3 kPa	0 kPa	5 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	37 °	30 °	37 °	32 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	100000 kPa	250000 kPa	100000 kPa	100000 kPa
ElasticConstantEur	300000 kPa	750000 kPa	300000 kPa	160000 kPa
Alpha_up	0	0	0	0
Alpha_down	0	0	0	0

Tab.6.2 - Dati input stratigrafia (parametri geotecnici)

In Fig.6.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti alla base del calcolo.

In Fig.6.2 sono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche. Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Fig.6.3).

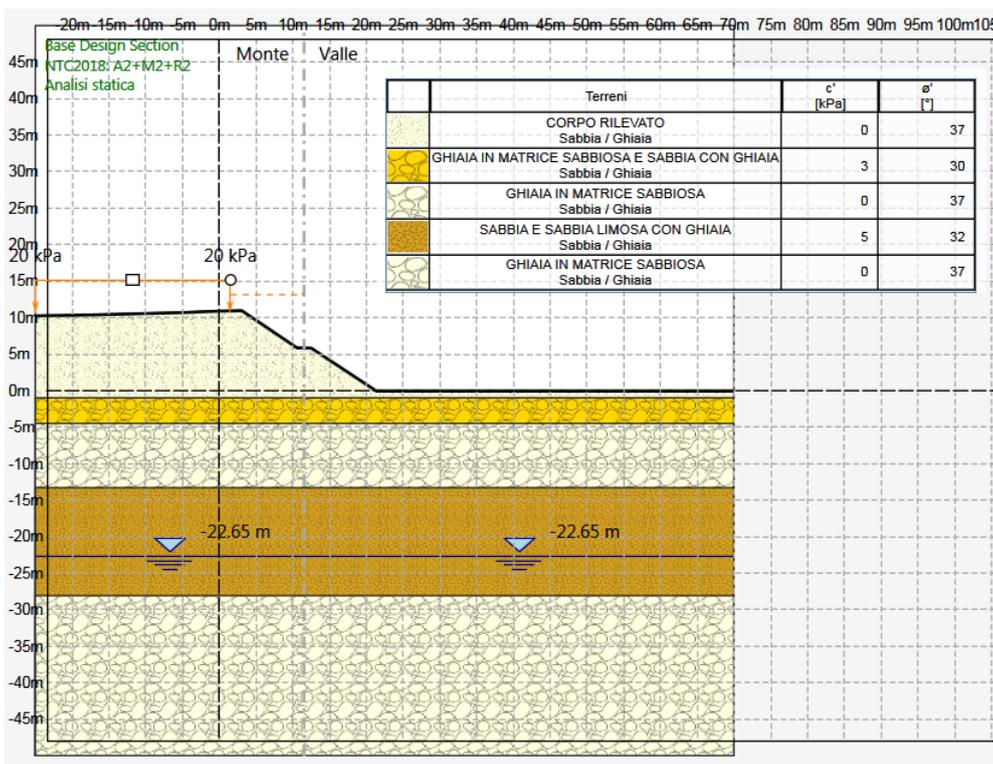


Fig.6.1 - Modello geometrico di calcolo

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Fig.6.2 - Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.146.

VERIFICHE DI STABILITÀ

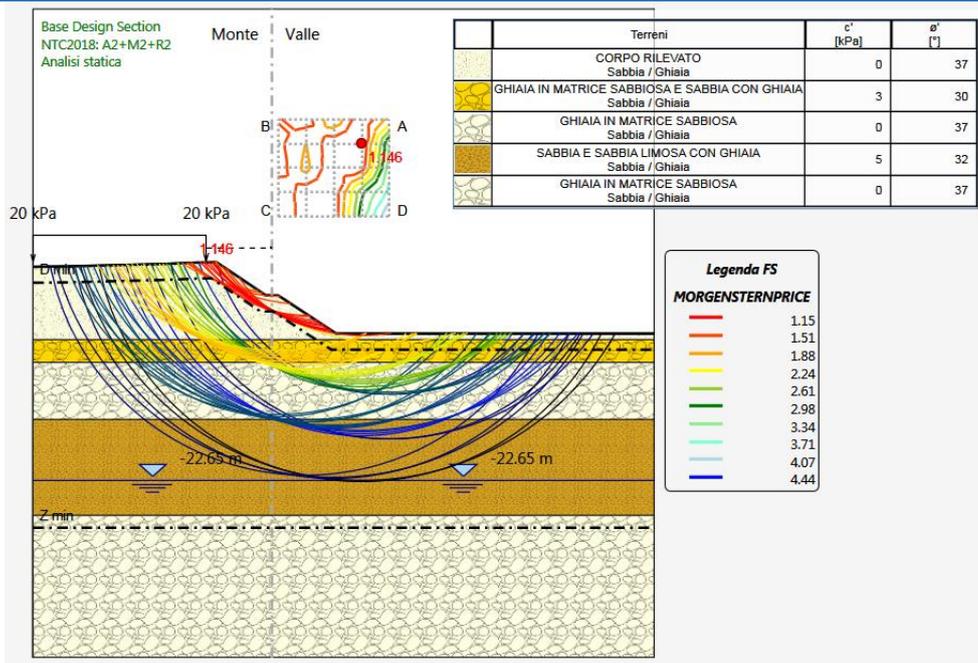


Fig.6.3 – Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti Fs

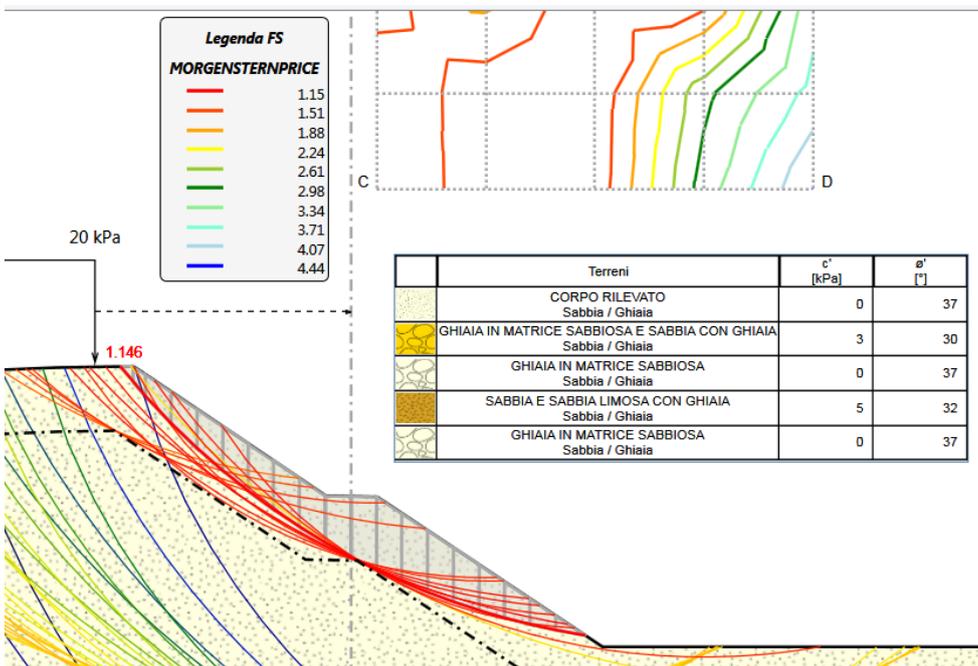


Fig.6.4 – Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fs min =1.146) e regione di terra movimentata in conchi verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.6.3):

Totale Superfici analizzate:69

VERIFICHE DI STABILITÀ

Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.146	0.563	8	25.25	29.25	29.165
VALID	1.163	0.538	8	25.25	33	32.533
VALID	1.201	0.536	8	21	25.5	23.957
VALID	1.215	0.512	8	21	29.25	27.452
VALID	1.219	0.546	8	21	21.75	20.551
VALID	1.247	0.527	8	21	18	17.289
VALID	1.283	0.494	7	16.75	21.75	19.013
VALID	1.299	0.41	7	25.25	25.5	25.901
VALID	1.307	0.521	8	16.75	18	15.429
VALID	1.315	0.437	7	12.5	25.5	19.836
VALID	1.335	0.422	7	16.75	33	28.454
VALID	1.401	0.418	7	12.5	29.25	23.128
VALID	1.536	0.38	6	12.5	33	26.542
VALID	1.839	0.285	6	12.5	18	22.202
VALID	1.846	0.283	6	12.5	21.75	25.466
VALID	1.879	0.281	6	12.5	25.5	28.752
VALID	1.886	0.242	6	16.75	29.25	33.785
VALID	1.889	0.241	6	16.75	33	37.091
VALID	1.932	0.276	7	12.5	29.25	32.158
VALID	1.986	0.249	6	16.75	25.5	30.521
VALID	1.995	0.276	5	29.5	33	34.518
VALID	1.997	0.27	5	12.5	33	35.656
VALID	2.022	0.264	6	16.75	18	23.572
VALID	2.027	0.254	6	16.75	21.75	27.197
VALID	2.223	0.213	6	21	33	38.84
VALID	2.236	0.218	6	21	29.25	35.402
VALID	2.236	0.225	6	21	25.5	31.842
VALID	2.272	0.232	6	21	21.75	28.351
VALID	2.375	0.236	7	21	18	24.966
VALID	2.575	0.197	5	25.25	33	40.15
VALID	2.621	0.202	6	25.25	29.25	36.686
VALID	2.712	0.206	6	25.25	25.5	33.301
VALID	2.874	0.208	7	25.25	21.75	30.011
VALID	3.142	0.205	7	25.25	18	26.738
VALID	3.32	0.186	5	29.5	29.25	38.333
VALID	3.48	0.146	7	16.75	18	31.714
VALID	3.484	0.144	6	16.75	21.75	35.382
VALID	3.486	0.157	6	12.5	21.75	34.227
VALID	3.522	0.188	5	29.5	25.5	34.875
VALID	3.523	0.158	6	12.5	18	30.801
VALID	3.53	0.144	6	16.75	25.5	38.847
VALID	3.584	0.137	6	21	25.5	39.728
VALID	3.591	0.139	7	21	21.75	36.15
VALID	3.606	0.134	6	21	29.25	43.351
VALID	3.647	0.14	7	21	18	32.644
VALID	3.812	0.131	7	25.25	29.25	44.207

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	3.838	0.187	5	29.5	21.75	31.125
VALID	3.843	0.133	7	25.25	25.5	40.701
VALID	3.92	0.134	7	25.25	21.75	37.258
VALID	4.063	0.135	8	25.25	18	33.825
VALID	4.436	0.134	8	29.5	21.75	38
VALID	4.439	0.173	6	29.5	18	27.375
VALID	4.569	0.095	5	16.75	18	39.857
VALID	4.644	0.095	4	21	21.75	43.95
VALID	4.702	0.136	8	29.5	18	34.25
VALID	4.707	0.095	5	21	18	40.322
VALID	4.891	0.096	4	25.25	21.75	44.504
VALID	5.007	0.096	5	25.25	18	40.913

Tab.6.3 – Analisi statica - Sezione B-9

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.345 .

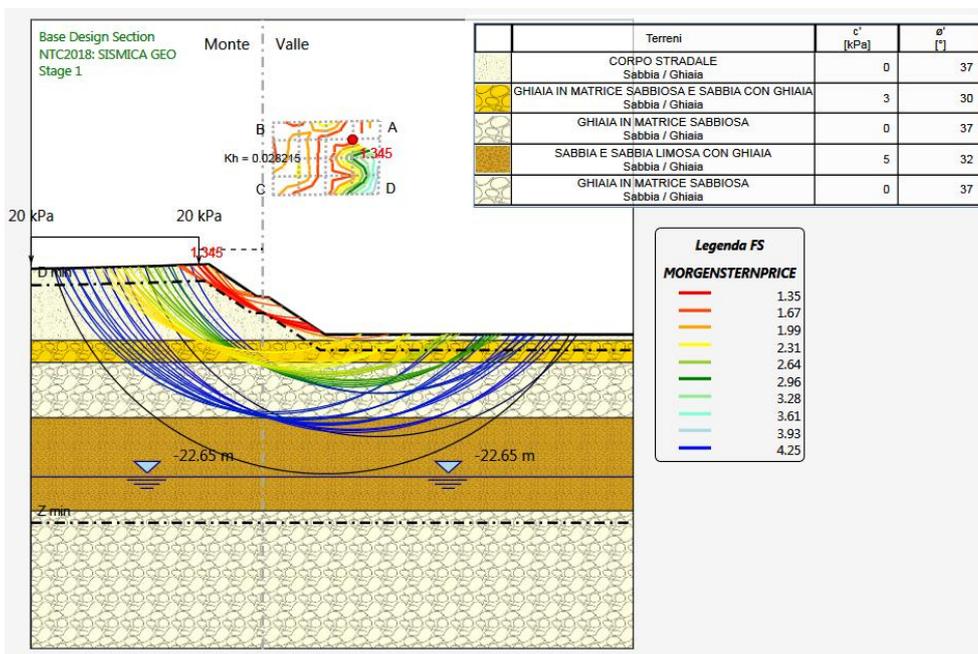


Fig.6.5 – Traccia superfici analizzate e contour dei coefficientenri Fs

VERIFICHE DI STABILITÀ

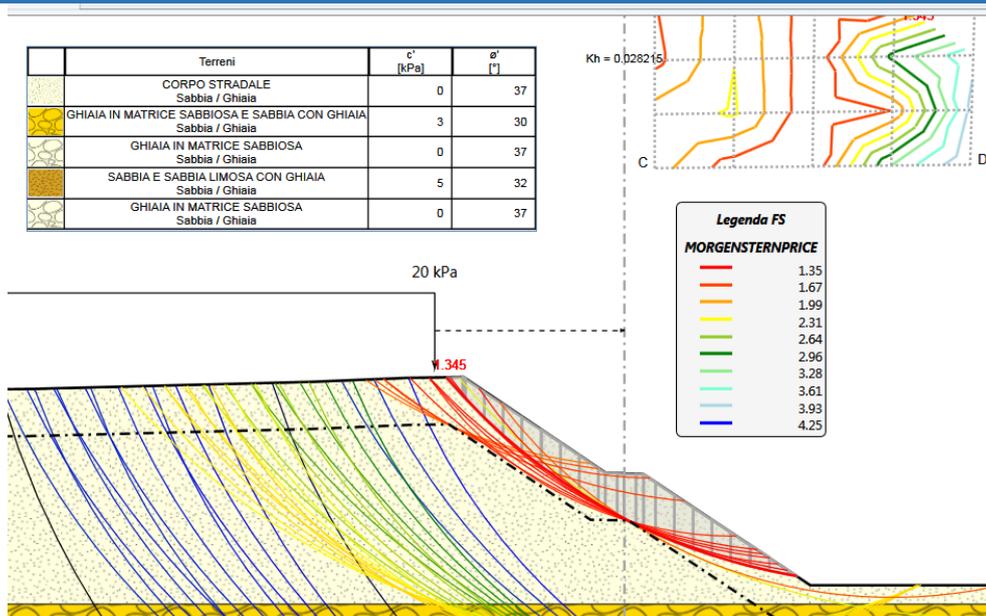


Fig.6.6- Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fs min =1.345) e regione di terra movimentata in conchi verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui di seguito (Tab.6.4):

Totale Superfici analizzate: 61						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.345	0.595	8	25.751	30.97	30.924
VALID	1.361	0.576	8	25.813	33.88	33.563
VALID	1.4	0.578	8	21.459	25.11	23.778
VALID	1.412	0.558	8	21.5	28	26.46
VALID	1.423	0.583	8	21.418	22.21	21.152
VALID	1.432	0.541	8	21.541	30.9	29.183
VALID	1.496	0.53	8	17.27	22.16	19.554
VALID	1.565	0.467	7	17.352	33.7	29.366
VALID	1.576	0.479	7	13.121	27.87	22.194
VALID	1.652	0.482	7	13.121	30.74	24.741
VALID	1.675	0.369	6	25.628	25.16	25.816
VALID	1.766	0.464	7	13.121	33.62	27.353
VALID	2.13	0.314	7	13.121	22.12	26.047
VALID	2.146	0.316	7	13.121	24.99	28.552
VALID	2.178	0.316	7	13.121	27.87	31.113
VALID	2.189	0.266	6	17.352	33.7	37.95
VALID	2.221	0.315	6	13.121	30.74	33.741
VALID	2.224	0.267	6	17.331	30.82	35.396
VALID	2.271	0.313	6	13.121	33.62	36.419
VALID	2.305	0.269	6	17.311	27.93	32.876
VALID	2.356	0.27	6	17.29	25.05	30.355
VALID	2.377	0.274	6	17.27	22.16	27.706

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	2.39	0.275	6	30.043	33.96	35.621
VALID	2.599	0.23	6	21.582	33.79	39.772
VALID	2.611	0.237	6	21.5	28	34.345
VALID	2.614	0.233	6	21.541	30.9	37.111
VALID	2.626	0.242	6	21.459	25.11	31.61
VALID	2.668	0.246	6	21.418	22.21	28.916
VALID	2.986	0.21	6	25.813	33.88	41.141
VALID	3.021	0.214	6	25.751	30.97	38.435
VALID	3.079	0.216	6	25.689	28.07	35.768
VALID	3.172	0.219	7	25.628	25.16	33.152
VALID	3.311	0.219	7	25.566	22.26	30.587
VALID	3.862	0.197	5	29.879	28.13	37.508
VALID	3.945	0.178	6	13.121	24.99	37.365
VALID	3.96	0.163	6	17.27	22.16	35.859
VALID	3.968	0.163	6	17.29	25.05	38.587
VALID	3.972	0.178	6	13.121	22.12	34.737
VALID	4.007	0.2	4	29.797	25.22	34.594
VALID	4.037	0.164	6	17.311	27.93	41.228
VALID	4.05	0.153	6	21.5	28	42.23
VALID	4.053	0.154	6	21.459	25.11	39.442
VALID	4.061	0.151	6	21.541	30.9	45.039
VALID	4.077	0.155	6	21.418	22.21	36.681
VALID	4.253	0.199	5	29.715	22.31	31.68
VALID	4.281	0.147	6	25.689	28.07	43.201
VALID	4.327	0.148	7	25.628	25.16	40.489
VALID	4.403	0.148	7	25.566	22.26	37.81
VALID	4.887	0.146	7	29.715	22.31	38.555
VALID	5.136	0.111	8	21.418	22.21	44.446
VALID	8.883	0.044	8	20	21.5	44.263
VALID	9.124	0.039	8	17.125	18.63	41.192
VALID	9.309	0.04	8	20	24.38	47.094
VALID	9.516	0.034	9	14.25	15.75	38.106
VALID	10.648	0.03	13	22.875	15.75	45.75

Tab.6.4 – Analisi sismica – Sezione B-9

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

SCHEDA 7_CASO 7 : SEZIONE DI RIFERIMENTO A-9
- Svincolo A8/PEDEMONTANA: Rampa A –
(H=6.05, B=9.75)

CASO 7 – SEZIONE DI RIFERIMENTO A-9: SVINCOLO A8/PEDEMONTANA: Rampa A

La sezione A-9 è rappresentativa di un rilevato alto circa 6.55 m e largo alla base circa 24.33 m, realizzato con ghiaia sabbiosa. In Tabella 7.0 si riporta la sintesi della stratigrafia di progetto adottata nel modello geotecnico di sottosuolo. La falda è posta a 28.5 m da p.c.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità da p.c. (m)
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	0-5.3
		0-7.9
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	5.3-12.8
		7.9-12.8
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	>12.8

Tab.7.0 – Stratigrafia di calcolo

I dati del modello geometrico e della stratigrafia (Tabb.7.1 e 7.2) assunti nel calcolo sono i seguenti:

Linea di scavo [m]	
sinistra	destra
(-50.00;0.00)	(0.00;6.16)
(-18.83;0.00)	(3.00;6.03)
(-12.79;2.98)	(8.50;2.56)
(-6.75;5.96)	(50.00;2.56)
(0.00-6.16)	

Falda acquifera [m]	
sinistra	destra
-28.85	-28.85

Tab.7.1 - Dati input modello geometrico

Parametro	Valore	Valore	Valore	Valore
Name	CORPO RILEVATO	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA	GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA	SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA
InitialStressK0nc	0.398	0.426	0.398	0.5
InitialStressNocr	0.5	0.5	0.5	0.5
UnitWeightGammaDry	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³	17.5 kN/m ³
UnitWeightGammaSat	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³	19 kN/m ³
PermeabilityKz	0.00000001 m/s	0.000001 m/s	0.00000001 m/s	0.00000001 m/s
ResistanceMohrCoulombC	0 kPa	3 kPa	0 kPa	5 kPa
ResistanceMohrCoulombFi	37 °	30 °	37 °	32 °
WallAdhesion	0 kPa	0 kPa	0 kPa	0 kPa
ElasticConstantEvc	100000 kPa	250000 kPa	100000 kPa	100000 kPa
ElasticConstantEur	300000 kPa	750000 kPa	300000 kPa	160000 kPa
Alpha_up	0	0	0	0
Alpha_down	0	0	0	0

Tab.7.2 - Dati input stratigrafia (parametri geotecnici)

In Fig.7.1 è riportata la rappresentazione grafica del modello geometrico e della stratigrafia assunti alla base del calcolo.

In Fig.7.2 sono riportati i parametri geotecnici inseriti nel software.

Le analisi sono state eseguite considerando sia le condizioni statiche sia le condizioni sismiche. Il programma HARPACEAS PARATIE Plus 2019 prevede la stampa del listato dei dati di input, ma non la stampa dei grafici che evidenziano le superfici di scorrimento ed i rispettivi coefficienti di sicurezza. Pertanto, si sono estratte dal software immagini rappresentative con la traccia di tutte le superfici analizzate con il contour dei coefficienti di sicurezza sovrapposto alla griglia dei centri (Fig.7.3).

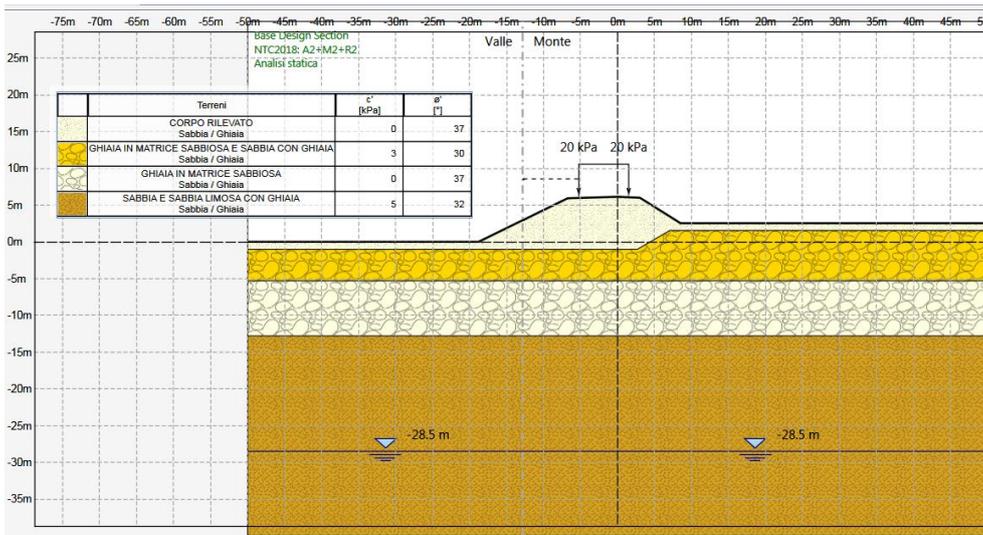


Fig.7.1 – Modello geometrico di calcolo

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ³]
CORPO RILEVATO Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA E SABBIA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	3	30	E _{vc} = 250000 E _{ur} = 750000
GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA Sabbia / Ghiaia	0	37	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 300000
SABBIA E SABBIA LIMOSA CON GHIAIA Sabbia / Ghiaia	5	32	E _{vc} = 100000 E _{ur} = 160000

Fig.7.2 – Parametri geotecnici di calcolo

Le analisi in condizioni statiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 1.727 .

VERIFICHE DI STABILITÀ

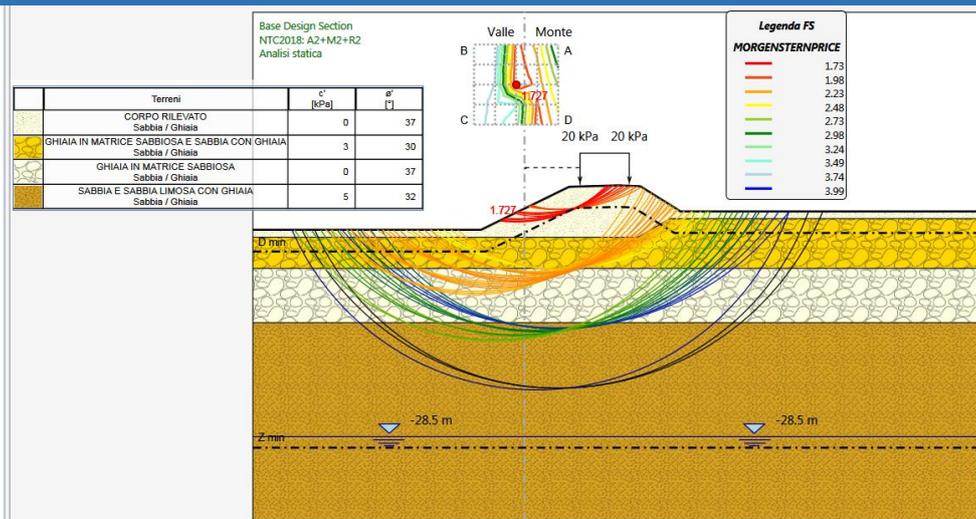


Fig.7.3 - Traccia superfici critiche analizzate e contour dei coefficienti Fs

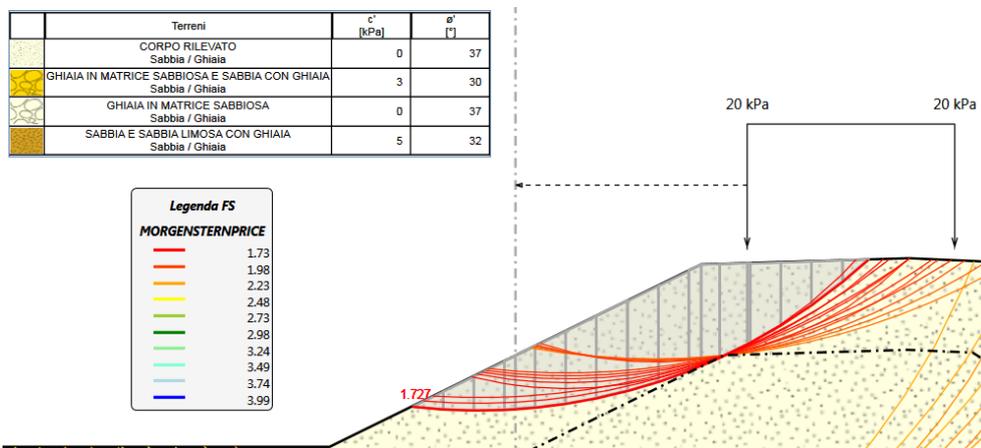


Fig.7.4 - Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo (Fs min =1.727) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati di seguito (Tab.7.3):

Totale Superfici analizzate:65						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	1.727	0.345	6	-14	20	18.802
VALID	1.804	0.326	6	-14	22.75	21.324
VALID	1.854	0.326	6	-11.13	14.5	12.605
VALID	1.891	0.31	6	-14	25.5	23.895
VALID	1.944	0.306	6	-11.13	17.25	15.159

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	2.053	0.287	5	-11.13	20	17.772
VALID	2.178	0.268	5	-11.13	22.75	20.421
VALID	2.308	0.254	5	-11.13	25.5	23.093
VALID	2.388	0.251	6	-8.25	14.5	11.735
VALID	2.543	0.234	5	-8.25	17.25	14.444
VALID	2.748	0.212	5	-8.25	20	17.166
VALID	3.023	0.189	4	-8.25	22.75	19.896
VALID	3.285	0.173	4	-8.25	25.5	22.631
VALID	3.377	0.136	6	-14	14.5	21.525
VALID	3.477	0.131	6	-11.13	14.5	20.578
VALID	3.499	0.123	6	-14	17.25	24.062
VALID	3.55	0.138	6	-16.88	14.5	22.479
VALID	3.618	0.127	6	-16.88	17.25	25.016
VALID	3.642	0.112	6	-14	20	26.602
VALID	3.646	0.117	6	-11.13	17.25	23.182
VALID	3.721	0.117	6	-16.88	20	27.553
VALID	3.793	0.103	5	-14	22.75	29.18
VALID	3.843	0.108	6	-16.88	22.75	30.09
VALID	3.865	0.104	5	-11.13	20	25.829
VALID	3.946	0.131	7	-19.75	17.25	25.97
VALID	3.96	0.14	7	-19.75	14.5	23.433
VALID	3.973	0.094	4	-14	25.5	31.797
VALID	3.974	0.1	3	-16.88	25.5	32.628
VALID	3.99	0.122	6	-19.75	20	28.507
VALID	4.108	0.11	6	-8.25	14.5	19.927
VALID	4.13	0.093	4	-11.13	22.75	28.503
VALID	4.399	0.084	4	-11.13	25.5	31.195
VALID	4.425	0.096	4	-8.25	17.25	22.646
VALID	4.746	0.085	4	-8.25	20	25.375
VALID	5.055	0.078	4	-8.25	22.75	28.11
VALID	5.347	0.073	5	-8.25	25.5	30.848
VALID	7.002	0.041	8	-16.88	14.5	29.819
VALID	7.373	0.038	8	-16.88	17.25	32.427
VALID	7.467	0.036	8	-14	14.5	29.183
VALID	7.844	0.034	8	-14	17.25	31.791
VALID	8.205	0.033	8	-14	20	34.401
VALID	8.275	0.035	8	-11.13	14.5	28.552
VALID	8.669	0.035	8	-11.13	17.25	31.204
VALID	9.062	0.034	8	-11.13	20	33.886
VALID	9.445	0.033	8	-11.13	22.75	36.585
VALID	9.827	0.038	9	-8.25	14.5	28.118
VALID	10.206	0.037	9	-8.25	17.25	30.847
VALID	10.573	0.036	8	-8.25	20	33.583
VALID	10.931	0.036	8	-8.25	22.75	36.323
VALID	11.276	0.035	8	-8.25	25.5	39.065
VALID	13.365	0.021	18	-11.13	14.5	36.526
VALID	15.009	0.023	20	-8.25	14.5	36.309

VALID	15.247	0.023	19	-8.25	17.25	39.049
-------	--------	-------	----	-------	-------	--------

Tab.7.3 – Analisi statica - Sezione A-9

Le analisi in condizioni sismiche, secondo Morgenstern e Price, hanno condotto all'individuazione di un numero definito di superfici critiche con valori del coefficiente di sicurezza ≥ 2.038 .

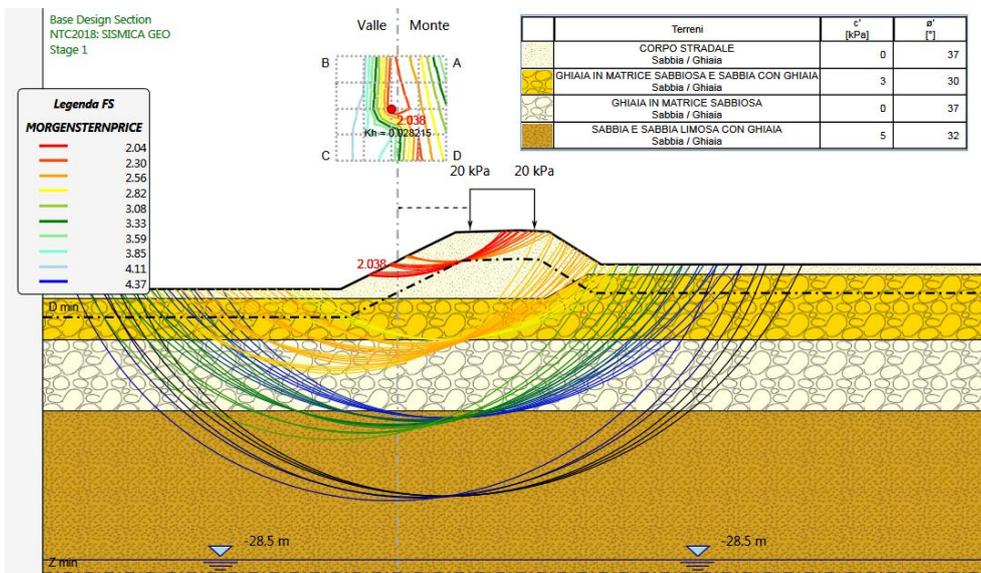


Fig.7.5 – Traccia superfici analizzate e contour dei coefficienti Fs

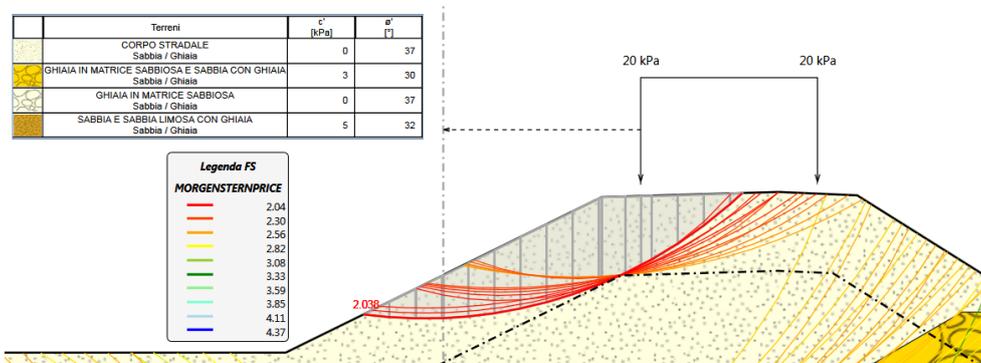


Fig.7.6– Dettaglio piede rilevato con la superficie di scorrimento con Fs minimo ($Fs_{min} = 2.038$) e regione di terreno mobilitata in conci verticali

I tabulati di calcolo ottenuti dal software in termini di coefficienti di sicurezza sono riportati qui di seguito (Tab.7.4):

Totale Superfici analizzate: 72						
Classificazione	Fs	λ	Iterazioni	X	Z	R
VALID	2.038	0.377	6	-13.5	19	17.685
VALID	2.125	0.364	6	-13.5	21.75	20.209
VALID	2.214	0.352	6	-10.625	13.5	11.488
VALID	2.225	0.351	6	-13.5	24.5	22.786
VALID	2.309	0.335	6	-10.625	16.25	14.05
VALID	2.432	0.32	6	-10.625	19	16.671
VALID	2.573	0.304	6	-10.625	21.75	19.329
VALID	2.72	0.292	5	-10.625	24.5	22.009
VALID	2.887	0.27	6	-7.75	13.5	10.663
VALID	3.048	0.256	5	-7.75	16.25	13.383
VALID	3.285	0.239	5	-7.75	19	16.114
VALID	3.582	0.223	5	-7.75	21.75	18.85
VALID	3.775	0.165	6	-13.5	13.5	20.436
VALID	3.858	0.213	5	-7.75	24.5	21.59
VALID	3.865	0.155	6	-13.5	16.25	22.973
VALID	3.902	0.168	6	-10.625	13.5	19.491
VALID	3.945	0.161	6	-16.375	13.5	21.39
VALID	3.977	0.152	6	-16.375	16.25	23.927
VALID	3.981	0.145	6	-13.5	19	25.513
VALID	4.033	0.156	6	-10.625	16.25	22.1
VALID	4.053	0.144	6	-16.375	19	26.465
VALID	4.106	0.137	6	-13.5	21.75	28.094
VALID	4.15	0.136	6	-16.375	21.75	29.002
VALID	4.219	0.145	6	-10.625	19	24.753
VALID	4.256	0.129	6	-16.375	24.5	31.54
VALID	4.261	0.13	6	-13.5	24.5	30.715
VALID	4.308	0.151	6	-19.25	16.25	24.882
VALID	4.318	0.143	6	-19.25	19	27.419
VALID	4.362	0.159	6	-19.25	13.5	22.344
VALID	4.372	0.136	6	-19.25	21.75	29.956
VALID	4.449	0.135	6	-10.625	21.75	27.434
VALID	4.597	0.15	6	-7.75	13.5	18.872
VALID	4.678	0.128	6	-10.625	24.5	30.132
VALID	4.842	0.139	6	-7.75	16.25	21.6
VALID	5.083	0.131	6	-7.75	19	24.335
VALID	5.304	0.126	6	-7.75	21.75	27.075
VALID	5.484	0.122	6	-7.75	24.5	29.817
VALID	7.018	0.071	6	-19.25	13.5	29.396
VALID	7.257	0.063	7	-16.375	13.5	28.76
VALID	7.497	0.06	7	-16.375	16.25	31.368
VALID	7.694	0.06	7	-13.5	13.5	28.124

VERIFICHE DI STABILITÀ

VALID	7.924	0.06	7	-13.5	16.25	30.732
VALID	8.136	0.059	6	-13.5	19	33.342
VALID	8.346	0.059	6	-13.5	21.75	35.98
VALID	8.443	0.062	7	-10.625	13.5	27.494
VALID	8.653	0.062	7	-10.625	16.25	30.15
VALID	8.862	0.062	6	-10.625	19	32.836
VALID	9.063	0.062	6	-10.625	21.75	35.539
VALID	9.255	0.062	6	-10.625	24.5	38.254
VALID	9.832	0.066	7	-7.75	13.5	27.081
VALID	9.958	0.067	7	-7.75	16.25	29.817
VALID	10.083	0.067	6	-7.75	19	32.557
VALID	10.208	0.066	6	-7.75	21.75	35.3
VALID	10.332	0.066	6	-7.75	24.5	38.045
VALID	11.526	0.04	11	-13.5	13.5	35.812
VALID	12.318	0.043	10	-10.625	16.25	38.2
VALID	12.329	0.042	11	-10.625	13.5	35.497
VALID	13.293	0.047	10	-7.75	19	40.778
VALID	13.37	0.046	11	-7.75	16.25	38.033
VALID	13.489	0.045	11	-7.75	13.5	35.291

Tab.6.4 – Analisi sismica - Sezione A-9

Le analisi condotte mostrano che in tali condizioni la verifica stabilità del pendio è soddisfatta con un adeguato margine di sicurezza.

APPENDICE A: CASI DI PROVA (Fonte : Ce.A.S. s.r.l.)

CASO PROVA 1 – Un esempio passo dopo passo

Per familiarizzare con la procedura, consideriamo il semplice esempio proposto da Abramson et al (2005) (paragrafo 6.9.6, Figura 6.25). Si tratta di un versante d'altezza pari a 20 m e pendenza 2H:1V in terreno omogeneo ed in assenza di falda.

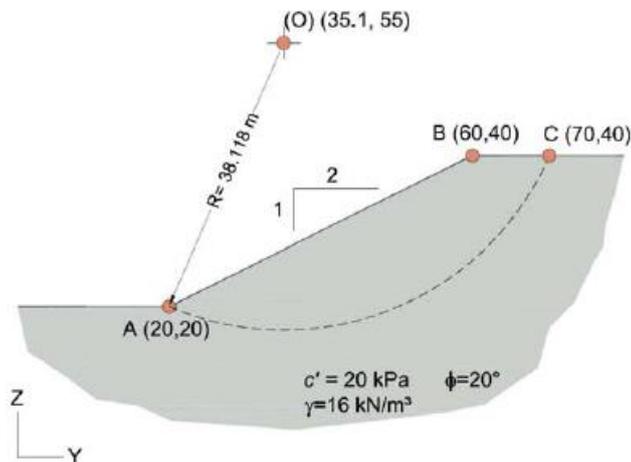
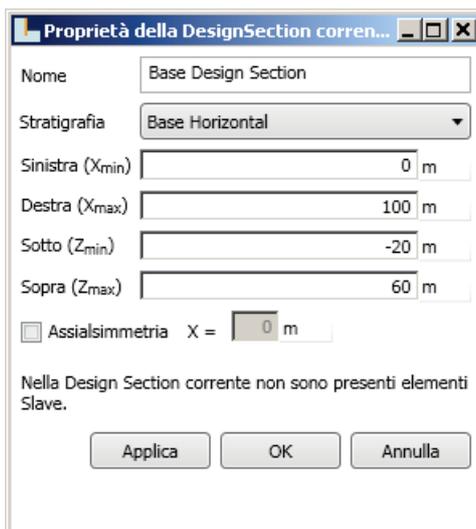


Fig. A.1 – Esempio(da Abramson et al 2002)

Il coefficiente di sicurezza è valutato per la superficie circolare prestabilita indicata nella Figura A.1 in cui sono riportati anche i parametri del terreno.

Partiamo con un nuovo modello di default proposto da PARATIE PLUS.

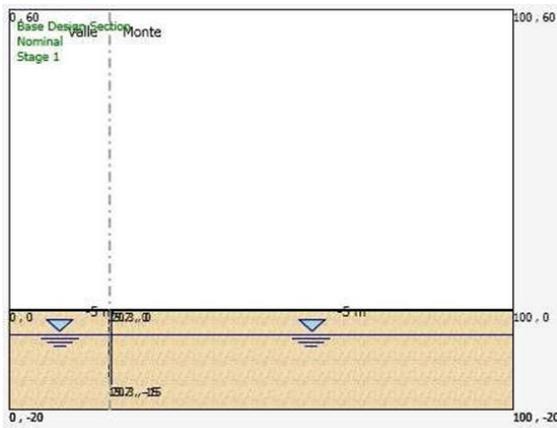
Estendiamo i limiti del modello, adattandoci alla geometria di Figura A.1. I limiti minimo e massimo per le coordinate orizzontali possono essere 0 e 100, mentre per le quote possiamo prevedere, ad esempio, limiti compresi tra -20 e 60. Per ridefinire tali limiti possiamo aggiustare le proprietà della DS corrente



Ora, anche se non strettamente necessario, facciamo in modo che il monte sia a destra, utilizzando l'opzione .

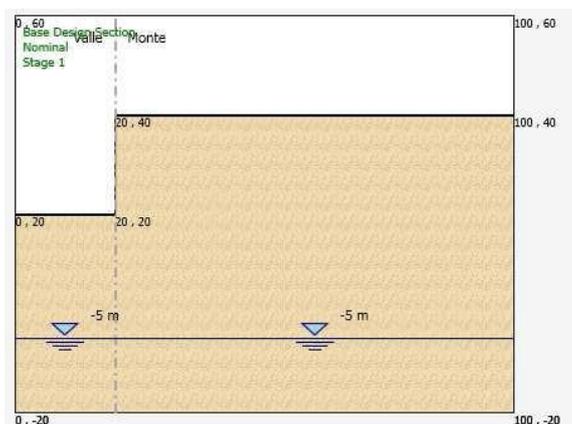
Poniamo inoltre l'ordinata della parete a +20, cliccando sulla traccia della parete stessa e attivando la dialog box che ne permette la ridefinizione della coordinata.

Per chiarezza, attiviamo l'opzione Mostra Punti del menu Vista: otterremo il seguente modello.

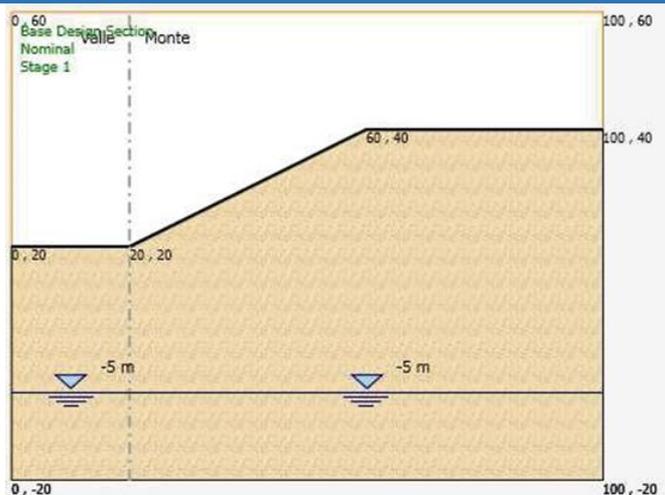


Ora la parete vera è propria può anche essere rimossa (ciò non è tuttavia strettamente necessario). Portiamo il piano campagna a quota +20 a sinistra e a +40 a destra. PARATIE PLUS ci avverte che il terreno è posto al di sopra della massima quota (+0) al di sotto della quale è definita la stratigrafia.

Sarà quindi necessario innalzare la quota sommitale dell'unico strato presente, trascinando verso l'alto l'handler della quota sommitale. Dovremmo ottenere più o meno la seguente rappresentazione:



Non ci resta che modellare la superficie del pendio: selezioniamo la linea del piano campagna di destra, quindi, con il tasto destro del mouse, chiediamo di aggiungere un punto. Possiamo ora aggiustare la posizione dei punti della linea di superficie.

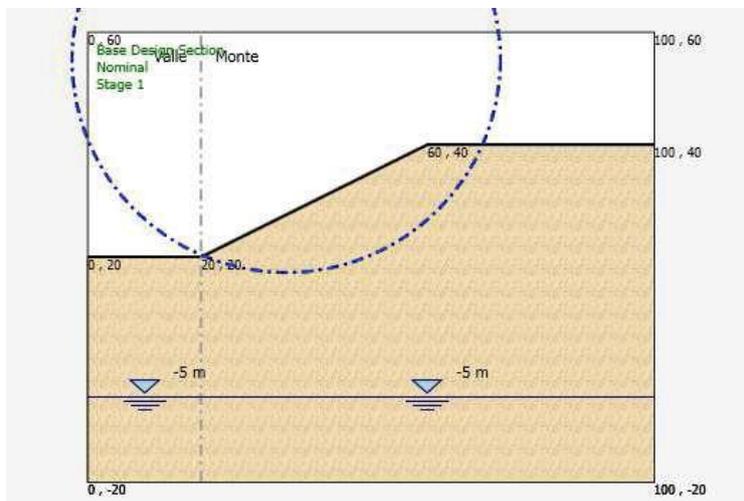


Ovviamente ridefiniamo i parametri dello strato (di default) assegnando i valori indicati in Figura 8-21. Siamo pronti per eseguire il calcolo di stabilità del pendio.

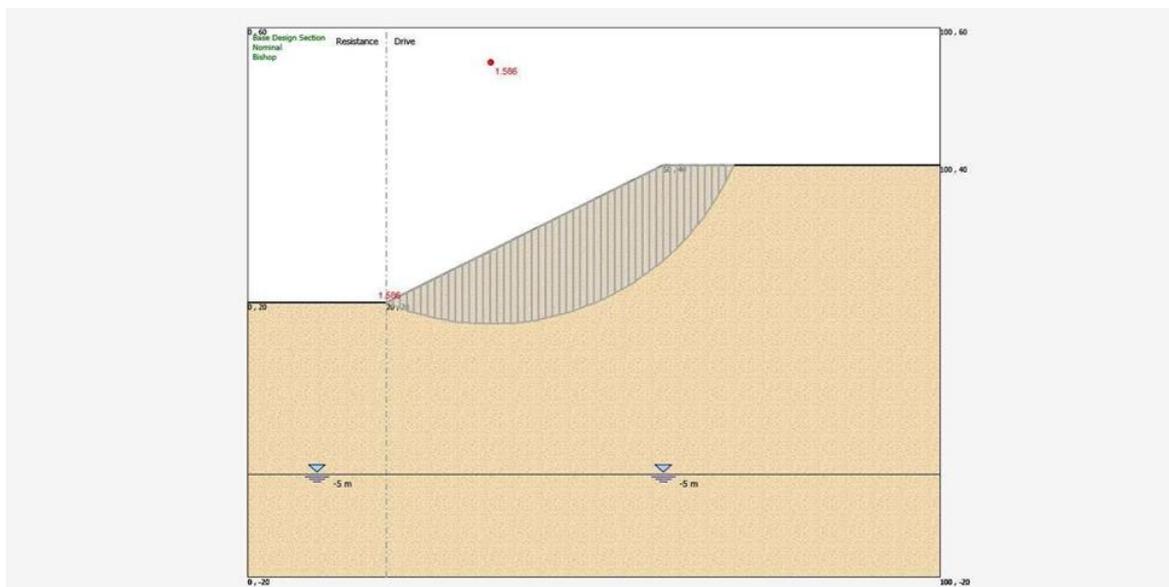
Nel Menu VSP, utilizziamo il comando Proprietà . Definiamo i parametri come indicato.

Attivo	<input checked="" type="checkbox"/>		
Metodo di stabilità del pendio	BISHOP		
Definizione Superficie Critica			
Massimo numero di iterazioni	100		
Passo Conci	1 m		
Contributo del muro all'analisi di stabilità	Ignora muro		
Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo	<input type="checkbox"/>		
Superficie Critica Semplice			
X _c	35.1 m	Raggio Minimo	38.118 m
Z _c	55 m	Raggio Massimo	38.118 m
Numero Raggi	1		

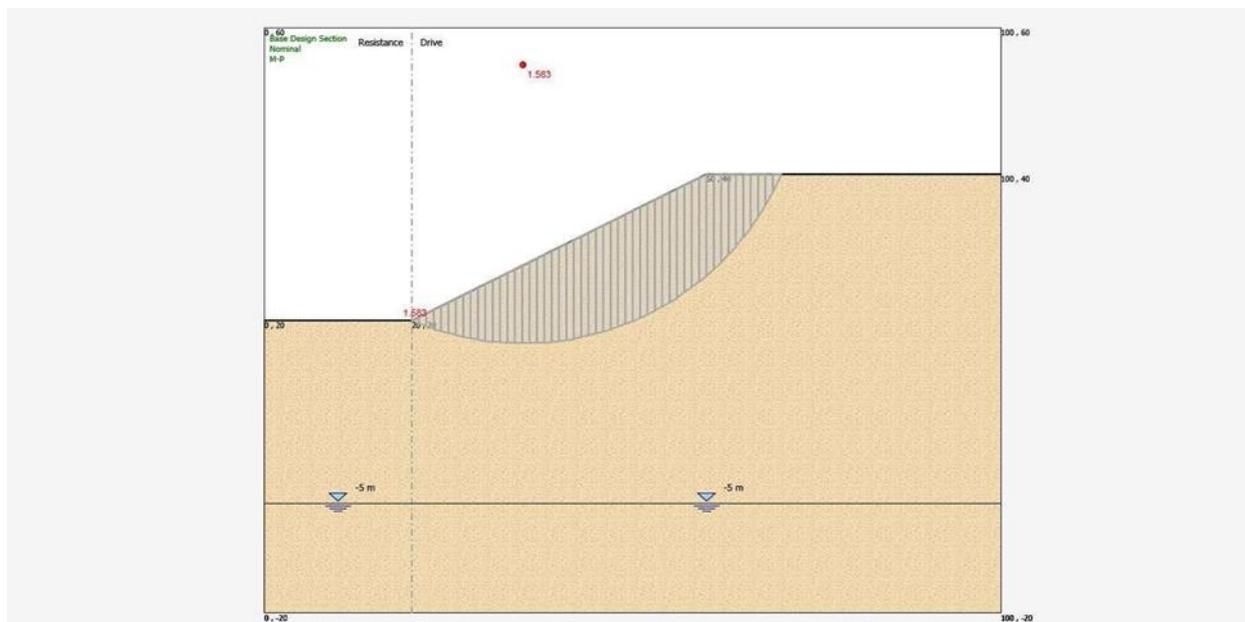
PARATIE PLUS rappresenta graficamente i criteri di definizione della superficie di scivolamento. In questo caso si ha la seguente rappresentazione. Il centro e il raggio possono essere modificati graficamente, agendo sugli handler che appaiono dopo aver selezionato gli oggetti grafici.



Possiamo ora eseguire il calcolo, con il comando , quindi rappresentare il coefficiente di sicurezza e la suddivisione in conci con il comando . Si ottiene il seguente risultato.



Possiamo ora, dalla dialog box delle proprietà del modello, cambiare il metodo di calcolo, vale a dire passare dal metodo di Bishop a M&P, scegliendo una funzione di forma $f(x)$ costante. Dopo avere rieseguito l'analisi, si ottengono i seguenti risultati.



Per conoscere, oltre a F_s , il valore del parametro λ , è necessario attivare la tabella di dettaglio dei conci, nella cui intestazione si riporta il valore di $\lambda=0.301$.

Nella seguente tabella, i risultati in termini di F_s forniti da PARATIE PLUS sono confrontati con quelli riportati da Abramson et al (2002).

	Abramson et al (2002)	PARATIE PLUS
Bishop semplificato	1.544	1.586
M&P f(x) costante	1.589	1.583
M&P f(x) sinouoidale	1.588	
Janbu semplificato	1.373 (*)	1.424(*)

(*) senza coeff. correttivo di Figura 8-3 ($f_0 \approx 1.07$)

Le soluzioni di Bishop e Janbu indicate da Abramson et al (2002) si riferiscono a calcolo manuali basato sulla suddivisione in 10 conci della larghezza di 5 m e sull'introduzione di alcune approssimazioni non del tutto trascurabili riguardanti, ad esempio, l'altezza del generico concio.

Sempre con riferimento all'esempio di letteratura, i risultati riguardanti il metodo di M&P si riferiscono a coefficienti di sicurezza calcolati con il codice XSTABL (per i riferimenti si veda testo citato) (suddivisione con 11 conci).

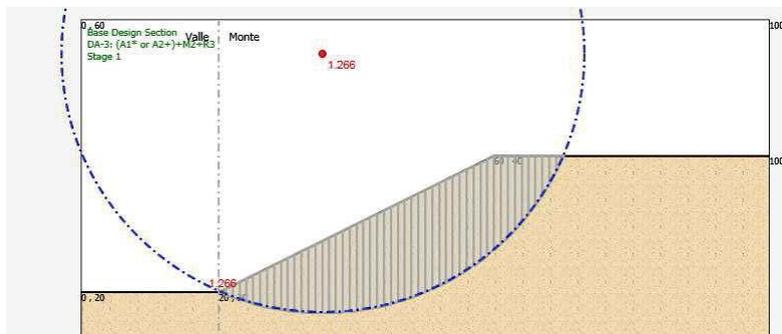
Nel complesso il confronto è molto buono. Per questo tipo particolare di superficie di scivolamento, si può apprezzare come le differenze tra il classico metodo Bishop e quello di M&P siano molto piccole.

Consideriamo ora la verifica di stabilità in rapporto ad un calcolo agli stati limite. Con la procedura usuale, definiamo una serie di Design Assumptions (DA), recuperando, ad esempio, quelle precodificate secondo le indicazioni degli Eurocodici.

Selezioniamo una DA di tipo A2+M2, per la quale sono previsti i seguenti coefficienti di sicurezza parziali:

$$\gamma_f = \gamma_{c'} = 1.25$$

Dopo avere eseguito il calcolo (con M&P, funzione di forma costante), si ottiene il seguente risultato:



Il valore di $F_s=1.266$ è coerente con i coefficienti parziali assunti in questo calcolo. Infatti, il coefficiente di sicurezza riferito a un calcolo con parametri caratteristici, sarebbe pari a $1.266 \cdot 1.25=1.5825$, in completo accordo con il valore 1.583 prodotto da PARATIE PLUS.

Secondo la Normativa Italiana, il fattore di sicurezza prodotto considerando i valori d'angolo d'attrito e coesioni abbattuti tramite i coefficienti parziali, deve di regola essere pari a 1.1, ossia pari al coefficiente γ_R indicato dalla Norma stessa.

CASO PROVA 2 – Un esempio con l’inserimento di un tirante

Consideriamo l'esempio in Figura A.2, riguardante uno scavo in condizioni non drenate in argilla sovra- consolidata, la cui resistenza è espressa in termini di una resistenza a taglio non drenata $S_u=100$ kPa costante per l'altezza d'interesse.

Per il sostegno dello scavo si prevede una parete, le cui caratteristiche, tuttavia, non vengono prese in conto al fine della stabilità del fronte.

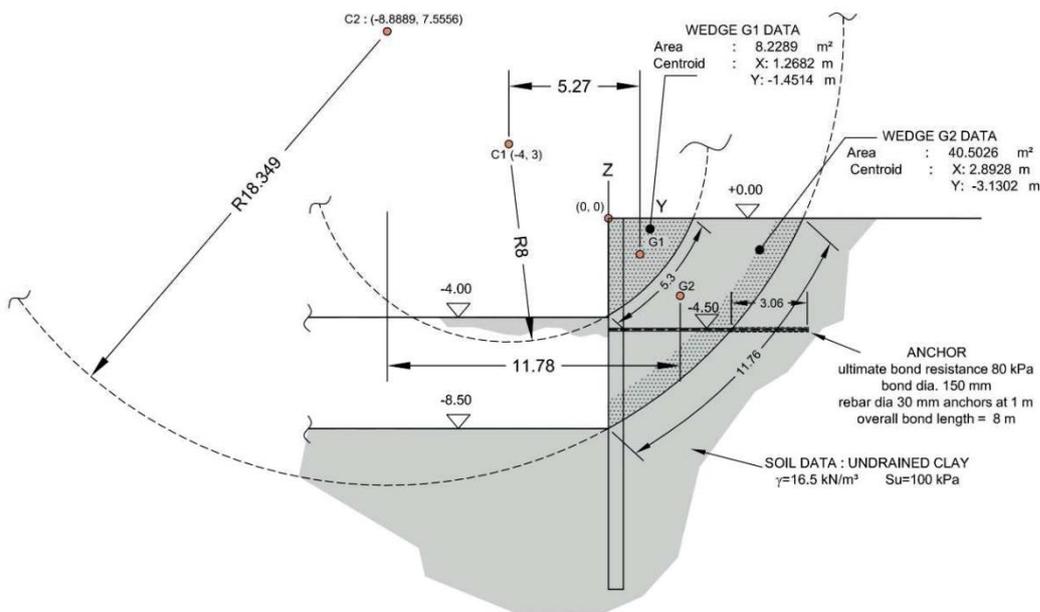


Figura A.2: Scavo non drenato in argilla con inserimento di un tirante

Consideriamo tre situazioni

1. altezza di scavo di 4 m, senza alcun tirante
2. altezza di scavo di 8.5 m, senza tirante
3. inserimento tirante passivo a quota -4.50 m.

Se partiamo, come al solito, dal modello di default, abbiamo una parete (infissa 15 m) posta alla coordinata orizzontale $X=0$. Facciamo in modo che il terreno di monte sia a destra: dobbiamo cambiare la scelta di default, per prevedere il monte a sinistra (comando).

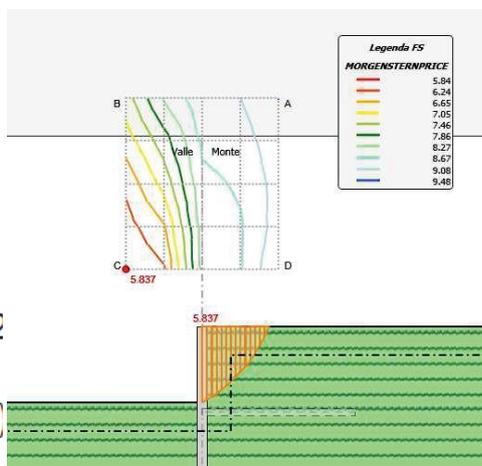
Definiamo i parametri dell'unico strato che chiameremo "Clay", ricordando che, nel caso di un'argilla, sia i parametri drenati sia quelli non drenati vanno distinti da quelli utilizzati dal modello CLAY di PARATIE. In questo caso, assegniamo (nella tab resistenza) i seguenti valori, assicurandoci che sia attivo il comportamento non drenato.

For Slope Stability Analysis		Default Clay Behaviour	
ϕ' slope	20 °	<input type="radio"/> Drained	
c' slope	10 kN/m ²	<input checked="" type="radio"/> Undrained	
C_u slope	100 kN/m ²	TSP not in use in current DS	

Facciamo inoltre in modo che la falda non interferisca con lo scavo; assegniamo inoltre a entrambi i pesi specifici il valore del peso totale $\gamma=16.5 \text{ kN/m}^3$. Nel caso di materiale completamente non drenato, in linea di massima, gli effetti dell'acqua non entrerebbero mai in gioco, a meno che non si determini una zona di acqua libera (un lago). Quindi, in un caso del genere, sarebbe possibile, in linea di principio, assegnare a monte una quota della freatica diversa da valle, anche senza dover eseguire un calcolo di filtrazione.

Definiamo una fase nella quale, a sinistra, abbassiamo lo scavo a quota -4.00 e ricerchiamo il coefficiente di sicurezza minimo associato a diverse superfici circolari con centri in una griglia. Utilizzando un passo di conci pari a 25 cm, e selezionando il metodo di M&P, otteniamo il seguente risultato.

Con la griglia ipotizzata, il coefficiente di sicurezza minimo è associato a un arco di circonferenza di raggio circa pari a 8 m e centro nel punto C1 e quindi alla porzione G1 in Figura A.2. È immediato ricalcolare il coefficiente di sicurezza imponendo l'equilibrio alla rotazione attorno a C1



Si ha

$$M_{stab,C1} = S_u \cdot L_{arc} \cdot R = (100\text{kPa}) \cdot (5.30\text{m}) \cdot (8\text{m}) = 42$$

$$M_{instab,C1} = W_{G1} \cdot (x_{G1} - x_{C1}) = (8.2289\text{m}^2 \cdot 16.5\text{kN/m}^3)$$

da cui

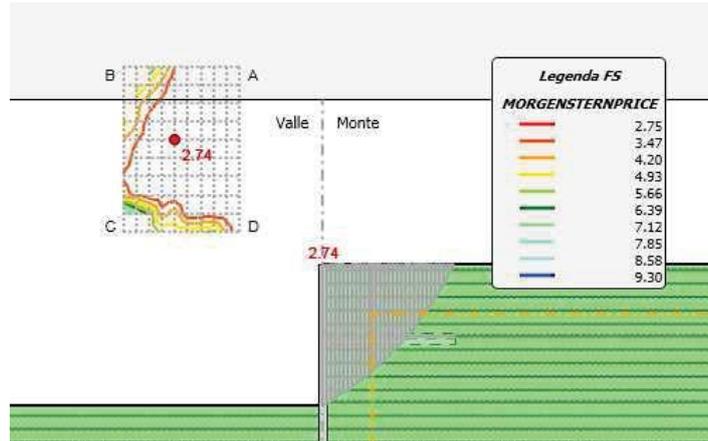
$$F_s = \frac{M_{stab,C1}}{M_{instab,C1}} = \frac{4240}{715.5} = 5.926$$

Tra PARATIE PLUS e il risultato atteso si ha una differenza trascurabile, legata anche alla leggera differenza tra il valore del raggio introdotto nel calcolo manuale rispetto al valore preso in considerazione da PARATIE PLUS. Nella pratica, ovviamente, dovrebbero essere analizzate anche altre possibili situazioni, oltre a differenti superfici di scivolamento, comprese superfici non circolari. Alla luce dei fini dimostrativi di questo manuale, ci limitiamo tuttavia a quest'analisi.

Come l'utente potrà verificare, il medesimo coefficiente di sicurezza può essere ottenuto con il metodo di Bishop, mentre, per questa superficie, la soluzione con il metodo di Janbu non converge.

Passiamo ora alla configurazione con un'altezza di scavo di 8.5 m, senza l'applicazione di alcun tirante.

Con il medesimo approccio, ma con una griglia dei centri spostata a sinistra otteniamo i risultati a lato, associati al centro C2 e quindi alla porzione G2 in Figura A.2.



Si ha

$$M_{stab,C2} = S_u \cdot L_{arc} \cdot R = (100\text{kPa}) \cdot (11.76\text{m}) \cdot (18.349\text{m}) = 21578 \cdot \text{kNm/m}$$

$$M_{instab,C2} = W_{G2} \cdot (x_{G2} - x_{C2}) = (40.5\text{m}^2 \cdot 16.5\text{kN/m}^3) \cdot (11.78\text{m}) = 7872 \cdot \text{kNm/m}$$

da cui

$$F_s = \frac{M_{stab,C1}}{M_{instab,C1}} = \frac{21578}{7872} = 2.741$$

Ancora lo stesso risultato fornito da PARATIE PLUS. Consideriamo ora il tirante passivo e valutiamone il contributo alla resistenza, basandoci, per il momento, sulla medesima superficie di scorrimento C2, G2.

La resistenza disponibile messa in conto da PARATIE PLUS corrisponde a quella offerta dalla quota parte di bulbo (di lunghezza $L_{B,Avl}$) esterna alla superficie di scivolamento, pari in questo caso a 3.06 m.

Con i dati in Figura A.2, ed assumendo un coefficiente di sicurezza sulla resistenza a sfilamento $FS=2$, la resistenza disponibile, per metro di parete è pari a

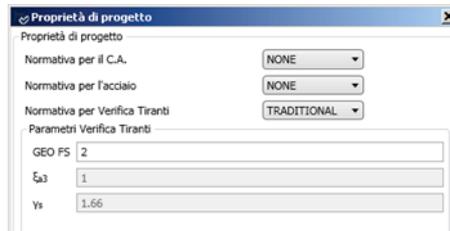
$$F_{avl} = \left(\pi \cdot D \cdot \frac{q_s}{FS} \cdot L_{B,Avl} \right) \cdot \frac{1}{\text{step}} = \left(\pi \cdot (0.15\text{m}) \cdot \frac{80\text{kPa}}{2} \cdot (3.06\text{m}) \right) \cdot \frac{1}{1\text{m}} = 57.67 \text{ kN/m}$$

quindi

$$M_{instab,C2} = W_{G2} \cdot (x_{G2} - x_{C2}) - F_{avl} \cdot (z_F - z_{C2}) = 7872 - 57.67 \cdot (7.5556 + 4.50) = 7176 \cdot \text{kNm/m}$$

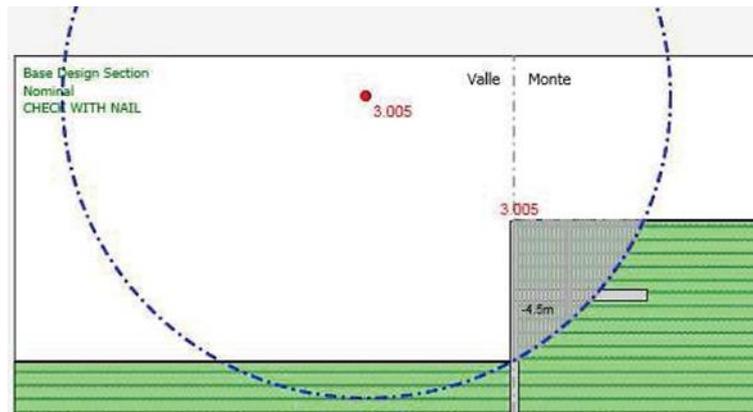
$$F_s = \frac{M_{stab,C1}}{M_{instab,C1}} = \frac{21578}{7176} = 3.007$$

È possibile riprodurre questo calcolo, imponendo una superficie ben precisa, di raggio e centro noti. Possiamo attivare il tirante e rieseguire l'analisi, dopo avere definito, per la resistenza dei tiranti, il coefficiente di sicurezza, nel Menu Verifiche → Proprietà verifiche, come segue.



Si ottiene il seguente risultato, che conferma le attese.

Tramite l'esame dei risultati riguardanti i singoli conci, è possibile individuare l'azione del tirante considerata da PARATIE PLUS, che coincide con il valore predeterminato sopra.



CASO PROVA 3 – La stabilità di un argine in presenza di filtrazione

Consideriamo ora un esempio più complesso. In Figura A.3 si riporta un problema assimilabile a un argine che contiene, sulla destra, un corpo d'acqua. Si studia dapprima, con il modulo SEEPAGE, il regime di filtrazione per determinare la portata da prelevare tramite una schiera di well points posti in prossimità dell'unghia di valle dell'argine, affinché l'area a valle dell'argine sia all'asciutto.

Successivamente sarà possibile studiare la sicurezza dell'argine, nei riguardi della stabilità.

Per una valutazione della qualità dei risultati forniti da PARATIE-PLUS, lo stesso modello sarà studiato con un metodo di calcolo alternativo, tramite una modellazione numerica con FLAC 7.00 (Itasca (2015)).

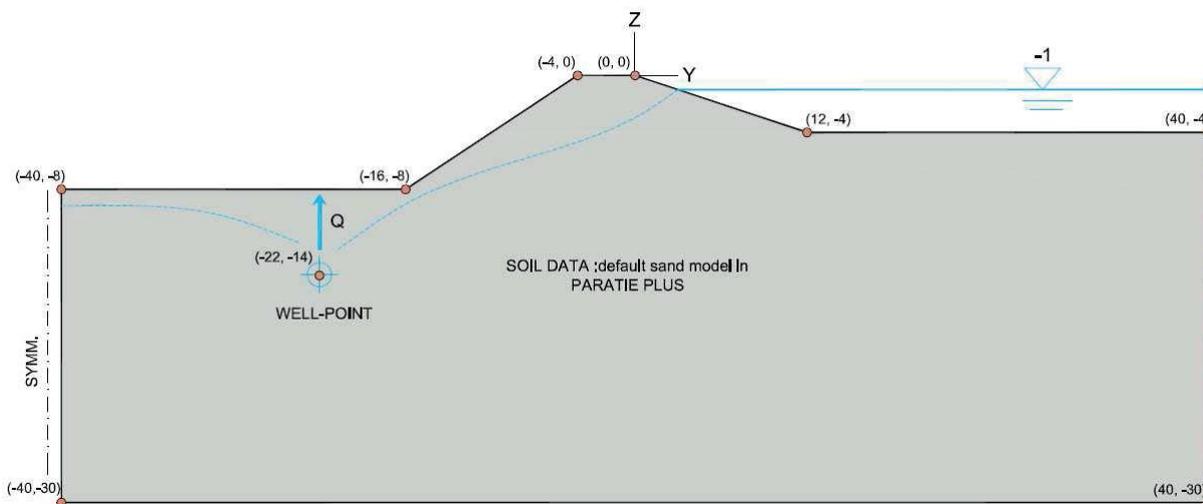


Figura A.3: dyke - stabilità di un argine

CASO PROVA 3.1 – Calcolo della portata dei well points

Una volta definita la geometria del problema, assegniamo le condizioni al contorno idrauliche che, per questo caso, possono essere le seguenti:

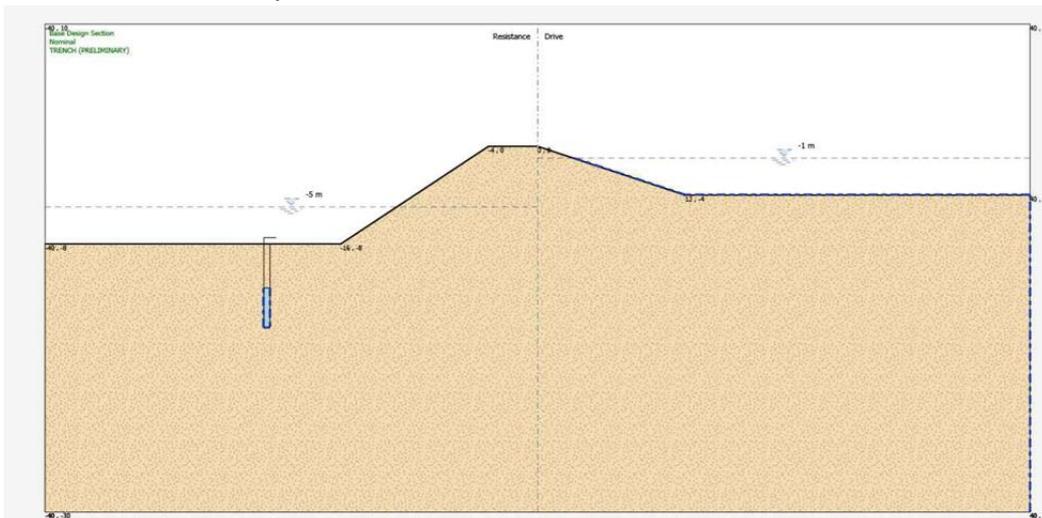
- sulla frontiera verticale di sinistra, si può ipotizzare una condizione di flusso nullo: in altre parole, si ipotizza che tale frontiera sia la traccia un piano di simmetria ;
- sulla frontiera verticale di destra, è possibile assumere una distribuzione di pressioni idrostatiche regolate dal battente di destra: questo simula una sorta di invaso di estensione infinita;
- sulle superfici superiori da entrambi i lati non è necessario specificare alcuna condizione particolare: le freatiche devono essere lasciate libere di muoversi; a destra, quando la superficie si trova al di sotto della freatica, PARATIE PLUS assegna comunque una condizione di pressione nota.

Per valutare la portata da emungere con la schiera di well-points potremmo operare in via iterativa aumentando progressivamente il flusso assegnato al well-point fino a raggiungere una condizione soddisfacente, una freatica che si collochi sufficientemente al di sotto del piano di fondo scavo.

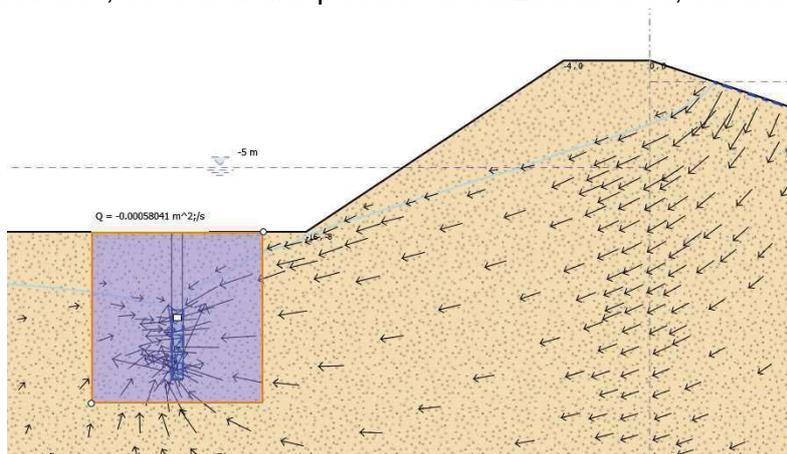
Un modo più semplice per stimare tale quantità, che dipende dalla geometria del problema e dal coefficiente di permeabilità dell'acquifero, consiste nell'utilizzare lo strumento delle trincee drenanti: invece che assegnare una condizione di flusso noto, possiamo porre una trincea

drenante in prossimità della regione ove saranno installati i well-points, con la quale è possibile imporre che la freatica nell'acquifero passi per una posizione ben precisa. Nota la soluzione, possiamo facilmente dedurre la risultante dei flussi uscenti da tale trincea, per mezzo dello strumento flow inspector; infine possiamo sostituire, alla trincea drenante, un wellpoint al quale assegnare la portata così prederminata.

Il modello con trincea drenate è il seguente: dobbiamo sottolineare che anche il posizionamento della trincea drenante richiede qualche tentativo, al fine di riprodurre una freatica mobile che non interferisca con la superficie del terreno.



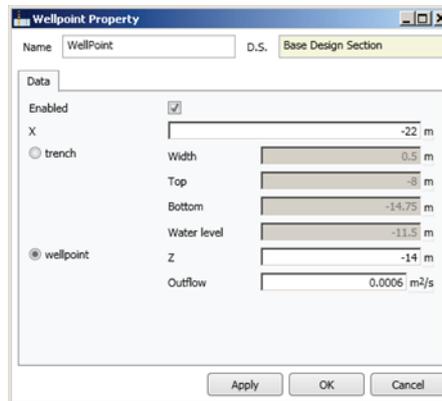
Per mezzo di uno strumento flow inspector che abbracci la trincea drenante si può facilmente stimare un flusso totale uscente (negativo) pari a $5.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (circa 35 litri/minuto per metro di trincea). L'utente può verificare che il flusso totale entrante dall'invaso di monte e dalla frontiera verticale a destra coincide, a meno di una piccola tolleranza numerica, con il flusso uscente.



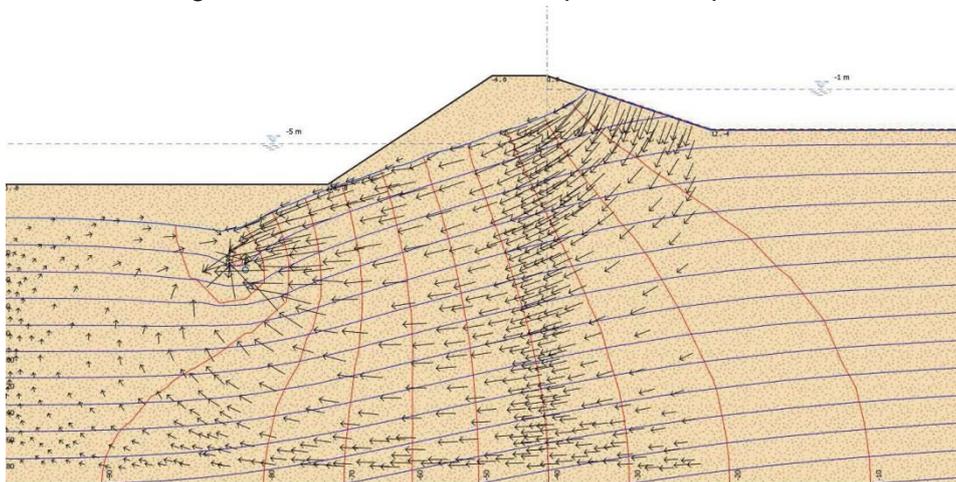
Possiamo ora modificare la condizione d'innescò, passando a un well-point di portata nota.

CASO PROVA 3.2 – Calcolo filtrazione con well points

Con un doppio click sulla la trincea drenante, appare una finestrella, tramite la quale possiamo trasformare la trincea in un well-point a cui assegniamo un prelievo pari a $6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ come segue.



La nuova soluzione è la seguente, molto simile nel complesso alla precedente.

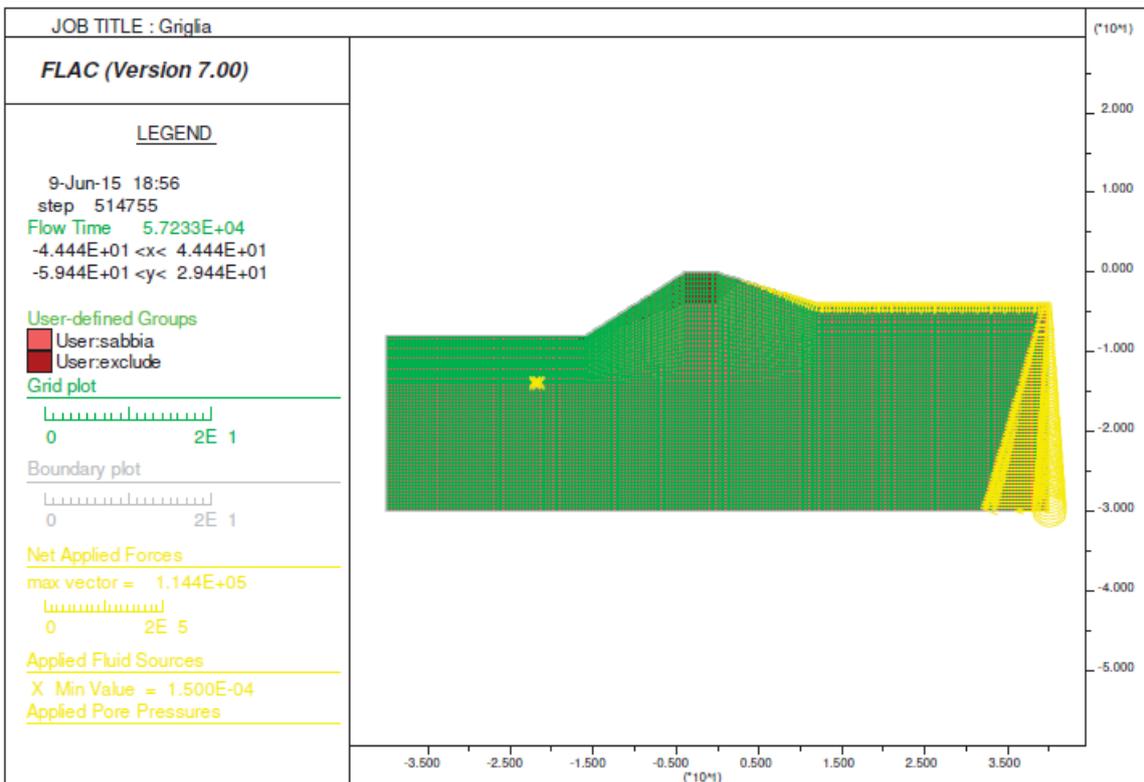


CASO PROVA 3.3– Verifica della soluzione

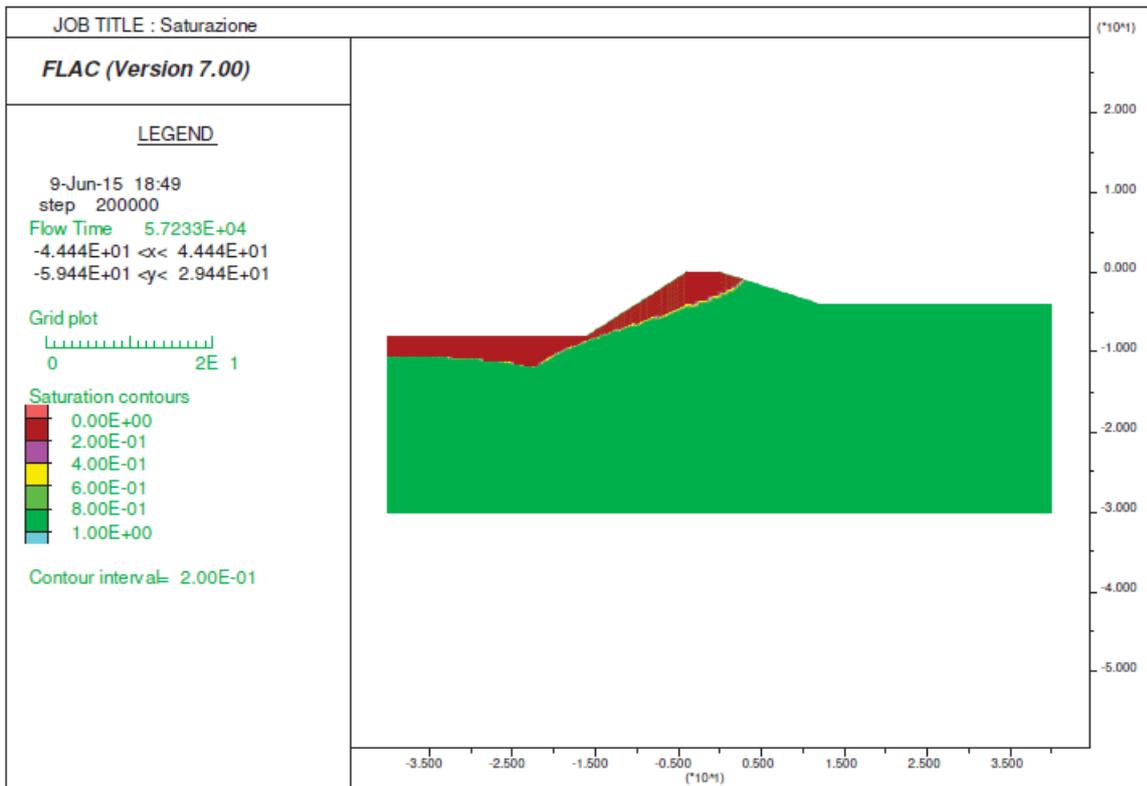
Per verificare la qualità dei risultati di PARATIE PLUS, possiamo riprodurre il medesimo esempio con un altro codice di calcolo. Utilizzeremo, in questo caso, in particolare, le opzioni di filtrazione del codice di calcolo FLAC 7.00 (Itasca (2015)) (i dati FLAC sono contenuti in Appendice B).

Il modello è riportato nella seguente figura, in cui sono riassunte le condizioni al contorno idrauliche imposte, corrispondenti con quelle prima discusse. Il prelievo dalla falda è ottenuto per mezzo di una condizione di flusso estratto, in una posizione ben precisa e di entità complessiva pari a quella assegnata a PARATIE PLUS.

Benché FLAC consenta un'analisi completamente accoppiata tra comportamento dello scheletro solido e idraulico dell'acqua nei pori, in questo caso è stata attivata la sola componente idraulica. FLAC, pur con una tecnica numerica differente da PARATIE PLUS, consente di modellare una freatica mobile, la cui posizione è individuata al confine tra le zone a saturazione totale e quella a saturazione nulla.



La freatica determinata da FLAC è la seguente, da cui si può osservare una corrispondenza molto soddisfacente con il risultato di PARATIE PLUS.



Le due freatiche sono meglio evidenziate nella figura che segue.

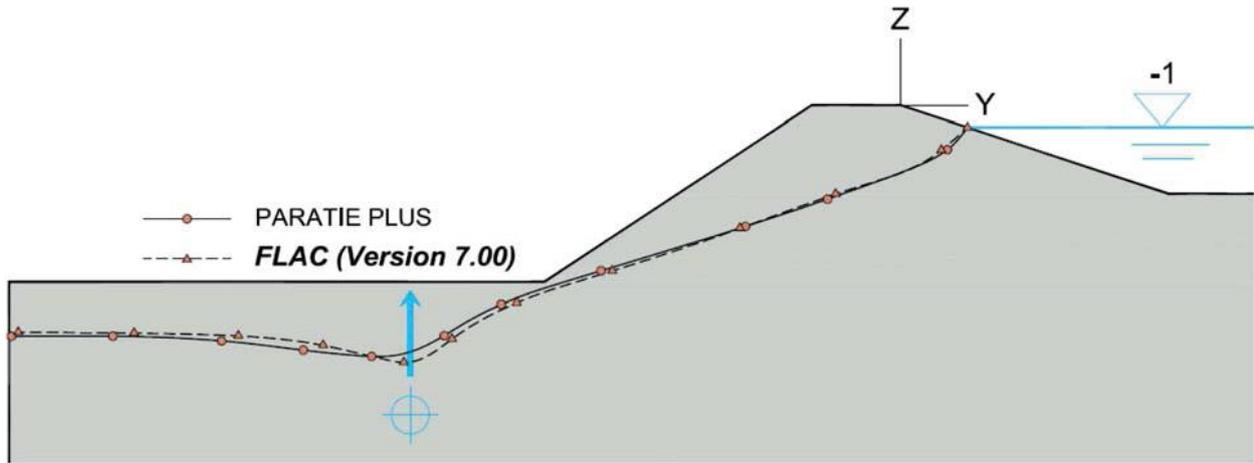


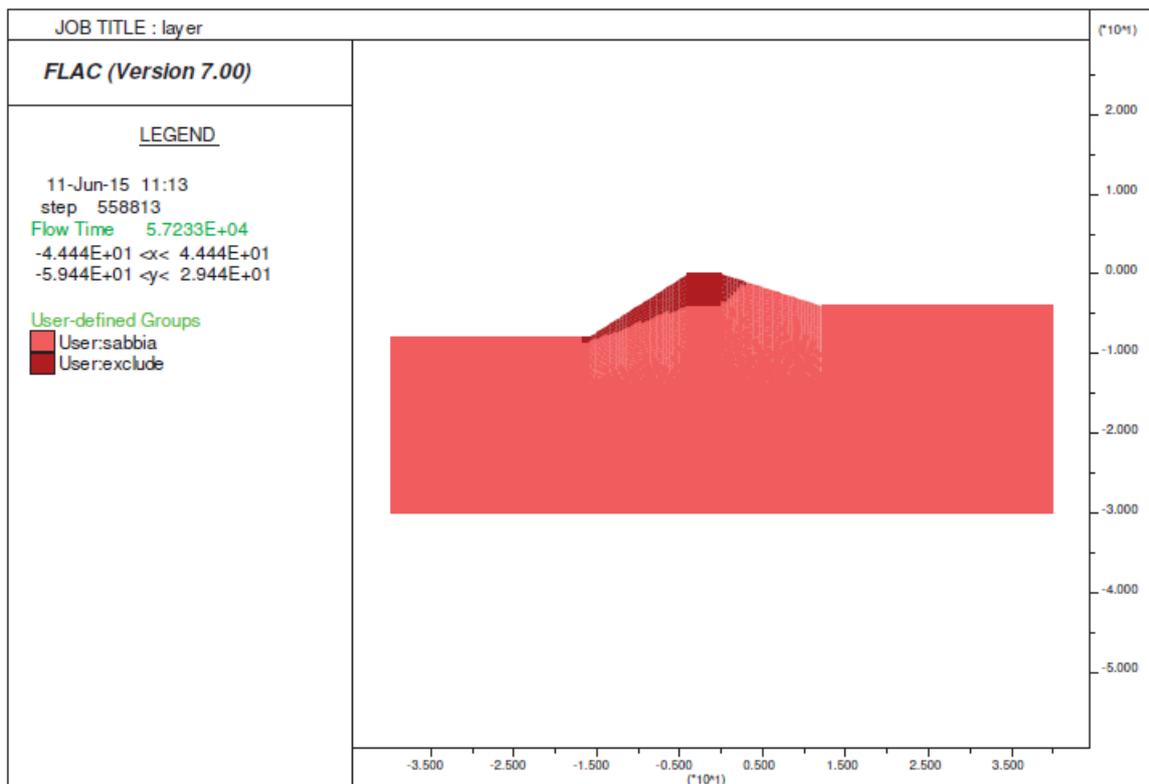
Figura A.4: Dyke - confronto freatica PARATIE-PLUS - FLAC 7.00

CASO PROVA 3.4– Stabilità dell'argine

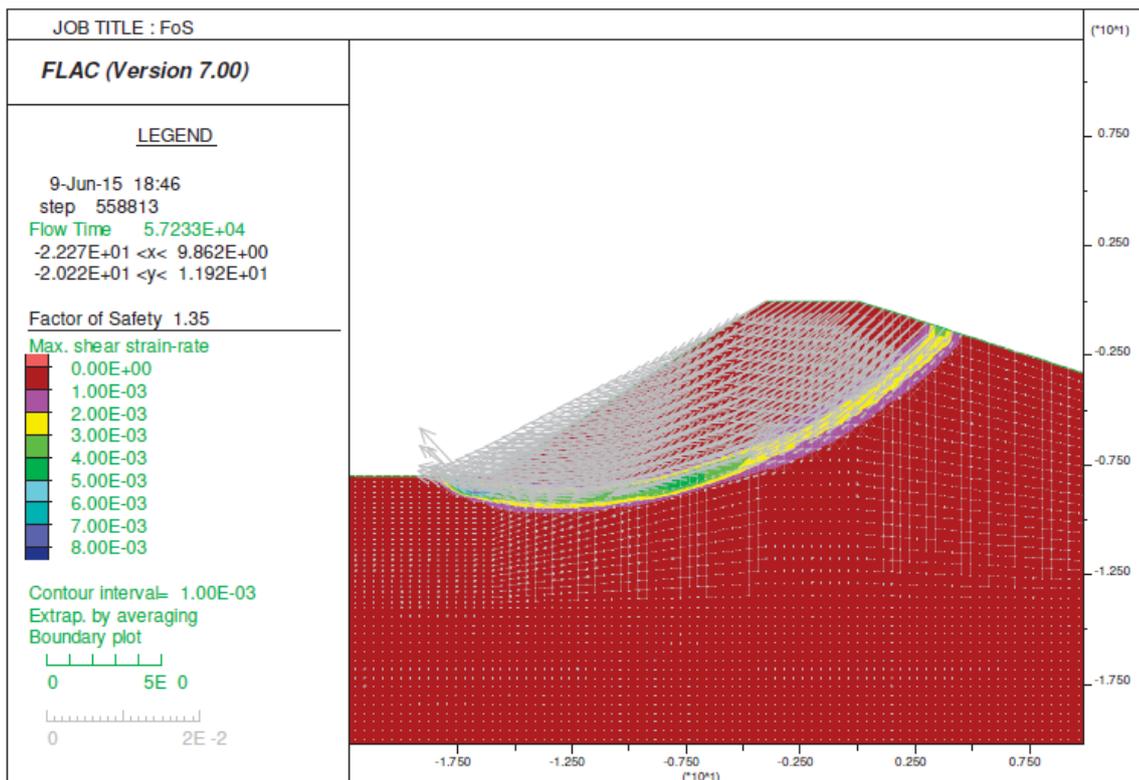
Consideriamo ora la stabilità dell'argine, nella parte riguardante il solo lato opposto all'invaso. Per valutare l'effetto delle pressioni interstiziali sulla stabilità, esaminiamo una porzione di argine individuata da una linea di scivolamento abbastanza profonda: escludiamo, in altre parole, che si possano formare meccanismi instabili superficiali.

Consideriamo, per prima cosa, il modello FLAC: con questo codice di calcolo, è possibile calcolare il coefficiente di sicurezza, inteso in senso classico, attraverso una procedura iterativa di progressiva riduzione dei parametri geotecnici, fino al raggiungimento di condizioni prossime alla formazione di un cinematismo nell'ammasso di terreno. Nella letteratura tecnica, oltre che nei manuali di FLAC, è possibile trovare molteplici confronti tra questa tecnica e i classici metodi implementati in PARATIE PLUS.

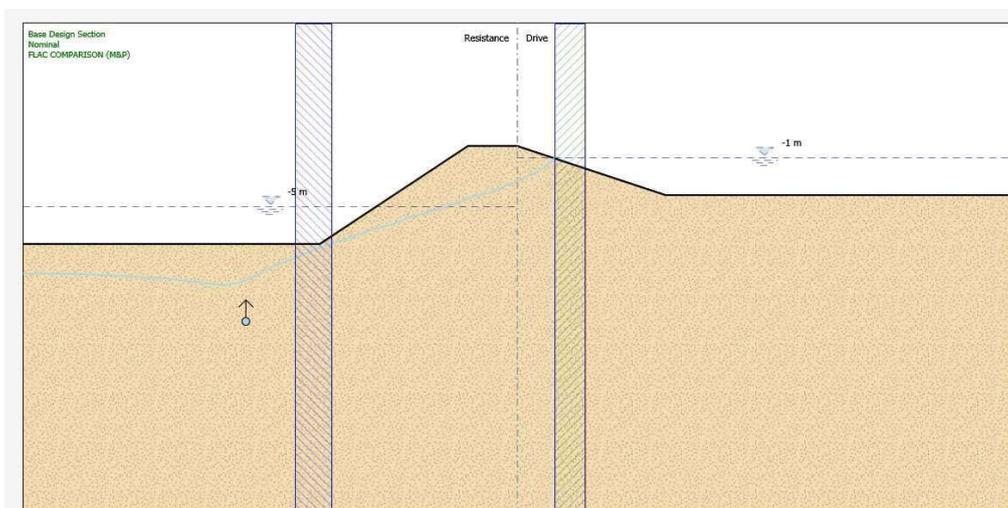
Per impedire la formazione di superfici di scivolamento superficiali, alla regione sommitale dell'argine (scura in figura) è attribuita una coesione fittizia molto elevata.



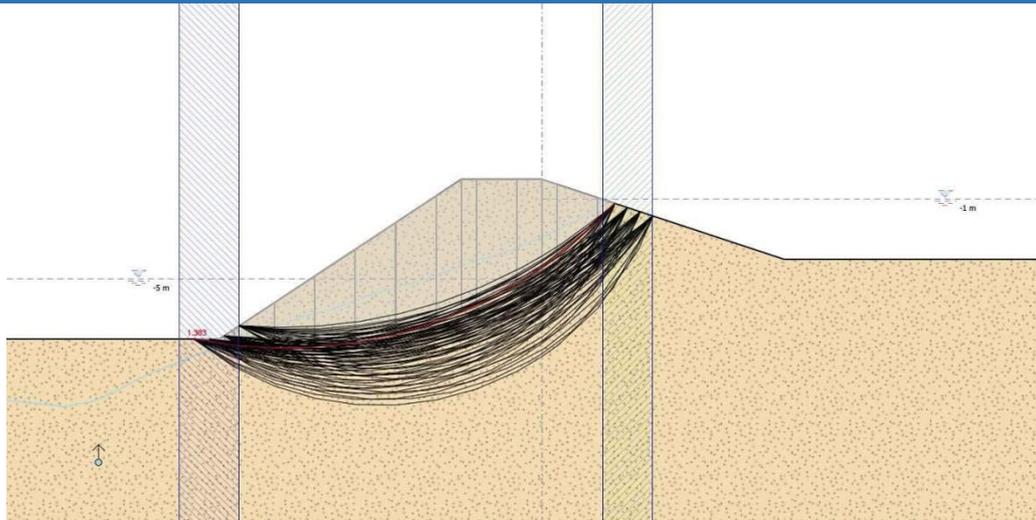
Il coefficiente di sicurezza è pari a 1.35, associato al meccanismo rappresentato nella figura seguente. È importante notare che, con questo metodo, al contrario dei metodi implementati in PARATIE PLUS, non è necessario prestabilire il meccanismo di collasso.



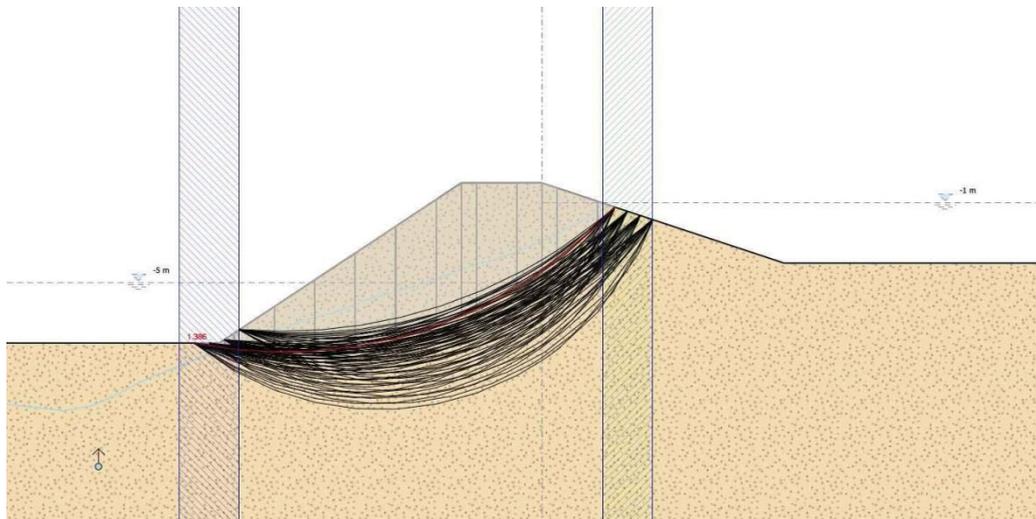
Possiamo ora calcolare, con PARATIE PLUS, il coefficiente di sicurezza associato a linee di scivolamento approssimate da archi di cerchio entranti e uscenti dall'argine in prossimità dei punti indicati dall'analisi FLAC: nella figura seguente sono rappresentate, in tratteggio, le zone di possibile intersezione tra superficie di scivolamento e piano campagna.



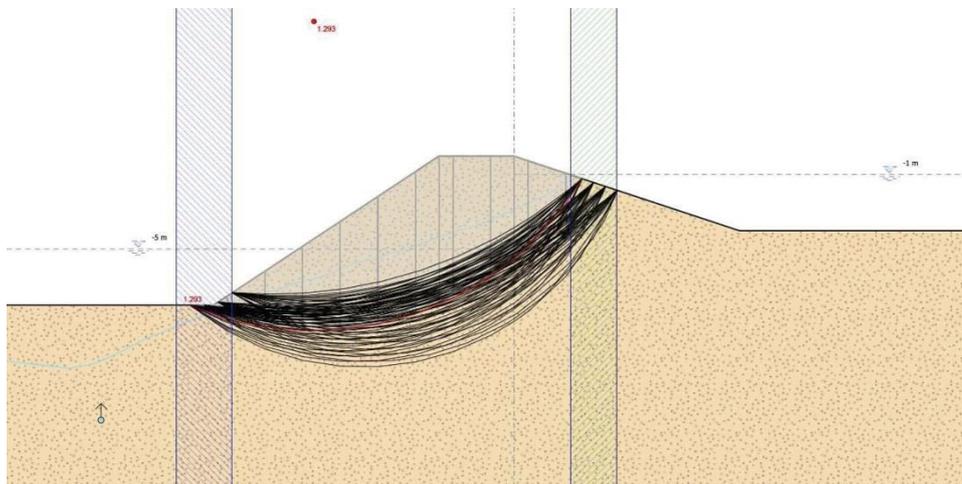
La soluzione può essere ottenuta con i tre metodi implementati, vale a dire con il metodo di Bishop.



con il metodo di M&P (funzione di forma lineare)



e con il metodo di JANBU.



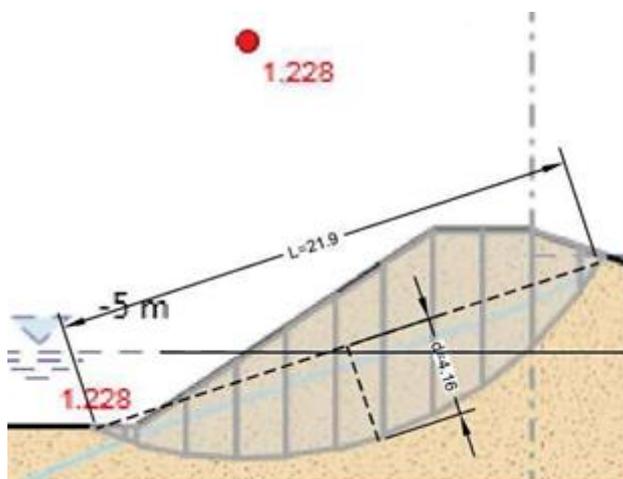
Complessivamente, abbiamo i seguenti risultati:

VERIFICHE DI STABILITÀ

Metodo	PARATIE PLUS	FLAC
<i>c-φ' reduction</i>	--	1.35
Bishop semplificato	1.324	--
M&P f(x) costante	1.328	--
Janbu semplificato	1.228 (*)	--
	1.277 (**)	--

(*) senza coeff. correttivo di Figura 8-3

(**) con coeff. correttivo $f_0 \approx 1.04$, assumendo $d/L = 0.19$ (vedi figura qui di seguito)



Le differenze tra i diversi approcci sono da ritenersi trascurabili e, comunque, comprese nell'intervallo di variabilità segnalato nella letteratura tecnica.

APPENDICE B: Dati Flac 7.00 modello Dyke

Dati Flac 7.00 modello Dyke

```

;Project Record Tree export
;File:filtrazione_flac.dat
;Units: SI: meter-kilogram-second;Title:Saturazione
;Branch 1:geometria.sav
; Source: <no name>
config gwflow extra
1 grid 203,65
gen -40.0,-30.0 -40.0,-14.0 -22.0,-13.999998 -22.0,-30.0 i=1,46 j=1,41
gen -22.0,-30.0 -22.0,-13.999998 -15.999999,-13.999999 -15.999999,-30.0 &
i=46,61 j=1,41
gen -15.999999,-30.0 -15.999999,-13.999999 -4.0,-13.999999 -4.0,-30.0 &
i=61,93 j=1,41
gen -4.0,-30.0 -4.0,-13.999999 -1.11262E-7,-13.999999 -2.3841858E-7,-30.0 &
i=93,103 j=1,41
gen -2.3841858E-7,-30.0 -1.11262E-7,-13.999999 2.9999998,-13.999999 &
2.9999995,-30.0 i=103,111 j=1,41
gen 2.9999995,-30.0 2.9999998,-13.999999 12.0,-13.999999 11.999999,-30.0 &
i=111,134 j=1,41
gen 11.999999,-30.0 12.0,-13.999999 40.0,-13.999999 40.0,-30.0 i=134,204 &
j=1,41
gen -40.0,-14.0 -40.0,-8.0 -22.0,-8.0 -22.0,-13.999998 i=1,46 j=41,66
gen -22.0,-13.999998 -22.0,-8.0 -16.0,-8.0 -15.999999,-13.999999 i=46,61 &
j=41,66
gen -15.999999,-13.999999 -16.0,-8.0 -4.0,0.0 -4.0,-13.999999 i=61,93 &
j=41,66
gen -4.0,-13.999999 -4.0,0.0 0.0,0.0 -1.11262E-7,-13.999999 i=93,103 &
j=41,66
gen -1.11262E-7,-13.999999 0.0,0.0 3.0,-1.0 2.9999998,-13.999999 i=103,111 &
j=41,66
gen 2.9999998,-13.999999 3.0,-1.0 12.0,-4.0 12.0,-13.999999 i=111,134 &
j=41,66
gen 12.0,-13.999999 12.0,-4.0 40.0,-4.0 40.0,-13.999999 i=134,204 j=41,66
model elastic i=1,45 j=1,40
model elastic i=46,60 j=1,40
model elastic i=61,92 j=1,40
model elastic i=93,102 j=1,40
model elastic i=103,110 j=1,40
model elastic i=111,133 j=1,40
model elastic i=134,203 j=1,40
model elastic i=1,45 j=41,65
model elastic i=46,60 j=41,65

```

VERIFICHE DI STABILITÀ

```

model elastic i=61,92 j=41,65
model elastic i=93,102 j=41,65
model elastic i=103,110 j=41,65
model elastic i=111,133 j=41,65
model elastic i=134,203 j=41,65

; Fixed boundary
conditions fix x i=1
j=1,41

fix x y i=1,46 j=1
fix x y i=46,61 j=1
fix x y i=61,93 j=1
fix x y i=93,103 j=1
fix x y i=103,111
j=1 fix x y
i=111,134 j=1 fix x
i=204 j=1,41 fix x y
i=134,204 j=1 fix x
i=1 j=41,66

fix x i=204 j=41,66
save geometria.sav

;Branch 2:proprieta.sav

group 'User:sabbia' region 101 32
model mohr notnull group 'User:sabbia'

prop density=1800.0 bulk=3.333E4 shear=2E4 cohesion=0.0 friction=30.0 &
dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:sabbia'

prop permeability 1.0E-8 region 185 50

prop porosity 0.2 region 185 50

save proprieta.sav

;Branch 3:well.sav

;settings

set gravity=10.0

set mechanical=off
water bulk=900000.0
water density=1000.0

;boundary conditions

;apply pressure 30000.0 var -30000.0 0.0 from 134,66 to 111,66

;apply pressure 30000.0 from 134,66 to 204,66

;apply pressure 290000.0 var 0.0 -260000.0 from 204,1 to 204,66

apply pp 30000.0 var -30000.0 0.0 from 134,66 to 111,66

apply pp 30000.0 from 134,66 to 204,66

apply pp 290000.0 var 0.0 -260000.0 from 204,1 to 204,66

initial saturation 1.0

fix saturation i 111 134 j 66

fix saturation i 134 204 j 66

fix saturation i 204 j 1 66

```

```

interior well -62.5e-4 i 46 j 41
history 999 unbalanced

solve

save well.sav

;Branch 4:well_flow.sav
call qratio.fis

hist qratio
hist inflow
hist outflow
solve

save well_flow.sav

;Branch 5:mech.sav
water bulk=0.0

apply pressure 30000.0 var -30000.0 0.0 from 134,66 to 111,66

apply pressure 30000.0 from 134,66 to 204,66

apply pressure 290000.0 var 0.0 -260000.0 from 204,1 to 204,66
model mohr notnull group 'User:sabbia'

prop density=1800.0 bulk=3.333E10 shear=2E10 cohesion=1e10 friction=30.0 &
  dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:sabbia'

set mechanical=on
set flow=off
solve

model mohr notnull group 'User:sabbia'

prop density=1800.0 bulk=3.333E8 shear=2E8 cohesion=0.0 friction=30.0 &
  dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:sabbia'

solve

model mohr notnull group 'User:sabbia'

prop density=1800.0 bulk=3.333E6 shear=2E6 cohesion=0.0 friction=30.0 &
  dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:sabbia'
solve

model mohr notnull group 'User:sabbia'

prop density=1800.0 bulk=3.333E4 shear=2E4 cohesion=0.0 friction=30.0 &
  dilation=0.0 tension=0.0 notnull group 'User:sabbia'
solve

save mech.sav

;Branch 6:exclude2.sav

group 'User:exclude' i 60 61 j 64 65

group 'User:exclude' i 59 j 64 65

group 'User:exclude' i 62 92 j 64 65

group 'User:exclude' i 93 102 j 64 65

```

VERIFICHE DI STABILITÀ

group 'User:exclude' i 63 100 j 63
group 'User:exclude' i 103 j 65
group 'User:exclude' i 67 99 j 62
group 'User:exclude' i 70 98 j 61 62
group 'User:exclude' i 84 97 j 60
group 'User:exclude' i 78 85 j 60
group 'User:exclude' i 110 j 65
group 'User:exclude' i 109 j 65
group 'User:exclude' i 102 108 j 64
group 'User:exclude' i 104 108 j 65
group 'User:exclude' i 99 j 61
group 'User:exclude' i 100 j 61
group 'User:exclude' i 101 j 62
group 'User:exclude' i 102 j 62
group 'User:exclude' i 104 j 63
group 'User:exclude' i 106 j 63
group 'User:exclude' i 107 j 63
group 'User:exclude' i 105 j 63
group 'User:exclude' i 103 j 63
group 'User:exclude' i 102 j 63
group 'User:exclude' i 101 j 63
group 'User:exclude' i 100 j 62
group 'User:exclude' i 103 j 62
group 'User:exclude' i 104 j 62
group 'User:exclude' i 105 j 62
group 'User:exclude' i 106 j 62
group 'User:exclude' i 101 j 61
group 'User:exclude' i 102 j 61
group 'User:exclude' i 103 j 61
group 'User:exclude' i 104 j 61
group 'User:exclude' i 105 j 61
group 'User:exclude' i 104 j 60
group 'User:exclude' i 103 j 60
group 'User:exclude' i 101 j 60

```

group 'User:exclude' i 99 j 60
group 'User:exclude' i 97 j 60
group 'User:exclude' i 98 j 60
group 'User:exclude' i 102 j 60
group 'User:exclude' i 100 j 60
group 'User:exclude' i 87 102 j 59
model mohr notnull group 'User:exclude'

prop density=1800.0 bulk=3.33e4 shear=2e4 cohesion=1.0E10 friction=30.0 &
  dilation=0.0 tension=1e10 notnull group 'User:exclude'

solve

save exclude2.sav

;Branch 7:FoSmode_exclude2.fsv

; This state should NOT be changed.

solve fos no_restore file=FoSmode_exclude2.fsv
save FoSmode_exclude2.fsv

```

APPENDICE C: Certificati

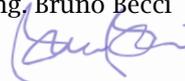
Affidabilità del codice di calcolo ParatiePlus

Facendo seguito a quanto previsto nel paragrafo "Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo" delle "Norme tecniche per le Costruzioni", si precisa che la documentazione a corredo del software richiesta dalla norma citata è contenuta nei seguenti documenti in formato PDF compresi nell'installazione di PARATE PLUS:

Guida Utente	Contiene una descrizione delle basi teoriche generali e delle procedure di progetto generali implementate, con particolare riferimento alle varie Normative tecniche adottate. Inoltre, contiene una serie di esempi tipici, per i quali vengono descritte, in modo dettagliato, le diverse fasi operative ed relativi comandi del programmi. Sono contenuti inoltre commenti sui criteri di modellazione che si rendono via via necessari; infine sono discussi i risultati. Tutti i file di input dei casi risolti sono compresi nell'installazione del programma.
Teoria - Paratie Plus	Descrive in modo approfondito gli algoritmi numerici alla base della simulazione di un'opera di sostegno tramite il metodo delle molle non lineari.
advanced-modelling	Per tutti gli algoritmi e le diverse opzioni di modellazione implementate, sono riportati casi prova commentati con il confronto tra i risultati forniti dal programma ed i valori di riferimento, disponibili in genere da esempi teorici risolvibili con altri metodi o tramite il confronto con valori in letteratura. Tutti i file di input dei casi prova sono compresi nell'installazione del programma.
Stima Parametri	Contiene una guida per la determinazione dei principali parametri geomeccanici di input, alla luce delle tecnologie sperimentali più diffuse, e secondo raccomandazioni accreditate in letteratura e da standard internazionali
Verifiche strutturali	Descrive le assunzioni ingegneristiche alla base delle procedure di verifica degli elementi strutturali, quali pareti, tiranti, puntoni, elementi di ripartizione ecc.
Interfaccia con DXF	Descrive le ipotesi alla base dell'importazione della geometria a partire da un modello cad.
Relazione di Calcolo	

CEAS SRL

Ing. Bruno Becci



Affidabilità del codice di calcolo Steelworld

Facendo seguito a quanto previsto nel paragrafo "Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo" delle "Norme tecniche per le Costruzioni", si precisa che la documentazione a corredo del software richiesta dalla norma citata è contenuta nei seguenti documenti in formato PDF compresi nell'installazione di Steelworld:

Manuale Utente

Descrizione del formato dei dati di input e di output del programma.

Manuale di Qualifica

Per tutti i punti previsti dalle normative (verifiche di resistenza e di stabilità) e per tutte le tipologie dei profili implementati sono riportati dei casi prova con il confronto fra i risultati forniti dal programma e i valori calcolati a mano.

Tutti i file di input dei casi prova sono compresi nell'installazione del programma.

CEAS SRL

Ing. Pierangelo Felotti

