

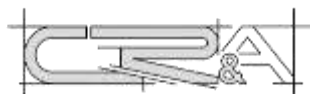


COMUNE DI FERRARA
PROVINCIA DI FERRARA
REGIONE EMILIA ROMAGNA

**PIANO DI COLTIVAZIONE PER L'ESERCIZIO DELL'ATTIVITA' ESTRATTIVA AI
SENSI DELLA L.R. 17/91
POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA
AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA
Padana Escavazione Inerti S.r.l.**

Consulente Geotecnico:

Ing. Alessio Colombi



Colombi Roversi & Associati
Studio di Ingegneria

Ing. A. Colombi Ing. M. Roversi Ing. O. Vitarelli
Via Piangipane n. 141 int. 6
44121 Ferrara (FE)
Tel: 0532 211237 Fax: 0532 1862862
info@crassociati.com

RELAZIONE GEOTECNICA

RELAZIONE SISMICA

**VERIFICHE DI STABILITA'
DELLA SCARPATA DI CAVA.**

Committente:

Dott. Geol. Nicola Orpelli

Pagine

1 di 55

Identif.


CRA22014

Elaborato

RGT


0	02.08.2022	Emissione	CRA 22014 Orpelli Casaglia_RGT
Rev.	Data	Motivazione	Nome file

Questo documento è di proprietà esclusiva. È proibita la riproduzione anche parziale e la cessione a terzi senza autorizzazione.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			2	55	A.C.	AGO 2022			

INDICE

1.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.	INTRODUZIONE E INDAGINI DI RIFERIMENTO	4
3.	DEFINIZIONE DEI CARATTERI SISMICI DI BASE DELL'AREA: MAGNITUDO DI PROGETTO	9
4.	DEFINIZIONE DEI CARATTERI SISMICI DI BASE DELL'AREA: ACCELERAZIONE AL SUOLO DI PROGETTO	12
5.	DEFINIZIONE DEL PROFILO GEOTECNICO DI PROGETTO	14
6.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	24
7.	VALUTAZIONI EFFETTI SISMICI DI SITO: VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI	29
8.	VALUTAZIONI EFFETTI SISMICI DI SITO: STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI	38
9.	VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA	43

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			3	55	A.C.	AGO 2022		

1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Normative, raccomandazioni e pubblicazioni di riferimento:

1. D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni. (NTC18)
2. Circ. Min. Infrastrutture e Trasporti 21 gennaio 2019 n. 7. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
3. UNI ENV 1997-1 (2006) Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
4. UNI ENV 1997-2 (2007) Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
5. UNI ENV 1998–1 (2005) Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
6. UNI ENV 1998–5 (2005) Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
7. AGI (2005). Linee Guida "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica", Patron, Bologna.

Documenti tecnici di riferimento:

- a. Dott.Geol. Nicola Orpelli (03/07/2020). Relazione Geologica, Idrogeologica e Giacimentologica.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data	
			4	55	A.C.	AGO 2022			


2. INTRODUZIONE E INDAGINI DI RIFERIMENTO

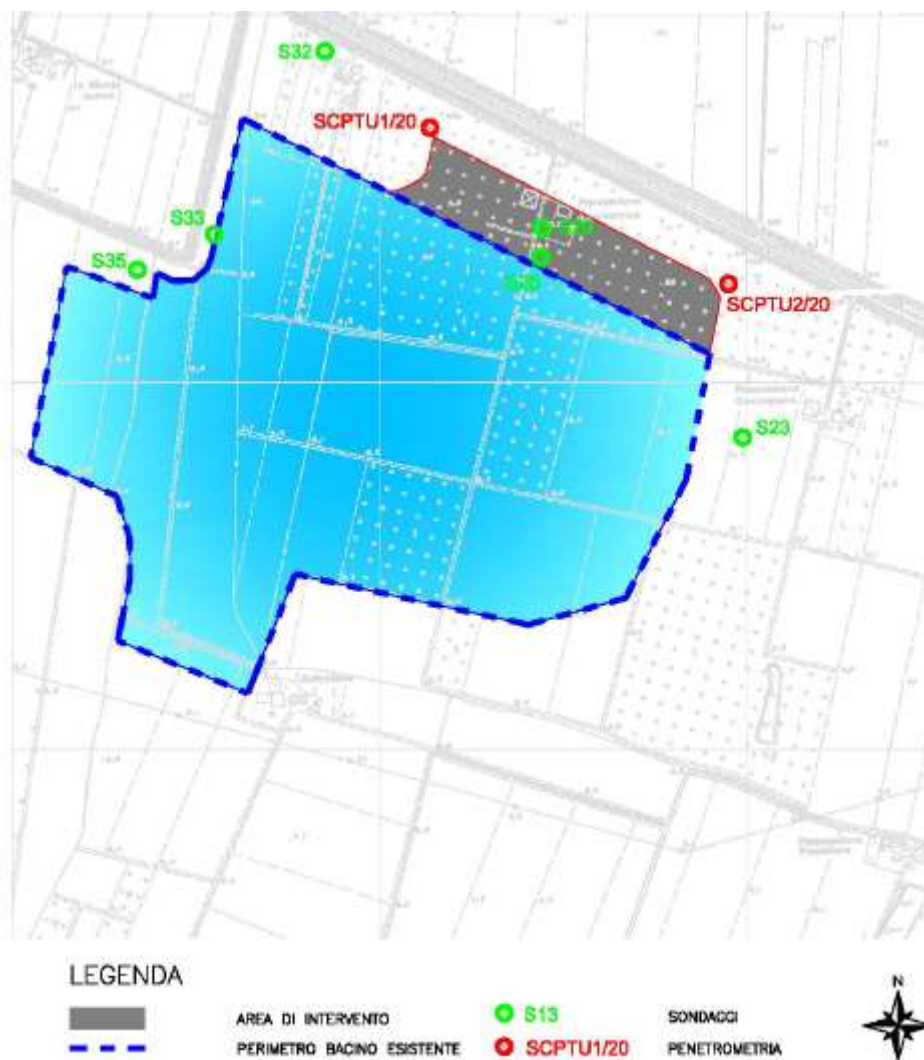
Nel presente allegato sono contenute le seguenti valutazioni:

- definizione dei parametri inerenti la sismicità di base dell'area (accelerazione al suolo e magnitudo di progetto);
- caratterizzazione geotecnica in campo statico (definizione del profilo geotecnico di progetto);
- caratterizzazione geotecnica in campo sismico:
 - classificazione sismica del sito
 - valutazione degli effetti sismici di sito: potenziale suscettibilità a liquefazione;
 - valutazione degli effetti sismici di sito: previsione cedimenti post sismici;
- valutazione geotecnica riguardanti la stabilità della scarpata di cava, in particolare:
 - verifiche di stabilità in campo statico e sismico;

Indagini geotecniche.

Nella figura seguente sono individuate le posizioni delle indagini geotecniche eseguite precedentemente in corrispondenza del lago di cava.

<div></div> <div>Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria</div>	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			5	55	A.C.	AGO 2022			

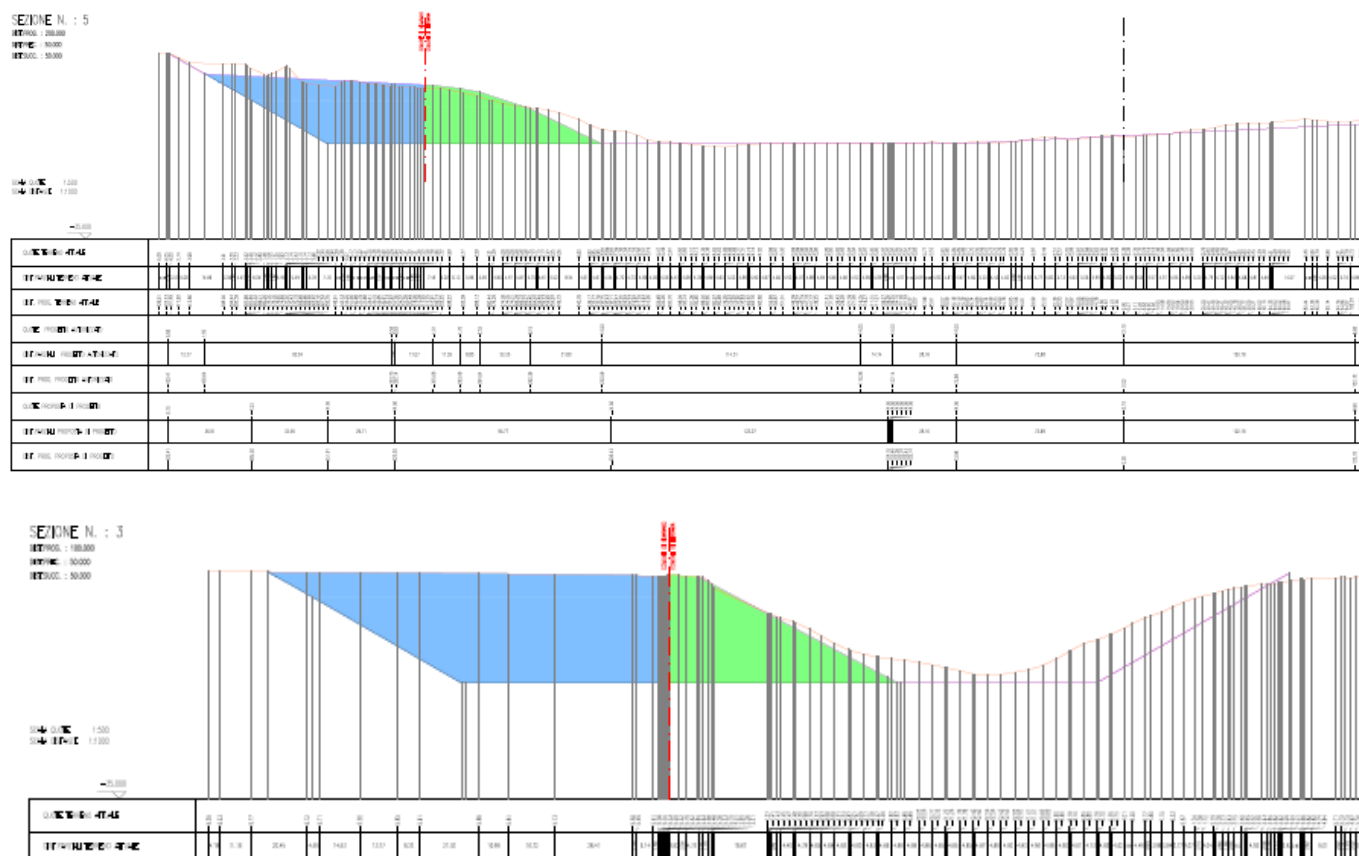


Per le valutazioni geotecniche e sismiche discusse nella presente relazione si è fatto riferimento alle seguenti indagini effettuate in sito:

- n.2 verticali penetrometriche con punta elettrica, piezocono e cono sismico (SCPTU) spinta ad una profondità di 40 m da p.c.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°	Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014	0			
			Doc. n°	RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data	
			7	55	A.C.	AGO 2022	

La figura successiva riporta la sezione tipo nella zona dell'ampliamento di cava previsto riportato nella TAV4a di progetto.

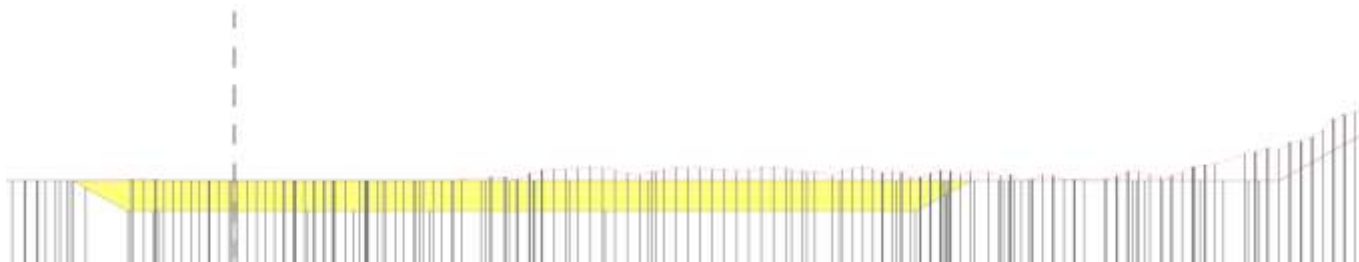


Sezione tipo ampliamento di cava

La figura successiva riporta la sezione tipo nella zona di approfondimento di cava previsto riportato nella TAV4b di progetto.



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			8	55	A.C.	AGO 2022			



Sezione tipo approfondimento di cava

Le pendenze delle scarpate sia dell'ampliamento sia dell'approfondimento sono previste 1/3.5.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			9	55	A.C.	AGO 2022		

3. DEFINIZIONE DEI CARATTERI SISMICI DI BASE DELL'AREA: MAGNITUDO DI PROGETTO

Come mostrato in figura 3.1 il sito ricade all'interno della zona sismogenetica denominata ZS912 (Dorsale Ferrarese) della zonazione ZS9 dell'INGV.

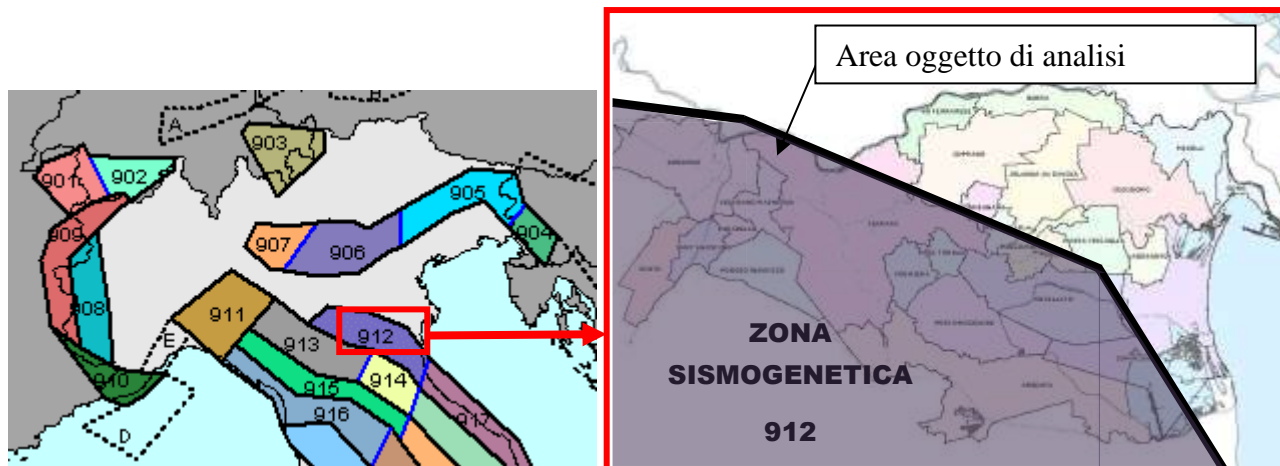



Figura 3.1. Definizione della zona sismogenetica dell'area (da rapporto INGV)

Una zona sismogenetica è una area di territorio definita da uniformi caratteristiche sismologiche, tettoniche e geologiche, per la quale è possibile assegnare un'unica relazione di ricorrenza tra magnitudo e frequenza di occorrenza alle sorgenti di sismicità.

La zona sismogenetica ZS912 è caratterizzata da un meccanismo focale prevalente del tipo a fogliazione inversa e da un intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti compreso tra 5 e 8 km.

Sulla base dei terremoti riportati nel catalogo parametrico CPTI04 e riportati in tabella 3.2.1, coerente con la zonazione ZS9, è stata applicata la legge di regressione di Gutenberg e Richter (1944) in accordo alle indicazioni riportate nelle recenti Linee Guida AGI (2005) per ottenere informazioni in merito alla magnitudo da considerare nelle successive valutazioni.

Nella tabella 3.1 sono riportate sia le magnitudo di momento sismico M_w che la magnitudo delle onde di superficie M_s .

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°						
			RGT						
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			10	55	A.C.	AGO 2022			


Anno	AE	Mw	Ms
725	Classe-Ravenna	5.57	5.40
1234	FERRARA	5.17	4.80
1249	Modena	5.03	4.60
1285	FERRARA	5.03	4.60
1345	CASTELNUOVO	4.63	4.00
1346	Ferrara	5.81	5.75
1410	FERRARA	5.03	4.60
1425	FERRARA SUD	4.83	4.30
1474	MODENA	4.89	4.39
1483	FERRARA	4.63	4.00
1483	Romagna meridionale	5.67	5.54
1508	FERRARA SUD	4.83	4.30
1561	Ferrara	4.63	4.00
1570	Ferrara	5.48	5.27
1574	FINALE EMILIA	5.12	4.73
1591	FORLI'	5.24	4.91
1624	Argenta	5.43	5.19
1660	MODENA	4.63	4.00
1671	RUBIERA	5.34	5.06
1688	ROMAGNA	5.88	5.85
1688	FUSIGNANO	5.17	4.80
1689	FUSIGNANO	4.83	4.30
1695	FERRARA	4.63	4.00
1743	FERRARA	5.03	4.60
1780	Bolognese	4.85	4.32
1780	RAVENNA	5.03	4.60
1787	Ferrara	4.63	4.00
1796	Emilia orientale	5.63	5.48
1806	NOVELLARA	5.26	4.93
1810	NOVELLARA	5.28	4.97
1831	Reggiano	5.48	5.27
1834	Bologna	4.63	4.00
1850	MODENA	4.83	4.30
1891	LUGO	4.83	4.30
1895	COMACCHIO	4.83	4.30
1895	COMACCHIO	4.83	4.30
1898	Romagna settent.	5.03	4.60
1908	FINALE EMILIA SUD	4.83	4.30
1909	BASSA PADANA	5.53	5.33
1922	CENTO	4.50	3.81
1928	CARPI	4.85	4.32
1950	REGGIANO	4.46	3.74
1965	RUSSI	4.95	4.47
1967	CORREGGIO	4.71	4.12
1967	BASSA PADANA	5.36	5.09
1968	RUSSI	4.58	3.92
1969	RUSSI	4.63	4.00
1978	RAVENNA S.O.	4.76	4.20
1986	BONDENO	4.56	4.30
1987	REGGIANO	5.05	4.79
1996	CORREGGIO	5.44	5.09
2000	REGGIANO	4.46	4.17

Mw: magnitudo momento

Ms: magnitudo calcolata sulle onde di superficie

AE: denominazione dell'area dei maggiori effetti

Tabella 3.1. Catalogo dei terremoti relativi alla ZS912.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			11	55	A.C.	AGO 2022		

La figura 3.2 mostra la regressione condotta utilizzando l'approccio di Gutenberg-Richter ai valori di magnitudo di momento dei terremoti definiti in tabella 3.1. Tale approccio ha lo scopo di definire una legge che leghi la frequenza media annuale di occorrenza di un terremoto al corrispondente valore di magnitudo M_w per la zona sismogenetica considerata.

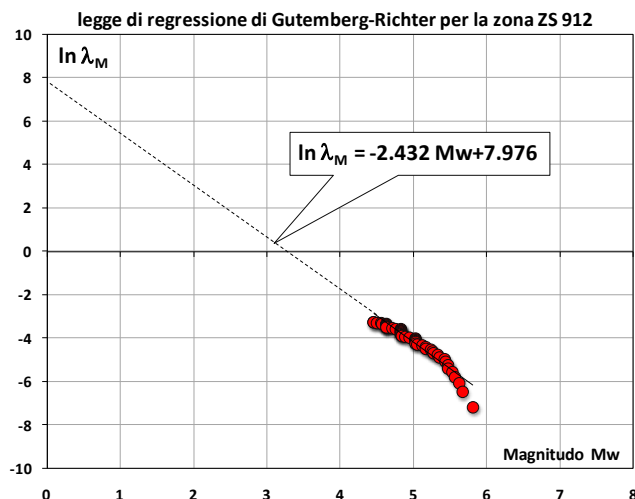


Figura 3.2. Retta di regressione della magnitudo di momento M_w secondo la legge di Gutenberg-Richter per la zona ZS912.

($\lambda_M = 1/Tr$ rappresenta l'inverso del periodo di ritorno ovvero la frequenza media annuale di eccedenza di un particolare valore di magnitudo)


Ai fini della progettazione allo stato limite ultimo, il tempo di ritorno considerato per gli eventi naturali è stato riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (vita utile dell'opera) che corrisponde ad un tempo di ritorno $Tr = 475$ anni.

Sulla base dei parametri ottenuti dalla legge di regressione mostrata in figura 3.2 la magnitudo di riferimento risulta pari a:

$$M_{w,gr} = \frac{\ln(e^{7.976}) + \ln 475}{2.432} = 5.814$$

Poiché però i cataloghi sismici ottenuti a partire da analisi storiche possono essere influenzati da errori dovuti alla non completezza delle informazioni contenute negli archivi utilizzati per la compilazione del catalogo, il rapporto dell'INGV definisce una magnitudo massima attesa per ogni zona sismogenetica stabilita sulla base di analisi di completezza effettuate sia su base storica che statistica. Per la zona ZS912 la magnitudo massima attesa ottenuta dalle analisi di completezza risulta pari a:

$$M_{w,max} = 6.14$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			12	55	A.C.	AGO 2022			

Le analisi sismiche influenzate dall'entità della magnitudo saranno pertanto effettuate sia per il valore massimo $M_{w,max}$ definito sulla base della zona sismogenetica pari a 6.14, sia per il valore 5.9 assunto come valore massimo degli eventi sismici occorsi nel maggio/giugno 2012.

4. DEFINIZIONE DEI CARATTERI SISMICI DI BASE DELL'AREA: ACCELERAZIONE AL SUOLO DI PROGETTO

Di seguito vengono riportati i parametri sismici corrispondenti al sito indagato in base alle corrispondenti coordinate geografiche.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,876235

longitudine: 11,535375

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 15179 Lat: 44,8686 Lon: 11,5161 Distanza: 1739,489

Sito 2 ID: 15180 Lat: 44,8697 Lon: 11,5867 Distanza: 4105,334

Sito 3 ID: 14958 Lat: 44,9197 Lon: 11,5851 Distanza: 6217,511

Sito 4 ID: 14957 Lat: 44,9185 Lon: 11,5145 Distanza: 4982,671

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):


Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,035 g

Fo: 2,552

Tc*: 0,249 [s]

<div></div> <div>Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria</div>	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data	
			13	55	A.C.	AGO 2022			

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,044 g

Fo: 2,523

Tc*: 0,275 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,124 g

Fo: 2,587

Tc*: 0,277 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0,166 g

Fo: 2,562

Tc*: 0,282 [s]

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			14	55	A.C.	AGO 2022		

5. DEFINIZIONE DEL PROFILO GEOTECNICO DI PROGETTO

Sequenza litostratigrafica

La sequenza lito-stratigrafica dei terreni attraversati è stata elaborata utilizzando correlazioni semi-empiriche di letteratura, a partire dai risultati di resistenza alla punta e laterale misurati dalle prove penetrometriche. In particolare si è utilizzata la correlazione proposta da Robertson (1990), che utilizza le informazioni derivanti dai valori normalizzati con lo stato tensionale delle resistenze misurate, q_c ed f_s e della pressione neutra u (denominati rispettivamente Q_t , F_r e B_q).

I pesi per unità di volume dei terreni indagati sono stati ricavati in base a correlazioni dai risultati delle prove CPTu seguendo diverse correlazioni da letteratura (Robertson 2010, Mayne et Al. 2010).

Parametri geotecnici idraulici e meccanici


In base alle indicazioni di Robertson (1990) in funzione del tipo litologico è stato determinato il coefficiente di conducibilità idraulica dei terreni attraversati. In base alle indicazioni di Jamiolkowski et Al. (1985), assumendo un rapporto tra permeabilità orizzontale e verticale pari a 5, è stato ricavato il coefficiente di conducibilità idraulica orizzontale dei terreni.

I terreni a matrice granulare sono stati caratterizzati in termini di parametri geotecnici utilizzando le seguenti correlazioni:

- Angolo di resistenza a taglio di picco con la correlazione di Kulhawy e Mayne (1990) per sabbie contenenti frazioni limose
- Angolo di resistenza a taglio in condizioni di stato critico in base alla relazione di Bolton (1986)
- Densità relativa attraverso la correlazione di Robertson (2009)
- Modulo di Young drenato attraverso la correlazione di Baldi et al (1989)

I terreni a matrice fine sono stati caratterizzati in termini di parametri meccanici, utilizzando le seguenti correlazioni:

- Resistenza al taglio non drenata in funzione della resistenza alla punta in base alla relazione $c_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N_k$, con σ_{v0} tensione totale ed N_k fattore di cono assunto pari a 15.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°						
			RGT						
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			15	55	A.C.	AGO 2022			

- Angolo di taglio drenato in base alla correlazione proposta da Mayne e Campanella (2005)
- Modulo di Young attraverso la correlazione di Duncan e Buchignani (1976)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data
			16	55	A.C.	AGO 2022		

5.1 Sequenza litostratigrafica

Nella figura 5.1 sono riportati i risultati di resistenza alla punta, di resistenza per attrito laterale, andamento della variazione di pressione neutra con la profondità misurati nelle due verticali penetrometriche.

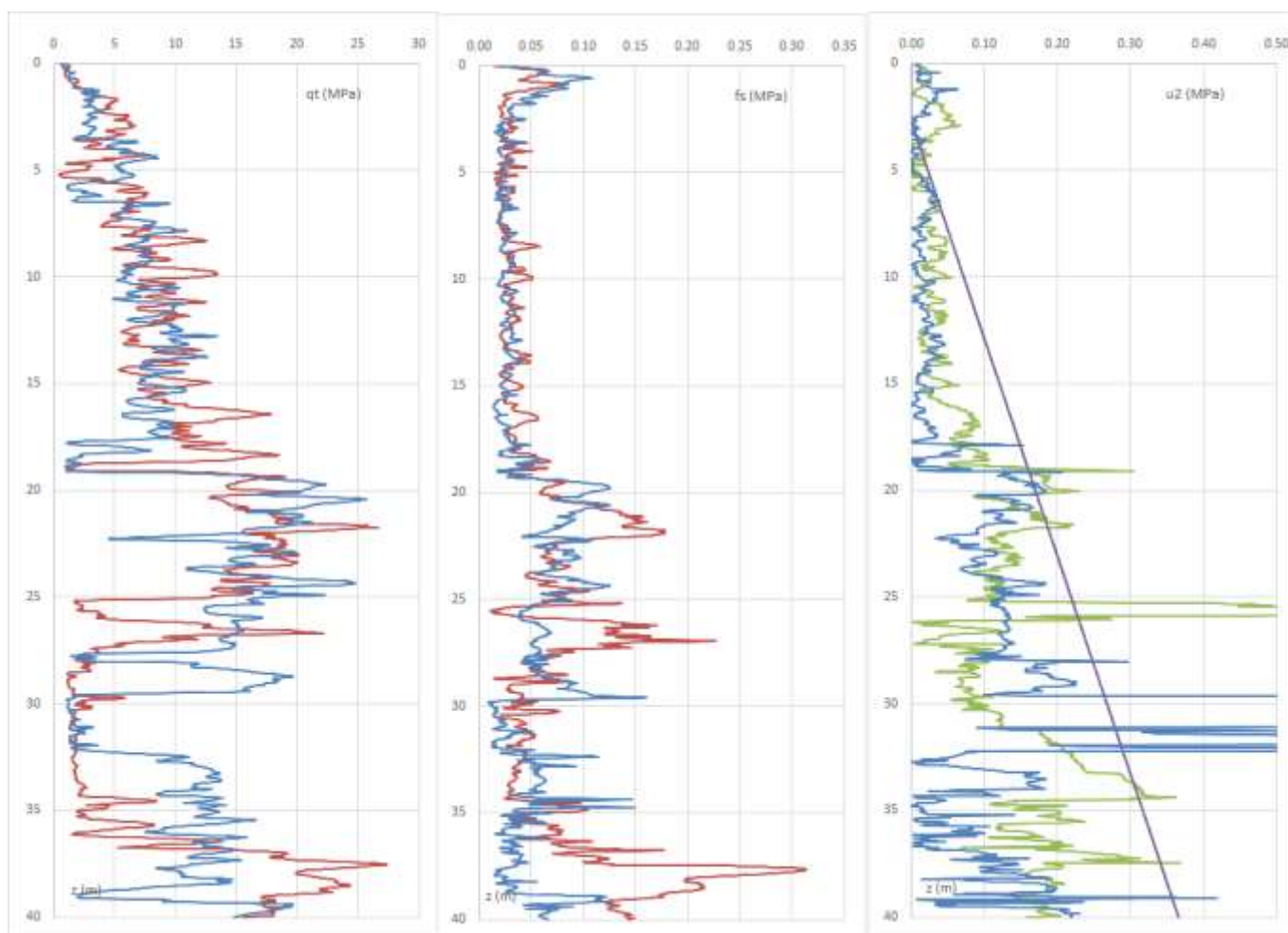


Figura 5.1. Confronti dei risultati della verticale penetrometrica SCPTU1 e SCPTU2

La falda è stata individuata a quota di circa 2.7.0 m di profondità da p.c.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			17	55	A.C.	AGO 2022		

La classificazione dei terreni ottenuta dalle prove penetrometriche mediante la correlazione adottata (Robertson, 1990) è riportata in dettaglio nella figura 5.2.

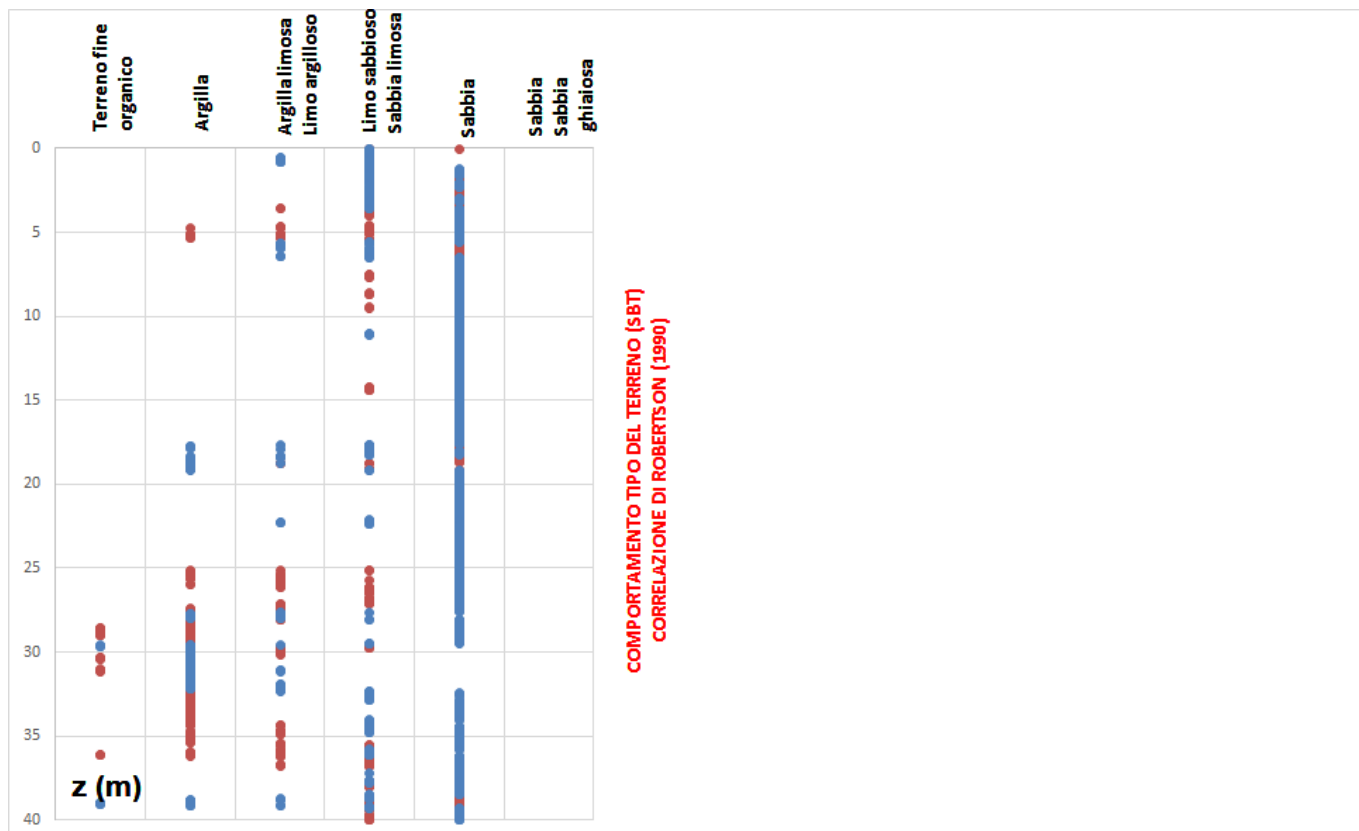



Figura 5.2. Classificazione dei terreni in base alla correlazione di Robertson (1990)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			18	55	A.C.	AGO 2022			

I pesi per unità di volume dei terreni indagati sono riportati nella figura sottostante.

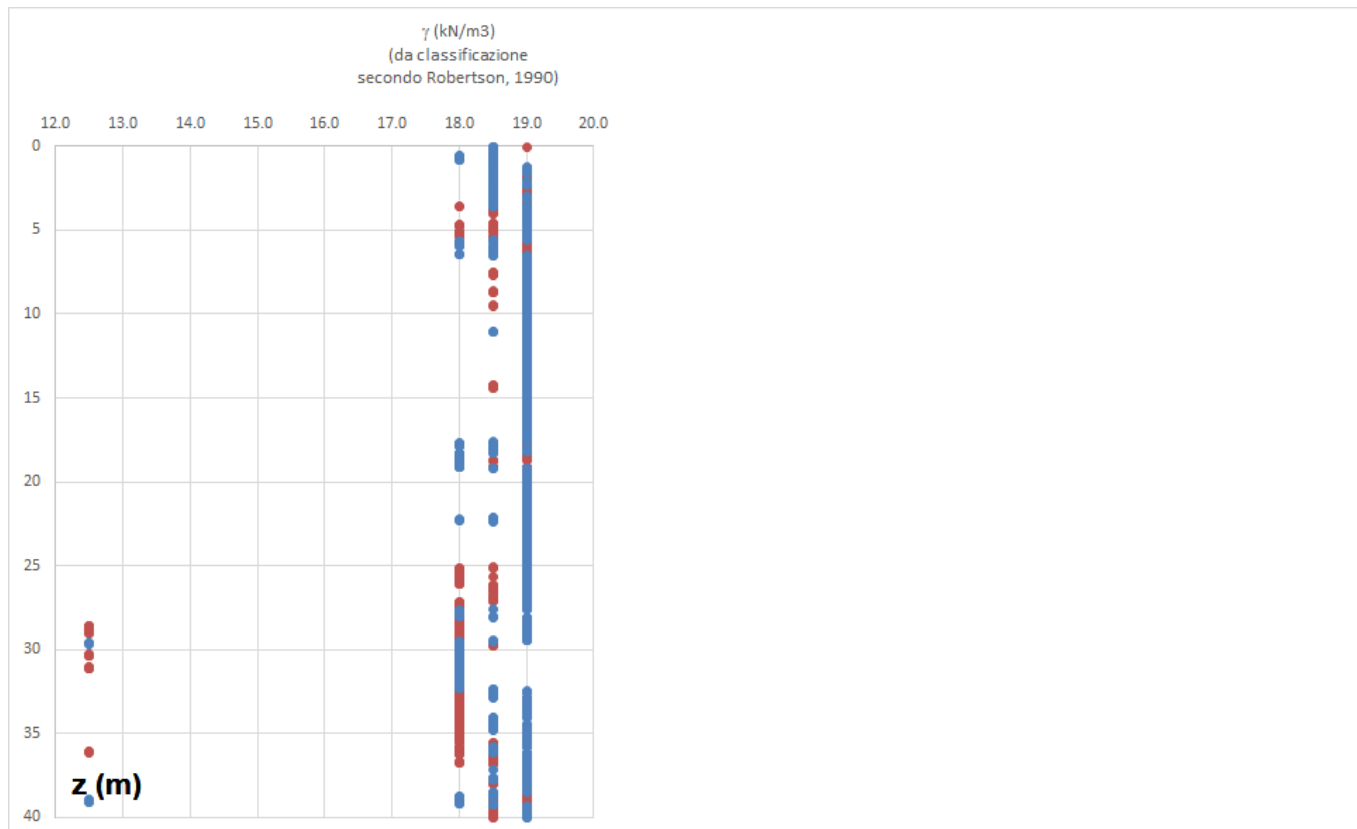


Figura 5.3. Peso per unità di volume dei terreni

Parametri meccanici ed idraulici ottenuti dall'interpretazione delle prove penetrometriche

Nelle figure che seguono sono riportati i parametri meccanici dei terreni ottenuti in base alle correlazioni descritte precedentemente con i risultati delle corrispondenti verticali penetrometriche.

<div></div> <div>Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria</div>	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°						
			RGT						
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			19	55	A.C.	AGO 2022			

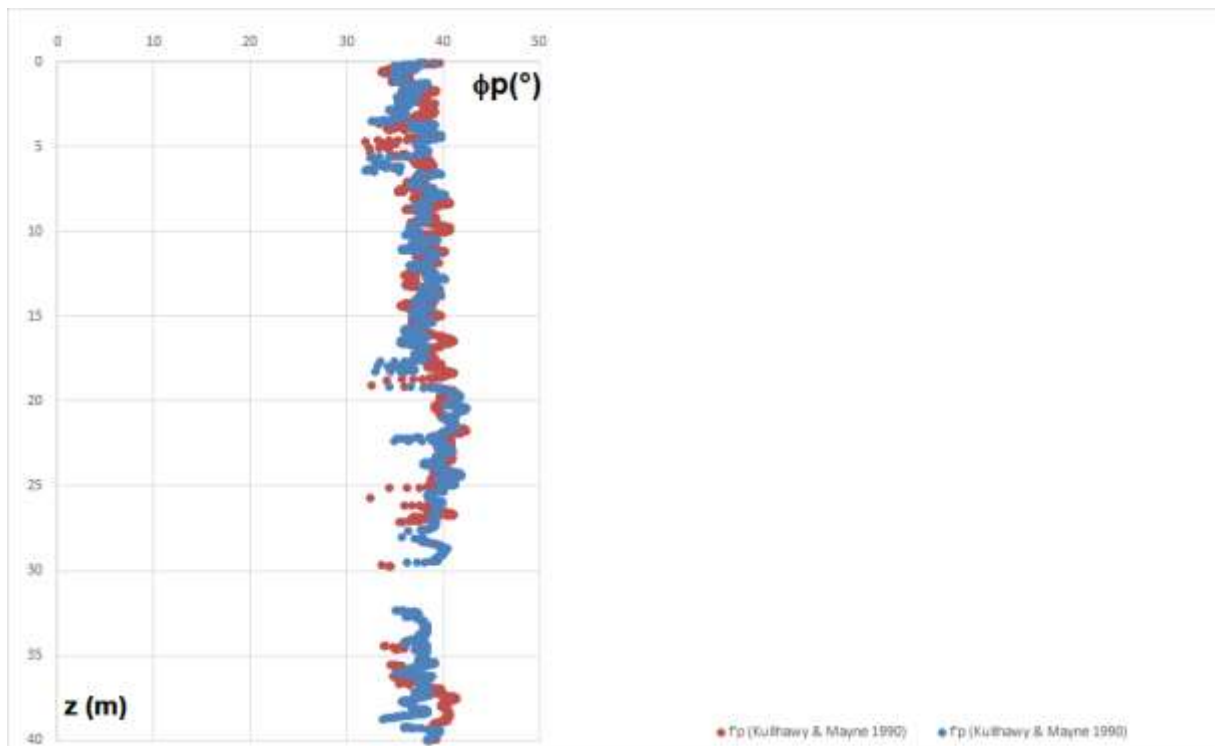


Figura 5.4. Terreni a grana grossa: andamento dei valori di angolo di resistenza a taglio di picco con la profondità

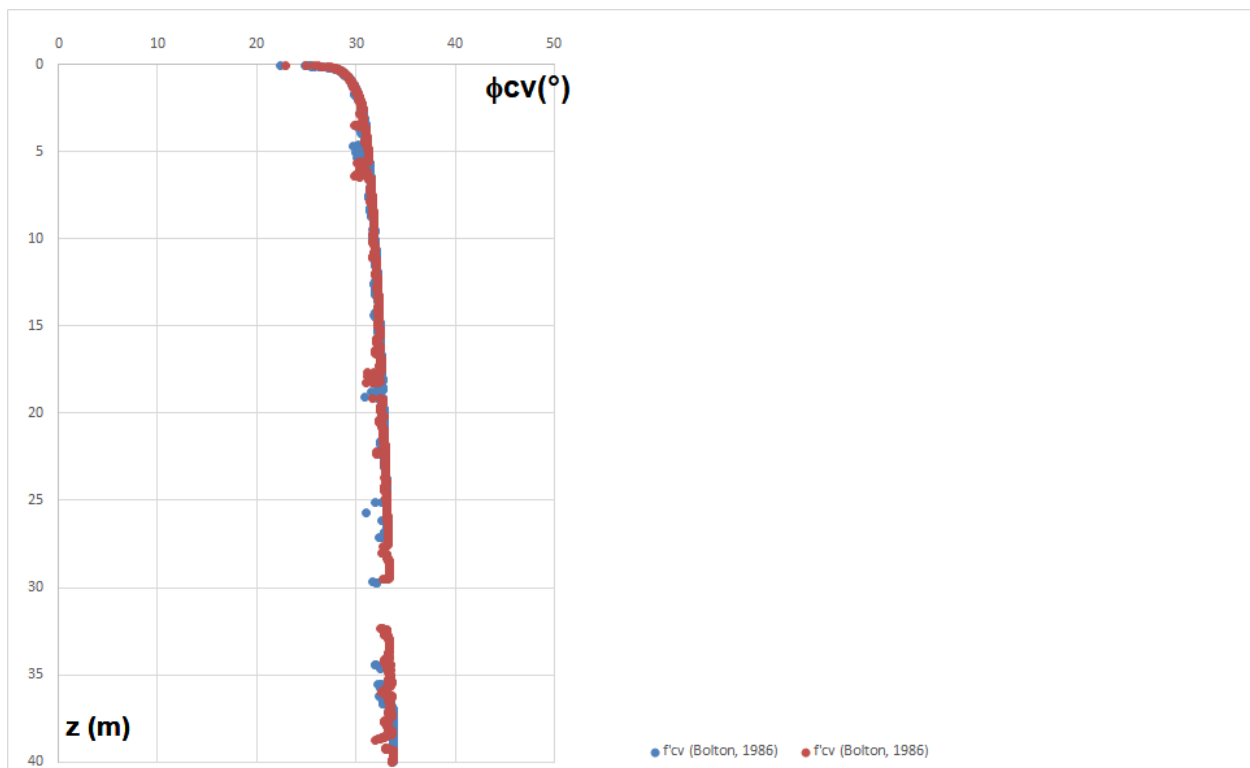


Figura 5.5. Terreni a grana grossa: andamento dei valori di angolo di resistenza a taglio a volume costante con la profondità

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			20	55	A.C.	AGO 2022			

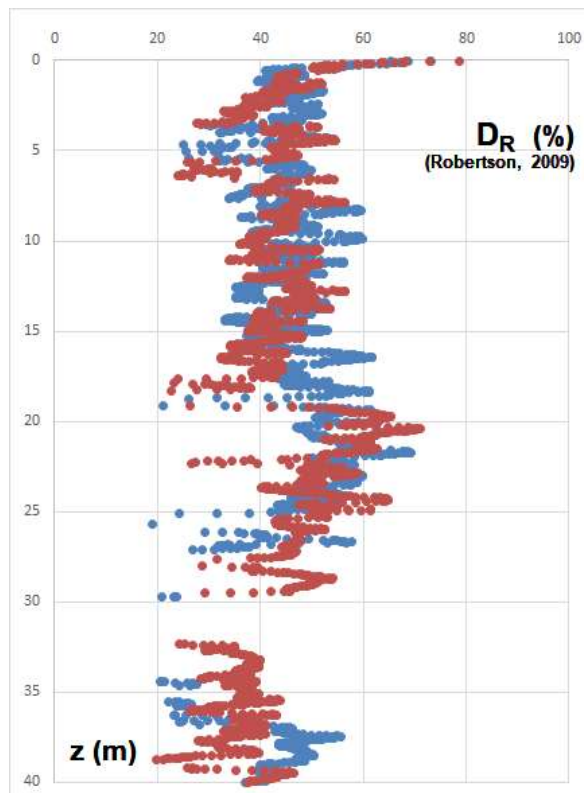


Figura 5.6. Terreni a grana grossa: andamento dei valori di densità relativa con la profondità

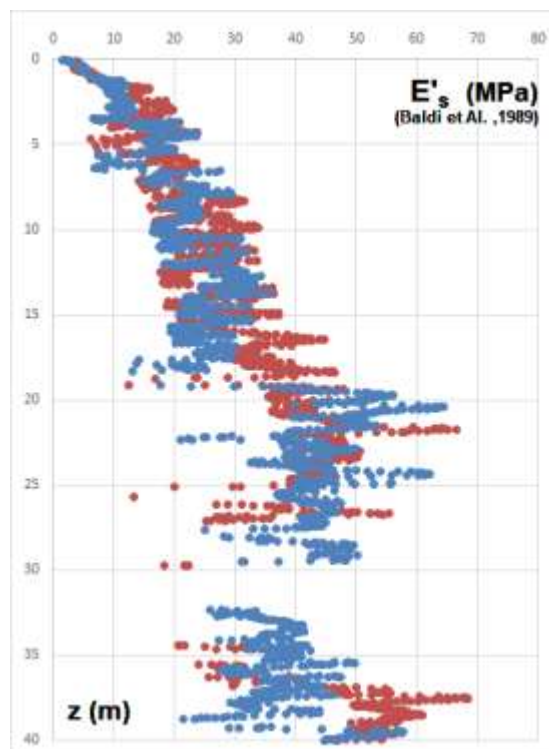


Figura 5.7. Terreni a grana grossa: andamento dei valori di modulo di Young drenato con la profondità

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			21	55	A.C.	AGO 2022			

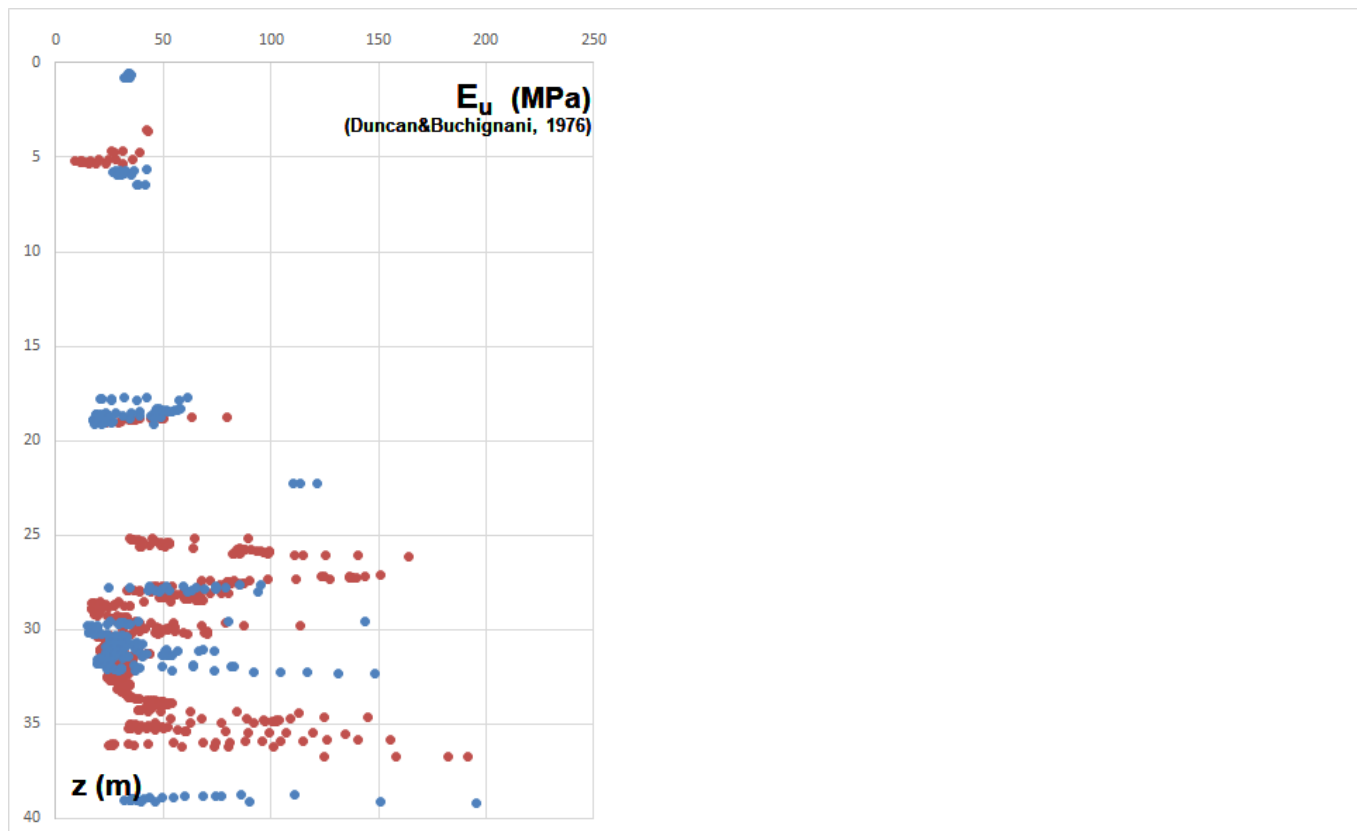
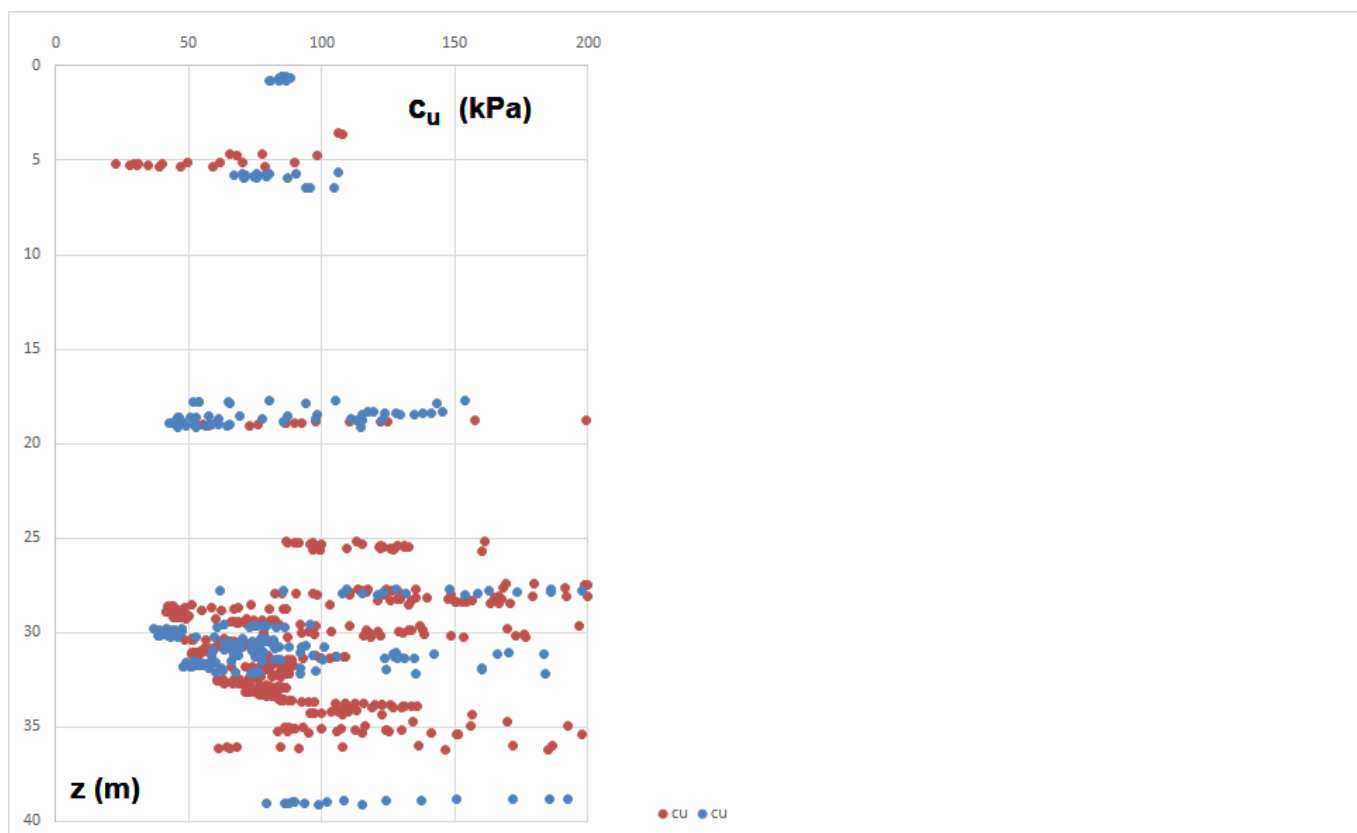


Figura 5.8. Terreni a grana fine: andamento dei valori di modulo di Young non drenato con la profondità:



 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			22	55	A.C.	AGO 2022			

Figura 5.9. Terreni a grana fine: andamento dei valori di resistenza a taglio non drenata con la profondità

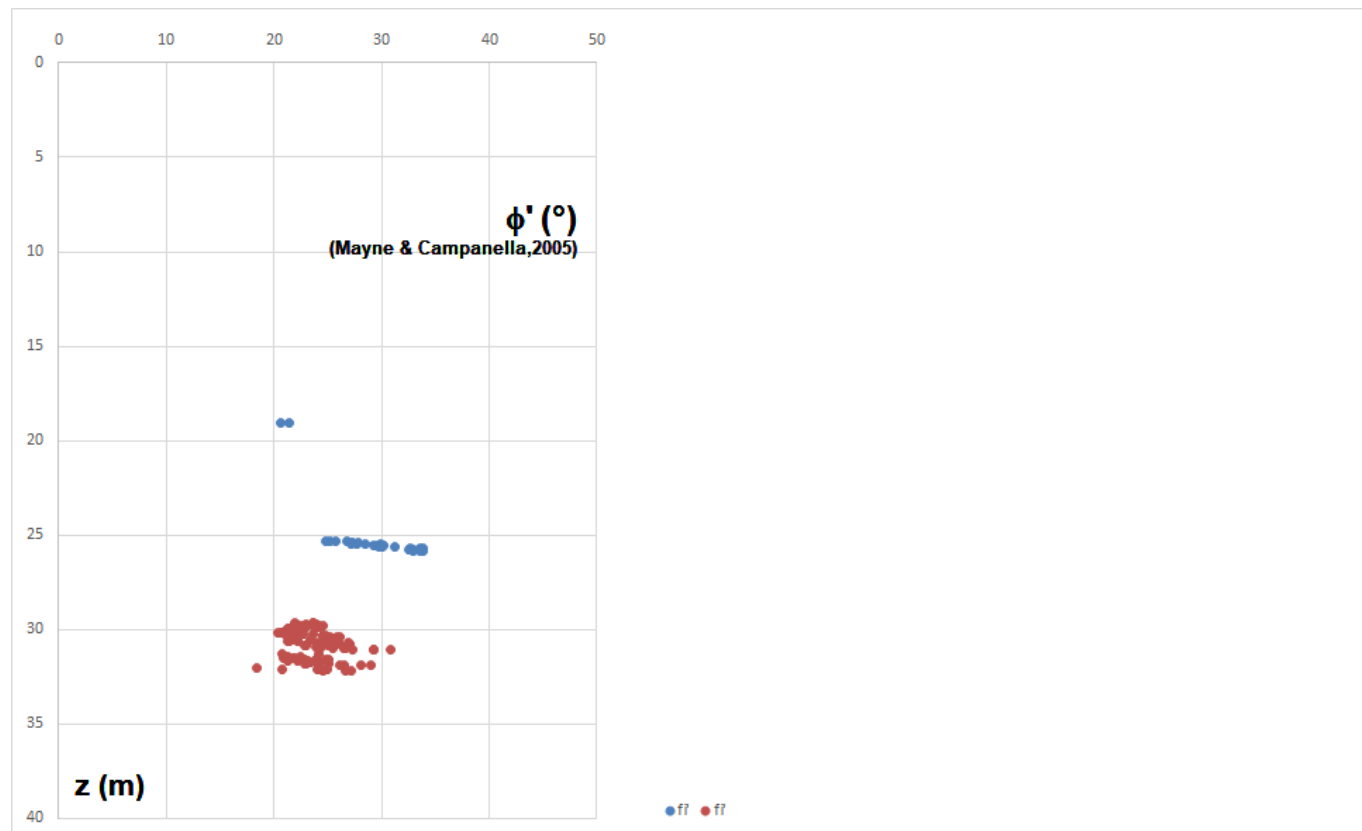


Figura 5.10. Terreni a grana fine: andamento dei valori dell'angolo di resistenza a taglio

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data	
			23	55	A.C.	AGO 2022			

Definizione del profilo geotecnico di progetto

Nelle tabelle seguenti viene riportata la sequenza litologica di progetto con la suddivisione del terreno indagato in unità litologiche a comportamento meccanico omogeneo.

Nella tabella 5.1 sono indicati i valori caratteristici, scelti in base ad una stima cautelativa, dei principali parametri geotecnici dei terreni granulari per ciascuna unità litologica ricavati dalle correlazioni sopra indicate.

Nella tabella 5.2 sono indicati i valori caratteristici, scelti in base ad una stima cautelativa, dei principali parametri geotecnici dei terreni fini per ciascuna unità litologica ricavati dalle correlazioni sopra indicate.

Unità	Tipo Litologico	Parametri geotecnici					
		γ (kN/m ³)	ϕ'_p (°)	ϕ'_{cv} (°)	D_R (%)	E'_s (MPa)	z (m)
A	Sabbia - limo sabbioso	19.0	36	31	45	13	1÷6
B	sabbia	19.0	38	32	45	21.5	6÷12
C	sabbia	19.0	38	32	45	27	12÷17
D	sabbia	19.0	39	33	55	42	17÷28
F	sabbia	19.0	38	34	40	37	34÷40

Tabella 5.1. Terreni a grana grossa: valori caratteristici per ciascuna unità litologica.

Unità	Tipo Litologico	Parametri geotecnici					
		γ (kN/m ³)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	ϕ' (°)		z (m)
D	limo argilloso	18.0	70	29	24		28÷34

Tabella 5.2. Terreni a grana fine: valori caratteristici per ciascuna unità litologica.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data	
			24	55	A.C.	AGO 2022			

6. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

La classificazione sismica del sito è stata fatta sulla base della determinazione di valori di V_s per i terreni presenti nei primi 30 m di profondità effettuata attraverso la misura con le due prove penetrometriche con cono sismico.

Noto l'andamento di V_s è stato ricavato il valore di $V_{s,30}$ in accordo a quanto riportato nel DM


17/01/18, utilizzando la seguente espressione:
$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i : spessore dello strato i-esimo compreso nei primi 30m di profondità

$v_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

N = numero di strati compresi nei primi 30m di profondità

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			25	55	A.C.	AGO 2022			


Profondità (m)	Ts (ms)	L (m)	Vs (m/s)	Vis (m/s)
1.0	T0	1.41	-	-
2.0	4.40	2.23	187	187
3.0	8.61	3.16	203	220
4.0	13.21	4.12	205	208
5.0	17.72	5.09	208	216
6.0	22.57	6.07	207	202
7.0	27.95	7.06	202	183
8.0	32.62	8.05	203	211
9.0	37.90	9.04	201	188
10.0	43.26	10.03	199	185
11.0	48.53	11.03	198	188
12.0	53.73	12.02	197	191
13.0	58.84	13.01	197	195
14.0	64.06	14.01	197	190
15.0	69.53	15.00	195	182
16.0	74.88	16.00	195	186
17.0	80.36	17.00	194	182
18.0	85.84	17.99	193	182
19.0	91.57	18.99	192	174
20.0	95.25	19.98	195	271
21.0	98.73	20.98	198	286
22.0	102.85	21.97	200	241
23.0	107.38	22.97	201	220
24.0	111.50	23.96	202	241
25.0	115.06	24.95	205	279
26.0	118.73	25.95	207	271
27.0	122.90	26.94	208	238
28.0	127.46	27.94	208	218
29.0	131.24	28.93	210	262
30.0	135.42	29.92	211	238
31.0	139.76	30.92	211	229
32.0	143.93	31.91	212	238
33.0	147.81	32.90	213	256
34.0	151.48	33.90	214	270
35.0	155.03	34.89	216	279
36.0	158.49	35.88	217	287
37.0	162.02	36.87	219	280
38.0	165.56	37.86	220	280
39.0	169.19	38.85	221	272
40.0	172.67	39.84	223	284

CATEGORIA SOTTOSUOLO
C
V_{s,40} = 223 m/s

Intervallo di profondità considerato per il calcolo della Vs30: m 1.0 - 40.0

D = Distanza centro trave generatrice onde di taglio - verticale di prova m = 1.00
Profondità = Profondità punta da piano campagna
Ts = Tempo percorrenza onda di taglio
L = Lunghezza percorso onda di taglio
Vs = Velocità onde di taglio da piano campagna alla profondità indic = 40.0 m
Vis = Velocità onde di taglio nello strato di terreno compreso fra le due profondità indicate

Figura 6.1. Misure della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs SCPTU1

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°	Revisioni				
		POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA	CRA22014	0				
	Progetto	AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	Doc. n°	RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			26	55	A.C.	AGO 2022		

Profondità (m)	Ts (ms)	L (m)	Vs (m/s)	Vis (m/s)
1.0	T0	1.20	-	-
2.0	4.40	2.20	227	227
3.0	8.81	3.20	227	227
4.0	14.03	4.20	214	191
5.0	18.42	5.20	217	227
6.0	24.18	6.20	207	173
7.0	28.94	7.19	207	210
8.0	34.05	8.19	205	195
9.0	38.58	9.19	207	220
10.0	42.97	10.19	209	227
11.0	47.86	11.19	209	204
12.0	52.73	12.18	208	205
13.0	57.97	13.18	207	190
14.0	63.17	14.18	205	191
15.0	68.47	15.17	204	188
16.0	73.46	16.17	204	200
17.0	78.34	17.16	204	204
18.0	83.15	18.16	204	207
19.0	88.31	19.15	203	193
20.0	92.91	20.15	204	216
21.0	97.19	21.14	205	232
22.0	100.77	22.14	208	278
23.0	105.35	23.13	208	217
24.0	109.71	24.12	209	228
25.0	114.51	25.11	209	206
26.0	119.89	26.10	208	184
27.0	123.97	27.09	209	243
28.0	128.56	28.08	209	215
29.0	133.21	29.07	209	212
30.0	137.75	30.06	210	218
31.0	142.38	31.05	210	213
32.0	146.89	32.03	210	219
33.0	151.45	33.02	210	216
34.0	156.04	34.00	210	215
35.0	160.34	34.99	211	229
36.0	164.48	35.97	211	238
37.0	168.33	36.95	212	255
38.0	171.82	37.93	214	282
39.0	175.32	38.91	215	280
40.0	179.02	39.91	216	269

CATEGORIA SOTTOSUOLO
C
V_{s,40} = 216 m/s

Intervallo di profondità considerato per il calcolo della Vs30: m 1.0 - 40.0

D	= Distanza centro trave generatrice onde di taglio - verticale di prova m =	1.00
Profondità	= Profondità punta da piano campagna	
Ts	= Tempo percorrenza onda di taglio	
L	= Lunghezza percorso onda di taglio	
Vs	= Velocità onde di taglio da piano campagna alla profondità indic = 40.0 m	
Vis	= Velocità onde di taglio nello strato di terreno compreso fra le due profondità indicate	

Figura 6.2. Misure della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs SCPTU2

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			27	55	A.C.	AGO 2022			

I risultati delle indagini condotte poiché forniscono $180 < V_{s,30} < 360$ m/s il sito è da classificare, ai sensi del DM 17/01/18, come **categoria C** (depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti).

Risultano pertanto i seguenti valori dei coefficienti sismici:

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
 Cc: 1,660
 St: 1,000
 Kh: 0,011
 Kv: 0,005
 Amax: 0,522
 Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
 Cc: 1,610
 St: 1,000
 Kh: 0,013
 Kv: 0,007
 Amax: 0,642
 Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
 Cc: 1,600

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			28	55	A.C.	AGO 2022			

St: 1,000

Kh: 0,045

Kv: 0,022

Amax: 1,829

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,440

Cc: 1,600

St: 1,000

Kh: 0,057

Kv: 0,029

Amax: 2,347

Beta: 0,240

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			29	55	A.C.	AGO 2022		

7. VALUTAZIONI EFFETTI SISMICI DI SITO: VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

La verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni è stata condotta con un metodo che utilizza le misure di resistenza alla punta e laterale effettuate dalle prove penetrometriche condotte.

La procedura semplificata, inizialmente proposta da Seed e Idriss (1971) per valutare la resistenza a liquefazione, fondamentalmente implica il calcolo di due parametri: il livello di sollecitazione ciclica del suolo causato dal sisma, espresso come indice di sollecitazione ciclica CSR (Cyclic Stress Ratio) e la resistenza del suolo alla liquefazione espressa come indice di resistenza ciclica CRR (Cyclic Resistance Ratio) (calcolato solo per gli strati aventi indice di classificazione $I_c < 2.6$).

Il rapporto di sforzo ciclico CSR è stato determinato come segue (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = 0.65 \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_{v0}/\sigma'_{v0}) \cdot r_d$$

Dove:

a_{max} = accelerazione orizzontale massima in superficie

g = accelerazione di gravità


σ_v = tensione totale alla profondità considerata

σ'_v = tensione efficace alla profondità considerata

r_d = coefficiente di riduzione degli sforzi di taglio con la profondità per tenere conto della deformabilità del terreno calcolato con le espressioni proposte da Youd et Al. (2004).

La verifica a liquefazione è condotta in condizione di free-field ovvero di piano di campagna orizzontale ed in assenza di sforzi di taglio antecedenti il sisma (fattori K_α e K_σ assunti pari ad 1).

La verifica del pericolo di liquefazione è in realtà una verifica di resistenza e come tale richiede il calcolo ed il confronto di due grandezze: la sollecitazione agente indotta dal sisma di progetto e la resistenza limite alla sollecitazione ciclica che il terreno è in grado di opporre. Il fattore di resistenza ciclica CRR è stato determinato con l'espressione ricavata originariamente per un terremoto di riferimento avente magnitudo $M=7.5$. Per terremoti con magnitudo attesa differente occorre correggere il CRR (o analogamente il fattore di sicurezza) con un opportuno fattore di

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data	
			30	55	A.C.	AGO 2022			

scala MSF (Magnitude Scaling Factor) che è funzione della magnitudo di progetto del terremoto, per il quale, nelle verifiche condotte, è stata adottata l'espressione proposta da Robertson (2009).

Si definisce quindi un fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione come segue:

$$F_{SL} = \frac{CRR_{M=7.5}}{CSR} \cdot MSF$$

Con MSF calcolato per i due valori di Magnitudo (MSF=1 per M=7.5) definiti nel precedente.


Si applicherà la procedura di verifica proposta originariamente da Robertson e Wride (1997), nella sua versione recentemente aggiornata (Robertson, 2009).

Per tutte le verticali indagate è stato determinato:

1. Il profilo con la profondità della resistenza a liquefazione espressa in termini di indice di resistenza ciclica (CRR).
2. Il profilo con la profondità del fattore di sicurezza a liquefazione FSL per terremoti con la magnitudo di progetto.

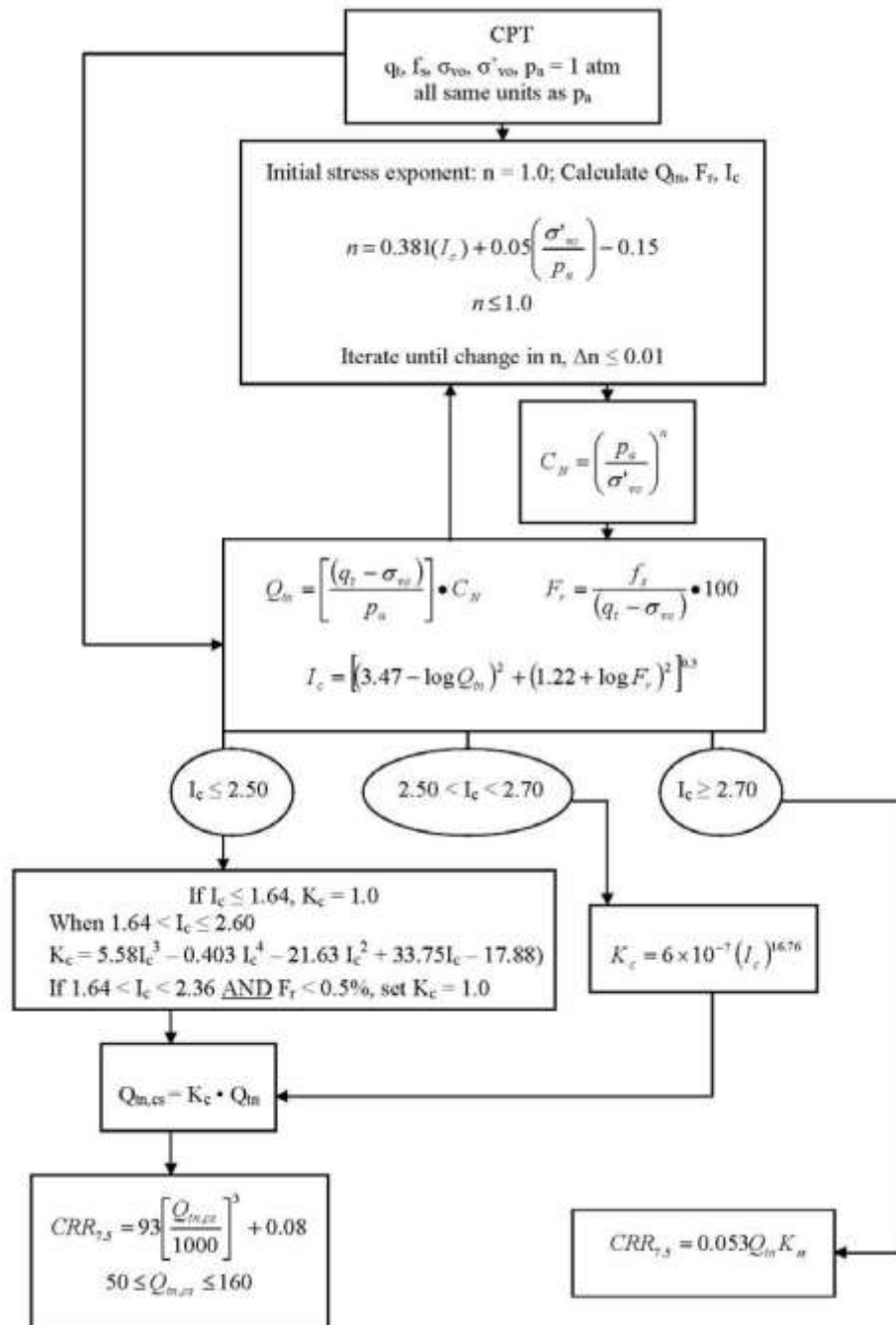
La procedura da applicare viene schematicamente riassunta di seguito:

- Normalizzazione della resistenza alla punta e laterale con lo stato tensionale mediante un metodo iterativo di calcolo.
- Determinazione dell'indice di classificazione del terreno I_c che è funzione delle resistenze normalizzate determinate al passo precedente. Il valore di $I_c = 2.6$ rappresenta, nel metodo proposto da Robertson e Wride (1997), una prima soglia di distinzione tra i terreni considerati non potenzialmente liquefacibili ($I_c > 2.6$) ed i terreni potenzialmente liquefacibili ($I_c < 2.6$).
- Stima del contenuto di fine a partire dal valore di I_c .
- Definizione di una resistenza alla punta normalizzata per tenere in conto del contenuto di fine ($(q_{c1N})_{cs}$) (calcolata solo per terreni aventi $I_c < 2.6$).
- Determinazione con la profondità del rapporto CRR (calcolato solo per terreni aventi $I_c < 2.6$).


 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°	Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014	Doc. n°	RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			31	55	A.C.	AGO 2022		

- Determinazione di un profilo del fattore di sicurezza FSL con la profondità (calcolato solo per terreni aventi $I_c < 2.6$).

Nella figura seguente è mostrata la procedura di calcolo (Robertson 2009).



Valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR (metodo proposto da Robertson, 2009)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°						
			RGT						
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			32	55	A.C.	AGO 2022			

In letteratura scientifica esistono alcune metodologie semplificate che consentono, anche se con marcate approssimazioni, di valutare il livello di rischio connesso al verificarsi del fenomeno della liquefazione. Il metodo di Iwasaki et al. (1982), introdotto dagli Indirizzi regionali, permette tale stima attraverso l'introduzione dell'indice del potenziale di liquefazione I_L definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

in cui z profondità dal piano campagna in metri;

$$w(z) = 10 - 0.5z;$$

$$F(z) = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 1;$$

$$F(z) = 0 \text{ se } F_L > 1;$$

F_L coefficiente di sicurezza alla liquefazione.

La valutazione viene estesa fino a 20 m di profondità dal piano campagna, soglia al di sotto della quale si possono considerare nulli o trascurabili gli effetti della liquefazione.

Una valutazione del pericolo di liquefazione viene associata ad intervalli di I_L :

Potenziale Liquefazione I_{PL}	Classificazione
$I_{PL} = 0$	<i>Non liquefacibile</i>
$0 < I_{PL} \leq 2$	<i>Basso</i>
$2 < I_{PL} \leq 5$	<i>Moderato</i>
$5 < I_{PL} \leq 15$	<i>Alto</i>
$I_{PL} \geq 15$	<i>Molto Alto</i>

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			33	55	A.C.	AGO 2022			

7.1 Risultati elaborazioni con azione derivante da terreno di tipo C

Nelle figure seguenti sono mostrati i risultati delle elaborazioni descritte nella parte introduttiva del paragrafo, per le prove penetrometriche effettuate.

Come accelerazione di progetto è stata assunta quella derivante dalla classificazione di tipo C per valutare se il sito è affetto dal fenomeno di liquefazione.

L'accelerazione di calcolo impiegata è pari a $0.125 \times 1.50 = 0.188 \text{ g}$

Di seguito si riportano i risultati della verifica a liquefazione per le tre verticali di prova.

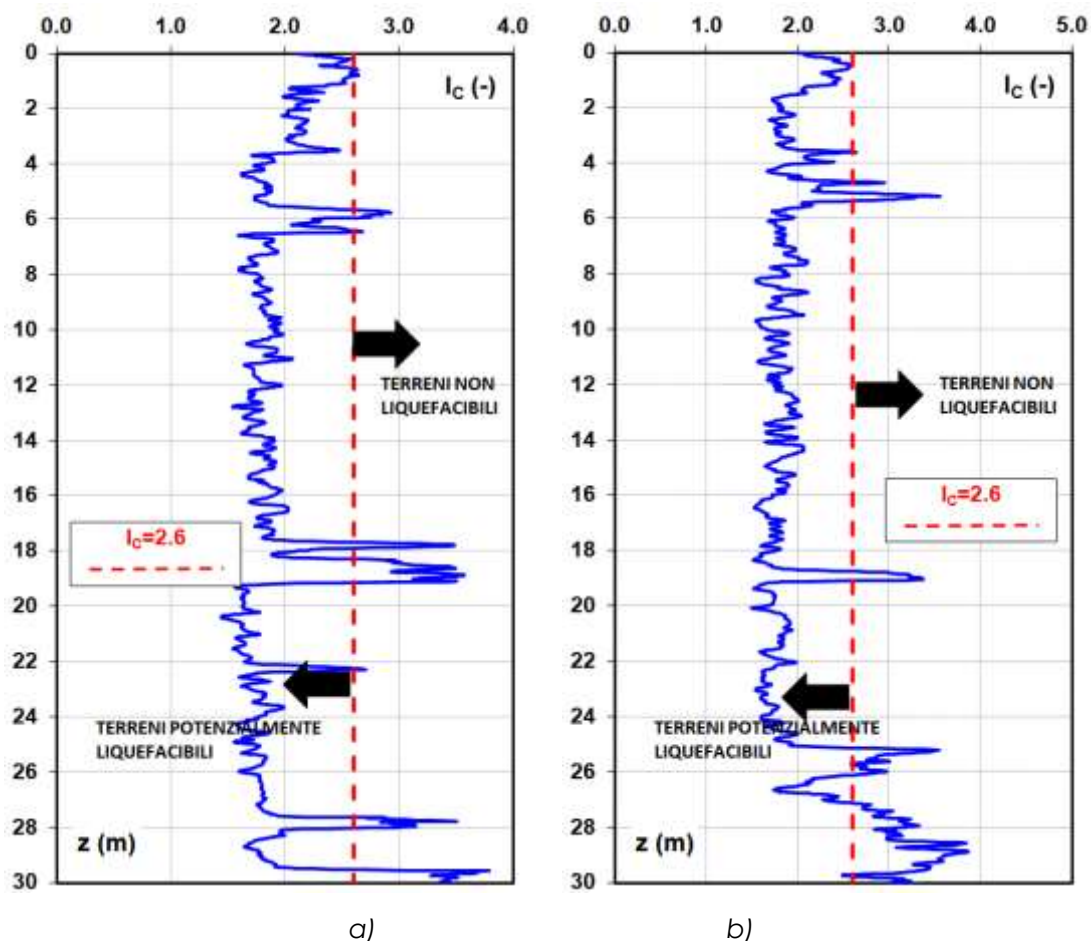

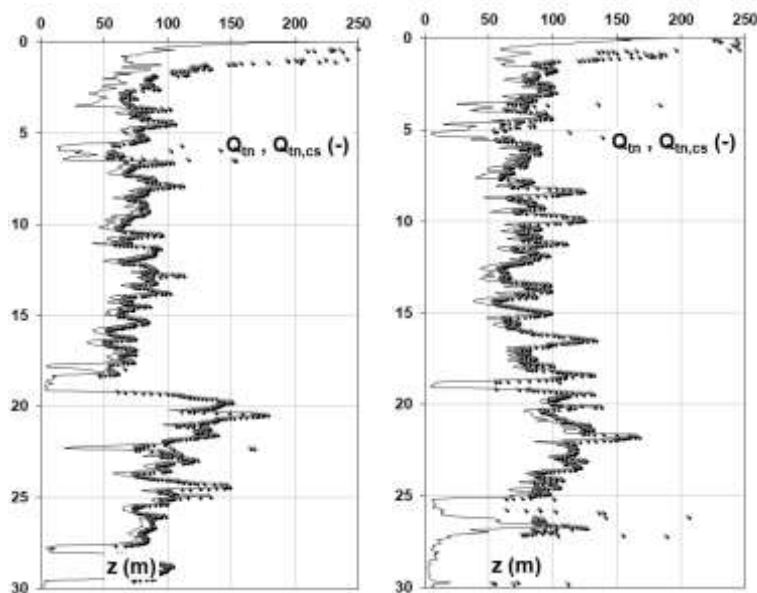


Figura 7.1.1. Risultati del metodo di Robertson (2009) - profilo dell'Indice di classificazione I_c - a) CPTU_1, b) CPTU_2

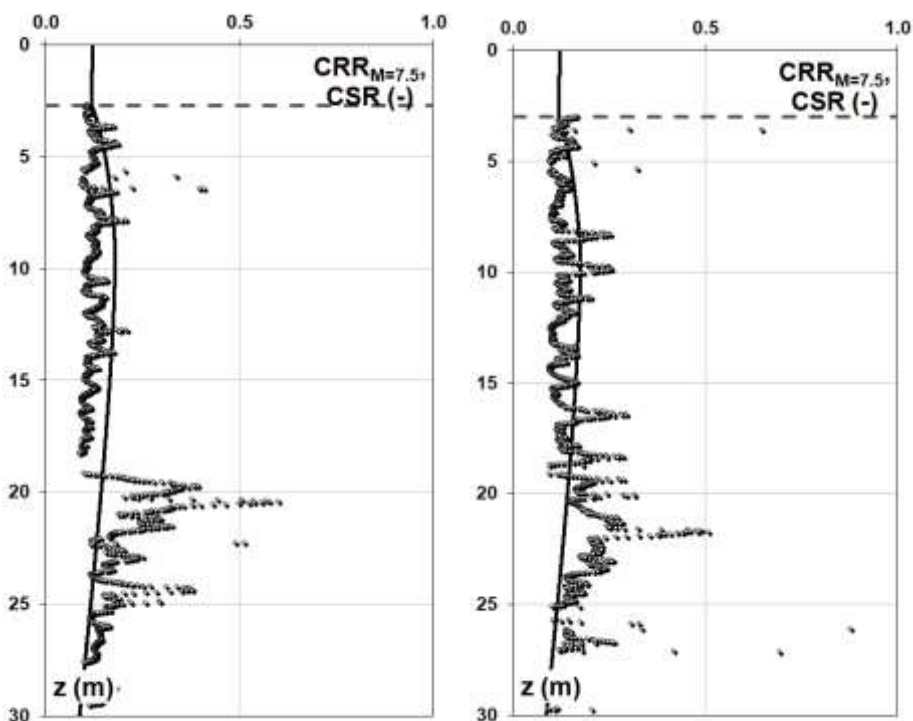
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			34	55	A.C.	AGO 2022		



a)

b)

Figura 7.1.2. Risultati del metodo di Robertson (2009) - valori normalizzati della resistenza alla punta - a) CPTU_1, b) CPTU_2

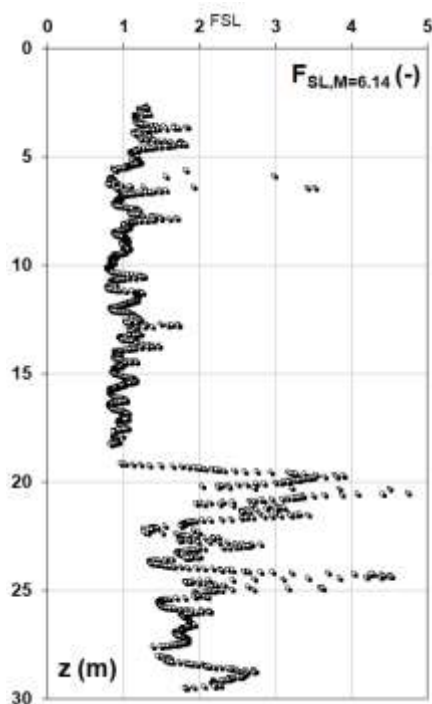


a)

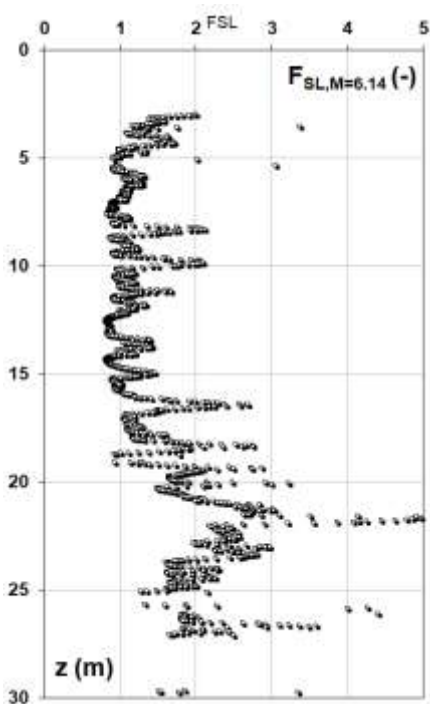
b)

Figura 7.1.3. Risultati del metodo di Robertson (2009) - profilo con la profondità di $CRR_{M=7.5}$ e CSR - a) CPTU_1, b) CPTU_2

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			35	55	A.C.	AGO 2022			

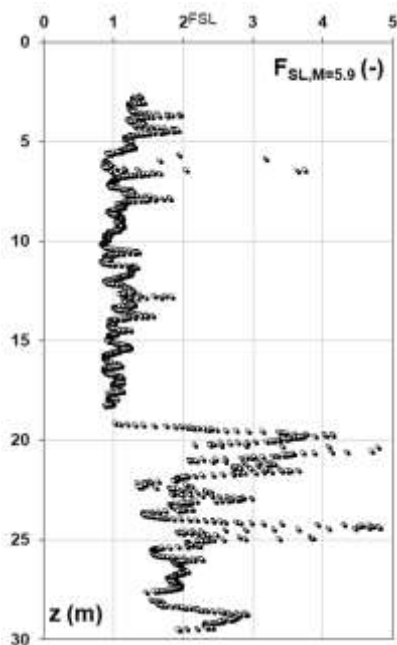


a)

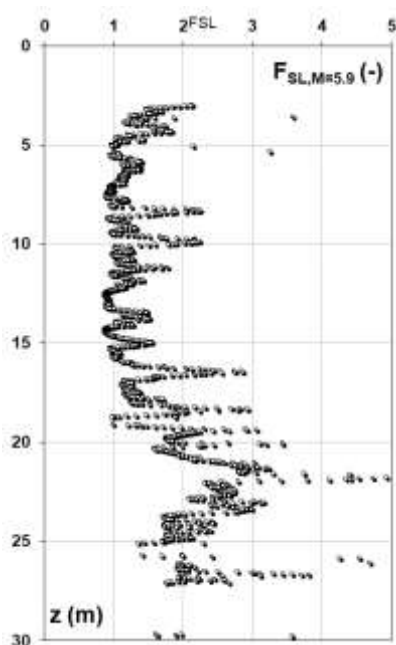


b)

Figura 7.1.4. Risultati del metodo di Robertson (2009): profilo del fattore di sicurezza per eventi con magnitudo $M=6.14$ - a) CPTU_1, b) CPTU_2



a)



b)

Figura 7.1.4. Risultati del metodo di Robertson (2009): profilo del fattore di sicurezza per eventi con magnitudo $M=5.9$ - a) CPTU_1, b) CPTU_2

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			36	55	A.C.	AGO 2022			

I profili del fattore di sicurezza a liquefazione con la profondità riportati in figura mostrano che per il sito in esame, assumendo 1.25 come fattore di sicurezza minimo in base alle indicazioni dell'OPCM 3274/2003 ed EC8, si hanno i seguenti risultati:

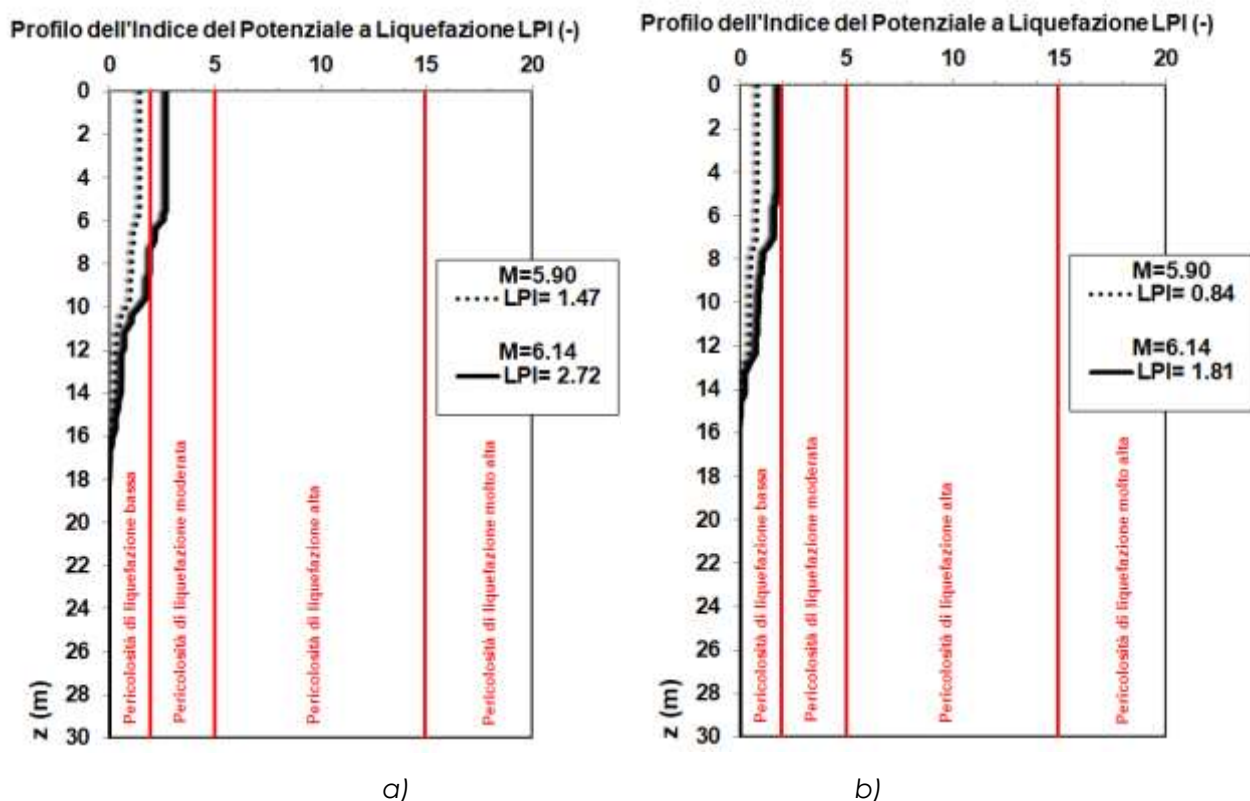


Figura 7.1.6. Risultati del metodo di Robertson (2009): profilo dell'indice di potenziale liquefazione per eventi con $M=6.14$; profilo dell'indice di potenziale liquefazione per eventi con $M=5.9$ - a) CPTU_1, b) CPTU_2

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data	
			37	55	A.C.	AGO 2022			


7.2 Sintesi dei risultati della verifica a liquefazione

L'indice del potenziale di liquefazione ottenuto per le due magnitudo considerate dai profili del fattore di sicurezza sopra riportati è risultato pari a:

CPTu01	$I_L=1.47$	per $M=5.9$
	$I_L=2.72$	per $M=6.14$
CPTu02	$I_L=0.84$	per $M=5.9$
	$I_L=1.81$	per $M=6.14$

Il sito risulta pertanto mediamente affetto da un potenziale basso in base ai risultati derivati dalle elaborazioni sulle verticali indagate ad eccezione della verticale 1 che per una magnitudo pari a 6.14 fornisce un potenziale moderato sebbene di poco superiore al valore 2 di sogli con il rischio basso.

Si consideri che l'area è già occupata da una cava e dalla sua scarpata e l'intervento non modifica sostanzialmente la situazione attuale se non per una traslazione dell'attuale scarpata di cava.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			38	55	A.C.	AGO 2022		

8. VALUTAZIONI EFFETTI SISMICI DI SITO: STIMA DEI CEDIMENTI POST-SISMICI DEI TERRENI

Il calcolo dei cedimenti post-sismici è stato effettuato in base al metodo proposto da Robertson (2009). Il metodo consiste nella valutazione dei cedimenti attesi in base a correlazioni con i risultati di prove penetrometriche statiche. Il calcolo è condotto in maniera distinta per terreni granulari e per terreni fini.

Terreni granulari

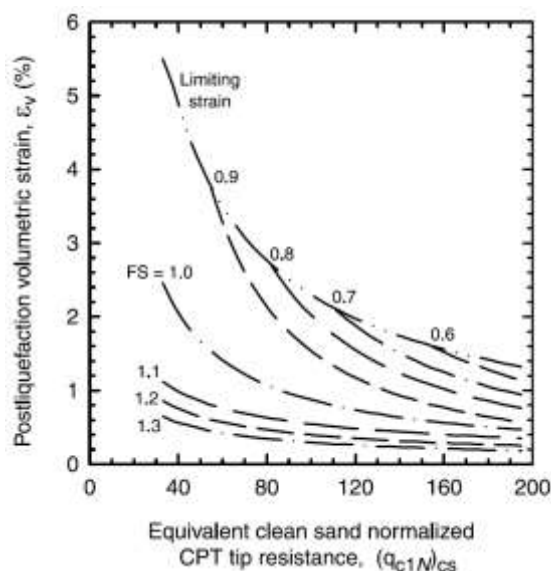
Il calcolo del cedimento post-sismico dei terreni granulari riguarda la valutazione dell'addensamento degli strati liquefacibili compresi nei primi 20m di profondità. I cedimenti sono stati valutati in accordo a Robertson (2009) attraverso la metodologia elaborata da Zhang et Al. (2002). Sulla base della verticale penetrometrica è stato definito il valore alla punta normalizzata $q_{c1N,cs}$, il valore del fattore di sicurezza a liquefazione FS, e attraverso le funzioni riportate da Zhang et Al. (2002) si sono valutate le deformazioni volumetriche post sismiche indotte. Noto lo spessore di partenza dello strato, il cedimento corrispondente è stato ricavato applicando la seguente formula (Robertson, 2009):

$$s = \varepsilon_v \cdot \Delta H$$


Dove:

ε_v : deformazione post sismica indotta

ΔH : spessore iniziale dello strato



Deformazioni post-sismiche indotte negli strati granulari. (metodo proposto da Zhang et Al., 2002)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°						
			RGT						
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			39	55	A.C.	AGO 2022			

Terreni fini

In base alle indicazioni riportate nelle Linee Guida AGI (2005), il cedimento dei terreni fini è dovuto a fenomeni di riconsolidazione conseguenti alla dissipazione delle pressioni interstiziali accumulate durante il terremoto.

Il metodo proposto da Robertson (2009) prevede la definizione di un Rapporto di Resistenza ciclica ($CRR_{\gamma=3\%}$) che valuta la resistenza dei terreni fini a manifestare deformazioni se soggetti a sollecitazioni sismiche, in base alla seguente espressione:

$$CRR_{M=7.5} = 0.053 \cdot Q_{tn} \cdot K_{\alpha}$$

con:

Q_{tn} =resistenza alla punta penetrometrica normalizzata e corretta in base alla procedura di Robertson (2009)

K_{α} =fattore che considera l'inclinazione del piano campagna (pari ad 1 per piano di campagna orizzontale)

Si definisce quindi un fattore di sicurezza nei confronti della deformazione post-sismica dei terreni fini come segue:

$$F_{S,\gamma=3\%} = \frac{CRR_{M=7.5}}{CSR} \cdot MSF$$

Con MSF calcolato per i due valori di Magnitudo di progetto ($MSF=1$ per $M=7.5$) in base all'espressione di Boulanger & Idriss (2005) valida per terreni fini e differente dal fattore di scala della magnitudo valevole per i terreni granulari.

Il cedimento corrispondente è stato ricavato applicando la seguente formula (Robertson, 2009):

$$s = \varepsilon_{vol} \cdot \Delta H$$

dove:

ε_v : deformazione post sismica indotta


ΔH : spessore iniziale dello strato

se $FS_{\gamma=3\%} > 0.84$

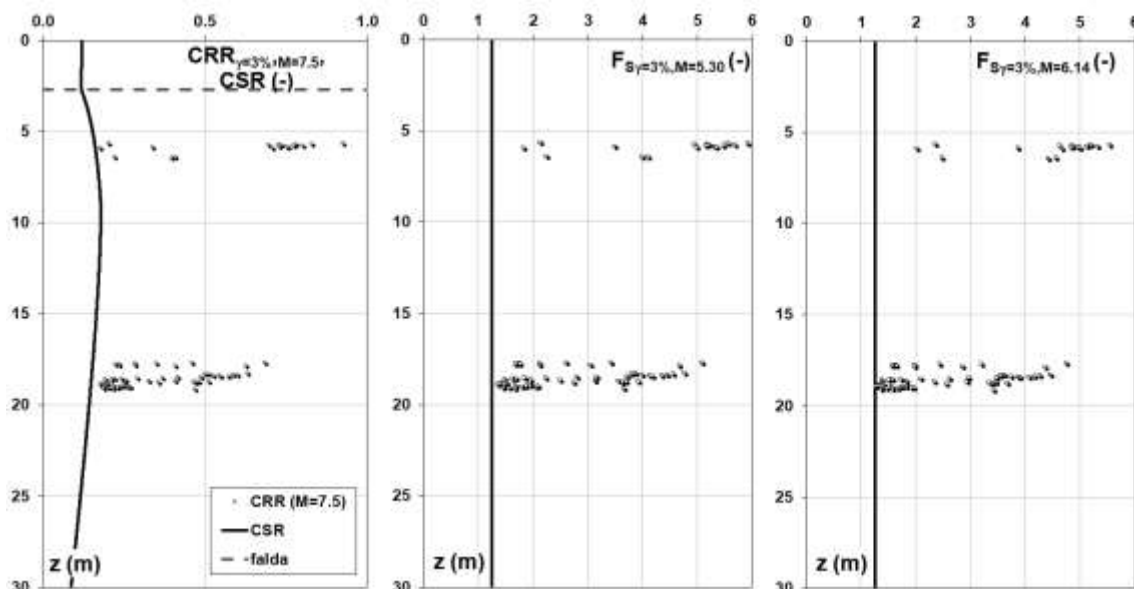
$$\varepsilon_{vol} = \frac{[0.8 - 2.66 \log(FS_{\gamma=3\%})]}{[0.33 \cdot (10 - 9 \log(0.33 \cdot Q_{tn})) \cdot (Q_{tn})^3]}$$

se $FS_{\gamma=3\%} \leq 0.84$

$$\varepsilon_{vol} = \frac{1}{Q_{tn}^2} \leq 1\%$$

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			40	55	A.C.	AGO 2022			

RISULTATI ELABORAZIONI CPTu01



(a)

(b)

Figura 8.1.1 Risultati del metodo di Robertson (2009) per terreni fini: (a) Andamento della resistenza ciclica a deformazione con la profondità; (b) Fattore di sicurezza per eventi con magnitudo $M=6.14$ e 5.9

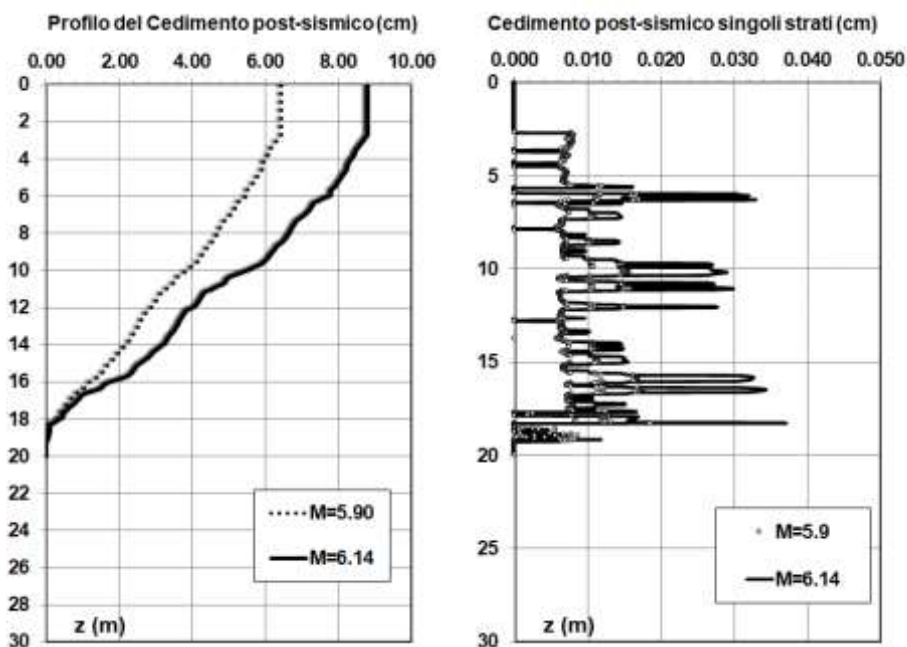

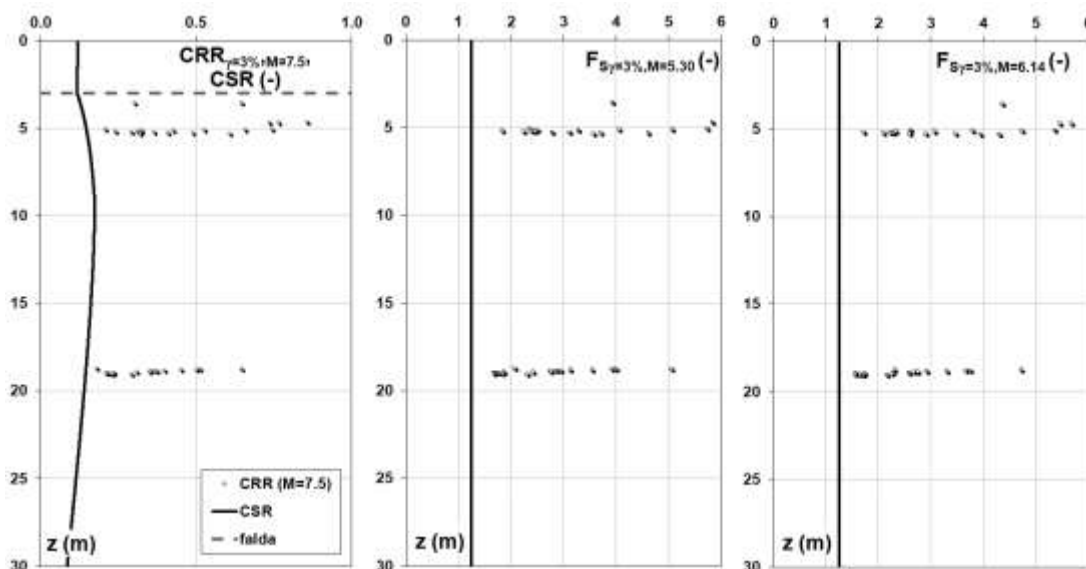


Figura 8.1.2 Risultati del metodo di Robertson (2009): profilo ed entità del cedimento post sismico atteso con la profondità (terreni fini e granulari) per le due magnitudo di progetto considerate

RISULTATI ELABORAZIONI CPTu02

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			41	55	A.C.	AGO 2022			



(a)

(b)

Figura 8.1.3 Risultati del metodo di Robertson (2009) per terreni fini: (a) Andamento della resistenza ciclica a deformazione con la profondità; (b) Fattore di sicurezza per eventi con magnitudo $M=6.14$ e 5.9

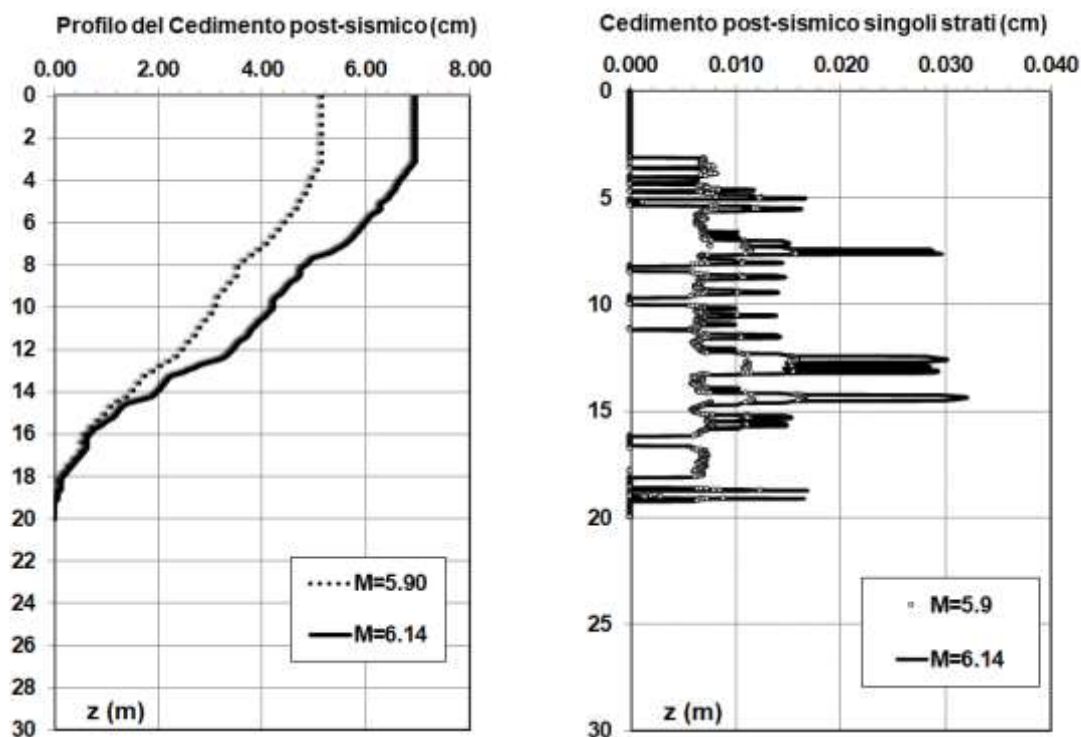



Figura 8.1.4 Risultati del metodo di Robertson (2009): profilo ed entità del cedimento post sismico atteso con la profondità (terreni fini e granulari) per le due magnitudo di progetto considerate

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			42	55	A.C.	AGO 2022			

I cedimenti post-sismici del sito, sono causati principalmente dai fenomeni di liquefazione dei consistenti strati di terreni granulari presenti, e sono da assumersi come valori puramente indicativi di stima approssimativa stante la natura fortemente empirica delle correlazioni utilizzate e disponibili ad oggi nella letteratura scientifica di settore.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			43	55	A.C.	AGO 2022		

9. VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA

Le verifiche riportate sono inerenti alla stabilità della scarpata di cava per fornire le valutazioni circa la geometria stabile del profilo di scavo previsto.

Per le analisi è stato utilizzato un codice di calcolo numerico all'equilibrio limite in cui il sisma è simulato con un approccio pseudostatico.

Le analisi sono state condotte in condizioni statiche e sismiche; per il calcolo si è adottato l'approccio agli stati limite come richiesto dal D.M. 17.01.2018 attraverso l'utilizzo dei coefficienti parziali di sicurezza applicati alle azioni ed ai parametri di resistenza dei terreni in base all'approccio di progetto 1 con la combinazione 2 (DA1-C2 Paragrafo 6.8 DM 17.01.18) secondo il quale il set di fattori parziali di sicurezza da adottare sono quelli definiti come A2+M2+R2 (Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.8.I DM 17.01.2018).

In particolare per costruzioni in materiali sciolti il decreto stabilisce di utilizzare un coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza a taglio non drenata pari a $\gamma_{cu}=1.4$, sulla tangente dell'angolo di resistenza al taglio pari a $\gamma_{tan\phi}=1.25$ e sulla coesione efficace pari a $\gamma_{c'}=1.25$; è richiesto di adottare un fattore unitario sul peso per unità di volume dei terreni ($\gamma_\gamma=1.0$) ed un fattore incrementale delle azioni variabili sfavorevoli pari a $\gamma_Q=1.3$ mentre è richiesto unitario quello da applicare ai carichi permanenti ($\gamma_G=1.0$). Nel caso in esame i carichi derivanti da azioni variabili sono nulli.

Con l'adozione dei fattori parziali di sicurezza il fattore globale, come da D.M. 17.01.2018, deve essere garantito pari a $\gamma_R=1.1$ (Tabella 6.8.I DM 17.01.2018).

Le verifiche sismiche sono state condotte con un approccio pseudostatico; nei metodi pseudo statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \times W$ ed $F_v = k_v \times W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale calcolati secondo DM 17.01.2018 (Paragrafi 7.11.3 e 7.11.4) come segue:

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°						
			RGT						
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			44	55	A.C.	AGO 2022			

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove:

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

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.1 (DM 17.01.2018) e sono funzione dell'accelerazione a_g e della categoria di sottosuolo. I parametri sismici per la verifica condotta sono riportati al precedente capitolo 6.

La condizione di stato limite in condizione sismica deve essere valutata con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici (ovvero adottando fattori di sicurezza parziali unitari) e riferita alla superficie di scorrimento critica, caratterizzata dal minore margine di sicurezza. Il fattore di sicurezza globale che deve essere garantito in condizioni sismiche è pari a $\gamma_R = 1.2$ ovvero pari a quello indicato nel paragrafo 7.11.4 (DM 17.01.2018).

La direzione del coefficiente sismico orizzontale è stata presa uscente dal pendio (ovvero la situazione maggiormente gravosa ai fini dell'equilibrio) mentre il coefficiente verticale è stato considerato sia diretto verso l'alto ($+k_v$) sia verso il basso ($-k_v$) in quanto non è nota a priori quale delle due situazioni di sollecitazione risulta essere più gravosa ai fini delle verifiche di stabilità.

Natura e proprietà dei terreni impiegati nel calcolo rispecchiano quelle indicate nel capitolo 5.

Le analisi sono state condotte impiegando il metodo di Morgenstern&Price (1965).

La verifica in condizioni statiche significativa per il problema in esame è stata condotta in condizione drenate stante la natura dei terreni presenti nel volume significativo delle superfici di rottura e data la modalità di realizzazione dell'ampliamento della cava che prevede una escavazione progressiva diluita nel tempo.

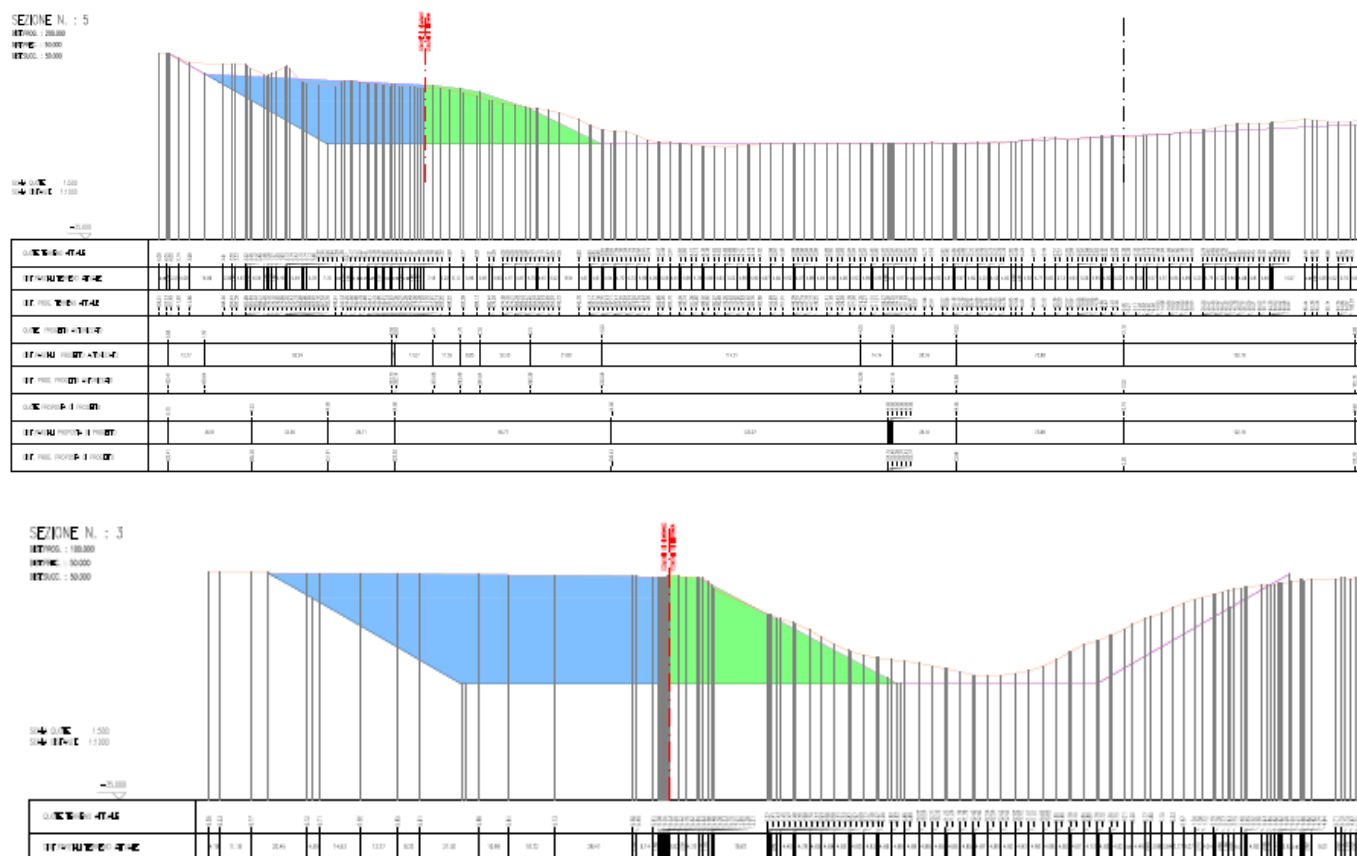
Tutti i valori riportati sono poi stati fattorizzati con i fattori parziali di sicurezza previsti dall'approccio di progetto scelto.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°	Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014	0			
			Doc. n°	RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data	
			45	55	A.C.	AGO 2022	

9.1 VERIFICA AMPLIAMENTO CAVA


La verifica è stata condotta per la sezione tipo che caratterizza il profilo della scarpata di cava nella zona di ampliamento

La figura successiva riporta la sezione tipo nella zona dell'ampliamento di cava previsto riportato nella TAV4a di progetto.

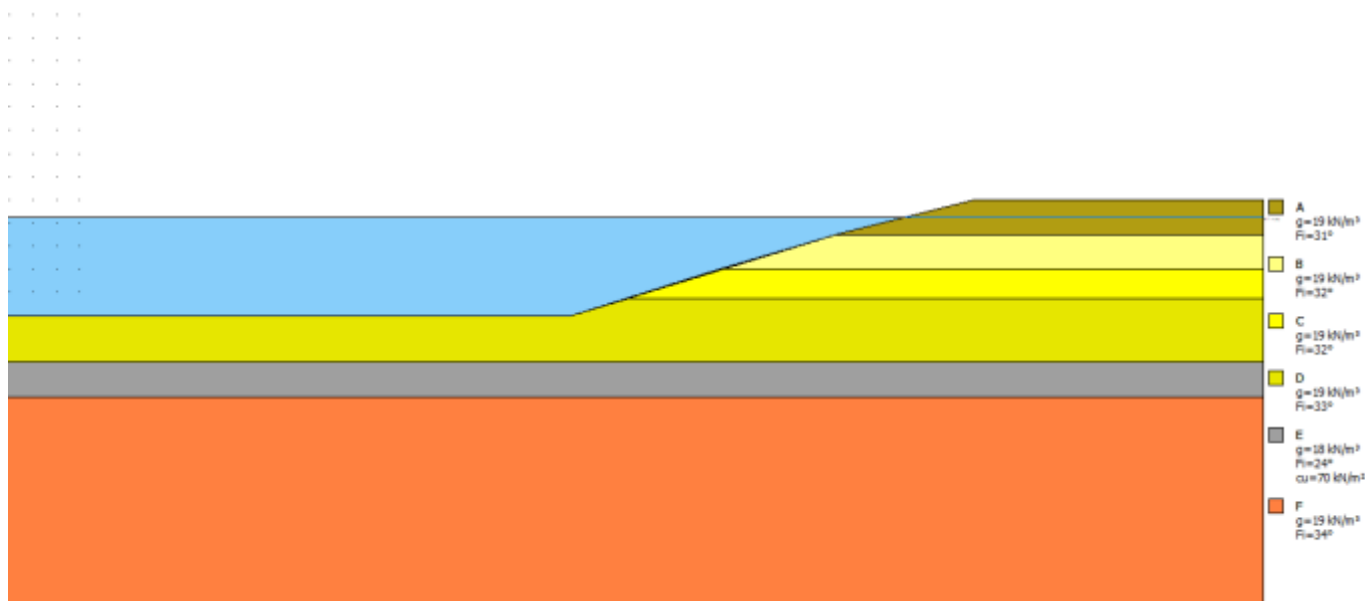


Sezione tipo ampliamento di cava

La verifica è condotta nella sezione più sfavorevole ovvero con il profilo libero davanti alla zona di ampliamento (ad es. la sez. 3 che presenta un rialzo del bordo cava nella zona antistante è naturalmente in condizioni di maggiore stabilità per la presenza di un sovraccarico stabilizzante a valle. Nel programma il profilo del pendio va modellato con la parte di valle a sinistra.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			46	55	A.C.	AGO 2022		

Nell'immagine seguente è riportato il modello implementato nel codice di calcolo. Il codice impiegato è il programma Slope-Geostru distribuito da EngSoft Srl, dotato della documentazione di validazione secondo quanto prescritto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18), al punto 10.2.



Modello implementato nel programma per le analisi di stabilità

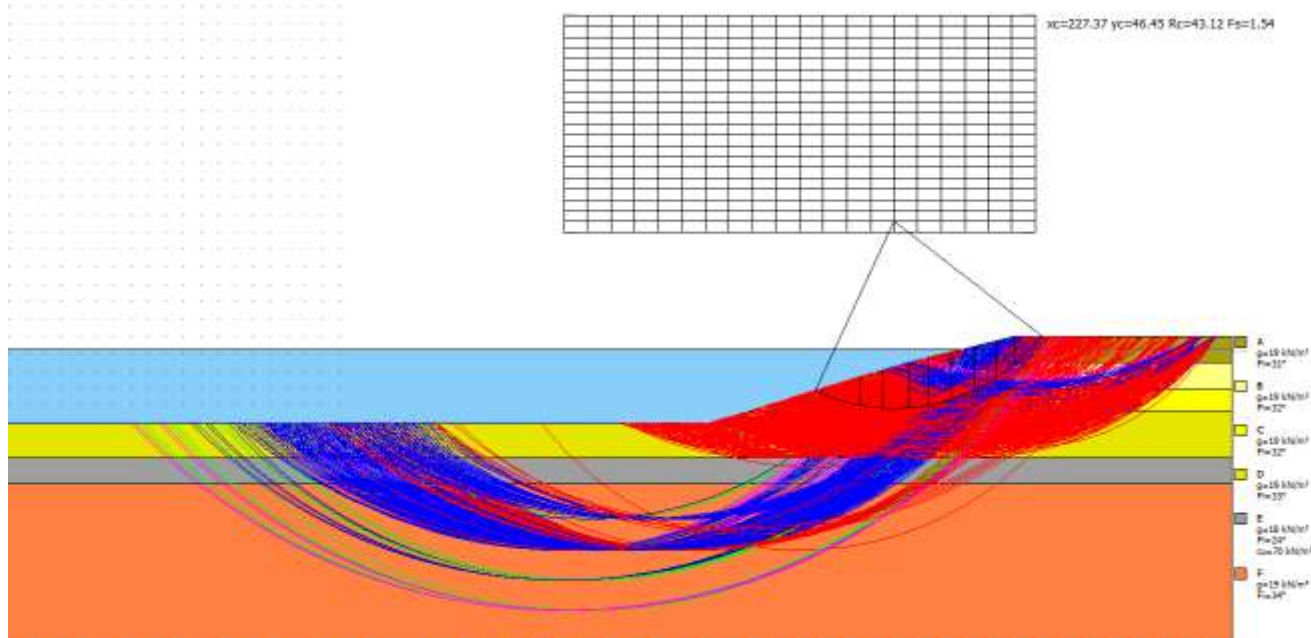
Nelle analisi per i terreni granulari è stato assunto cautelativamente come angolo di resistenza a taglio lungo le superfici di rottura quello in condizioni di stato critico.

Di seguito si riportano gli esiti delle differenti verifiche effettuate: come si può notare dalle seguenti figure, tutte le verifiche risultano soddisfatte.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			47	55	A.C.	AGO 2022		

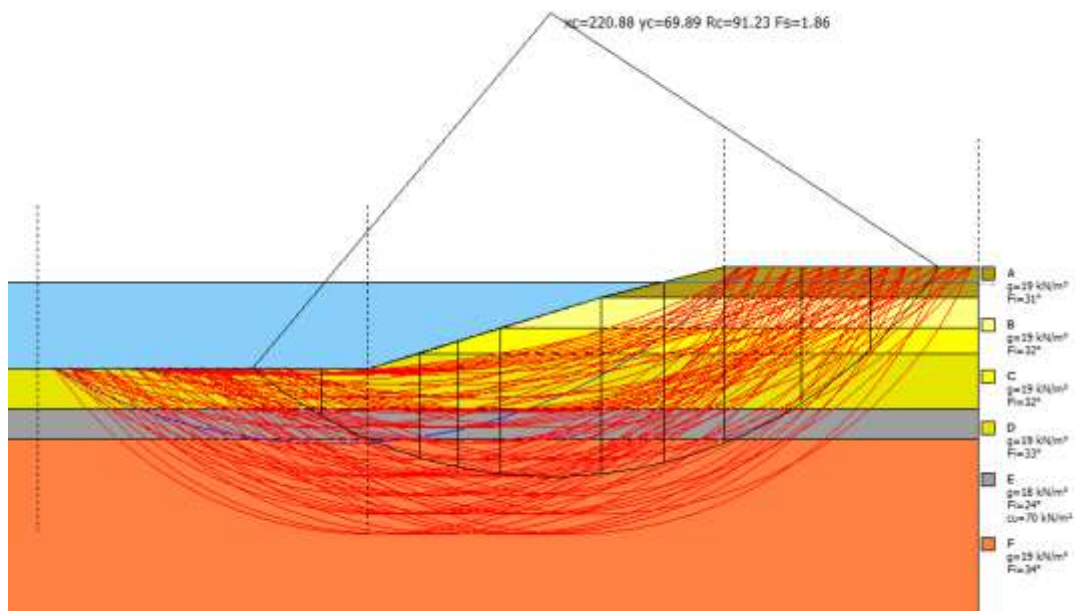
VERIFICA IN CONDIZIONI STATICHE SLU (COMBINAZIONE A2+M2+R2)

Verifica di stabilità con calcolo automatico con maglia di centri



Complesso delle superfici analizzate (Tot 841) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=1.54 > 1.1$)

Verifica di stabilità con vincolo monte-valle

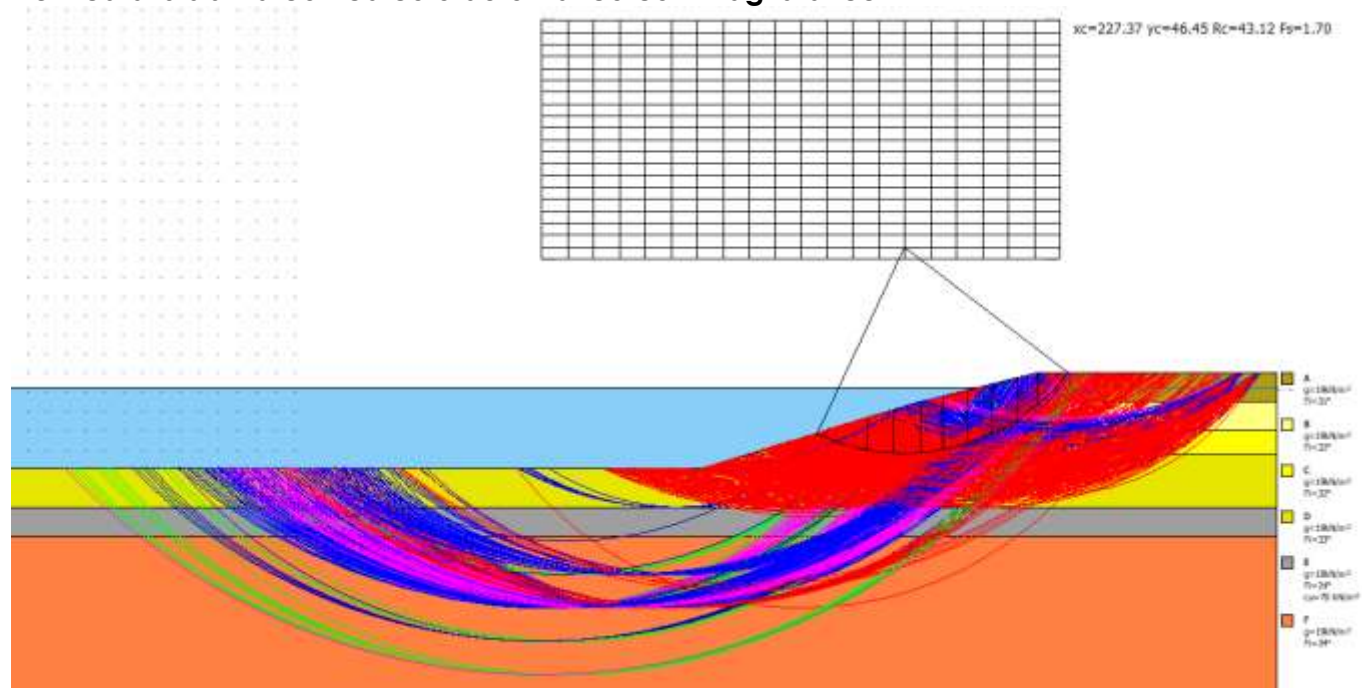


Complesso delle superfici analizzate (Tot 831) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=1.86 > 1.1$)

<div></div> <div>Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria</div>	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			48	55	A.C.	AGO 2022			

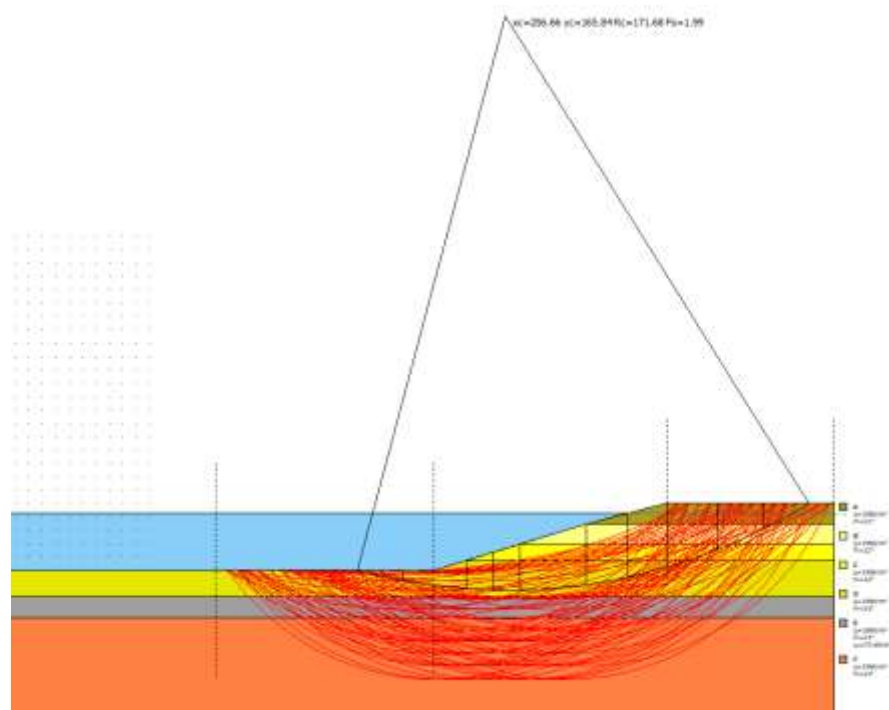
VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE SLV (SISMA VERTICALE DIRETTO VERSO IL BASSO +KV)

Verifica di stabilità con calcolo automatico con maglia di centri



Complesso delle superfici analizzate (Tot 841) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo pari a $FS=1.70 > 1.2$)

Verifica di stabilità con vincolo monte-valle

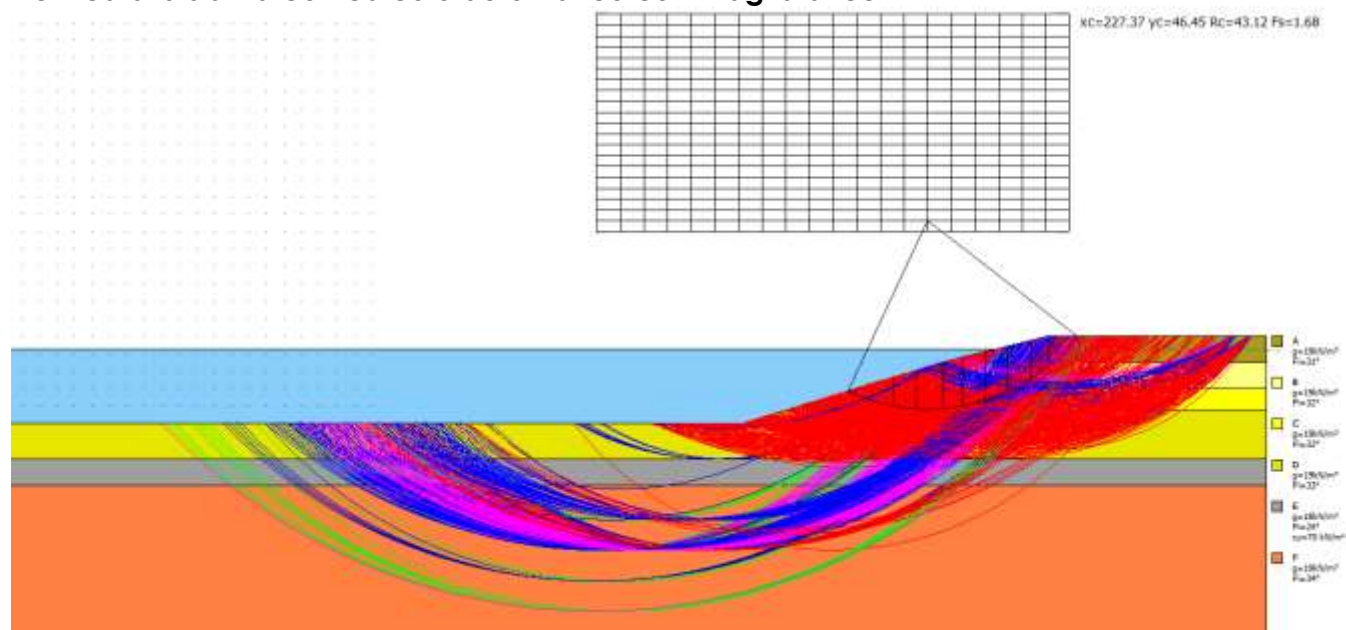


Complesso delle superfici analizzate (Tot 831) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo pari a $FS=1.99 > 1.2$)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			49	55	A.C.	AGO 2022			

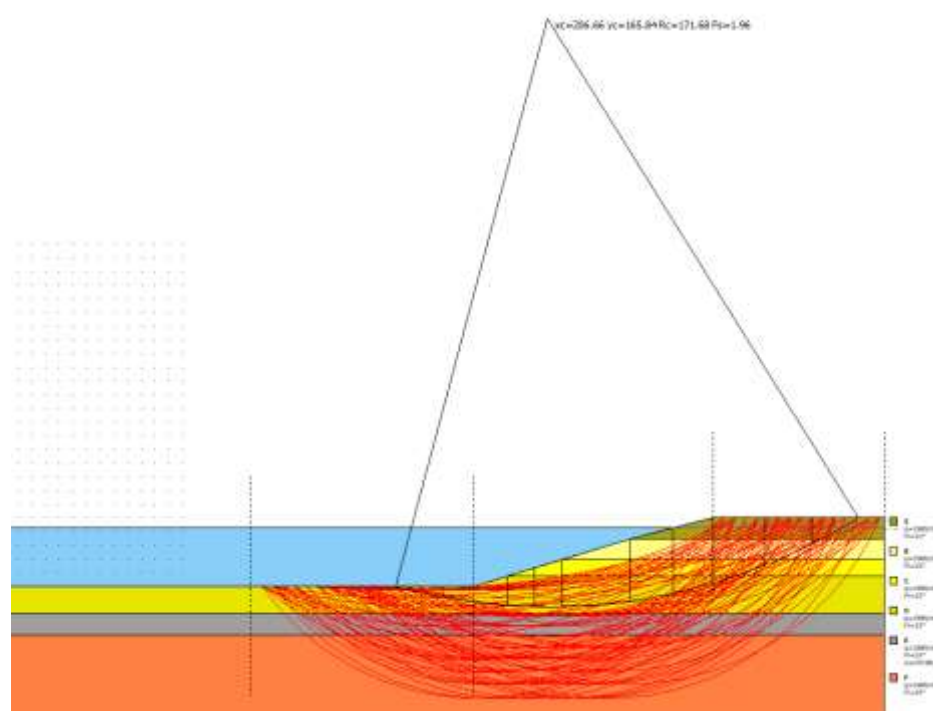
VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE SLV (SISMA VERTICALE DIRETTO VERSO L'ALTO -KV)

Verifica di stabilità con calcolo automatico con maglia di centri




Complesso delle superfici analizzate (Tot 841) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=1.68 > 1.2$)

Verifica di stabilità con vincolo monte-valle



Complesso delle superfici analizzate (Tot 831) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=1.96 > 1.2$)

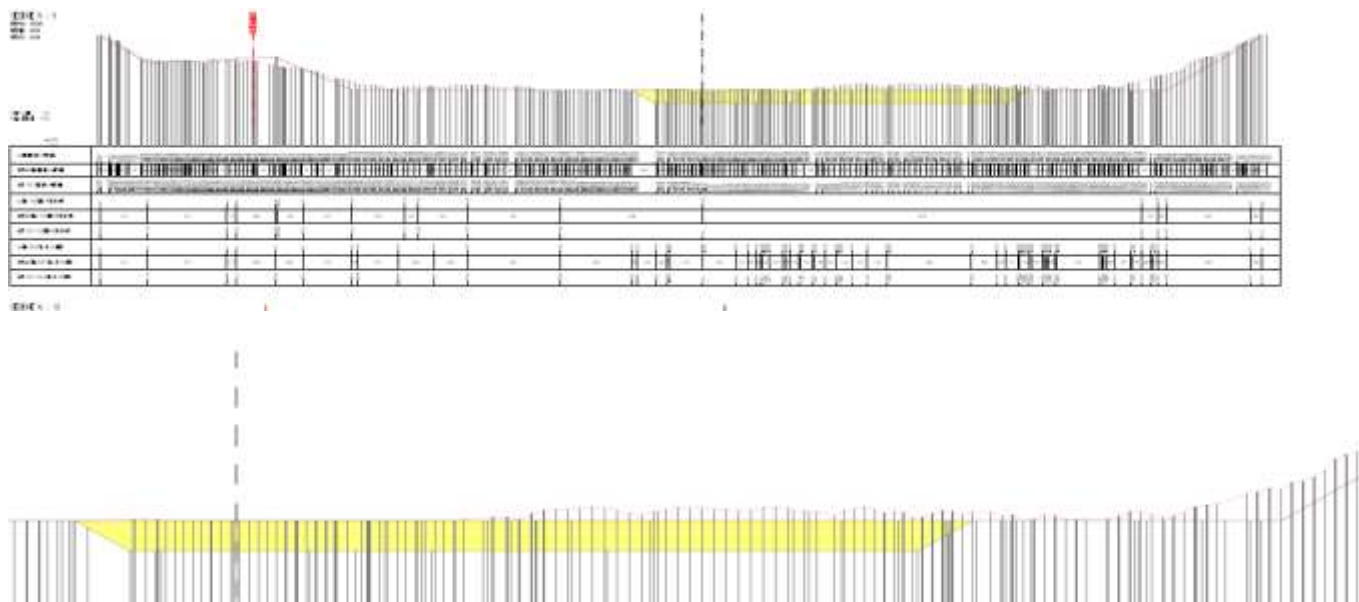
 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			50	55	A.C.	AGO 2022		

Dai risultati delle verifiche sopra riportati risulta che la realizzazione dell'ampliamento della cava secondo la geometria prevista (1/3.5) non comporta effetti di potenziale innesco di instabilità delle scarpate (sia in condizioni statiche che sismiche); i valori di fattore di sicurezza risultano in ogni caso superiori al limite di norma.

9.1 VERIFICA ZONA APPROFONDIMENTO CAVA

La verifica è stata condotta per la sezione tipo che caratterizza il profilo della scarpata di cava nella zona di ampliamento

La figura successiva riporta la sezione tipo nella zona di approfondimento di cava previsto riportato nella TAV4b di progetto.



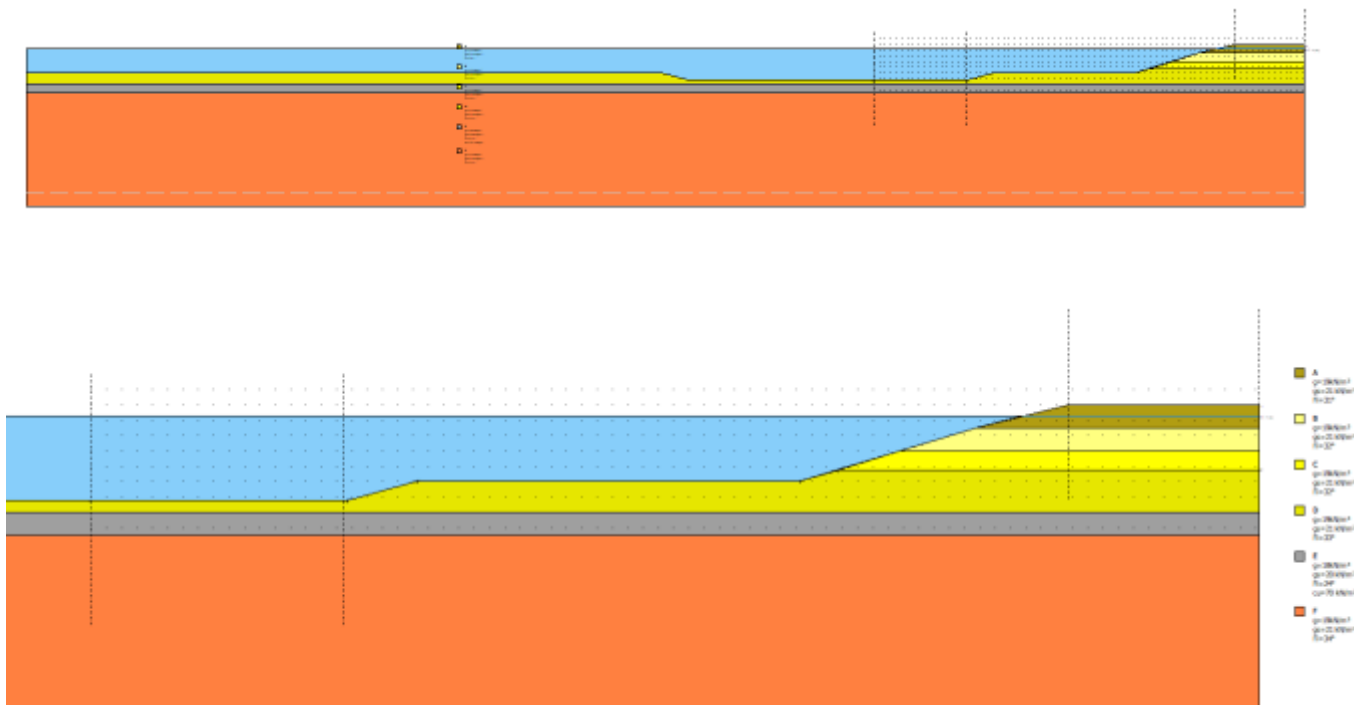
Sezione tipo approfondimento di cava

Nel programma il profilo del pendio va modellato con la parte di valle a sinistra.

Nell'immagine seguente è riportato il modello implementato nel codice di calcolo. Il codice impiegato è il programma Slope-Geostru distribuito da EngSoft Srl, dotato della documentazione

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
			RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA		Fg.	Di	Compilato	Data
			51	55	A.C.	AGO 2022		

di validazione secondo quanto prescritto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18), al punto 10.2.




Modello implementato nel programma per le analisi di stabilità

Nelle analisi per i terreni granulari è stato assunto cautelativamente come angolo di resistenza a taglio lungo le superfici di rottura quello in condizioni di stato critico.

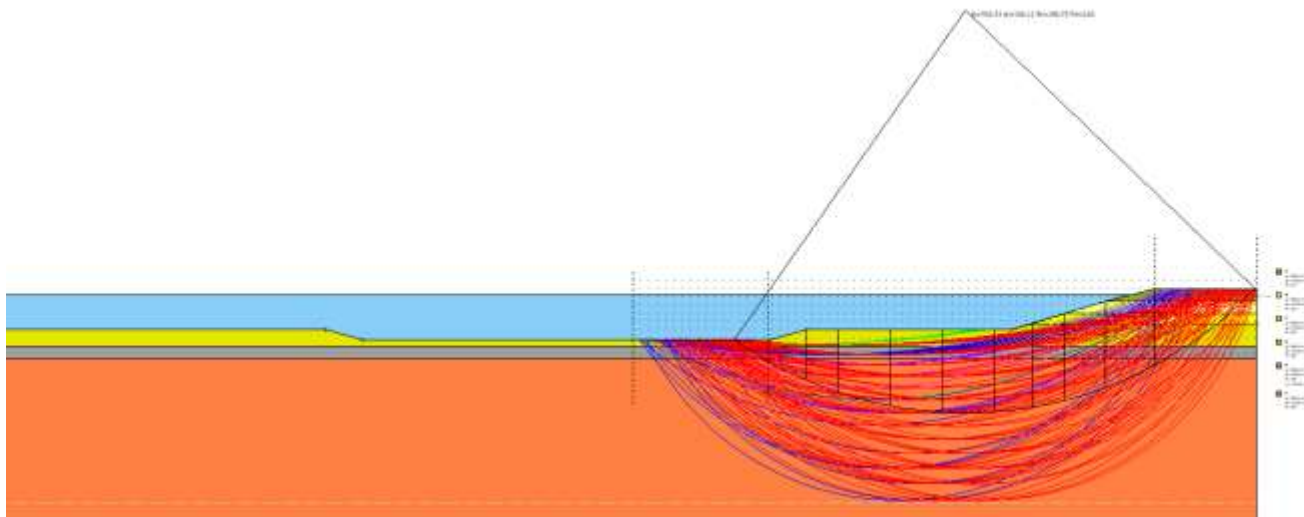
Le verifiche hanno riguardato sia l'analisi di stabilità della sponda dell'approfondimento (la quale viene comunque realizzata con la medesima pendenza della scarpata del lago di cava) sia gli eventuali fenomeni di instabilità indotti

Di seguito si riportano gli esiti delle differenti verifiche effettuate: come si può notare dalle seguenti figure, tutte le verifiche risultano soddisfatte.

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			52	55	A.C.	AGO 2022			

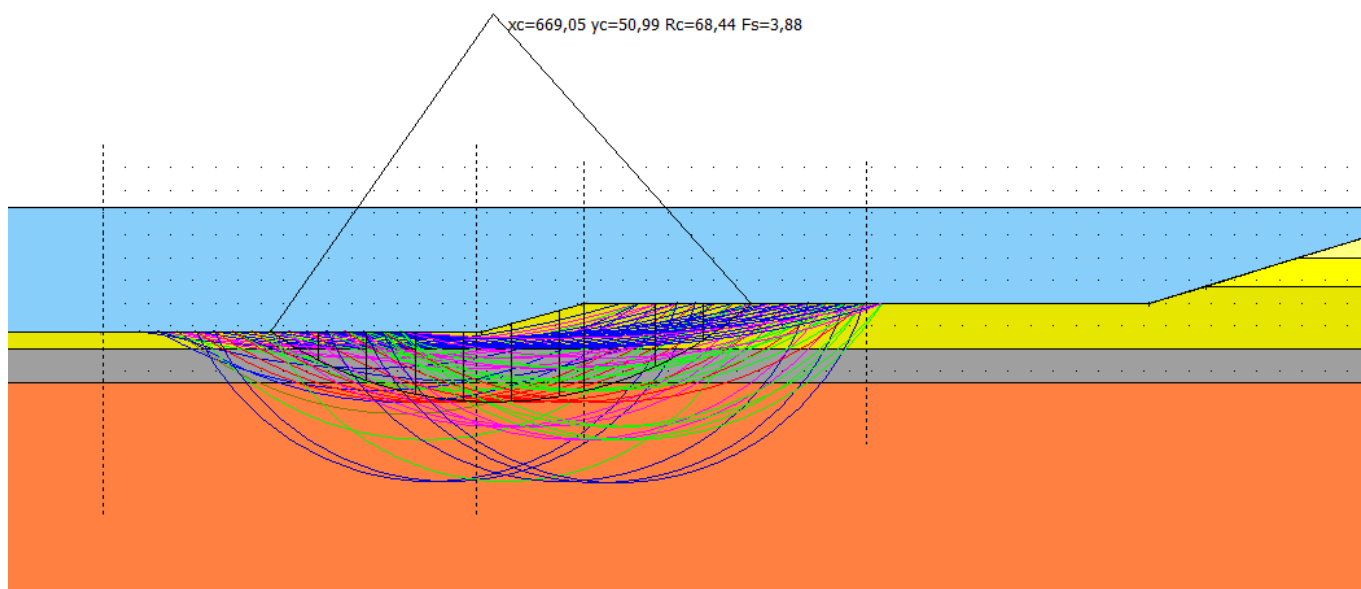
VERIFICA IN CONDIZIONI STATICHE SLU (COMBINAZIONE A2+M2+R2)

Verifica di stabilità sponda cava – nuovo approfondimento



Complesso delle superfici analizzate (Tot 843) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo pari a $FS=2.63 > 1.1$)

Verifica di stabilità sponda nuovo approfondimento

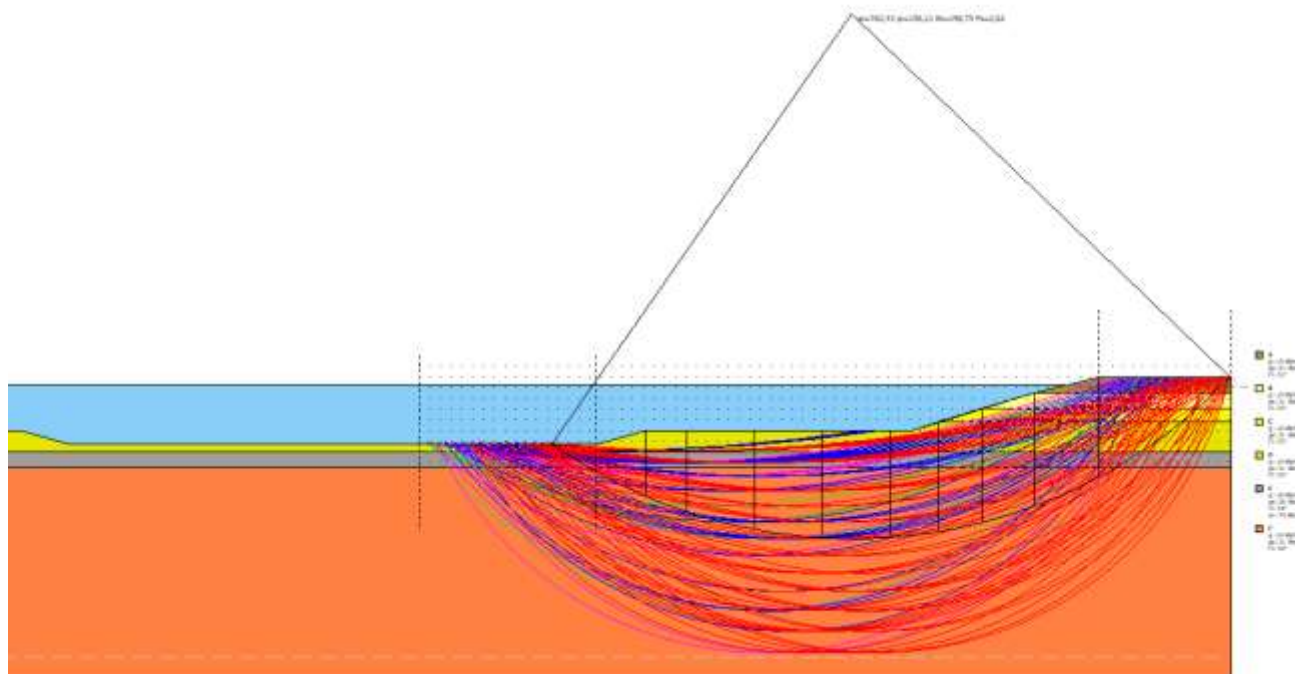


Complesso delle superfici analizzate (Tot 793) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo pari a $FS=3.88 > 1.1$)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			53	55	A.C.	AGO 2022		

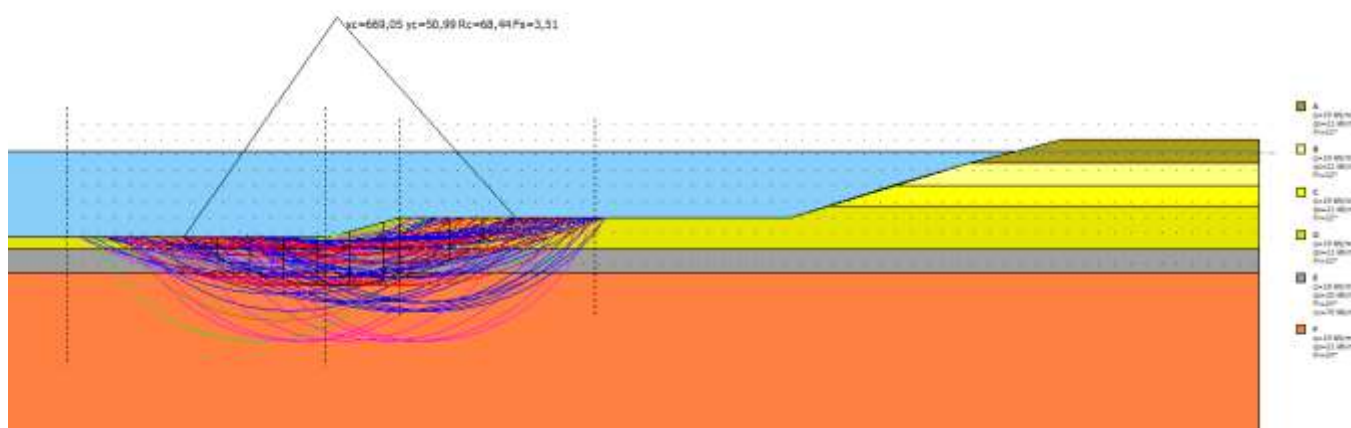
VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE SLV (SISMA VERTICALE DIRETTO VERSO IL BASSO +KV)

Verifica di stabilità sponda cava – nuovo approfondimento




Complesso delle superfici analizzate (Tot 843) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=2.61 > 1.2$)

Verifica di stabilità sponda nuovo approfondimento

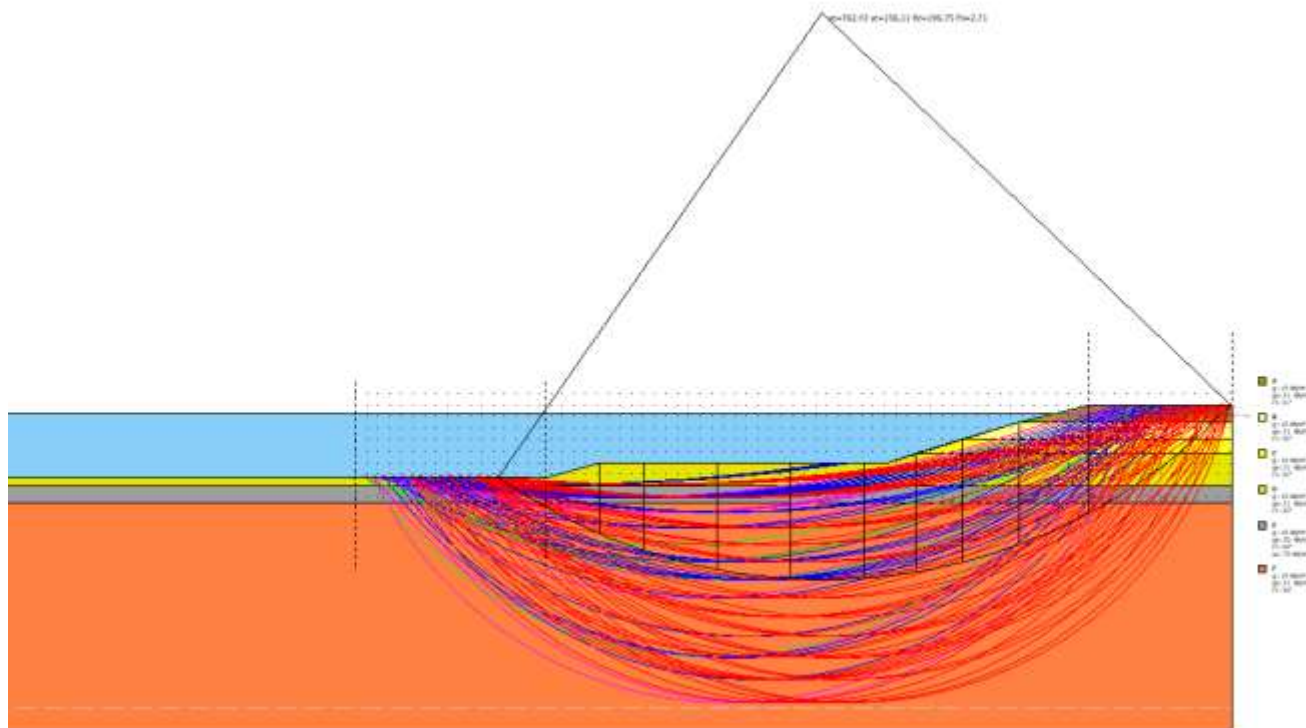


Complesso delle superfici analizzate (Tot 793) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=3.51 > 1.2$)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni			
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0			
			Doc. n°		RGT			
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data		
			54	55	A.C.	AGO 2022		

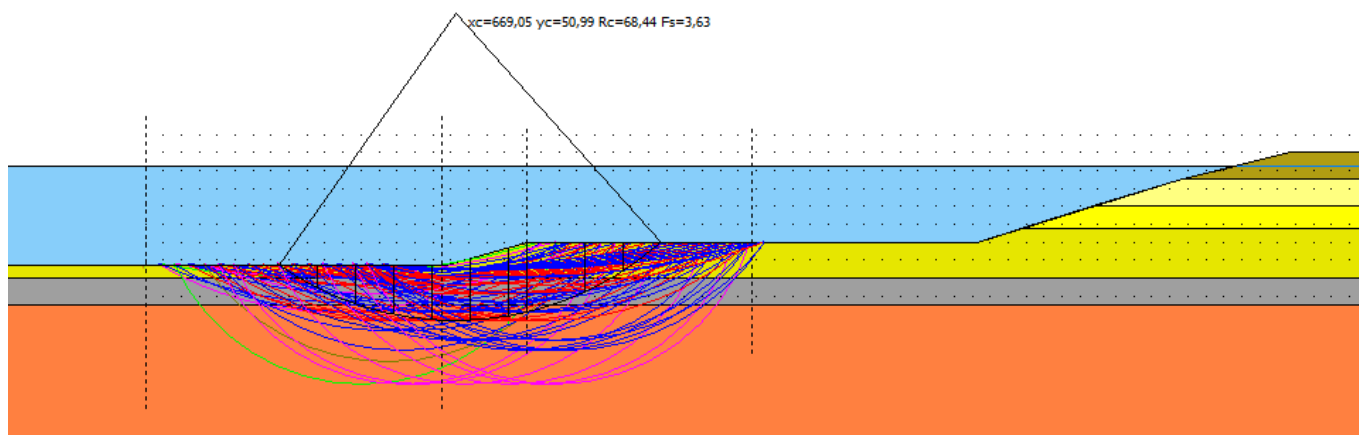
VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE SLV (SISMA VERTICALE DIRETTO VERSO L'ALTO -KV)

Verifica di stabilità sponda cava – nuovo approfondimento




Complesso delle superfici analizzate (Tot 843) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=2.71 > 1.2$)

Verifica di stabilità sponda nuovo approfondimento



Complesso delle superfici analizzate (Tot 793) (mostrata la superficie a fattore di sicurezza minimo paria $FS=3.63 > 1.2$)

 Colombi Roversi & Associati Studio di Ingegneria	Comune	FERRARA (FE)	Comm. n°		Revisioni				
	Progetto	POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE DI CASAGLIA AUTORIZZAZIONE CONVENZIONATA ALL'ATTIVITA' ESTRATTIVA Padana Escavazione Inerti S.r.l.	CRA22014		0				
			Doc. n°		RGT				
RELAZIONE GEOTECNICA, SIMICA, VERIFICHE DI STABILITA' DELLA SCARPATA DI CAVA			Fg.	Di	Compilato	Data			
			55	55	A.C.	AGO 2022			

Dai risultati delle verifiche sopra riportati risulta che la realizzazione della zona di approfondimento della cava secondo la geometria prevista (sponde 1/3.5 e approfondimento di 5 m a distanza di circa 100 m dalla sponda esistente nella parte centrale del lago di cava) non comporta effetti di potenziale innesco di instabilità delle scarpate (sia in condizioni statiche che sismiche) dia dell'approfondimento stesso, sia delle preesistenti scarpate di cava; i valori di fattore di sicurezza risultano in ogni caso superiori al limite di norma.