

REGIONE PUGLIA  
**COMUNE DI COPERTINO**

PROGETTO DI AMPLIAMENTO E MODIFICA DEL  
PIANO DI RECUPERO DELLA CAVA SITA NELLA  
LOCALITA' "LI TUMI"

p.lle 27, 28, 61 (parte), 62 (parte), 63 (parte), 65, 66, 77, 78 e  
79 del Foglio di mappa 51 del Comune di Copertino

**ELABORATO:** Stabilità fronti di scavo

*I Tecnici:*  
*Geol Francesco Quarta*

*Geol. Gianluca Selleri*

Ottobre 2025

*REV.1*

## 1 - PREMESSA

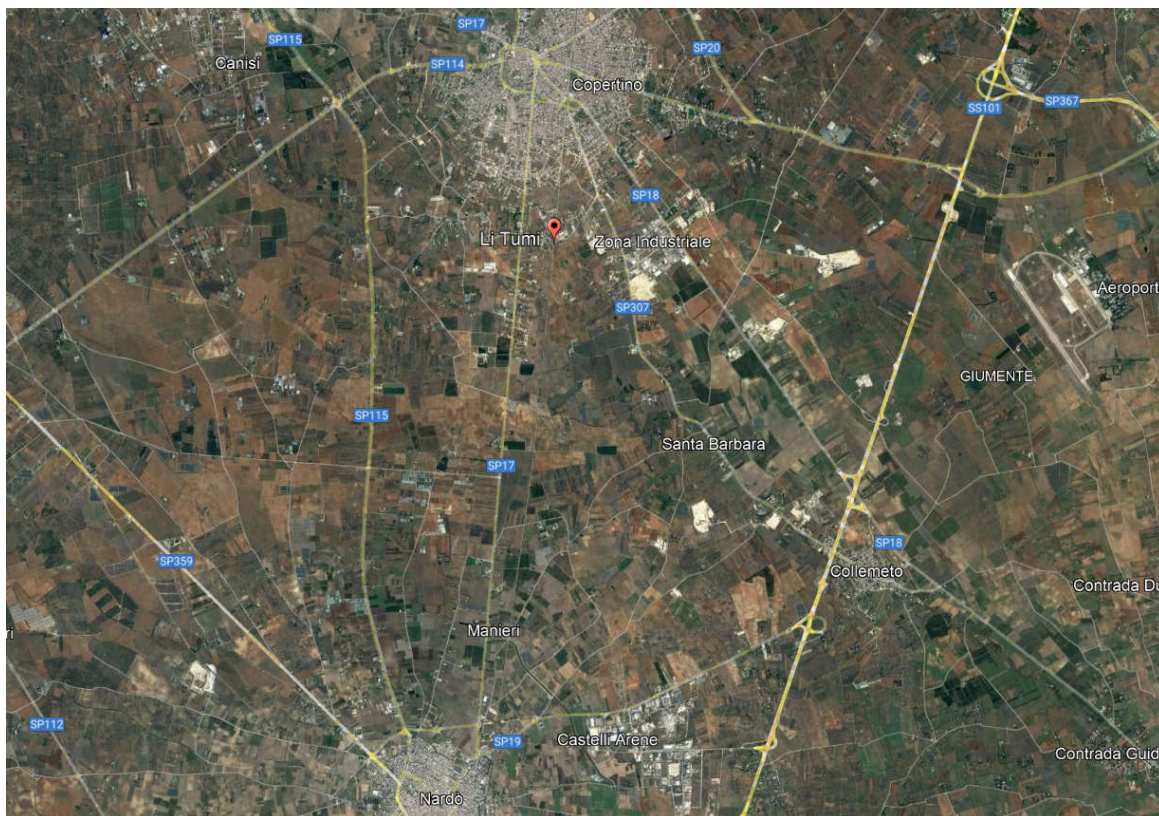
La società “La Nuova Ciccarese Costruzioni srl” con sede legale in Copertino (LE) in contrada “Li Tumi”, P.IVA 04010410753, intende ottenere l’autorizzazione all’ampliamento della coltivazione della cava di calcare sita in località “Li Tumi” e autorizzata con decreto n. 28/MIN del 18.06.1996 e successiva proroga concessa con D.D. n. 213 del 10/06/2015.

L’ Autorizzazione vigente interessa le p.lle 27, 28, 61 (parte), 62 (parte), 63 (parte), 65, 66, 77, 78 e 79 del Foglio di mappa 51 del Comune di Copertino.

L’area su cui si intende ampliare l’attività di coltivazione è adiacente a quella autorizzata ed insiste sulle particelle 61 (porzione rimanente) e 63 (porzione rimanente), 88, 23, 55, 57, 96, 56, 379, 383 del Foglio di mappa 51, tutte nella disponibilità della Ditta in forza di un comodato d’uso gratuito con il proprietario. Le particelle effettivamente coltivate saranno la 61 (porzione rimanente), 63 (porzione rimanente), 88, 23, 55, 57, 96, 56 mentre le particelle 379 e 383 saranno adibite a piazzale.

Il progetto prevede, inoltre, il successivo recupero ambientale del sito di coltivazione per parziale ritombatura e restituzione agli usi agricoli.

La cava attualmente in coltivazione e le particelle dell’ampliamento si collocano nel perimetro di un’area estrattiva dove l’attività di coltivazione è iniziata in tempi remoti come testimoniato dai numerosi e frequenti fronti scavo che interessano le campagne limitrofe oggi anche riconvertite in uliveti e come evidente anche dalla lettura della cartografia IGM in scala 1:25000.



*Fig. 1.1 – Individuazione del sito di interesse su immagine satellitare*

L'analisi della stabilità dei fronti di scavo ha riguardato due scarpate, una a gradone unico e l'altra gradonata, rappresentative delle geometrie presenti in cava e che materializzano le condizioni più critiche rispetto alle tipologie di versante che si rinvenivano nel perimetro di cava e di progetto.

La modellazione è stata eseguita con l'ausilio del programma di calcolo SLOPE, distribuito da GEOSTRU Software, ed è stata condotta quindi secondo le prescrizioni della normativa vigente, rappresentata dal D. M. 17/01/2018 "*Norme tecniche per costruzione*".

Il presente elaborato scritto grafico è stato articolato nei seguenti contenuti:

1. descrizione sommaria dei contenuti del Piano di Coltivazione;
2. planimetria quotata dello stato dei luoghi;
3. descrizione dei caratteri geologici, strutturali, idrogeologici e litotecnici del sito;
4. caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso;
5. calcolo dei parametri di resistenza a taglio dell'ammasso roccioso;

## **2 – DESCRIZIONE DELLA ATTIVITA' IN ESSERE E DEGLI OBIETTIVI PROGETTUALI**

L'attività lavorativa autorizzata, che continuerà ad essere svolta anche sull'area in ampliamento, consiste nell'estrazione e frantumazione di pietra calcarea in forza del decreto n. 28/MIN del 18.06.1996 sulle particelle 27, 28, 61 (parte), 62 (parte), 63 (parte), 65, 66, 77, 78 e 79 del Foglio 51 per una superficie complessiva di Ha 8.00.00 e per la durata complessiva di anni 14 (considerando anche l'ultimo anno dedicato esclusivamente al completamento del recupero ambientale del sito). Questa prima autorizzazione è stata prorogata con D.D. n. 69 del 19/05/2009 del Servizio Attività estrattive della Regione Puglia fino al 2012; ad oggi l'attività è in esercizio in forza della autorizzazione alla proroga concessa con D.D. n. 213 del 10/06/2015. Per intervenuto cambiamento della ragione sociale, con la Determinazione Dirigenziale del Settore Area Politiche per l'ambiente, le Reti e la Qualità Urbana – Servizio Attività Estrattive n. 69 del 19/05/2009 e relativa Autorizzazione/Voltura n. 348 del 7/8/2012 l'attività è stata anche trasferita alla ditta “La Nuova Ciccacese Costruzioni S.r.l.”

In ultimo, con Determinazione N. 452 del 21.12.2022 del DIPARTIMENTO AMBIENTE, PAESAGGIO E QUALITA' URBANA SEZIONE AUTORIZZAZIONI AMBIENTALI SERVIZIO VIA e VIncA della regione Puglia ha escluso la cava in oggetto dalla procedura di Valutazione di impatto Ambientale ex art. 29 co.3 del D. Lgs. 152/2006 e smi,.

La originaria autorizzazione alla coltivazione prevedeva lo sfruttamento del giacimento sino alla profondità di 30 m dal piano campagna circostante, cioè sino ad una quota di circa di 4 m slm, che si traduce in un franco dalla superficie piezometrica della falda profonda di meno di 2 m. Tale franco, in base ai regolamenti intervenuti negli anni successivi, è stato considerato insufficiente a garantire un'adeguata protezione della falda rispetto a eventuali sversamenti di sostanze inquinanti. Pertanto, con parere rilasciato dall'Autorità di Bacino Puglia con nota in atti n. 2383/A.ES del 21.04.2009, è stato prescritto alla Ditta di limitarsi, nei settori non ancora scavati, alla profondità corrispondente alla quota di 12 m slm (-21 m circa dal p.c.), mentre dove tale quota risultava già essere stata superata, di avviare l'attività di recupero –e adeguare il relativo Piano-, con la ricostituzione di uno strato di “terre e rocce da scavo” e terreno vegetale sino al raggiungimento della quota prescritta. L'Adeguamento del Progetto di Recupero del fondo cava alle prescrizioni dell'AdB Puglia è stato autorizzato con Atto Dirigenziale n. 87 del 30/04/2014 del Settore Area Politiche per lo Sviluppo Economico, il Lavoro e l'Innovazione – Servizio Attività Economiche Consumatori.

L'attività estrattiva, attualmente, procede con la formazione di piani discendenti delimitati da fronti alti mediamente circa 4-5 m con inclinazione di circa 70° e dunque con la realizzazione di scarpate a gradoni collegati da rampe transitabili con mezzi pesanti, e aventi una pendenza di circa 9°. Tutta l'area interessata dall'estrazione è delimitata e recintata e provvista di opportuna segnaletica.

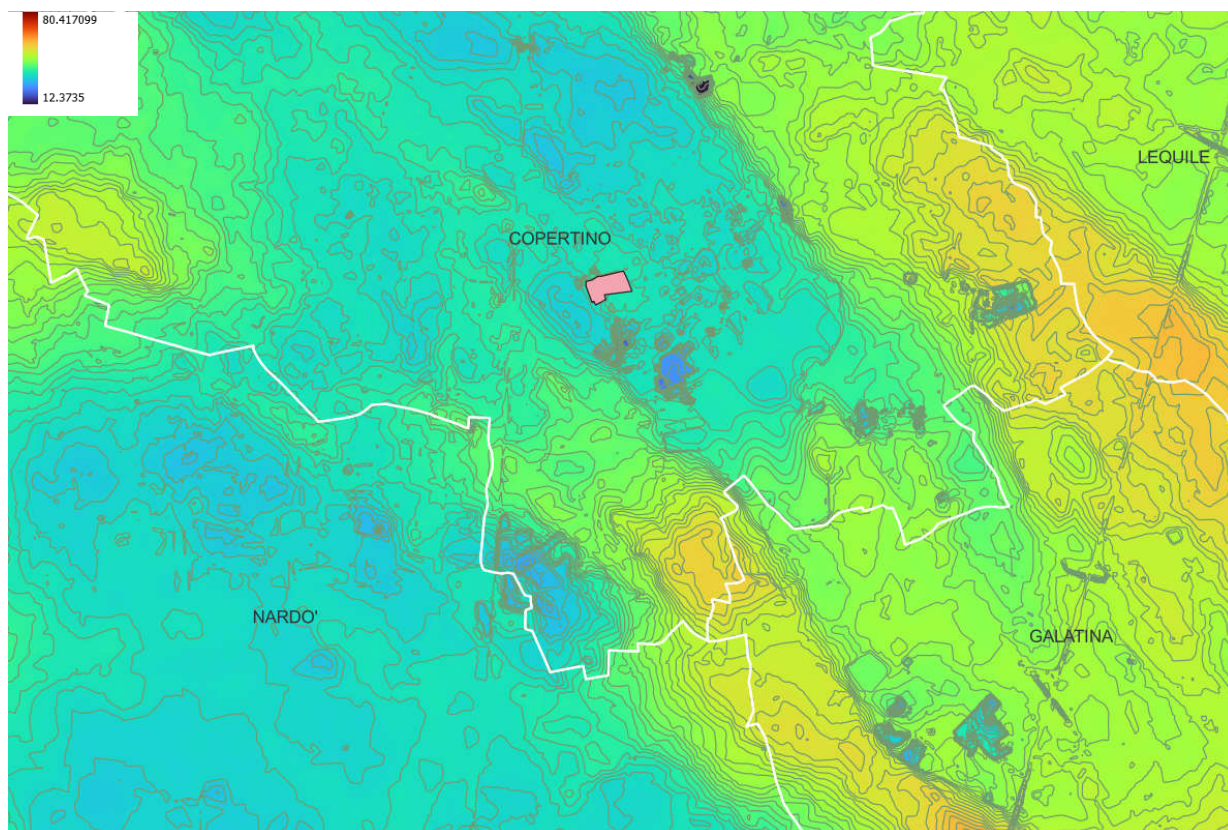
La coltivazione del giacimento avviene con l'uso di escavatore o martellone che provvedono all'estrazione dei blocchi calcarei ed alla loro riduzione volumetrica. Tale materiale viene poi caricato su camion a cassone ribaltabile con l'ausilio di pale meccaniche per il trasporto fino al frantoio primario ubicato in cava per la frantumazione nelle pezzature: Sabbia, Breccia, Graniglia, Breccione 30/40, Breccione 40/70. Il materiale prodotto è immesso interamente in commercio come inerti frantumati. Rispetto all'attività già svolta l'ampliamento di progetto è funzionale a permettere una coltivazione più razionale del giacimento (anche grazie all'abbassamento dell'alzata dei fronti di cava realizzati con il primo progetto di coltivazione autorizzato con decreto n. 28/MIN del 18.06.1996) e consente di estendere l'attività già in essere su un periodo di tempo più ampio al fine di consolidare gli investimenti economici già realizzati dalla società e di pianificare e sviluppare gli investimenti futuri. L'ampliamento garantirà sia la produzione, quale condizione indispensabile per l'attività industriale in essere, sia la realizzazione delle opere indispensabili per una coltivazione razionale del giacimento.

6. analisi della pericolosità sismica di base sito-specifica;
7. analisi della stabilità dei fronti di cava.



### 3 - CARATTERI GEOMORFOLOGICI, GEOLOGICO-STRATIGRAFICI E ALTIMETRICI DEL SITO

L'area vasta in cui ricade la cava di interesse corrisponde ad un'ampia fascia di territorio salentino compresa tra gli abitati di Copertino, Nardò e Collemeto. Questo settore si presenta sostanzialmente piatto sotto l'aspetto altimetrico e caratterizzato da una generale e alquanto blanda pendenza dal quadrante di SE a quello di NW; le quote topografiche sono comprese tra 50 e 30 m slm (Fig. 3.1).



*Fig. 3.1 – Caratteri altimetrici del territorio*

Il Salento leccese è il settore emerso più meridionale dell'avampaese apulo ed è costituito da un potente substrato carbonatico, rappresentato dalla successione calcareo-dolomitica mesozoica della Piattaforma Apula ricoperta discontinuamente da diverse unità carbonatiche neogeniche. Su questo substrato poggiano estese ma sottili coperture marine prevalentemente terrigene (sabbie, limi ed argille) riferibili al Pleistocene medio – superiore.

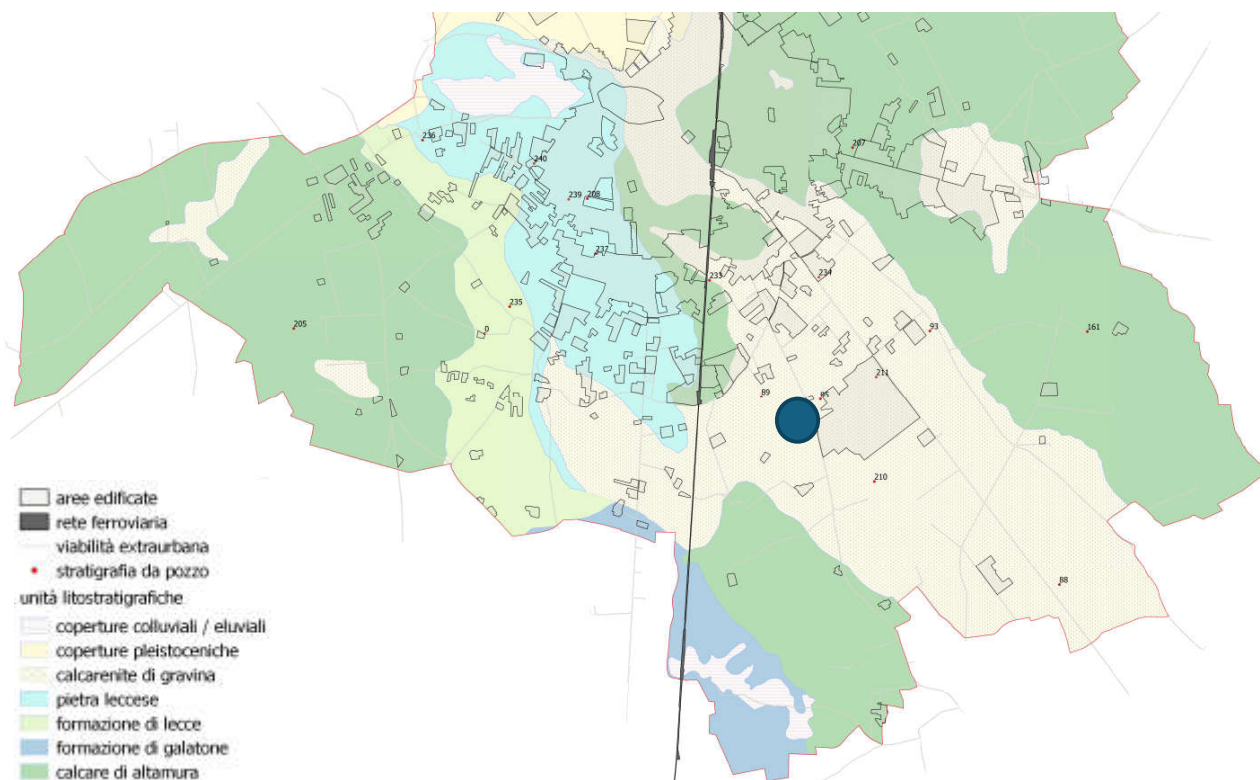
Da un punto di vista strutturale la parte leccese della penisola è caratterizzata dalla presenza di basse dorsali, allungate in direzione NW-SE o NNW-SSE, corrispondenti ad “alti” morfostrutturali dove affiorano le rocce più antiche, che delimitano strette depressioni tettoniche e morfologiche dove invece affiorano le unità più recenti. Il territorio di Copertino ricade proprio in una di queste depressioni tettoniche; essa ha una scarsa evidenza morfologica ed altimetrica ma è chiaramente riconoscibile sotto l'aspetto tettonico per la presenza di due alti strutturali e di una zona centrale corrispondente ad un basso strutturale, contraddistinta dall'affioramento di unità molto recenti (del Pleistocene inferiore e medio). In ragione di questo particolare assetto la serie geologica affiorante nei limiti del territorio

comunale è rappresentata da distinte unità ascrivibili globalmente ad un intervallo temporale compreso tra il Cretaceo superiore ed il Pleistocene medio durante il qual si sono succedute distinte fasi di sedimentazione e tettoniche.

Dalla più antica alla più recente le unità che si rinvencono in affioramento od anche solo nel sottosuolo sono rappresentate da:

- Calcare di Altamura (Cretaceo superiore)
- Formazione di Galatone (Oligocene)
- Formazione di Lecce (Oligocene – Miocene inferiore)
- Pietra leccese (Miocene medio - superiore)
- Calcareni di Gravina (Pleistocene inferiore)
- Depositi terrigeni del Pleistocene medio

Le aree di affioramento di queste unità litostratigrafiche sono state perimetrate in Fig. 3.2



*Fig. 3.2 – Carta geologica del settore centrale e meridionale del territorio comunale di Copertino*

Con riferimento specifico al sito di interesse si rileva che nel tratto alto dei fronti di escavazione esistenti (fino mediamente alla profondità di 5 m dal p.c.) affiorano calcareniti ascrivibili alla Calcareni di Gravina, rappresentate specificatamente da calcari detritico-organogeni di colore giallastro e di granulometria arenitica grossolana, porosi e variamente cementi. Al fondo cava e nella porzione bassa dei fronti di escavazione, mediamente a 10 m di profondità rispetto al p.c., affiorano invece calcari grigiastri ascrivibili alla formazione del Calcare di Altamura.

## Calcare di Altamura

I terreni riferibili alla Formazione del Calcare di Altamura affiorano estesamente nella porzione orientale e occidentale del territorio comunale e si rinvencono ubiquitariamente nel sottosuolo. La formazione è rappresentata da una successione irregolare e ben stratificata di calcari micritici di colore bianco, di norma con strutture a lamine organiche (stromatoliti) e sedimentarie, di calcari dolomitici e dolomie calcaree di colore grigiastro e subordinatamente di dolomie di colore nocciola o anche nerastro. Tale successione è esposta per alcune centinaia di metri ma di fatto è notevolmente più potente rappresentando la parte alta della successione carbonatica giurassico – cretacea che costituisce l'ossatura del substrato geologico regionale.

In seno alla successione, localmente, sono presenti dei sottili livelli di argille residuali e di brecce che marcano delle superfici di emersione ed erosione più o meno estese.

Gli strati hanno una potenza compresa tra il decimetro ed il metro. I macrofossili sono rari; l'associazione microfossilifera è invece abbondante e rappresentata da prevalenti foraminiferi bentonici (*Accordiella conica*, *Murciella cuvillieri*, *Moncharmonia apenninica*, *Raadshowenia selentina*, *Raphydionina liburnica*), ostracodi e oftalmidi. Questa associazione fossilifera e l'assenza di detrito grossolano suggeriscono un ambiente di sedimentazione di bassa energia di piana intertidale con associate paludi algali (piattaforma carbonatica interna). Sulla base del contenuto paleontologico la successione può essere riferita al Campaniano (Bosellini & Parente, 1994). Il limite inferiore della unità non affiora; il limite superiore è inconforme, discordante con le unità più recenti.

L'unità sopra descritta corrisponde in parte al Calcare di Melissano di Bosellini & Parente (1994). Non esiste piena corrispondenza, inoltre, anche tra la denominazione utilizzata in questo lavoro e quella di Calcare di Melissano proposta da Martinis (1969) e ripresa dagli autori della Carta Geologica d'Italia, con la quale è indicata la porzione prevalentemente calcarea della successione carbonatica giurassico – cretacea affiorante sul territorio salentino.

## Calcarenite di Gravina

I terreni riferibili alla Calcarenite di Gravina poggiano direttamente sul substrato cretaceo o sulla successione miocenica. Affiorano estesamente immediatamente a SW dell'area di intervento. L'unità è localmente rappresentata da calcari detritico-organogeni di colore bianco o giallastro, di granulometria variabile da arenitica grossolana a siltitica, porosi, variamente cementati e a luoghi fossiliferi, cui si intercalano lenti e strati di sabbie siltose calcareo-marnose giallastre con abbondanti noduli diagenetici. Il contenuto macrofossilifero è abbondante e contraddistinto dalla presenza dei così detti “ospiti nordici” che ne permettono la chiara attribuzione, almeno nei limiti del territorio salentino, al Pleistocene inferiore. Nei limiti del settore rilevato la potenza massima di questa unità non è superiore a 15 -20 m.



La denominazione di Calcarenite di Gravina, almeno nei limiti della penisola salentina corrisponde alla Calcarenite del Salento di Bossio et alii, 1987. Anche sulla Carta Geologica d'Italia è usata la denominazione di Calcarenite del Salento ma con riferimenti cronologici al Quaternario, al Calabriano e anche al Pliocene; tale denominazione, tuttavia, almeno nel suo significato originale non ha più ragione di essere utilizzata.

Sotto il profilo idrogeologico ed idrostrutturale si rileva che:

- la cava di interesse ricade in un settore di territorio comunale dove è presente il solo acquifero di base e di conseguenza l'unico livello idrico presente è quello comunemente denominato “falda di base” o “falda carsica”
- la piezometrica della falda carsica si attesta tra 1,4 m e 1,5 m slm
- la falda carsica circola in pressione ed è confinata sotto il livello del mare; il tetto dell'acquifero si rinviene infatti tra 5 e 10 m al di sotto del livello del mare
- il deflusso della falda carsica avviene da SE a NW.

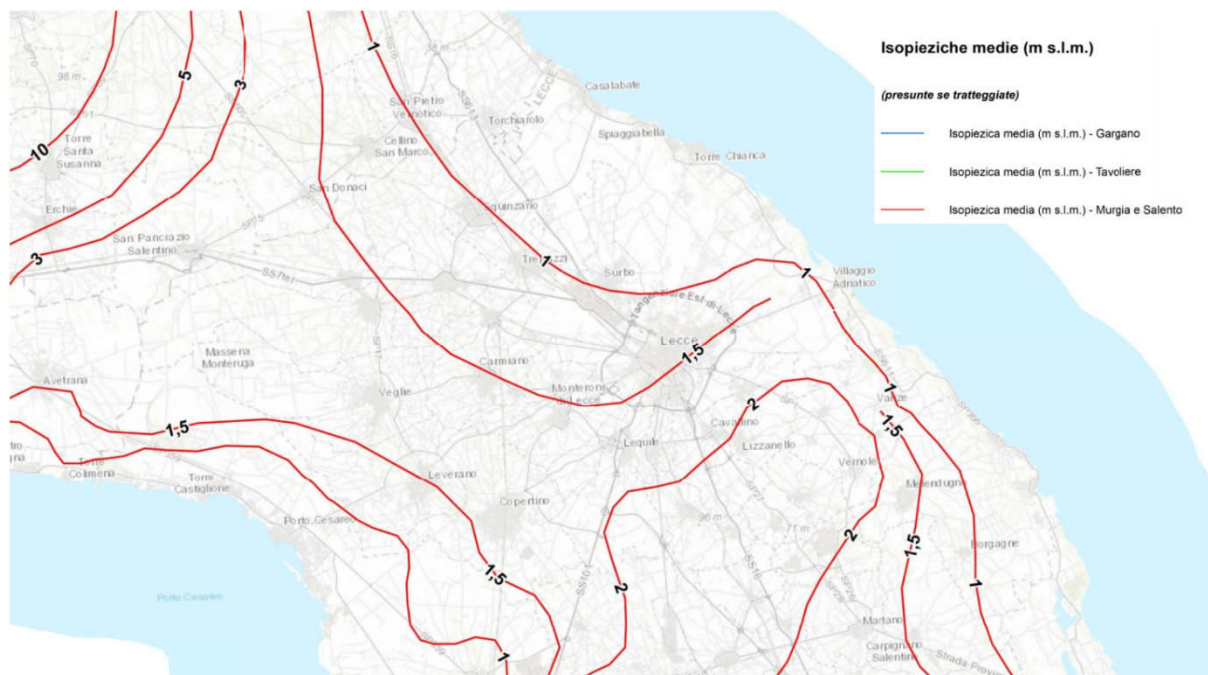
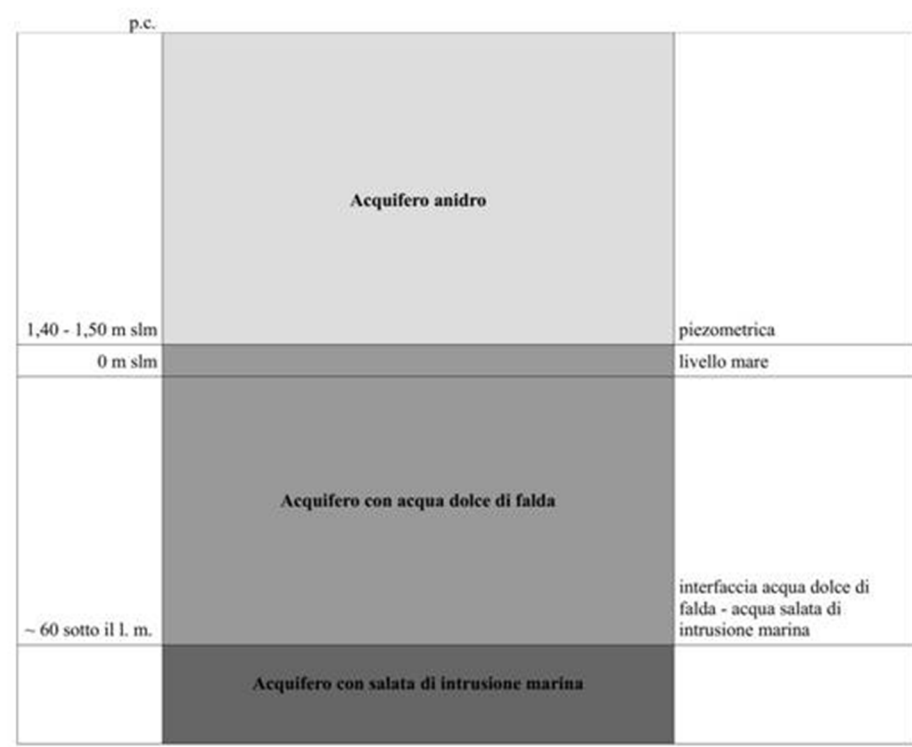


Fig. 3.3 - Isopieze della falda profonda (stralcio del PTA – 2° Ciclo)



*Fig. 3.4 - Sezione idrogeologica schematica*

#### 4 - CARATTERI LITOTECNICI

La stratigrafia di dettaglio dei luoghi di interesse la si evince in modo chiaro ed evidente dalla osservazione diretta dei fronti della cava in coltivazione:

- da 0,00 metri sino alla prof di 5,00 metri circa dal p.c.: Calcareniti porose tenere ("Calcareniti di Gravina")
- da 5,00 mt dal p.c e sino alla quota d'interesse: Calcari, calcari dolomitici, dolomie ("Calcarea di Altamura").

La formazione calcareo-dolomitica cretacea presenta valori elevati di permeabilità secondaria dovuti alla fratturazione e al carsismo. Mediamente tali valori sono nell'ordine dei  $10^{-4}$  m/s, ma possono essere molto più elevati e, di contro, molto inferiori laddove questi fenomeni sono ridotti o quasi assenti. Altra caratteristica è la marcata anisotropia, con valori di permeabilità anche molto diversi nelle tre direzioni dello spazio.

Ad una mancanza di acque superficiali fa riscontro, in profondità, la presenza di abbondanti acque sotterranee riferibili alla cospicua falda idrica, ospitata all'interno del Complesso Calcareo, e denominata Falda profonda.

Secondo quanto riportato da: V. Cotecchia, G. Calò, G. Spilotro in "Caratterizzazione Geolitologica e Tecnica delle Calcareniti Pugliesi, 1985, esistono sostanziali differenze tra le caratteristiche tecniche del campione e quelle dell'ammasso roccioso dovute principalmente a variazioni, all' interno dello stesso ammasso, di:

- grado di cementazione,
- grado di alterazione,
- granulometria,
- presenza di discontinuità sinsedimentarie e postsedimentarie,

Si può comunque far riferimento ai valori medi riportati nell'opera citata, assimilando le calcareniti affioranti a quelle del gruppo "T":

- Peso specifico reale:	2,71 t/m <sup>3</sup>
- Peso specifico totale:	1,55 t/m <sup>3</sup>
- Porosità:	42 %
- Resistenza a compr. (w naturale):	350 t/m <sup>2</sup>
- Resistenza a compr. (w saturo):	200 t/m <sup>2</sup>

È opportuno rimarcare ancora che tali valori rappresentano una media e che le deviazioni standard sono talora molto elevate e, inoltre rappresentano dei valori significativi solo alla scala del provino di laboratorio.

L'ammasso roccioso principalmente interessato dalla coltivazione è quello calcareo dolomitico cretaceo. Le rocce calcaree, sotto il profilo geotecnico, offrono in generale delle ottime caratteristiche meccaniche in termini di resistenza e deformabilità.

Tali rocce possono essere classificate, in base alla loro resistenza alla compressione monoassiale, in un intervallo compreso tra rocce estremamente deboli ed estremamente resistenti.

Per la caratterizzazione litotecnica dei calcari affioranti lungo i fronti di scavo si è ritenuto opportuno fare ricorso alla classificazione geomeccanica o RMR System proposta da Bieniawski (1989) ed al criterio di rottura generalizzato di Hook e Brown (2002). Tali metodi sono stati sviluppati sulla scorta dei risultati delle indagini geosismiche in situ e di laboratorio geotecnico eseguite su campioni rocciosi prelevati dalle carote di sondaggio (vedi report allegati). Le valutazioni qualitative e quantitative sullo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso derivano da osservazioni dirette eseguite in corrispondenza di due affioramenti rocciosi prossimi all'area di interesse.

La classificazione RMR System (Rock Mass Rating System) suddivide gli ammassi rocciosi in cinque classi di appartenenza dandone un giudizio sintetico sulle caratteristiche meccaniche (qualità dell'ammasso roccioso variabile da molto scadente ad eccellente) in funzione del valore assunto dal parametro RMR. Ad ogni classe è possibile associare dei valori caratteristici dei parametri geomeccanici (angolo di attrito, coesione e modulo elastico).

Il valore di RMR si ottiene dalla somma algebrica dei punteggi assegnati, secondo le indicazioni riportate nelle tabelle sottostanti, ai seguenti parametri:

- Resistenza a compressione monoassiale o indice di resistenza al point load test,
- Rock quality designation (RQD),
- Spaziatura delle discontinuità,
- Condizioni delle discontinuità,
- Condizioni dell'acqua nel sottosuolo,
- Orientazione della discontinuità.

La somma dei punteggi assegnati ai primi cinque parametri definisce il BRMR o Basic Rock Mass Rating. Si riportano nel seguito le tabelle proposte da Bieniawski sulla base delle quali effettuare la classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi.

Parametri			Intervalli dei valori				
	Resistenz a della roccia	Resistenza al Point load test (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	È preferibile prova a compress. monoass.

A1	intatta	Resistenza a compress. monoassiale (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Punteggio		15	12	7	4	2	1	0
A2	RQD		90-100%	75-90%	50-70%	25-50%	<25%		
	Punteggio		20	17	13	8	3		
A3	Spaziatura delle discontinuità		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Punteggio		20	15	10	8	5		
A4	Condizioni delle discontinuità		Superfici molto scabrose	Superfici scabrose	Superfici poco scabrose	Superfici lisce oppure riempiment o argilloso di spessore <5 mm oppure discontinuit à persistenti apertura da 1- 5 mm	Riempiment o di argilla di spessore >5 mm oppure discontinuità persistenti apertura > 5 mm		
			Discontinuità chiuse e non continue	Apertura delle discontinuit à < 1mm	Apertura delle discontinuit à <1 mm				
			Pareti asciutte	Pareti umide	Pareti bagnate				
	Punteggio		30	25	20	10	0		
A5	Acqua nel sottosuolo	Venute d'acqua in 10 m di galleria (L/min)	nessuna	<10	10-25	25-125	>125		
		(Pressione nei giunti) / (tensione princ. max.)	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	<0,5		
		Condizioni generali della roccia	completamente asciutto	umida	bagnata	stillicidi	venute d'acqua		
	Punteggio		15	10	7	4	0		

Tabella 1 - Coefficienti numerici dei parametri della classificazione (Tabella A - Bieniawski)

Direzione ed immersione delle discontinuità		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Punteggio A6	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Frane	0	-5	-25	-50	-60

Tabella 2 - Compensazione in base all'orientamento dei giunti (Tabella B – Bieniawski)



Somma dei punteggi (RMR)	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione della roccia	Molto buona	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente

Tabella 3 - Classi di roccia (Tabella C – Bieniawski)

Classe	I	II	III	IV	V
Tempo medio di autoportanza	20 anni	1 anno	1 settimana	10 ore	30 minuti
Lunghezza max di scavo stabile	15 m	10 m	5 m	2,5 m	1 m
Coesione dell'ammasso (kPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Angolo di attrito interno (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

Tabella 4 - Caratteristiche geomeccaniche (Tabella D – Bieniawski)

Classe	I	II	III	IV	V
Lunghezza della discontinuità	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
punteggio	6	4	2	1	0
Separazione	Nessuna	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
punteggio	6	5	4	1	0
Scabrosità	Molto scabrosa	Scabrosa	Poco scabrosa	Liscia	Molto liscia
punteggio	6	5	3	1	0
Riempimento	Nessuno	Duro con spessore <5 mm	Duro con spessore >5 mm	Soffice con spessore <5 mm	Soffice con spessore >5 mm
punteggio	6	4	2	2	0
Condizioni d'acqua	Asciutta	Umida	Moderatamente bagnata	Bagnata	Molto bagnata
punteggio	6	5	3	1	0

Tabella 5 - Linee guida per la classificazione delle discontinuità (Tabella E – Bieniawski)

Scavo perpendicolare all'asse del tunnel		Scavo parallelo all'asse del tunnel	
Concorde con il verso di avanzamento Inclinazione 45-90°	Concorde con il verso di avanzamento Inclinazione 20-45°	Inclinazione 45-90°	Inclinazione 20-45°
Molto favorevole	Favorevole	Molto sfavorevole	Discreto

Discorde con il verso di avanzamento Inclinazione 45-90°	Discorde con il verso di avanzamento Inclinazione 20-45°	Inclinazione 0-20° indipendente dalla posizione dello scavo
Discreto	Sfavorevole	Discreto

Tabella 6 - Valutazione degli effetti dell'orientamento della discontinuità sulla stabilità dello scavo  
(Tabella F – Bieniawski)

Nella tabella seguente si riportano i valori dei parametri della classificazione di Bieniawski :

	<i>Parametro</i>	<i>Valore</i>	<i>Punteggio</i>
A1	Resistenza a comp. monoassiale	25 MPa	4
A2	RQD	50 - 70%	13
A3	Spaziatura	60÷200 mm	8
A4	Lunghezza	1-3 m	4
	Separazione	<0,1 mm	5
	Scabrosità	Liscia	1
	Riempimento	Nessuno	6
	Condizioni d'acqua	Asciutta	6
A5	Acqua nel sottosuolo	Completamente asciutto	15
<i>BRMR</i>			62
A6	Direzione ed immersione delle discontinuità	Discreto	-25
<i>RMR</i>			37

Secondo Bieniaswki i parametri geomeccanici caratteristici dell'ammasso roccioso sono ottenibili attraverso le seguenti relazioni:

$$\varphi(^{\circ}) = 5 + \frac{BRMR}{2}$$

$$c(MPa) = 0,005 * BRMR$$

$$E(GPa) = 10^{\frac{BRMR-10}{40}}$$

Sostituendo i valori di BRMR calcolati in precedenza si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

Parametro	
BRMR	60
$\phi (^{\circ})$	37
c (MPa)	0,3

E(GPa)	17,8
--------	------

Tabella 7 – Parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso

Per la caratterizzazione litotecnica dell'ammasso roccioso sono state anche realizzate indagini geofisiche sono consistite in 2 basi sismiche ubicate come riportato nella successiva figura su ognuna delle quali è stato realizzato un sondaggio a rifrazione in onde P ed una indagine MASW.

Il metodo di esplorazione sismica del sottosuolo è una tecnica di indagine geofisica non invasiva utilizzata per finalità di tipo litostratigrafico e per la caratterizzazione delle proprietà elastiche dei terreni.

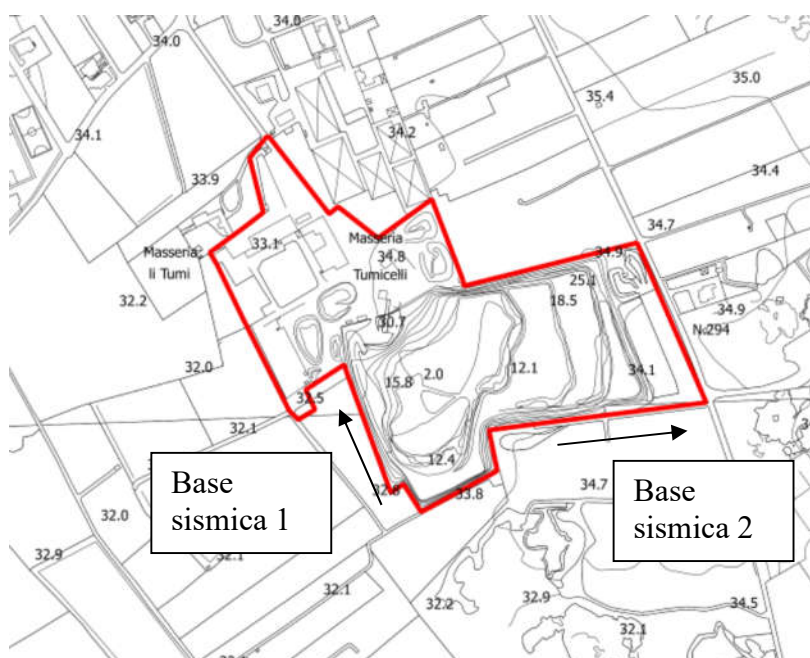


Fig. 4.1 -Ubicazione basi sismiche

Questo metodo sfrutta la propagazione delle onde meccaniche nel sottosuolo; la tecnica di base consiste nel generare delle onde meccaniche mediante sorgenti poste in punti opportunamente scelti sulla superficie topografica e nel misurare i tempi impiegati dalle perturbazioni elastiche per raggiungere i geofoni, anch'essi opportunamente posizionati sulla superficie topografica.

L'esplorazione sismica eseguita con il metodo della rifrazione si basa sull'analisi del tempo d'arrivo dell'onda diretta e delle onde di testa; queste ultime sono onde rifratte che si determinano nel caso in cui la velocità di propagazione delle onde è crescente con la profondità quando l'angolo di incidenza è critico. Nello specifico è stata utilizzata la tecnica della rifrazione in onde P.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) invece è una tecnica di indagine che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs.

Questo metodo sfrutta il fenomeno della dispersione delle onde di superficie (Reyleigh e Love); queste vengono registrate durante la loro propagazione lungo lo stendimento di geofoni e sono

successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La teoria del metodo parte dalla considerazione che nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

L'intero processo di indagine comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (sul grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza), l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Le due basi sismiche utilizzate per i sondaggi hanno entrambe lunghezza di 52,5 m e sono state coperte con 22 geofoni verticali da 4,5 Hz della SARA electronic instruments spaziate di 2,5 m; le due basi sono ubicate come riportato in Tavola 1.

L'energizzazione è stata sempre effettuata con una mazza da 5 kg ed una piastra di metallo mentre la registrazione dei segnali è stata effettuata con un sismografo DoReMi della SARA electronic instruments.

Questo è una strumentazione a trasmissione digitale del segnale che garantisce la massima flessibilità di utilizzo in tutte le indagini geofisiche, concepito con una architettura innovativa.

Il sismografo modulare è, infatti, distribuito lungo il cavo sismico e la strumentazione è quindi costituita da più unità indipendenti, ognuna contenente tutta l'elettronica necessaria, distribuite lungo tutto lo stendimento e controllate attraverso un pc.

Per l'elaborazione dei dati di sismica a rifrazione è stato utilizzato il software Easy Refract.

I risultati delle indagini svolte sono stati restituiti in 2D come sezioni multistrato e come mappe di velocità; questo ultimo metodo in particolare ha permesso di ottenere un'immagine in sezione del sottosuolo in termini di variazione del valore di Vp (rispetto alla classica rappresentazione di sezioni multistrato, ognuno caratterizzato da uno specifico valore di Vp, questa tecnica permette di individuare, con un maggiore potere risolutivo, anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche offrendo la possibilità di ricostruire geometrie complesse del sottosuolo non risolvibili con i metodi tradizionali di interpretazione e restituzione).

L'operazione di picking è stata preceduta dal filtraggio delle tracce acquisite.

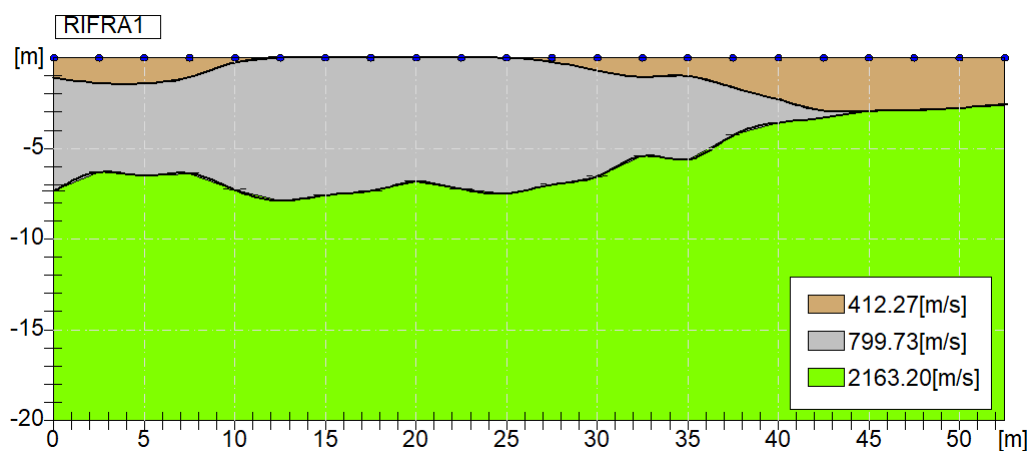
I dati MASW sono stati elaborati con i software GEOPSY e DINVER con la finalità di determinare attraverso il profilo di velocità delle onde di taglio Vs sia la geometria 1D del sottosuolo che anche il tipo di suolo secondo le normative tecniche nazionali ed internazionali.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti

#### *Base sismica 1 - sondaggi RIFRA1 e MASW1*

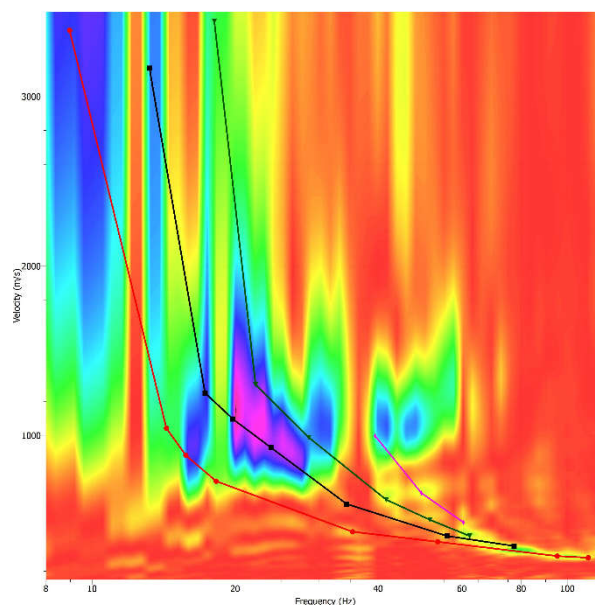
Il sondaggio a rifrazione è stato realizzato con 5 punti di energizzazione posizionati rispettivamente a -5 e +5 m rispetto al primo ed all'ultimo geofono e tra il 5° ed il 6° geofono, tra i geofoni 11 ed il 12 e tra i geofoni 17 e 18. Si riporta di seguito il modello di sottosuolo che è stato ottenuto dall'elaborazione delle registrazioni espresso come sezione 2D multistrato.

Per il sondaggio MASW l'energizzazione è stata effettuata a + 12,5 m dall'ultimo geofono ed il segnale è stato registrato per 2 secondi.



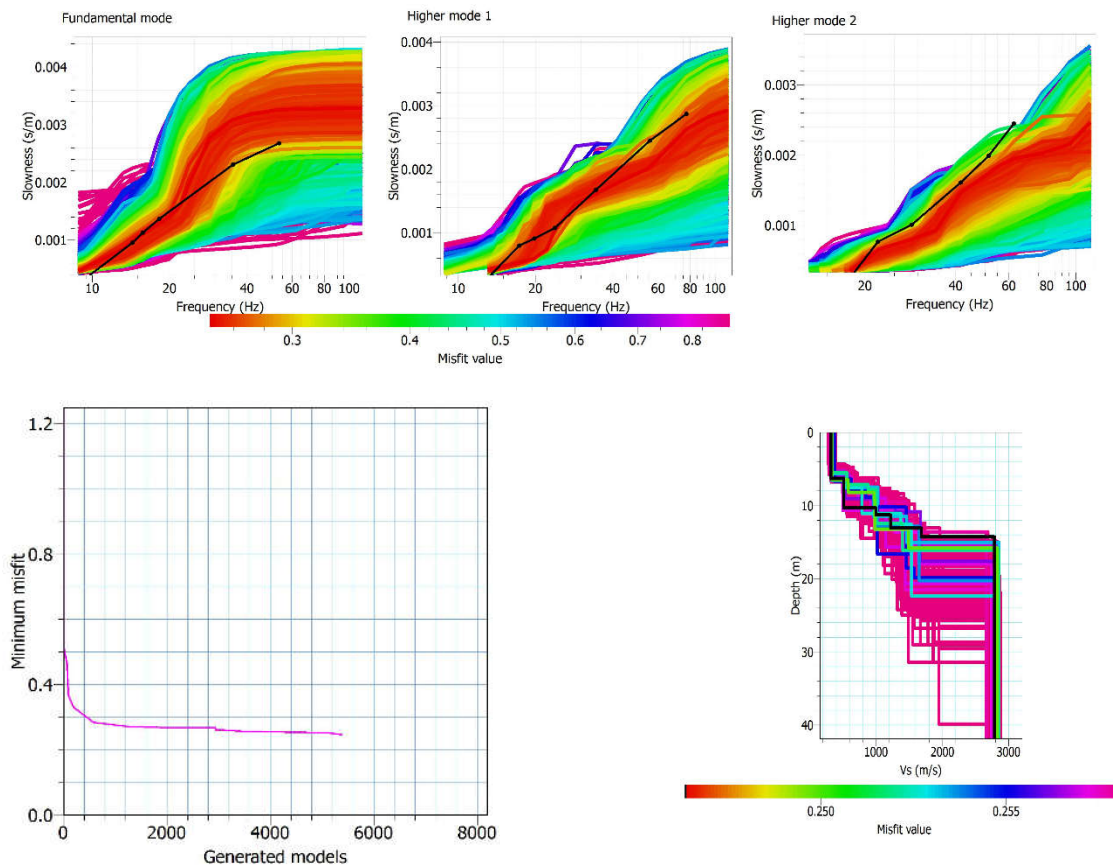
Il processamento è stato effettuato tuttavia solo sul primo secondo di registrazione.

L'elaborazione della traccia ha permesso di ottenere il seguente grafico "Velocità di fase – frequenza" su cui sono stati individuate le curve di dispersione sperimentali relative al modo fondamentale (punti rossi), primo superiore (punti neri), secondo superiore (puntini verdi) e terzo superiore (puntini fucsia).

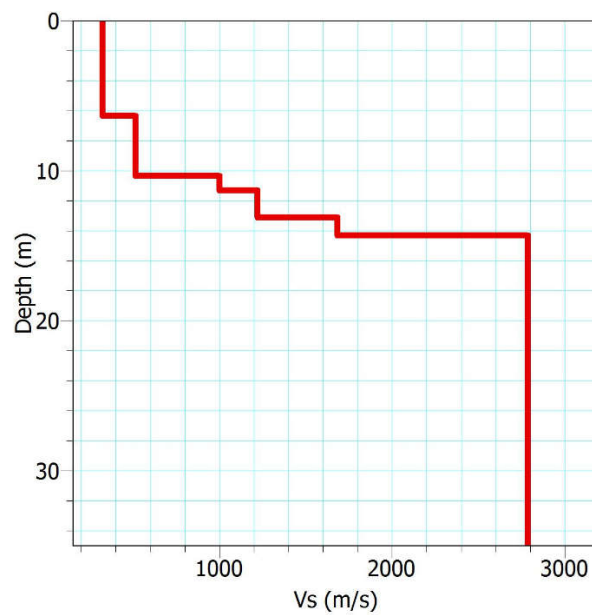




Si riportano di seguito le curve teoriche ottenute con il software DINVER (modo fondamentale, primo e secondo superiore) e il grafico relativo all'andamento del misfit nella ricerca del modello di sottosuolo migliore.



Il modello di sottosuolo caratterizzato dal misfit minimo (0,246436) è riportato di seguito

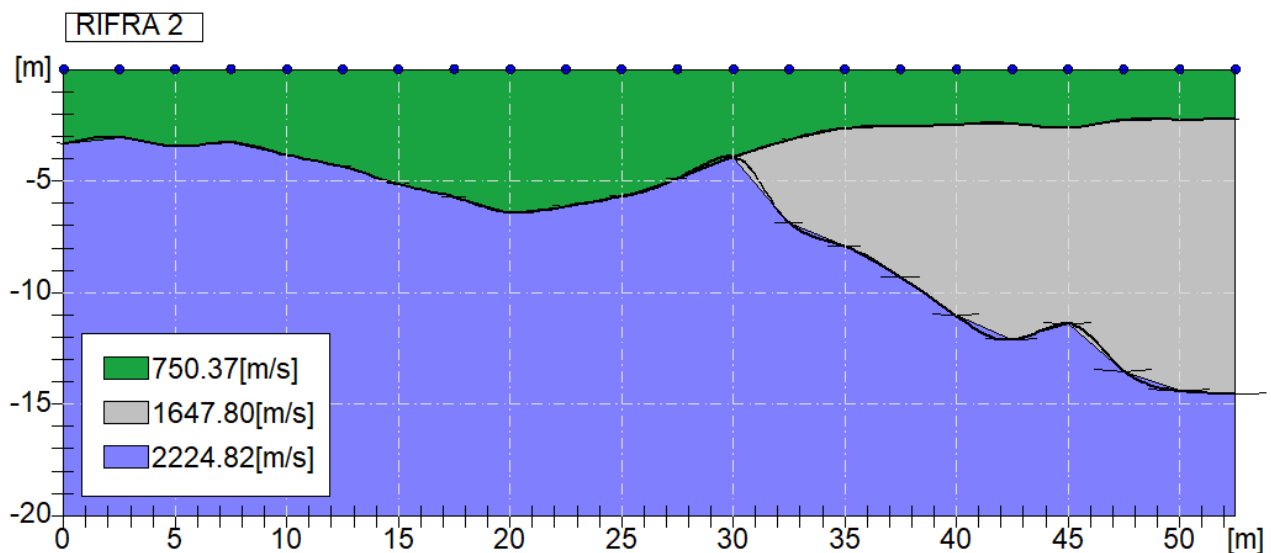


Vs dello strato (m/sec)	Profondità del letto (m dal p.c.)	Litologia presunta
-------------------------	-----------------------------------	--------------------

320,16	6,30	Coperture colluvio-eluviali e calcarenite
514,65	10,36	Calcare fratturato
1000,60	11,34	Bedrock calcareo
1219,32	13,16	Bedrock calcareo
1680,08	14,28	Bedrock calcareo
2786,85	indefinito	Bedrock calcareo

#### Base sismica 2 - sondaggi RIFRA2 e MASW2

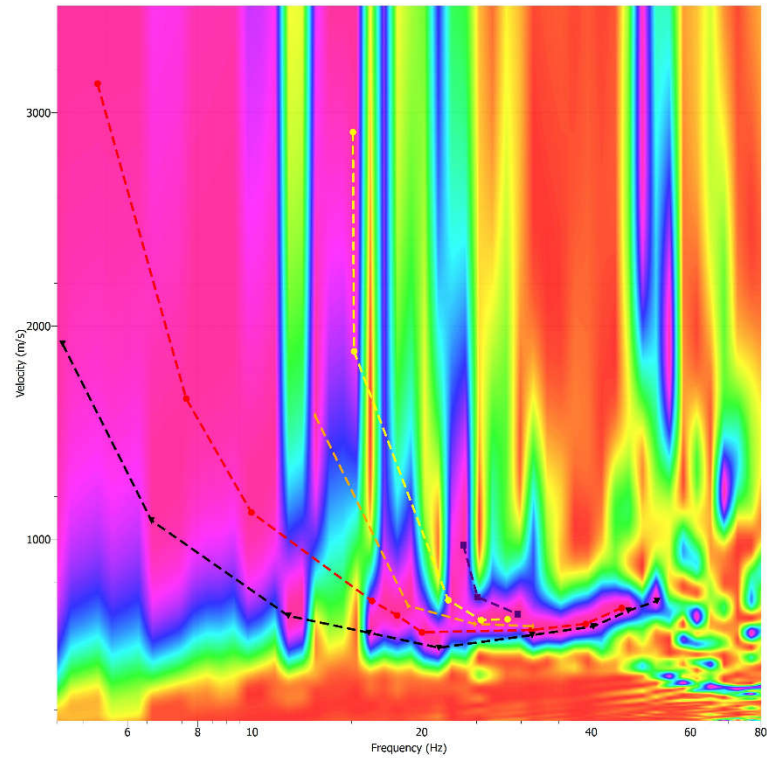
Il sondaggio a rifrazione è stato realizzato con 5 punti di energizzazione posizionati rispettivamente a -5 e +5 m rispetto al primo ed all'ultimo geofono e tra il 5° ed il 6° geofono, tra i geofoni 11 ed il 12 e tra i geofoni 17 e 18. Si riporta di seguito il modello di sottosuolo che è stato ottenuto dall'elaborazione espresso come sezione 2D multistrato.



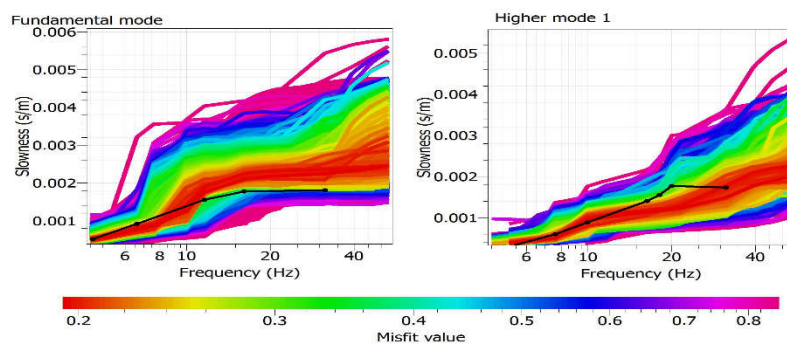
Per il sondaggio MASW l'energizzazione è stata effettuata a - 7,5 m dal primo geofono ed il segnale è stato registrato per 2 secondi. Il processamento è stato effettuato tuttavia solo sui primi 0,8 secondi di registrazione

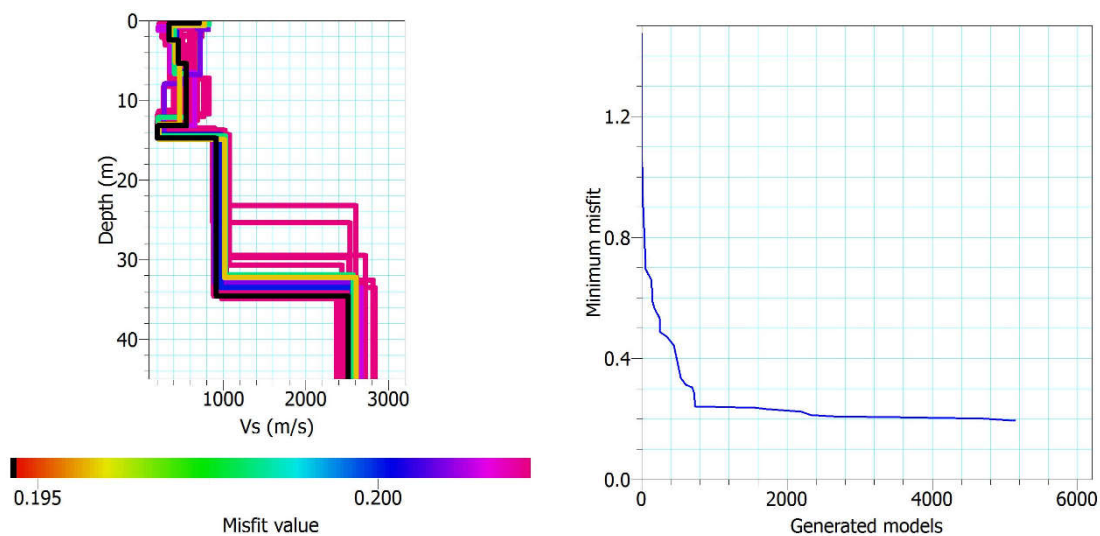
L'elaborazione della traccia ha permesso di ottenere il seguente grafico "Velocità di fase – frequenza" su cui sono stati individuate le curve di dispersione sperimentali relative al modo fondamentale (punti neri), primo superiore (punti rossi), secondo superiore (puntini marroni), terzo superiore (puntini gialli) e quarto superiore (puntini verdi).

Shot at (0, 0, 0), time=2000-01-01 00:00:00

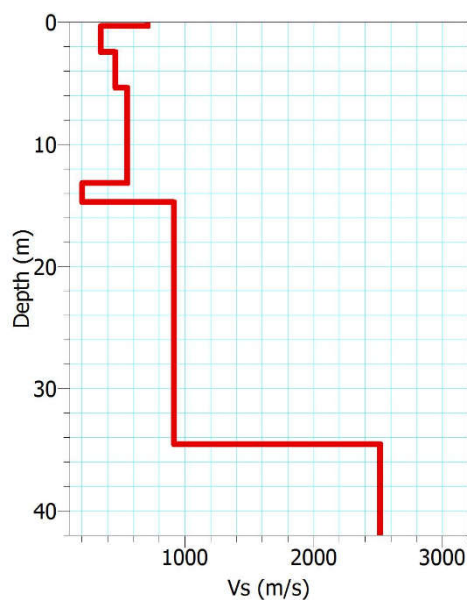


Si riportano di seguito le curve teoriche ottenute con il software DINVER relative al modo fondamentale ed al primo superiore e il grafico relativo all'andamento del misfit nella ricerca del modello di sottosuolo migliore.





Il modello di sottosuolo caratterizzato dal misfit minimo (0,1945) è riportato di seguito



Vs dello strato (m/sec)	Profondità del letto (m dal p.c.)	Litologia presunta
709,41	0,27	Battuto stradale
344,65	2,46	Coperture eluvio-colluviali
460,31	5,38	Calcari sottilmente stratificati e fratturati
549,27	13,18	Calcari sottilmente stratificati e fratturati
202,31	14,73	Calcari sottilmente stratificati e fratturati con interstrati argillosi
914,92	34,59	Bedrock calcareo
2517,18	indefinito	Bedrock calcareo

I sondaggi a rifrazione e MASW eseguiti in corrispondenza della base sismica 1 hanno restituito modelli di sottosuolo coerenti tra loro. La rifrazione in particolare denuncia la presenza, al di sotto dei terreni di alterazione e rocce poco tenaci sovrapposti al Calcare di Altamura.

Analoghe considerazioni valgono per i due sondaggi realizzati lungo la base sismica 2. Anche in questo caso, infatti, sia la rifrazione che la MASW evidenziano, al di sotto delle coperture e del regolite, la presenza di terreni meno compatti e tenaci (calcarenite e calcari fratturati) adagiati su rocce molto più compatte

I caratteri litotecnici di un ammasso roccioso carbonatico possono essere agevolmente rilevati attraverso la velocità di propagazione delle onde elastiche che può essere compresa tra poche centinaia di metri al secondo ed oltre 4500 m/s ed è direttamente indicativa della presenza di cavità carsiche e discontinuità (velocità alte sono proprie di ammassi rocciosi non aggrediti dal carsismo e con poche discontinuità stratigrafiche e/o strutturali). Secondo Zezza (1978) infatti, è possibile correlare come riportato nella seguente tabella la Vp con diversi gradi di carsificazione dell'ammasso roccioso (gli studi che hanno portato alle correlazioni proposte sono stati proprio condotti su calcari della piattaforma apula).

Vp	Grado	Descrizione
0,7 – 1,0 km/s	Grado V	Sono cancellati i caratteri tessiturali della roccia in posto
1,1 – 1,9 km/s	Grado IV	Sono conservati i caratteri tessiturali della roccia in posto i cui relitti si trovano inglobati nei prodotti residuali
2 – 3 km/s	Grado III	Diffusa presenza di cavità carsiche
3,1 – 4,5 km/s	Grado II	Giunti interessati solo parzialmente da manifestazioni carsiche
> 4,5 km/s	Grado I	Assenza completa di manifestazioni carsiche, giunti poco frequenti e bancate compatte

Sempre secondo questo autore i suddetti gradi di carsificazione possono essere correlati con il rapporto di velocità VR e l'Indice di Qualità della Roccia RQD.

Grado di carsificazione	VR	RQD	Qualità della roccia
Grado V	0,15	< 0,25	Molto scadente
Grado IV	0,15 – 0,35	0,25 – 0,50	Scadente
Grado III	0,35 – 0,60	0,50 – 0,75	Discreta
Grado II	0,60 – 0,75	0,75 – 0,90	Buona
Grado I	> 0,75	> 0,90	Eccellente

Con riferimento alle tabelle sopra riportate, rispetto ai risultati dei due sondaggi a rifrazione esperiti si desume l'attribuzione al Grado IV o V per le rocce ascrivibili alla Formazione di Galatone mentre i calcari ascrivibili alla Formazione del Calcare di Altamura sono attribuibili al Grado III.



Utilizzando la velocità delle onde sismiche registrate sono stati anche calcolati i valori dei moduli e desunti attraverso correlazioni empiriche il valore del peso di volume e la coesione (dalla Vs). I risultati delle elaborazioni sono riportati di seguito.

Sondaggio RIFRA 1	Coperture e regolite	Calcarenite di Gravina	Calcere di Altamura
Coefficiente Poisson	0.35	0.35	0.25
Vp [m/s]	750.37	1647.80	2224.82
G0 [MPa]	233.89	1127.87	2969.90
Ed [Mpa]	1013.51	4887.45	8909.71
M0 [MPa]	779.62	3759.57	5939.80
Ey [Mpa]	631.49	3045.26	7424.75

Sondaggio RIFRA 2	Coperture e regolite	Calcarenite di Gravina	Calcere di Altamura
Coefficiente Poisson	0.35	0.35	0.25
Vp [m/s]	412.27	799.73	2163.20
G0 [MPa]	70.60	265.67	2807.66
Ed [Mpa]	305.93	1151.22	8422.97
M0 [MPa]	235.33	885.56	5615.31
Ey [Mpa]	190.62	717.30	7019.14

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

#### MASW 1

Vs dello strato (m/sec)	Profondità del letto (m dal p.c.)	Coesione (kPa)	Attribuzione litostratigrafica
320,16	6,30	18,13	Coperture colluvio-eluviali e calcarenite
514,65	10,36	56,37	Calcere di Altamura
1000,60	11,34	276,14	Calcere di Altamura
1219,32	13,16	442,92	Calcere di Altamura
1680,08	14,28	952,88	Calcere di Altamura
2786,85	indefinito	3193,90	Calcere di Altamura

#### MASW 2

Vs dello strato (m/sec)	Profondità del letto (m dal p.c.)	Coesione (kPa)	Attribuzione litostratigrafica
709,41	0,27	121,38	Battuto
344,65	2,46	21,62	Coperture colluvio-eluviali
460,31	5,38	43,17	Calcarenite
549,27	13,18	65,85	Calcere di Altamura
202,31	14,73	6,05	Calcere di Altamura
914,92	34,59	222,95	Calcere di Altamura

2517,18	indefinito	2504,29	Calcare di Altamura
---------	------------	---------	---------------------

Dalle 2 precedenti tabelle si desume che con l'esclusione dei livelli di coperture colluvio-eluviali è possibile attribuire alla porzione di ammasso roccioso ascrivibile alla Calcarenite di Gravina ed alla parte alterata del Calcare di Altamura un valore della coesione mediamente pari a 40 – 60 kPa mentre la porzione ascrivibili al Calcare di Altamura integro ha una coesione minima superiore a 200 kPa.

## 5 – CATEGORIA DI SUOLO

Il DM 17 gennaio 2018 prescrive che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del D.M., si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al paragrafo 6.2.2 del D.M..

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

con:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

hi      spessore dell'i-esimo strato;

VS,i    velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N      numero di strati;

H      profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30,00 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H = 30,00 metri nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al paragrafo 3.2.3 delle norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Le indagini geofisiche di riferimento MASW1 e MASW2 hanno evidenziato rispettivamente il tetto del bedrock a 14,28 m dal p.c. ed a 14,73 m dal p.c., pertanto, si calcola  $V_s$  eq in entrambi i casi e si si ottiene per i due siti una attribuzione alla Categoria di Suolo “B”: “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.

## 6 - STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO

### 6.1 Premessa

L'analisi della stabilità dei fronti di scavo ha riguardato due scarpate, una a gradone unico e l'altra gradonata, rappresentative delle geometrie presenti in cava e che materializzano le condizioni più critiche rispetto alle tipologie di versante che si rinvencono nel perimetro di cava e rispetto a quelle di progetto.

La modellazione è stata eseguita con l'ausilio del programma di calcolo SLOPE, distribuito da GEOSTRU Software, ed è stata condotta quindi secondo le prescrizioni della normativa vigente, rappresentata dal D. M. 17/01/2018 "*Norme tecniche per costruzione*".

Si è fatto ricorso alla classificazione geomeccanica o RMR System proposta da Bieniawski (1989) ed al criterio di rottura di Hook e Brown (2002).

Secondo i calcoli svolti all'ammasso roccioso studiato può essere associato un valore di RMR pari a 35.

### 6.2 Criterio di rottura di Hoek e Brown

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia, con questo metodo viene descritta una procedura che consente l'applicazione dei metodi classici dell'Equilibrio Limite anche nei versanti rocciosi. A tale scopo vengono definiti l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= AB \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^{B-1} \\ c &= A \sigma_c \left( \frac{N}{\sigma_c} - T \right)^B - N \operatorname{tg} \varphi \end{aligned}$$

dove:

- $\sigma_c$  è la resistenza a compressione monassiale della roccia;
- A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (riportati in tabella);
- N sforzo normale alla base del concio.

Le costanti A, B e T sono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR).

	Calcari Dolomie Marne	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti
RMR = 100	A = 0.816	A = 0.918	A = 1.044	A = 1.086	A = 1.220
	B = 0.658	B = 0.677	B = 0.692	B = 0.696	B = 0.705



	T = -0.140	T = -0.099	T = -0.067	T = -0.059	T = -0.040
RMR = 85	A = 0.651	A = 0.739	A = 0.848	A = 0.883	A = 0.998
	B = 0.679	B = 0.692	B = 0.702	B = 0.705	B = 0.712
	T = -0.028	T = -0.020	T = -0.013	T = -0.012	T = -0.008
RMR = 65	A = 0.369	A = 0.427	A = 0.501	A = 0.525	A = 0.603
	B = 0.669	B = 0.683	B = 0.695	B = 0.698	B = 0.707
	T = -0.006	T = -0.004	T = -0.003	T = -0.002	T = -0.002
RMR = 44	A = 0.198	A = 0.234	A = 0.280	A = 0.295	A = 0.346
	B = 0.662	B = 0.675	B = 0.688	B = 0.691	B = 0.700
	T = -0.0007	T = -0.0005	T = -0.0003	T = -0.0003	T = -0.0002
RMR = 23	A = 0.115	A = 0.129	A = 0.162	A = 0.172	A = 0.203
	B = 0.646	B = 0.655	B = 0.672	B = 0.676	B = 0.686
	T = -0.0002	T = -0.0002	T = -0.0001	T = -0.0001	T = -0.0001
RMR = 3	A = 0.042	A = 0.050	A = 0.061	A = 0.065	A = 0.078
	B = 0.534	B = 0.539	B = 0.546	B = 0.548	B = 0.556
	T = 0	T = 0	T = 0	T = 0	T = 0

Per valori di RMR intermedi si procede alla determinazione di A, B e T per interpolazione lineare.

### 6.3 Verifiche di sicurezza agli SLU

Le verifiche di sicurezza dei pendii naturali o artificiali sono condotte generalmente agli stati limite ultimi, tenendo conto dei coefficienti parziali di sicurezza prescritti dalla normativa per le azioni ( $\gamma_F$ ), per i parametri geotecnici ( $\gamma_M$ ) e per le resistenze ( $\gamma_R$ ).

In ogni caso occorre che sia rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

- $E_d = E[\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M]$  è lo sforzo di taglio mobilitato sulla superficie di scorrimento;
- $R_d = \frac{R}{\gamma_R} [\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M]$  è il valore di progetto della resistenza al taglio disponibile lungo superficie di scorrimento;
- $\gamma_F F_k$  sono le azioni di progetto
- $X_k / \gamma_M$  sono le resistenze di progetto

In zona sismica le verifiche agli SLU vanno sempre eseguite ponendo  $\gamma_F = 1$ .

L'equazione precedente può essere scritta come segue:

$$\frac{R[\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M]}{E_d[\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M]} \geq \gamma_R$$

Per i pendii artificiali di materiali sciolti e fronti di scavo, le verifiche di stabilità di norma vengono eseguite secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1:

$$A2 + M2 + R2$$

dove per il coefficiente parziali di resistenza R2 si considera almeno il valore  $C_s = \gamma_R = 1,1$  ed i valori dei coefficienti di sicurezza parziali geotecnici  $\gamma_M$  sono quelli riportati in tabella.

Tipologia carichi	Parametro geotecnico	$\gamma_M$
Tangente dell'angolo di resistenza a taglio	$\tan \varphi'_k$	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	1,25
Coesione non drenata	$c_u$	1,40
Peso specifico	$\gamma$	1,0

Valori dei coefficienti di sicurezza parziali geotecnici

#### 6.4 Calcolo dell'azione sismica

Il metodo pseudo-statico allo stato limite ultimo consiste nel verificare la stabilità di una massa di terreno delimitata dalla superficie libera e dalla più sfavorevole delle superfici di potenziale scorrimento. Le forze agenti sono costituite oltre che dal peso proprio del volume dei terreni interessati, dalle forze d'inerzia orizzontali e verticali dovute all'azione sismica:

$$F_h = K_h W$$

$$F_v = K_v W$$

con:

$$K_h = \beta_s a_{\max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 K_h$$

Conformemente alla normativa (NTC):

- $W$  è il peso del volume di terreno potenzialmente instabile
- $\beta_s$  è un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima al sito
- $a_{\max}$  è l'accelerazione sismica massima prevista per il sito in esame
- $g$  è l'accelerazione di gravità (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Normalmente l'accelerazione massima prevista per il sito in esame può essere valutata con riferimento alla situazione stratigrafica (coefficiente stratigrafico  $S_s$ ) e topografica (coefficiente topografico  $S_T$ ):

$$a_{\max} = S / a_g = S_s S_T a_g$$

dove  $a_g$  rappresenta l'accelerazione orizzontale massima per il sito in esame per terreno rigido (tipo A).

I coefficienti riduttivi  $\beta_s$  sono riportati nella tabella seguente.

$a_g$	CATEGORIA SOTTOSUOLO	
	A	B,C,D,E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2g < a_g \leq 0,4g$	0,30	0,28
$0,1g < a_g \leq 0,2g$	0,27	0,24
$a_g \leq 0,1g$	0,20	0,20

Coefficienti sismici  $b_s$

Il fattore di amplificazione topografico ( $S_T$ ), deriva dalla necessità di portare in debito conto l'incremento sismico dovuto all'orografia del terreno; giustamente sono penalizzate quelle situazioni che presentano pendii di maggiore inclinazione.

Categoria Topografica	$S_T$
T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$	1,0
T2 - Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3 - Rilevi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$	1,2
T4 - Rilevi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione $i > 30^\circ$	1,4

Coefficienti sismici  $S_T$

Il coefficiente di amplificazione stratigrafico ( $S_s$ ), viene valutato secondo la tabella seguente.

Categoria Sottosuolo	$S_s$
A	1,0
B	$1,0 < 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g / g < 1,2$
C	$1,0 < 1,7 - 0,6 \cdot F_0 \cdot a_g / g < 1,5$
D	$0,9 < 2,4 - 1,5 \cdot F_0 \cdot a_g / g < 1,8$
E	$1,0 < 2,0 - 1,1 \cdot F_0 \cdot a_g / g < 1,6$

Coefficienti sismici  $S_s$

dove:

$F_0$  è il fattore di accelerazione massima al suolo e per le categorie di suolo è proposta la seguente suddivisione:

- **A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi** caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m;
- **B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;
- **C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s;

- **D)** Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s;
- **E)** Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

## 6.5 La zonizzazione sismica

Il territorio italiano è classificato sismicamente in 4 zone, e definito da un reticolo sismico mediante coordinate geografiche di latitudine e longitudine ( $\lambda - \phi$ ), per periodi discreti di ritorno ( $T_R$ ) di 35-50-72-101-140-201-475-975-2475 anni; in tali nodi della maglia (di circa 5 Km di lato), viene definito il valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ), per un suolo rigido (categoria A), il fattore di accelerazione massima del suolo ( $F_0$ ), ed il periodo caratteristico ( $T_c^*$ ) dello spettro (zona a velocità di risposta lineare).

I parametri sismici del reticolo anzidetto sono forniti dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Ministero delle Infrastrutture) e calcolabili mediante il foglio elettronico “*Spettri-NTC.xls*” scaricabile dal [www.cslp.it](http://www.cslp.it).

Per poter definire il periodo di ritorno sismico, con il quale entrare nel reticolo sismico, occorre conoscere i dati dell'opera, che riguardano la sua vita nominale, la classe d'uso, nonché la probabilità di ritorno sismico in relazione al grado di sicurezza.

La vita nominale ( $V_N$ ) rappresenta il numero di anni nei quali l'opera deve poter essere usata per la sua definita destinazione d'uso.

N.	Tipo Costruzione	$V_N$ (anni)
1	Opere provvisorie	< 10
2	Opere ordinarie, opere infrastrutturali di dimensioni contenute o di importanza normale	> 50
3	Grandi opere, opere infrastrutturali di grandi dimensioni o importanza strategica	> 100

Vita utile delle opere

La classe d'uso, ed il coefficiente d'uso ( $C_u$ ) sono legati alle conseguenze di collasso e di operatività dell'opera:

- *Classe I*: costruzioni con presenza occasionale di persone ed edifici agricoli.
- *Classe II*: costruzioni con normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente, senza funzioni pubbliche sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente.
- *Classe III*: costruzioni con affollamenti significativi; industrie con attività pericolose per l'ambiente.

- *Classe IV*: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità; industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.

Classe d'uso	I	II	III	IV
$C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Valori delle classi d'uso delle opere

Le azioni sismiche vengono valutate mediante il "Periodo di Riferimento"  $V_R$ , ottenuto dal prodotto della vita nominale per il coefficiente d'uso di cui sopra:

$$V_R = V_N \times C_U$$

La probabilità di superamento  $P_{VR}$  dello stato limite di progetto, nel periodo di riferimento  $V_R$ , viene definito dalla tabella seguente.

STATO LIMITE	Tipo Costruzione	$P_{VR}$
di esercizio	SLD	63% (0,63)
ultimi	SLV - SLU	10% (0,10)
	SLC (collasso)	5% (0,05)

Valori della probabilità di superamento

Il periodo di ritorno sismico si ottiene dal periodo di riferimento e dalla probabilità di superamento dello stato limite, mediante l'espressione logaritmica:

$$T_R = - V_R / \ln (1 - P_{VR})$$

Nella tabella seguente si riportano i parametri in input relativi al problema in studio ed al sito di interesse.

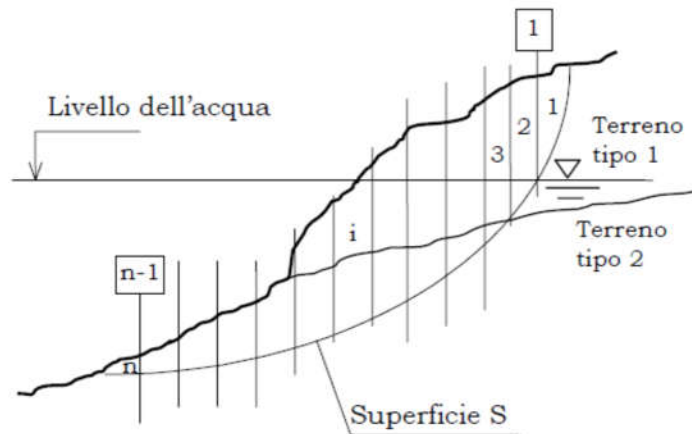
$\lambda$	$\phi$	$V_N$	$C_U$	$V_R$	SLU	Categoria di sottosuolo	$S_T$
40,599108°	17,171285°	50	1	50	SLC	B	1.2

Parametri sismici di input

## 6.6 Metodo di verifica della stabilità dei fronti

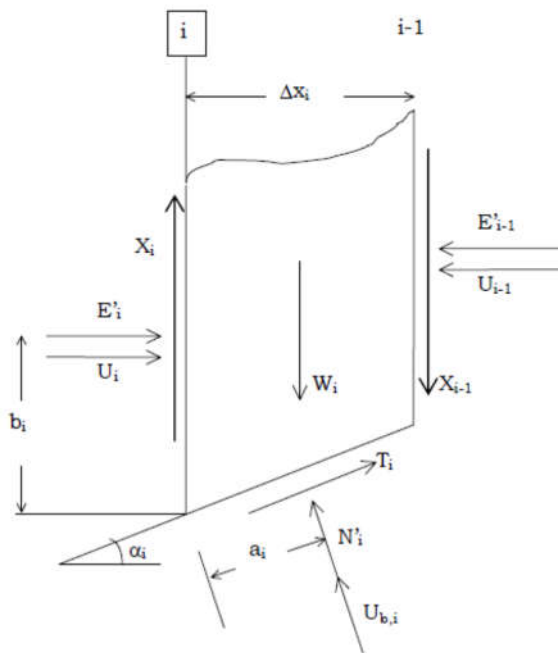
Per il calcolo analitico della stabilità di un pendio limitato ci si avvale di soluzioni impostate sull'equilibrio limite globale.

Dopo avere scelto una o più sezioni longitudinali del pendio in base a condizioni critiche, si ipotizza una superficie cilindrica di scorrimento potenziale,  $S$ , e si suddivide idealmente la porzione di terreno delimitato da  $S$  dalla superficie topografica in  $n$  conci mediante  $n-1$  tagli verticali, non necessariamente di eguale larghezza, ma tali che l'arco di cerchio alla base di ciascuno di essi ricada interamente in un unico tipo di terreno.



Schema di applicazione del metodo dell'equilibrio limite

Immaginiamo di estrarre il concio  $i$ -esimo e di rappresentare le forze che agiscono su di esso in condizioni di equilibrio.



Geometria del concio  $i$ -esimo e forze agenti su di esso

Il concio ha larghezza  $\Delta x_i$ , e peso  $W_i$ . La corda dell'arco di cerchio alla base è inclinata di un angolo  $\alpha_i$  sull'orizzontale.  $E'_i$  e  $X_i$ , sono le componenti normale e tangenziale della forza mutua tra i concio  $i$  e  $(i+1)$ ,  $b_i$  è la quota di applicazione di  $E'_i$  rispetto alla superficie di scorrimento.  $U_i$  è la risultante delle pressioni interstiziali sulla superficie di separazione fra i concio  $i$  e  $(i+1)$ .  $N'_i$  e  $T_i$  sono le componenti normale e tangenziale della reazione di appoggio del concio sulla superficie di scorrimento,  $a_i$  è la distanza del

punto di applicazione di  $N'_i$  dallo spigolo anteriore, e  $U_{b,i}$  è la risultante delle pressioni interstiziali alla base del con-cio. Le ipotesi generalmente ammesse da quasi tutti i metodi delle strisce sono:

- stato di deformazione piano (ovvero superficie cilindrica e trascurabilità degli effetti tridimensionali),
- arco della superficie di scorrimento alla base del concio approssimabile con la relativa corda,
- comportamento del terreno rigido-perfettamente plastico e criterio di rottura di Mohr-Coulomb,
- coefficiente di sicurezza FS eguale per la componente di coesione e per quella di attrito, e unico per tutti i conci, ovvero:

$$T_i = \frac{T_{\bar{i}}}{FS} = \frac{1}{FS} \cdot (c'_i \cdot \Delta l_i + N'_i \cdot \tan \phi'_i)$$

essendo:

$$\Delta l_i = \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i}$$

Analizzando le forze agenti sul concio si osserva che:

- il peso  $W_i$  del concio e le risultanti  $U_i$  e  $U_{b,i}$  delle pressioni interstiziali sono determinabili, essendo nota la geometria del concio ( $\alpha_i$ ,  $\Delta x_i$  e quindi  $\Delta l_i$ ) e le caratteristiche geometriche e geotecniche del pendio;
- la forza di taglio  $T_i$  è determinabile, nota la forza normale  $N'_i$ .

Quindi, il bilancio del numero di incognite e di equazioni di equilibrio del sistema è tale che il numero delle incognite,  $(5n - 2)$ , è superiore al numero delle equazioni di equilibrio, pari a  $3n$ , pertanto, il sistema è indeterminato.

Per ridurre il numero delle incognite e rendere il sistema determinato, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative.

Nel metodo di Bishop semplificato le ipotesi assunte sono:

- superficie di scorrimento circolare;
- per ogni concio la risultante delle componenti nella direzione normale alla superficie di scorrimento delle forze agenti sulle facce laterali è nulla;
- per ogni concio la risultante delle componenti nella direzione verticale delle forze agenti sulle facce laterali è nulla.

Sotto tali ipotesi è possibile scrivere la seguente equazione:

$$FS = \frac{M_s}{M_R} = \frac{\sum_1^n \left[ c'_i \cdot \Delta x_i + (W_i - u_i \cdot \Delta x_i) \cdot \tan \phi'_i \right] \cdot \left[ \frac{1}{\cos \alpha_i \cdot \left( 1 + \frac{\tan \alpha_i \cdot \tan \phi'_i}{FS} \right)} \right]}{\sum_1^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

La soluzione è ricercata per via iterativa fissando un primo valore di tentativo per FS.

Il coefficiente di sicurezza calcolato è relativo alla superficie di scorrimento potenziale considerata. Il valore minimo di FS corrisponde alla superficie di scorrimento potenziale critica e deve essere determinato per tentativi.

## 6.7 Verifiche di stabilità

La verifica di stabilità del fronte di scavo è stata eseguita per ciascuno dei profili topografici con l'ausilio del software SLOPE.

Si riportano gli output di calcolo per ciascun fronte di scavo esaminato.

### SCARPATA 1

- Dati generali*

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

- Maglia dei Centri*

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,88 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-10,89 m
Ascissa vertice destro superiore xs	40,58 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35,74 m
Passo di ricerca	20,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

- Coefficienti sismici [N.T.C.]*

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]



Vita di riferimento: 50,0 [anni]

- Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,13	2,42	0,15
S.L.D.	50,0	0,18	2,38	0,2
S.L.V.	475,0	0,47	2,37	0,51
S.L.C.	975,0	0,6	2,48	0,56

- Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Classe II

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,156	1,0	0,0159	0,008
S.L.D.	0,216	0,47	0,0104	0,0052
S.L.V.	0,564	0,38	0,0219	0,0109
S.L.C.	0,72	1,0	0,0734	0,0367

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0734

Coefficiente azione sismica verticale 0,0367

- Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	20,0	0,0
3	20,0	16,5
4	26,8	17,0
5	26,8	30,5
6	35,45	31,0
7	46,2	31,0

- Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	20,0	0,0
3	20,0	16,5
4	26,8	17,0
5	46,2	17,0

- Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

- Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

- Stratigrafia

Strato	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kg/cm <sup>2</sup> )	Texture	Descrizione
1	1800	0,162	0,655	-0,00048	1000		Unità B
2	1900	0,308	0,665	-0,0034	2000		Unità A

- Risultati analisi pendio

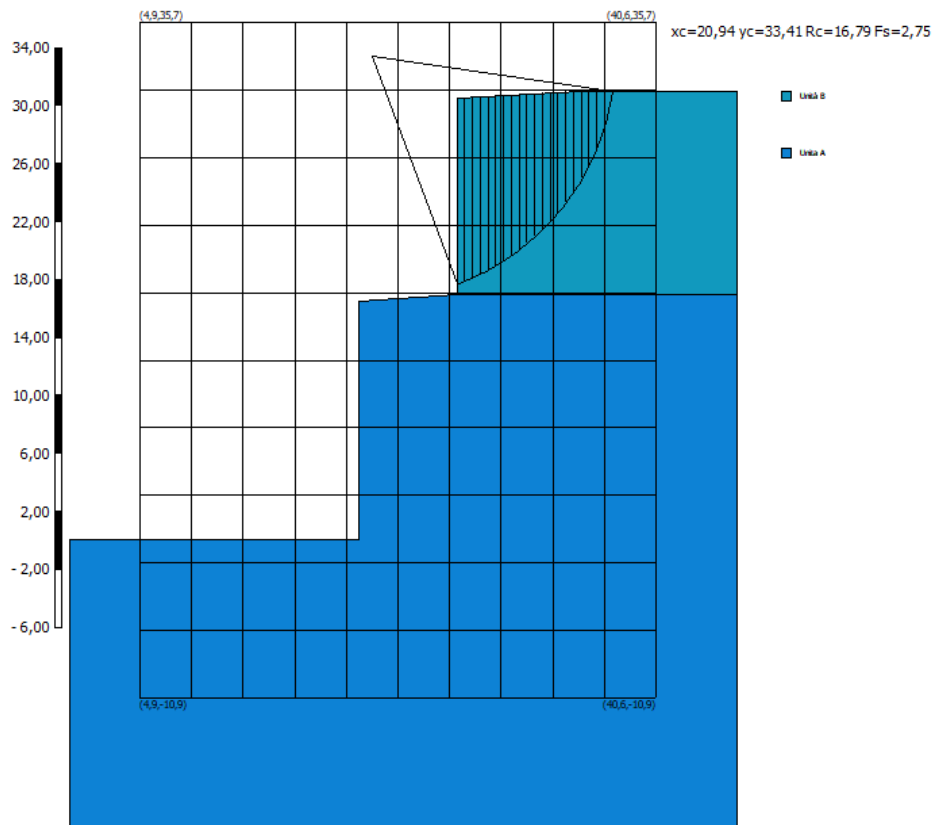
**Fs minimo individuato 2,75**

Ascissa centro superficie	20,94 m
Ordinata centro superficie	33,41 m
Raggio superficie	16,79 m

xc = 20,943 yc = 33,409 Rc = 16,789 Fs=2,748

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	0,54	14,3	0,5612326,34	904,75	452,38	1,54	39,5	0,012156,9	3928,3		
2	0,54	23,4	0,5912142,03	891,23	445,61	1,48	40,4	0,011198,6	5639,9		
3	0,54	25,4	0,611936,14	876,11	438,06	1,46	40,8	0,010800,7	5913,8		
4	0,54	27,5	0,6111707,6	859,34	429,67	1,43	41,3	0,010373,0	6162,1		
5	0,54	29,6	0,6211455,18	840,81	420,41	1,41	41,7	0,09915,8	6381,6		
6	0,54	31,7	0,6311177,45	820,42	410,21	1,38	42,2	0,09429,3	6569,5		
7	0,54	33,9	0,6510872,56	798,05	399,02	1,36	42,8	0,08913,9	6722,2		
8	0,54	36,1	0,6710538,54	773,53	386,76	1,33	43,4	0,08370,3	6836,0		
9	0,54	38,4	0,6910172,87	746,69	373,34	1,3	44,1	0,07798,8	6906,6		
10	0,54	40,8	0,719772,45	717,3	358,65	1,28	44,9	0,07200,1	6928,9		
11	0,54	43,3	0,749333,62	685,09	342,54	1,25	45,7	0,06575,2	6897,1		
12	0,54	45,9	0,778851,43	649,69	324,85	1,22	46,6	0,05925,0	6804,0		
13	0,54	48,6	0,818319,71	610,67	305,33	1,19	47,6	0,05250,7	6640,9		
14	0,54	51,4	0,867730,4	567,41	283,71	1,17	48,6	0,04554,4	6396,8		
15	0,54	54,5	0,937071,94	519,08	259,54	1,14	49,8	0,03838,4	6056,7		
16	0,58	57,9	1,096799,11	499,05	249,53	1,12	51,0	0,03321,5	6025,6		
17	0,49	61,6	1,044989,46	366,23	183,11	1,11	52,3	0,02142,1	4561,4		

18	0,54	65,5	1,34421,29	324,52	162,26	1,09	53,6	0,0	1602,4	4158,9
19	0,54	70,5	1,613140,29	230,5	115,25	1,09	54,8	0,0	869,0	3037,2
20	0,54	77,5	2,491375,19	100,94	50,47	1,09	55,8	0,0	209,9	1364,5



## SCARPATA 2

- Dati generali*

Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Superficie di forma circolare	

- Maglia dei Centri*

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2,51 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	-8,53 m
Ascissa vertice destro superiore xs	38,99 m

Ordinata vertice destro superiore ys	32,93 m
Passo di ricerca	20,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

- *Coefficienti sismici [N.T.C.]*

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

- *Parametri sismici su sito di riferimento*

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,13	2,42	0,15
S.L.D.	50,0	0,18	2,38	0,2
S.L.V.	475,0	0,47	2,37	0,51
S.L.C.	975,0	0,6	2,48	0,56

- *Coefficienti sismici orizzontali e verticali*

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,156	1,0	0,0159	0,008
S.L.D.	0,216	0,47	0,0104	0,0052
S.L.V.	0,564	0,38	0,0219	0,0109
S.L.C.	0,72	1,0	0,0734	0,0367

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0734

Coefficiente azione sismica verticale 0,0367

- Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	20,0	0,0
3	23,61	23,84
4	25,58	26,07
5	29,3	27,05
6	49,3	27,05

- *Coefficienti parziali azioni*

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

- *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

• *Stratigrafia*

Strato	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kg/cm <sup>2</sup> )	Texture	Descrizione
1	1900	0,308	0,665	-0,0034	2000		Unità A

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato 11,84

Ascissa centro superficie 13,45 m

Ordinata centro superficie 32,93 m

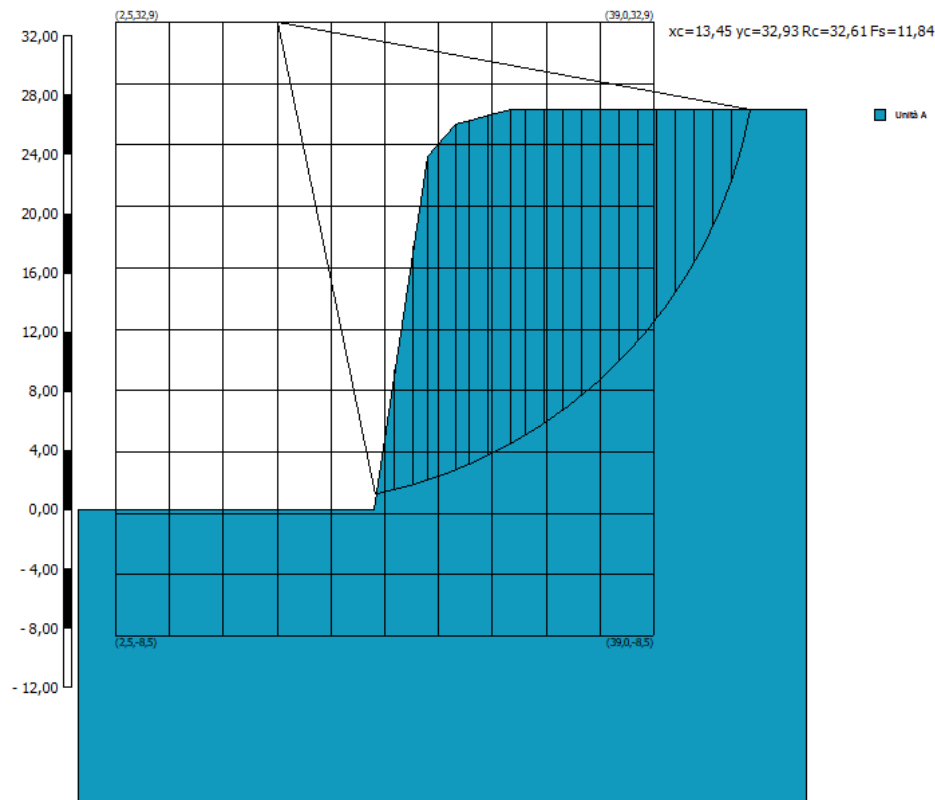
Raggio superficie 32,61 m

xc = 13,453 yc = 32,934 Rc = 32,607 Fs=11,835

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	1,27	13,0	1,39763,76	716,66	358,33	14,08	53,0	0,09701,3	2895,2		
2	1,27	15,3	1,3229194,16	2142,85	1071,43	14,18	51,4	0,028626,6	9772,9		
3	0,92	17,3	0,9633060,47	2426,64	1213,32	14,32	50,3	0,032001,0	12149,8		
4	1,97	20,0	2,184803,38	6224,57	3112,28	14,39	49,8	0,080493,2	34835,5		
5	0,92	22,7	1,040838,3	2997,53	1498,77	14,38	49,9	0,037899,2	18528,2		
6	1,27	24,8	1,455783,79	4094,53	2047,27	14,36	50,0	0,050775,5	27124,0		
7	1,53	27,6	1,7366539,45	4884,0	2442,0	14,33	50,2	0,058895,2	35114,6		
8	1,0	30,1	1,1642530,75	3121,76	1560,88	14,3	50,4	0,036581,5	24028,8		
9	1,27	32,4	1,552149,48	3827,77	1913,89	14,27	50,7	0,043575,9	31201,4		
10	1,27	35,1	1,5550105,53	3677,75	1838,87	14,24	50,9	0,040372,5	31832,9		
11	1,27	37,9	1,6147844,06	3511,75	1755,88	14,2	51,2	0,036984,7	32157,3		
12	1,27	40,8	1,6845339,87	3327,95	1663,97	14,17	51,5	0,033419,7	32133,1		
13	1,27	43,8	1,7642561,29	3124,0	1562,0	14,15	51,9	0,029687,4	31710,5		
14	1,27	47,0	1,8639465,64	2896,78	1448,39	14,12	52,2	0,025800,4	30826,8		
15	1,27	50,4	1,9935993,91	2641,95	1320,98	14,1	52,5	0,021775,1	29400,4		
16	1,27	54,0	2,1632061,88	2353,34	1176,67	14,08	52,9	0,017635,6	27320,5		
17	1,27	58,0	2,3927539,46	2021,4	1010,7	14,07	53,2	0,013417,5	24424,7		
18	1,27	62,5	2,7522207,19	1630,01	815,0	14,07	53,5	0,09179,8	20452,7		
19	1,27	67,9	3,3715633,73	1147,52	573,76	14,06	53,7	0,05037,0	14916,0		

20 1,27 75,2 4,976676,66 490,07 245,03 14,06 53,9 0,01291,0 6580,9

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.



**Tutti i coefficienti di sicurezza risultano maggiori di 1.1, pertanto, secondo il dettato del Testo Unico sulle Costruzioni, i fronti di scavo risultano stabili.**