COMUNE DI DEIVA MARINA
PROVINCIA DI LA SPEZIA
REGIONE LIGURIA

CAVA DI MARMO ROSSO LEVANTO E SERPENTINO DENOMINATA "LA SFINGE"

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE

ALL. 4

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMECCANICA, MINERARIA, DI STABILITA'

IL COMMITTENTE: Edilscavi srl

IL PROGETTISTA: Dott. Geologo Luca Piaggi



-VER.1.0-
- Settembre 2019 -

STUDIO GEOLOGICO PIAGGI
Via Genova n. 442 -19123 La Spezia
Tel-Fax: 0187 –716658
www.sgeop.com
lucapiaggi@gmail.com

INDICE

1. Premessa;
2. Normativa di riferimento;
3. Piano di bacino;
4. Geografia, geologia e geomorfologia;
5. Caratteristiche idrogeologiche e carsismo;
6. Rilievo strutturale e geomeccanico;
7. Stima dei parametri meccanici dell'ammasso roccioso;
8. Stima dei parametri del materiale da utilizzarsi per il rilevato di ricomposizione ambientale;
9. Calcolo dei parametri di progetto;
10. Vita nominale, classe d'uso, periodo di riferimento e azioni;
11. Note sismiche;
12. Stabilità del rilevato di ricomposizione ambientale;
13. Prescrizioni per la realizzazione del ripristino ambientale;
14. Materiali utilizzati per la realizzazione del ripristino ambientale
15. Conclusioni;
16. Bibliografia;

1-PREMESSA

Su incarico della ditta Edilscavi srl, si è provveduto a redigere la presente relazione geologico – mineraria relativa al progetto di riqualificazione ambientale della cava "La Sfinge" (SP).

Il materiale oggetto di coltivazione era marmo Rosso Levanto e serpentino che vengono impiegati per la produzione di rivestimenti e blocchi.

Il progetto è stato concepito in modo tale da garantire, attraverso fasi ben definite di sistemazione un soddisfacente recupero dell'area tale da inserirsi adeguatamente nel contesto ambientale.

In questa relazione sono riassunti gli elementi geologici – tettonici, sismici, geotecnici, geomorfologici, idrogeologici e idrologici che caratterizzano la zona di cava e dell'areale circostante per poter attuare quanto sopra senza compromettere l'equilibrio geomorfologico dei versanti, minimizzare l'impatto e contestualmente recuperare ambientalmente l'area.

2-NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La verifica della compatibilità dell'opera in rapporto alle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni viene eseguita secondo quanto previsto dalle vigenti normative e disposizioni di Legge:

- Decreto ministeriale 17/01/2018, Testo Unitario – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le Costruzioni";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- Eurocodice 8 (1998), Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture; Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stes. fin. 2003);
- Eurocodice 7,1 (1997), Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali – UNI;
- Eurocodice 7,2 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – UNI;
- Eurocodice 7,3 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove in sito (2002) – UNI;
- D.G.R. N. 216 del 13/03/2017 ("OPCM 3519/2006 - Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria");
- Legge Regionale n°4 del 22/01/1999;
- Piano di bacino regionale . Ambito 18 - Ghiararo;
- L.R. 14/1990 "Tutela e valorizzazione del patrimonio speleologico";
- DGR 141 del 15/2/2008 "Linee guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse;
- DGR 141 del 05/02/2010 Approvazione modifiche alle "Linee guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse, di cui alla DGR N°141/2008";
- Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 117, Attuazione della direttiva 2006/21/CE

relativa alla gestione dei rifiuti delle industrie e che modifica la direttiva 2004/35/CE;

- L.R. 12/2012 Testo unico sulla disciplina dell'attività estrattiva;
- Legge regionale 2 agosto 2017, n. 18 Modifiche alle L.R. 5 aprile 2012, N. 12 ....;

3-PIANO DI BACINO

Per quanto riguarda il Piano di Bacino Ambito 18 Ghiararo l'areale di cava è così classificato:

Suscettività al dissesto: la cava rientra per buona parte in classe P0, ovvero suscettività molto bassa ed in parte in P1, ovvero suscettività al dissesto bassa;.

Reticolo idrografico: al confine orientale della cava è presente un tratto di reticolo idrografico di 1° ordine, che a valle si immette in un reticolo idrografico di 4° ordine.

Carta di inondabilità: l'area ricade in area bianca-

L'area in esame è sottoposta a vincolo idrogeologico, come da legge regionale 22/01/1999 n°4 e da Regio Decreto 30/12/1923 n°3267 e 16/05/1926 n°1126.

4-GEOGRAFIA, GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

4.1 Inquadramento geografico e morfologico

La cava è ubicata in località Case Ghiara, in Comune di Deiva Marina, ed è situata in destra orografica sia del Rio di Piazza, ad una quota del piano piazzale di circa 124 m slm.

La cava occupa il versante meridionale del Monte Castelletto, ed è orientata principalmente a Sud/Est, tra le quote di circa 106 del fondo scavo e 185 del limite di scavo raggiunto.

Il versante ha una inclinazione mediamente elevata, dovuta all'estrazione del marmo Rosso Levanto e del Serpentino che ha modificato il versante originario.

L'areale di cava ha una superficie di circa 16000 mq ed un perimetro di 500 m circa.

Idrologicamente l'area è compresa nel bacino Ambito 18 - Ghiararo, in particolare all'interno del bacino del torrente Castagnola.

Il bacino del torrente Castagnola confina con il bacino del Vara a Nord e Nord-Est, il bacino del Petronio ad Ovest e con una serie di bacini tirrenici minori a Sud e a Sud-Est. Il bacino del T. Castagnola ha una superficie di 25.7 kmq ed appartiene amministrativamente, sia al Comune di La Spezia che alla Città Metropolitana di Genova.

Il crinale che delimita l'area di bacino partendo dal monte pietra di Vasca a Nord piega verso Est comprendendo il Monte San Nicolao ed il Monte dei Rospi. A Sud il crinale comprende Monte Grumo, Monte Gaggi, Monte Ressa e Monte Serra. Dal monte pietra di Vasca e andando in direzione Sud-Ovest si individuano Monte Salto del Cavallo, Monte Mezzema, Monte Incisa e Monte Crocetta.

L'origine del corso d'acqua è individuabile alla confluenza del R. Rovereto e del R. Valle Scura a quota 165 m. s.l.m., la foce a mare è situata in corrispondenza dell'abitato di Deiva Marina. Gli affluenti principali del T. Castagnola sono il T. Mezzema e il R. di Piazza, altri affluenti minori sono i Rii Framura, Sciona, Valle Scura.

4.2 Inquadramento geologico e tettonico

Dal punto di vista geologico generale sul territorio affiorano terreni riferibili all'Unità del Bracco.
Nella zona infatti sono presenti terreni facenti parti della serie ofiolitica, ed in particolare serpentino, oficalciti e gabbri, insieme a formazioni della copertura sedimentaria come i diaspri e le argille a palombini.

Facendo riferimento alla cartografia geologica nel territorio esaminato sono affioranti le seguenti formazioni:

Serpentiniti: Si tratta di rocce metamorfiche, derivate cioè da trasformazione di altre rocce di tipo peridotitico, costituite essenzialmente dal minerale serpentino, generalmente massicce, non stratificate, di colore verde scuro, fino a nero, e spesso verde bluastro con aspetto peridotitico (lherzolite più o meno fresca), a frattura tagliente e scheggiosa. In affioramento appaiono spesso interessate da numerose fratture a faglie che le suddividono in placche e scaglie, e conseguentemente le condizioni di conservazione sono da considerarsi generalmente mediocri. Le serpentiniti della zona investigata fanno parte di un vasto affioramento che si estende sulle pendici del Monte Miro – Monte Castelletto, sino al paese di Mezzema. I contatti con le formazioni sedimentarie sono sempre di origine tettonica, con inclinazione generalmente elevata.

Oficalciti: Sono brecce associate alle ofioliti che si ritrovano nella parte superiore delle serpentiniti, la cui origine può essere di tipo essenzialmente tettonico come la breccia da cui si estrae anche il Marmo Rosso Levanto. Si tratta di breccia costituita da frammenti di serpentina verde o rossastra per pigmentazione dovuta all'ematite, legati insieme da un cemento carbonatico bianco e grigio, o colorato pure in rosso, dovuto a reazioni secondarie di ossidazione. Pertanto si hanno brecce a macchie verdi o rosso - sangue, caratteristica del litotipo merceologicamente più bello e pregiato (marmo Rosso di Levanto) utilizzato come materiale ornamentale da rivestimento. Le brecce sono poi tagliate da vene calcitiche posteriori. Come già espresso l'origine di questo litotipo è prevalentemente tettonica, cioè causata da faglie che nel loro movimento relativo hanno frantumato la roccia in posto. Il cemento che riempie le fratture è in gran parte costituito da calcite spatica bianca; solo nelle fratture più ampie vi è il calcare grigio o rosso. Nell'area investigata le oficalciti si rinvengono nella parte centrale del versante, e formano una grossa lente all'interno delle serpentiniti al contatto con i diaspri. Questa lente è allungata in direzione NW – SE, ed è "troncata" verso nord da una faglia che si estende anche ai diaspri e alle argille a palombini. Anche il contatto con i diaspri è di tipo tettonico, con una serie di faglie a direzione NW – SE. Verso il Rio di Piazza e sul lato opposto della valle, la lente di oficalcite non è più visibile, sia per la presenza di detrito/ravaneto sia perché probabilmente s'incunea sotto le serpentiniti. La cava in progetto prevede lo sfruttamento dell'oficalcite interessando sia il versante che il piazzale. Detto litotipo è stato oggetto di sfruttamento in epoche passate, a partire dal 1949, che ha portato alla creazione di un fronte di discreta altezza, del piazzale e del ravaneto sottostante.

Gabbri: Sono rocce magmatiche intrusive, costituite fondamentalmente da due tipi di minerali, plagioclasi e olivina e/o clinopirosseno (gabbri troctolitici, gabbri olivinici e gabbri eufotidi). Si presentano con assetto massiccio, generalmente molto compatti. Normalmente questo litotipo si presenta alterato, di colore giallastro, soggetto ad una forma di disgregazione che dà luogo a coperture detritiche generalmente a grana minuta. Ciò soprattutto a causa della relativamente facile alterazione dei feldspati che porta alla disorganizzazione dei singoli elementi che compongono la roccia; ad aumentare l'alterazione superficiale contribuiscono anche i fenomeni di ossidazione dei minerali di ferro contenuti nella massa rocciosa. Conseguentemente si ha un modellamento plastico dei versanti che assumono un aspetto meno acclive e dirupato. Lo spessore dell'alterazione non è mai elevato, e subito al di sotto di 1 - 3 m la roccia riacquista il suo ottimo assetto. Nell'ambito investigato i gabbri assumono un ruolo marginale, poiché sono stati rilevati solo lungo il Rio di Piazza, messi in luce dall'erosione della copertura sedimentaria, ad oltre 200 m dal sito, ed

in una piccola lente all'interno del serpentino lungo la strada per il Casello A12.

Diaspri: Si tratta di rocce essenzialmente silicee, compatte, dure a frattura concoide e tagliente, presenti normalmente al di sopra della serie ofiolitica. La formazione, che è costituita da straterelli di diaspro di limitato spessore e di colore chiaro, dal nocciola al biancastro, affiora compresa tra le argille palombini e le serpentiniti – oficalciti, allungata trasversalmente alla valle di Piazza, con spessori progressivamente decrescenti procedendo verso NW, sino a scomparire in prossimità della strada Deiva – Casello A12. In prossimità del Rio di Piazza la formazione appare ben evidente con uno sperone roccioso (La Sfinge) messo a nudo dall'erosione superficiale e torrentizia. In affioramento i diaspri compaiono sempre ben conservati, ed in rilievo rispetto alle formazioni contigue (soprattutto con le argille a palombini e con il detrito) e con scarsi o assenti spessori d'alterazione. Per la presenza di livelletti argillitici si possono rinvenire facies più tenere, dotate di una certa scistosità e più friabili. La formazione immerge verso SW, con valori d'inclinazioni abbastanza elevati, compresi tra i 55° e 80°.

Argille a Palombini: sono costituite da argilliti più o meno scistose, fogliettate, con intercalazioni di calcari micritici grigi plumbei a frattura concoide, in strati di spessore variabile da pochi decimetri al metro, spesso contenenti quarzo detritico, e arenarie sottili a fine laminazione. Sono sovrapposte tettonicamente al complesso ofiolitifero, ed occupano una fascia allungata in direzione NW – SE, larga circa 600 m sulla pendice a nord – est del sito in questione, ove sono insediati i principali nuclei abitati. Il contatto con le formazioni ofiolitiche è normalmente di natura tettonica. La formazione, per la presenza di argilloscisti ha un comportamento plastico e facilmente si rinviene ripiegata, caoticizzata soprattutto al contatto con le rigide masse ofiolitiche, come nel caso in questione. Per la loro natura danno luogo a notevoli spessori d'alterazione, con formazione di coltri di materiali detritici, come quelli presenti nella zona di Piazza – Caraschi - Pastenau. Morfologicamente forniscono versanti più modellati e pendenze più dolci poiché la natura della formazione porta ad una rapida alterazione e disgregazione della roccia da parte degli agenti meteorici.

Alluvioni recenti: e alluvioni sono limitate alla piana dove scorre il Rio di Piazza, che poi, verso valle, si mescolano con quelle del torrente Castagnola. Si tratta di materiale generalmente grossolano, composto da ghiaie, ciottoli, massi e trovanti, anche di discrete dimensioni, deposto in modo abbastanza caotico, con sabbie e parti fini. Lo spessore di queste alluvioni è modesto, non superiore ai 10 m, e lateralmente alla piana si mescolano con il detrito.

Detrito e riporto antropico: la distribuzione areale della copertura detritica varia sia in rapporto all'acclività del versante, sia all'erosione superficiale operata dalle acque di ruscellament. La principale placca detritiche di elevato spessore si rileva sul versante in sponda sinistra del Rio di Piazza, ove assume spessori anche rilevanti. Si tratta di materiale misto, di origine eluvio - colluviale, derivante sia dall'alterazione delle argille a palombini che dei diaspri e delle ofioliti. La coltre in questione contiene, infatti, una notevole percentuale di sostanze argillose nella matrice, con elementi litoidi di varia pezzatura sia di diaspro, che calcarei, gabbro, serpentino e oficalcite. Da segnalare la presenza di macigni di notevoli dimensioni (anche di 100 mc) soprattutto di diaspri emergenti dalla massa detritica. Nell'ambito dell'area di cava è da evidenziare una coltre detritica di un certo spessore sulla parte sinistra del fronte di cava e che ricopre il serpentino. Per quanto riguarda i riporti artificiali, si tratta di materiale detritico derivante prevalentemente dall'attività estrattiva. I principali, riguardano il ravaneto che dal piazzale della cava "La Sfinge" si estende sino al Rio di Piazza, e quello esistente sulla parte sinistra guardando il fronte di cava, in cui sono stati accumulati i materiali della recente scoperchiatura del fronte di oficalcite. Questo detrito risulta costituito prevalentemente da materiale grossolano, come blocchi, massi, ciottoli e materiale di detrizione più minuto. Il materiale è ben assestato, e sulla scarpata del ravaneto è già cresciuta una discreta vegetazione arborea.

Per quanto riguarda la situazione tettonica, la zona ofiolitifera del Bracco, di cui fa parte

l'area in oggetto, costituisce una unità geometricamente compresa tra quella del Monte Caio e quella del Monte Gottero.

La tettonica è complessa, poiché è stata oggetto di fasi tettoniche successive che spesso hanno alterato gli originali rapporti tra i terreni.

Lo stile tettonico in grande risulta avere un carattere plastico, con pieghe coricate, cui si sommano stili rigidi con faglie e fratture a carattere locale e regionale.

A livello puntuale nell'area di cava la situazione è caratterizzata da numerose faglie – fratture che interessano soprattutto il Diaspro e le argille a palombini.

5-CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E CARSISMO

I territori che costituiscono il bacino del Castagnola dal punto di vista idrogeologico sono molto eterogenei.

Il comportamento idrogeologico delle rocce ofiolitiche presenti (oficalciti e serpentiniti) è abbastanza simile e sono classificabili mediamente permeabili per fessurazione.

I diaspri sono molto più permeabili a causa della maggiore fratturazione, delle discontinuità dei sottili livelletti e della scarsa componente argillosa.

E', infatti, lungo le faglie e le fratture, che si adunano le maggiori quantità d'acqua sotterranea, con uno scorrimento abbastanza veloce ed anisotropo.

Le argille a palombini sono invece impermeabili o molto poco permeabili per fessurazione; la limitata permeabilità deriva soprattutto dalle bancate calcaree e dai livelli arenacei fini.

I terreni sciolti, detrito, alluvioni e riporti sono invece permeabili per porosità e al loro interno può svilupparsi una circolazione idrica, prevalentemente stagionale o legata alle acque fluenti nel corso d'acqua.

Stante la situazione, i maggiori contrasti di permeabilità tra i terreni litoidi si hanno nelle zone di contatto tra le ofioliti/diaspri e le argille a palombini.

Lungo questo contatto, soprattutto nella parte inferiore del versante, vi sono, infatti, emergenze idriche diffuse senza che si possa rinvenire la sorgente geologica a causa della copertura detritica, che è permeabile per porosità.

Nell'ambito della zona di cava non sono state rilevate emergenze idriche perenni e pertanto, anche in considerazione della conformazione morfologica è possibile affermare che, nei livelli interessati dalla coltivazione, non vi è falda acquifera o attiva circolazione idrica.

6-RILIEVO STRUTTURALE E GEOMECCANICO

6.1 Caratteristiche di fratturazione e famiglie di discontinuità

Per determinare le caratteristiche geomeccaniche e strutturali dell'area è stata eseguita una campagna ad hoc su tutta l'area di cava e nelle aree circostanti, sono state eseguite scan-line di rilievo geomeccanico sugli affioramenti di adeguate dimensioni distribuiti nel versante e stazioni di rilevamento strutturale.

Per la determinazione dei principali elementi di caratterizzazione della roccia sono stati effettuati rilievi geomeccanici di dettaglio su tutti gli affioramenti rocciosi presenti nell'area e nei dintorni.

I dati del rilievo dell'area di cava sono stati analizzati con apposito software (Dips© di Rocscience) cercando di determinare la distribuzione e le rispettive caratteristiche dei principali raggruppamenti di discontinuità nell'ipotesi che i dati siano rappresentati da una distribuzione di tipo normale. Tale assunzione, ovviamente, ha talvolta carattere di arbitrarietà e, del resto, sovente i dati di campagna non permettono di poter stabilire se la distribuzione possa essere di tipo diverso, pur se concettualmente sia possibile.

Tale asserzione trova riscontro anche nelle recenti note "Rock Engineering – course notes by E. Hoek" (2001), laddove si sottolinea come la distribuzione statistica dei parametri geomeccanici sia ben approssimata da una distribuzione di tipo normale, a meno di non avere a disposizione una rilevante mole di dati da cui derivare un tipo diverso di rappresentazione.
La distribuzione spaziale per settori delle stesse è stata successivamente indagata mediante l'ausilio delle rappresentazioni stereografiche per evidenziare all'interno dell'area eventuali distribuzioni locali dei giunti.

Tramite detto software è stato possibile produrre lo stereogramma delle linee delle discontinuità, dei poli delle discontinuità, e l'analisi statistica dei dati.

L'elaborazione statistica delle giaciture è stata eseguita prendendo come campioni di popolazione le giaciture rilevate lungo gli stendimenti effettuati in prossimità del fronte di cava considerato.

Avendo riscontrato una omogeneità nelle giaciture rilevate in sito, le analisi di stabilità sono state effettuate sulla base delle famiglie di discontinuità ottenute elaborando i dati osservati in campagna

I dati sono stati analizzati statisticamente per ricavare i parametri tipici delle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso:

- numero di famiglie
- spaziatura
- persistenza
- apertura
- caratteristiche superficiali

Nella figure delle pagine seguenti si riportano, mediante rappresentazioni stereografiche, la distribuzione della densità dei poli dei piani di frattura complessivamente rilevati in tutta l'area, nonché le ciclografie ed i poli corrispondenti dei piani medi individuati.

In relazione all'area indagata complessivamente si sono riscontrati 2 principali raggruppamenti medi di discontinuità così come riportati negli stereogrammi allegati e aventi le seguenti caratteristiche:

ID	Dip	Dip Direction	TYPE	SURFACE	SHAPE	WATER
1	65	325	fault	slickens	planar	no
2	55	320	fault	slickens	planar	no
3	60	325	fault	slickens	planar	no
4	56	322	fault	slickens	planar	no
5	60	315	fault	slickens	planar	no
6	63	308	fault	slickens	planar	no
7	57	334	fault	slickens	planar	no
8	52	330	fault	slickens	planar	no
9	65	326	fault	slickens	planar	no
10	62	321	fault	slickens	planar	no
11	58	320	fault	slickens	planar	no
12	57	310	fault	slickens	planar	no
13	63	328	fault	slickens	planar	no
14	68	332	fault	slickens	planar	no
15	35	175	joint	rought	undulate	no
16	30	173	joint	rought	undulate	no
17	33	170	joint	rought	undulate	no
18	33	175	joint	rought	undulate	no
19	40	177	joint	rought	undulate	no
20	35	180	joint	rought	undulate	no
21	28	168	joint	rought	planar	no
22	37	178	joint	rought	undulate	no
23	38	174	joint	rought	undulate	no
24	31	177	joint	rought	undulate	no
25	30	200	joint	rought	planar	yes
26	35	210	joint	rought	planar	no
27	42	208	joint	rought	planar	no
28	40	206	joint	rought	undulate	yes
29	37	195	joint	rought	undulate	no
30 *	35	175	joint	rought	undulate	no

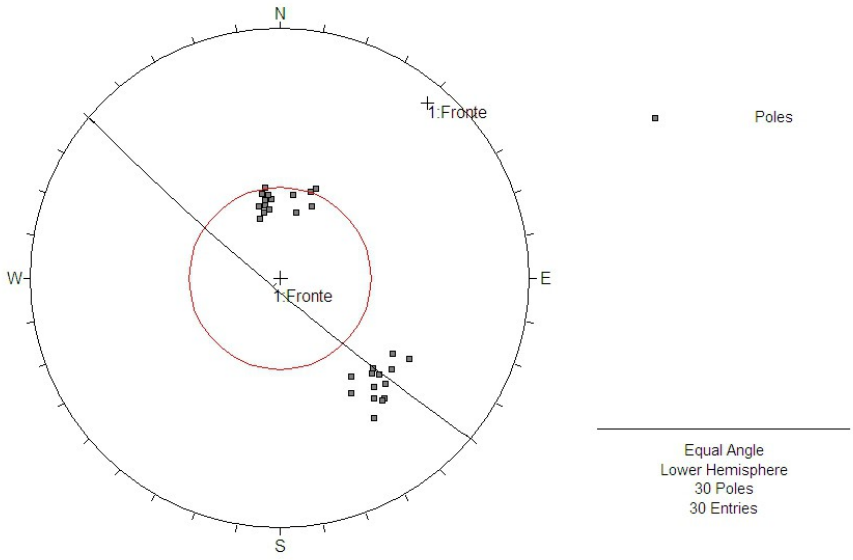


Fig. - Stereonet delle discontinuità

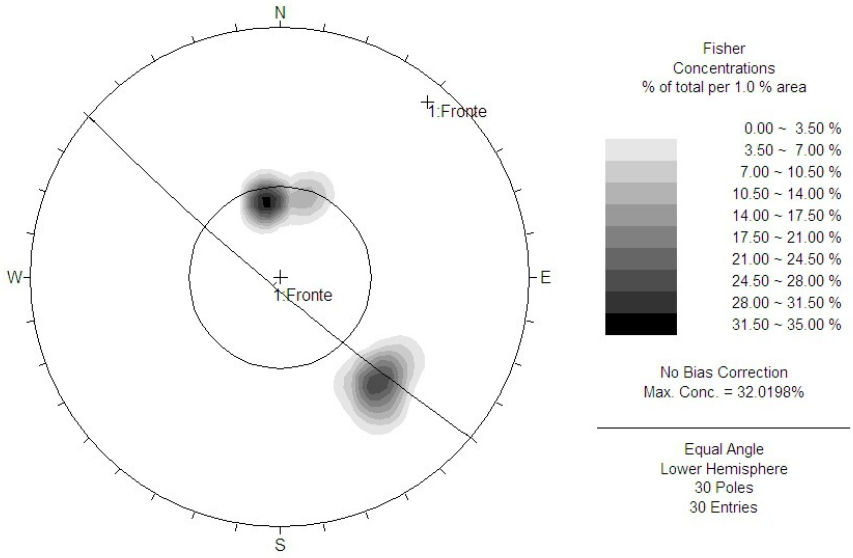


Fig. - Contour delle discontinuità.

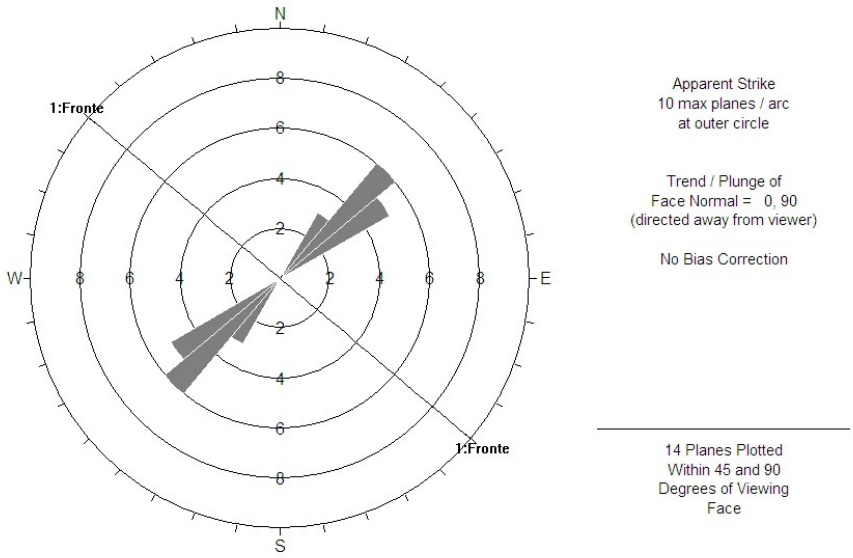


Fig. - Rose diagram.

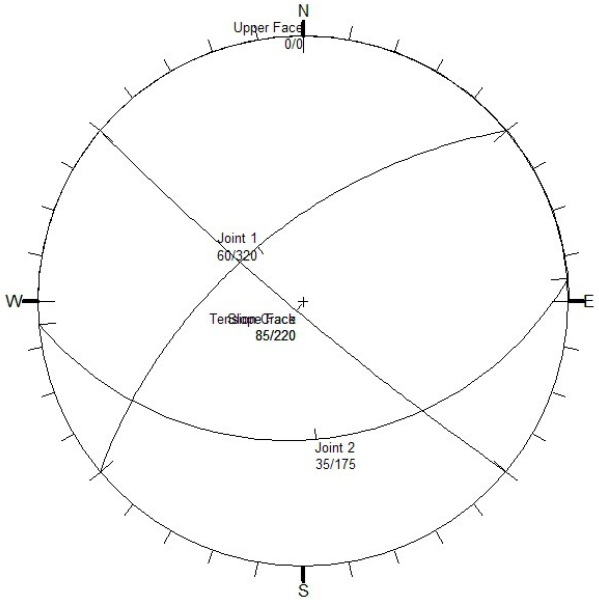


Fig. - Discontinuitò principali

6.2 Classificazione di Bieniawski dell'ammasso roccioso

Circa l'attribuzione ai substrati rocciosi dei parametri fisico-meccanici che li contraddistinguono, sono stati utilizzati i dati geomeccanici e geofisici ricavati sul terreno uniti a valori reperibili in bibliografia applicando il metodo di Bieniawski (1979) che, ferma restando l'ipotesi del modello di Mohr-Coulomb, si basa sulla determinazione dell'indice RMR come sommatoria di indici parziali relativi a:

1. resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;
2. indice RQD (Rock Quality Designation), estrapolato dai valori di spaziatura;
3. spaziatura dei giunti di discontinuità;
4. condizione dei giunti di discontinuità (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, presenza di materiale di riempimento);
5. condizioni idrauliche;

I valori degli indici parziali sono stati determinati sulla base della seguente tabella, scegliendo, parametro per parametro, la classe che meglio rappresenta l'effettiva situazione dell'ammasso roccioso in esame.

A - Classification parameters and their ratings

PARAMETER			RANGES OF VALUES						
1	Streing of intact rock material	Point-load strengt index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred		
		Uniassial compressive strengt	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces OR Gouge < 5 mm thinck OR Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thinck OR Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel lenght	None	< 10 litres/min	10 - 25 litres/min	25 - 125 litres/min	>125 litres/min		
		Ratio joint water pressure / maior principal stress	0	0.0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General condition	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

Total Rating	100 – 81	80 - 61	60 – 41	40 – 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Pessimo

La sommatoria dei coefficienti numerici dei cinque fattori fornisce un indice globale delle condizioni geomeccaniche della massa (Rock Mass Rating).

In particolare si ha:

1) La resistenza alla compressione uniassiale (R1) è stata misurata in superficie mediante lo sclerometro ed operando la media di almeno 10 valori ottenuti per punto di campionamento.
2) I valori dell'RQD (Rock Quality Designation - R2) sono stati ottenuti dai dati medi ricavati dai carotaggi e confrontati con i dati ricavati attraverso l'espressione di Palmstrom nella forma: RQD=115 - 3,3 jv dove jv rappresenta il numero medio delle discontinuità per metro nelle tre dimensioni.
3) La spaziatura delle discontinuità (R3) è stata misurata considerando la distanza tra discontinuità aventi la stessa direzione. La valutazione risulta dalla media delle spaziature dei diversi sets individuati nell'area di saggio.
4) Le condizioni di discontinuità (R4) sono state valutate misurando 5 parametri descrittivi delle discontinuità in ciascuna area di saggio: persistenza, separazione, ruvidità della superficie, riempimento ed alterazione.
5) Le condizioni idrauliche (R5) dell'ammasso roccioso sono state valutate qualitativamente in quanto in nessuna area campione mostra insorgenze di acqua quantificabili.

La classe di qualità dell'ammasso roccioso risulta dalla somma RMR base = R1 + R2 + R3 + R4 + R5.

Litotipo	GSI	RMR	Descrizione
Marmo Rosso Levanto	61	66	Buono

Oltre alla classificazione di Bieniawski, l'ammasso roccioso è stato classificato anche tramite il GSI (Geological Strenght Index), un indice di qualità dell'ammasso roccioso variabile da 5 a 100, funzione delle condizioni geomeccaniche e del grado di alterazione. Per la determinazione di questo parametro esistono relazioni che lo legano all'RMR di Bieniawski o all'indice Q di Burton.

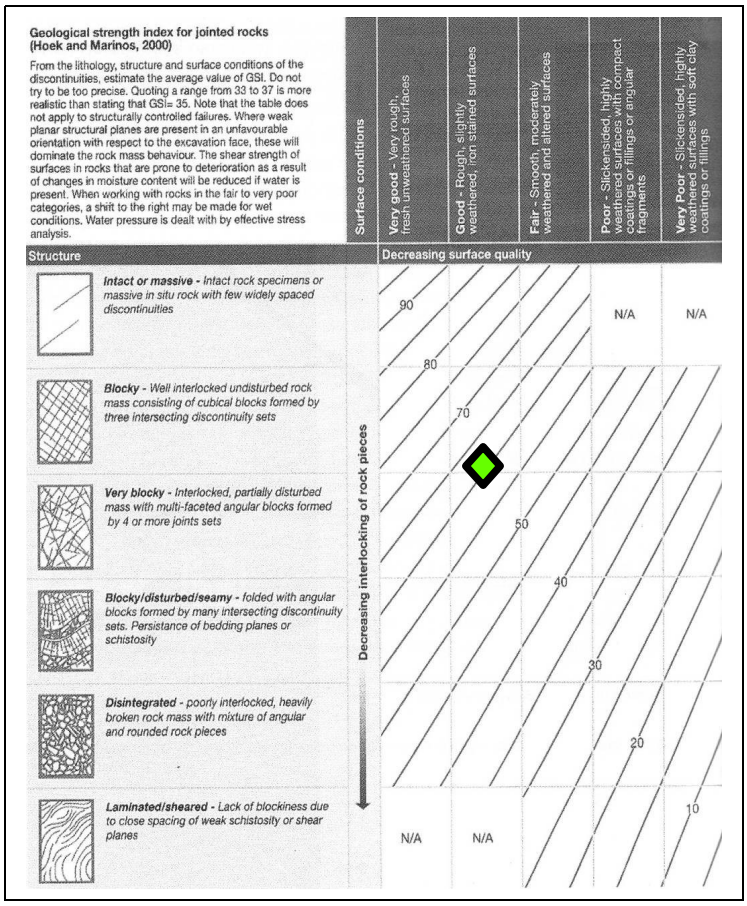


Fig. - Abaco per la stima del GSI. ◆ Marmo Rosso Levanto;

7-STIMA DEI PARAMETRI MECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

7.1 Resistenza al taglio dell'ammasso

Per la caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso è stato adottato un criterio di resistenza contraddistinto, nel piano di Mohr, da una marcata curvatura con concavità verso il basso; tale criterio comporta che, a modeste pressioni di confinamento , la superficie di rottura tende a seguire piani di discontinuità con giacitura prossima a quella di rottura, mentre ad elevate sollecitazioni la rottura interessa più estese porzioni di roccia integra.

Tale criterio viene bene descritto dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown (1980) generalmente adottato per gli ammassi rocciosi.

Hoek & Brown (1980a, 1980b) hanno proposto un metodo per ottenere delle stime attendibili della resistenza di ammassi rocciosi discontinui basato sulla valutazione della qualità meccanica degli ammassi stessi. Nell'ultima versione (1997) il criterio di rottura è definito:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}\left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s\right)^a \quad \text{[MPa]}$$

dove:
"σ′1″ e "σ′3″ sono i valori degli sforzi efficaci massimo e minimo alla rottura
"*mb*" è il valore della costante di Hoek & Brown per gli ammassi rocciosi
"*s*″ e "*a*″ sono costanti che dipendono dalle caratteristiche degli ammassi rocciosi
"σ*ci*" è il valore della resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta.

La definizione dei parametri *mb* , *s* e *a* è stata recentemente riformulata (Hoek et alii, 2002) secondo le equazioni seguenti sempre utilizzando i valori di GSI per riferirsi alle condizioni geomeccaniche degli ammassi.

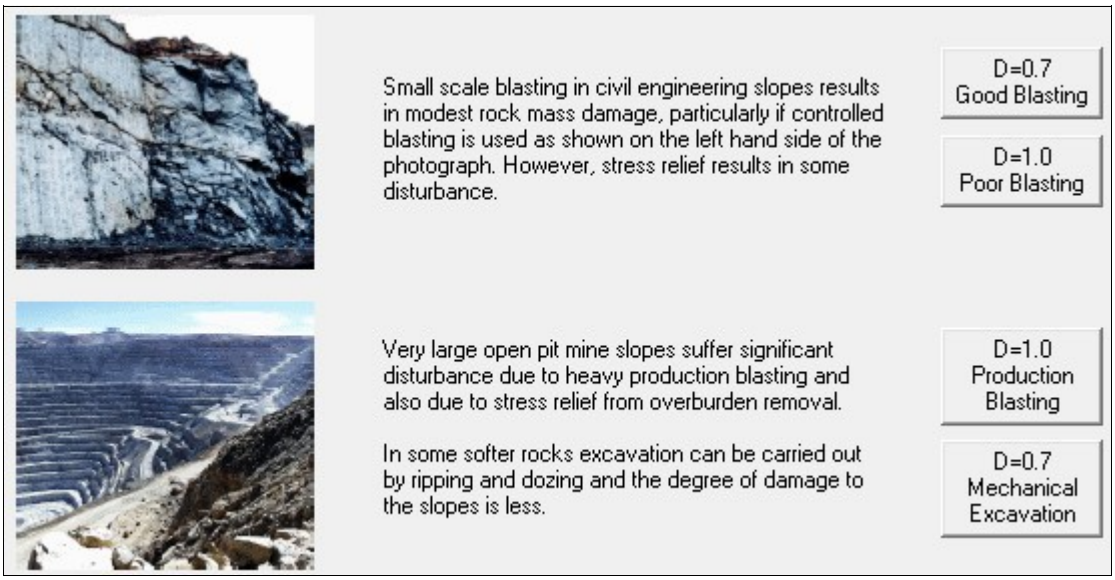
$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$$

Il fattore D dipende dal grado di disturbo a cui è stato soggetto l'ammasso per effetto della tecnologia di scavo (esplosivo o meccanizzato) e del rilascio tensionale successivo allo scavo; esso può variare da 0 per ammassi non disturbati a 1 per ammassi molto disturbati.

La scelta del fattore di disturbo (D), utile per il calcolo dei parametri *mb* ed *s*, è stata fatta utilizzando le linee guida presentate dagli stessi autori. Quelle interessanti per lo scavo di una parete rocciosa sono:



Sulla base di questi suggerimenti si è scelto di adottare un fattore di disturbo pari a **0,7**.

Il criterio di Hoek e Brown viene più convenientemente espresso in termini di curva intrinseca $\tau - \sigma'_n$ anziché in termini di sforzi principali, correlando in base a relazioni geometriche, lo sforzo di taglio in funzione della sollecitazione normale.

Lo sforzo normale e di taglio sono correlate agli sforzi principali dalle relazioni (Balmer, 1952):

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{d\sigma_1'/d\sigma_3' - 1}{d\sigma_1'/d\sigma_3' + 1}$$

$$\tau = (\sigma_1' - \sigma_3') \cdot \frac{\sqrt{d\sigma_1'/d\sigma_3'}}{d\sigma_1'/d\sigma_3' + 1}$$

$$dove$$

$$d\sigma_1'/d\sigma_3' = 1 + am_b(m_b\sigma_3'/\sigma_c + s)^{a-1}$$

Per calcolare i parametri di resistenza espressi in temine di coesione ed angolo di attrito efficaci Hoek (1980) ha proposto la seguente procedura di calcolo:

$$\varphi' = arcsen\left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a)+6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}\right]$$

$$c' = \frac{\sigma_c[(1+2a)s+(1-a)m_b\sigma'_{3n})](s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1+(6am_b(s+m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/(1+a)(2+a)}}$$

dove

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max}/\sigma_c$$

Il valore di σ'_{3max} è il limite superiore della tensione di confinamento per il quale viene considerata la correlazione tra il criterio di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb.

I calcoli precedentemente descritti sono stati processati utilizzando uno specifico software (RocLab della *RocScience*) in cui devono essere inseriti i parametri σ*ci* , GSI, m e D.

Nella figura seguente è riportata la curva caratteristica dell'ammasso roccioso in funzione dello sforzo normale efficace.

Di seguito si riportano i gli inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso nel piano delle tensioni principali σ1 - σ3 e nel piano σ – τ per il litotipo esaminato.

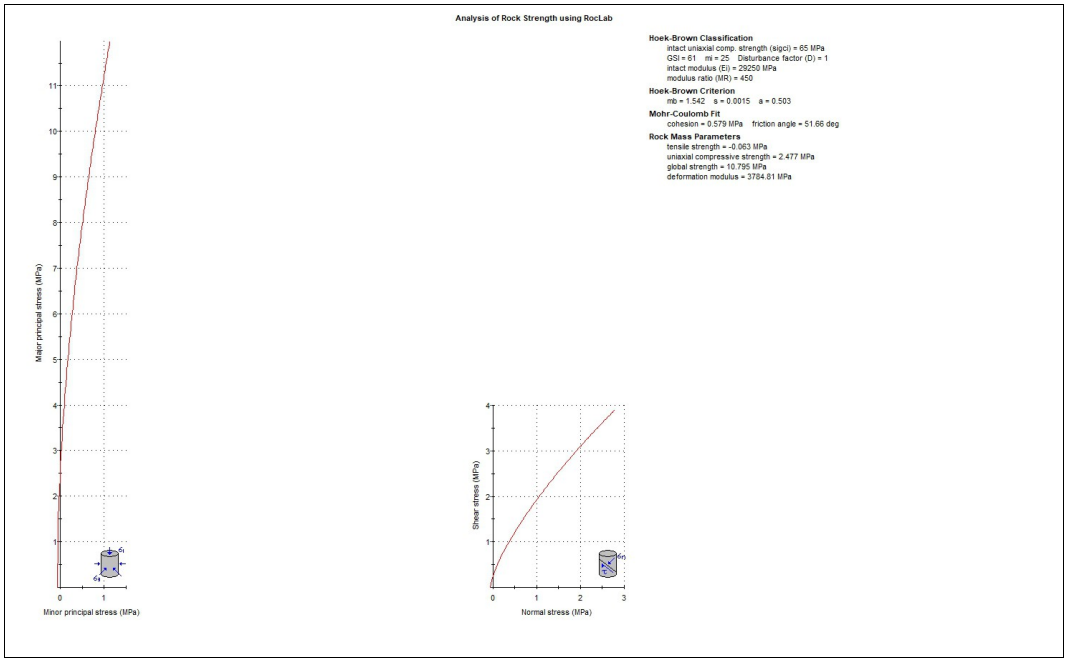


Fig. - Roclab diagram del Marmo Rosso Levanto

Parametri dell'ammasso roccioso

Angolo di attrito (°)	51,66
Coesione (Mpa)	0,579Mpa (5,9 kg/cmq)
Peso di Volume (t/mc)	2,7

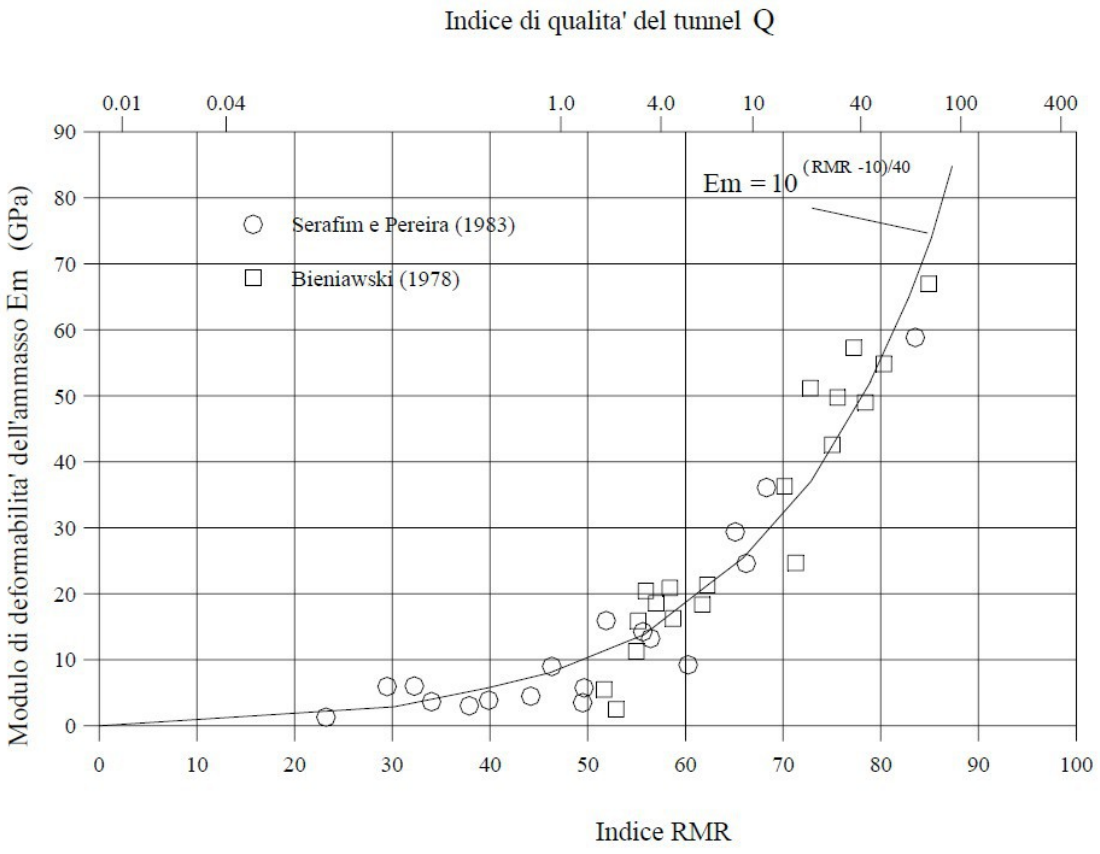
7.2 Deformabilità dell'ammasso roccioso

Indicazioni sulla deformabilità dell'ammasso possono essere ricavate da una valutazione della qualità della roccia basata sulla classificazione geomeccanica. Dopo l'introduzione della metodologia RMR, Bieniawski (1976) ha proposto la seguente correlazione (applicabile solo per valori di RMR > 55 tra modulo di deformabilità e RMR:

Ed (Gpa) = 2*RMR-100

Una modifica della relazione precedente, che tiene conto di dati di prova in rocce di qualità mediocre o scadente, è stata proposta da Serafim e Pereira (1979) ed adottata successivamente da Bieniawski (1989) e definita dalla seguente relazione:

$Ed(Gpa)=10^{(RMR-10)/40}$



Relazione di Serafim-Pereira per la valutazione di E.

Una relazione per la stima del parametro di deformabilità dall'ammasso a partire dall'indice Q è stata proposta da Barton (1995):

$Ed(Gpa)=10Q^{1/3}$

In seguito Hoek et al. (1995) hanno osservato che la relazione precedente tende a sovrastimare i moduli quando il modulo del materiale roccioso è basso. E' stato quindi introdotto un termine direttamente collegato alle proprietà del materiale roccioso e tenendo anche conto della sostituzione dell'indice di caratterizzazione GSI all'indice RMR si ha:

$$E_d\ (\mathrm{GPa}) = \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}} \qquad \text{per } \sigma_c < 100\ \mathrm{MPa}$$

Più recentemente Hoek e Diederichs (2005) hanno riesaminato i predetti metodi empirici per stimare il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso ed hanno aggiornato i criteri in precedenza esposti con la relazione:

$$E_d\,(MPa) = 100000\left(\frac{1-D/2}{1+e^{((75+25D-GSI)/11)}}\right)$$

Dai calcoli ottenuti dalle relazioni descritte, insieme ad altre ricavate dalla bibliografia si ottengono i seguenti valori.

Modulo di deformazione	E_d	32,00	GPa	Bieniawski (1970)	RMR>50
Modulo di deformazione	E_d	3,30	GPa	Stille (1986)	RMR<52
Modulo di deformazione	E_d	25,12	GPa	Serafim e Pereira(1983)	
Modulo di deformazione	E_d	5,25	GPa	Mehrotra et al. (1991)	
Modulo di deformazione	E_d	16,11	GPa	Iasarevic e Kovacevic (1996)	
Modulo di deformazione	E_d	17,53	GPa	Berardi e Bellingeri (1998)	

Media, escludendo Stille (RMR<52): 19,2 Gpa

8 – STIMA DEI PARAMETRI DEL MATERIALE DA UTILIZZARSI PER IL RIPRISTINO AMBIENTALE

Per l'attribuzione dei caratteri fisici e meccanici degli elementi da porre a dimora si sono utilizzati, come indicato al punto 6.2.2 delle citate NTC e dalle "Linee Guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive ..", i dati della bibliografia nonché quelli ottenuti da prove dirette effettuate sui differenti materiali per altro già utilizzati per la sistemazione ambientale di cave del comprensorio.

Infatti, per poter avere un sufficiente grado di affidabilità dei dati geotecnici da utilizzare nelle verifiche si sono studiati differenti materiali di riempimento, sui quali sono state fatte le usuali analisi e sono stati valutati, anche con l'ausilio di specifiche tabelle e grafici, i

parametri geotecnici utili agli obiettivi prefissati.

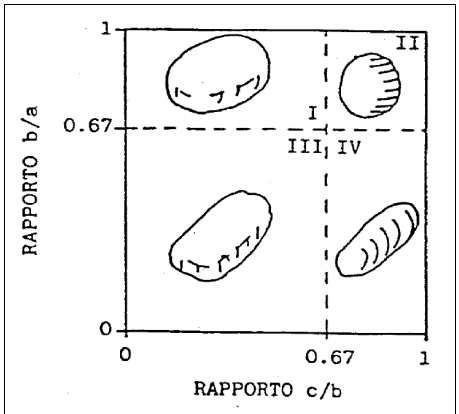
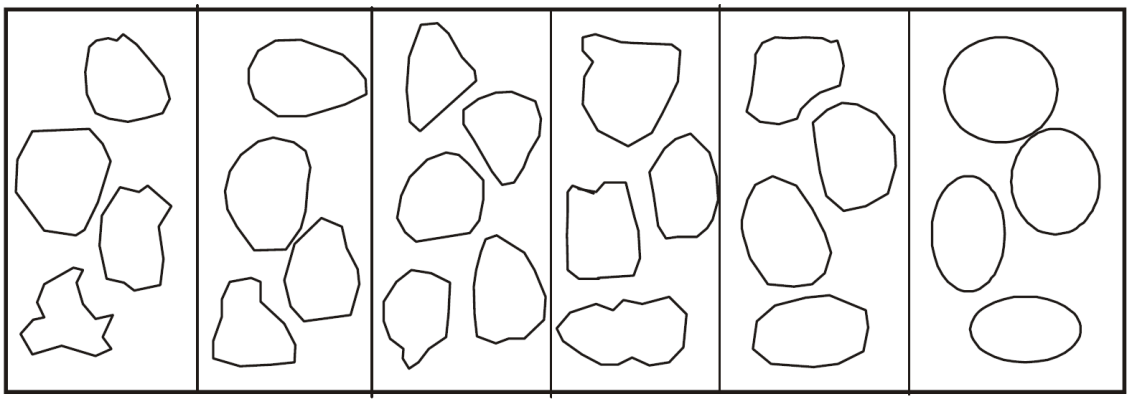
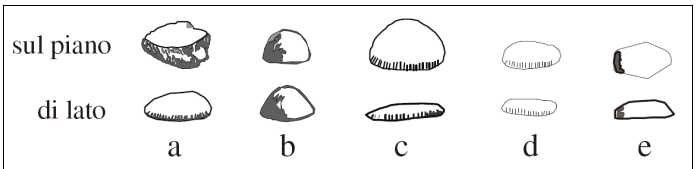
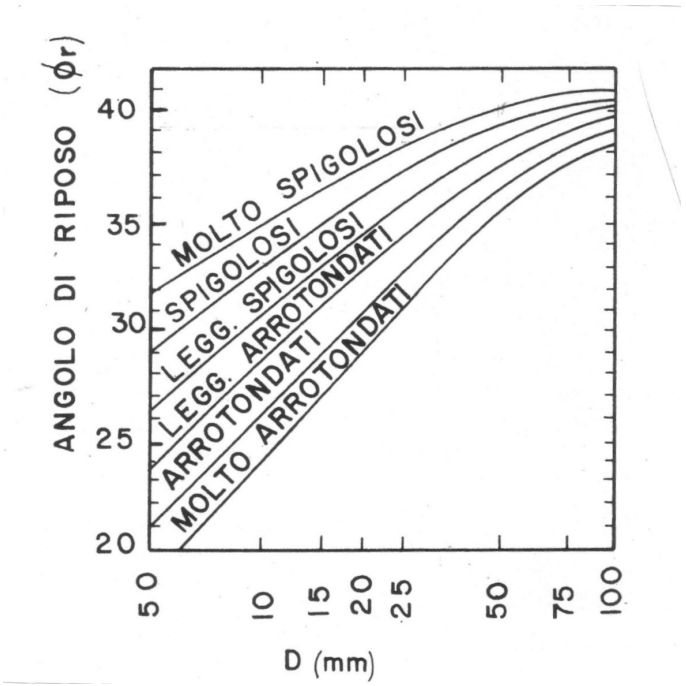


Fig. 1/3 - Classificazione della ghiaia e dei ciottoli in funzione della forma (Gnaccolini, 1978): a, b, c d sono le dimensioni caratteristiche dei grani.
I = discoidali II = sferoidali
III = lamellari IV = allungati





Forma dei ciottoli dei diversi ambienti visti di fianco e dall'alto (sul piano). a = ambiente eolico; b = coste con alta energia, ciottoli più o meno arrotondati; c = coste con bassa energia, ciottoli appiattiti; d = fiumi, ciottoli arrotondati; e = morene glaciali, ciottoli tabulari con contorno pentagonale



Questa tabella mette in relazione le grandezze dei granuli e l'angolo di attrito secondo Cooke e Doornkamp (valori minimi di Dr).

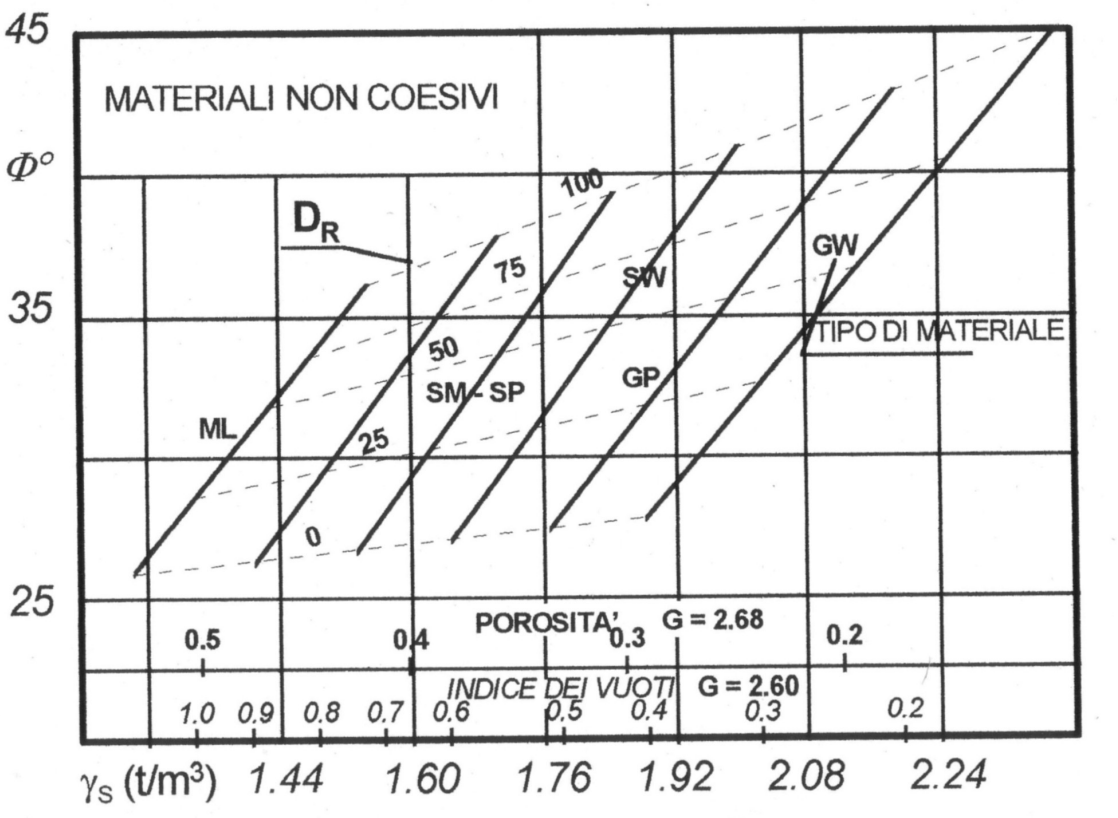


Diagramma NAVFAC D.M. 1971: relazione tra ps e φ in base alla tipologia del materiale
Sulla base dei dati dei campioni studiati, da dati sperimentali e dalla densità del materiale (NAVAF D.M. 1971) e di prove effettuate su terreni simili in cave sistemate o in via di sistemazione, e tenuto conto delle caratteristiche granulometriche, è possibile ipotizzare, considerando idonea compattazione del materiale, i seguenti parametri geotecnici:

- angolo di attrito interno φ = 32 ° - 35°
- coesione Cu = 0,1 – 0,4 Kg/cmq
- peso di volume ps = 1,8 – 2,1 t/mc
- densità relativa Dr = 40 - 50%.

Si tratta di parametri cautelativi poiché è ipotizzabile la presenza di granuli spigolosi degli elementi litoidi, di pezzature anche di un certo rilievo il cui comportamento può considerarsi (talvolta) intermedio tra quello degli ammassi rocciosi giuntati e dei materiali granulari classici.

Esami di laboratorio e indagini geognostiche dirette, effettuate con penetrometro pesante su rilevati di ricomposizione ambientali eseguite nell'ultimo decennio in tutta la Liguria dimostrano l'attendibilità dei valori sopra riportati.

Trattandosi di materiale derivante comunque da scavi di terre e rocce, il valore dell'angolo d'attrito interno considerato concorda con i valori desumibili dal grafico di Cooke e Doornkamp in relazione al grado di addensamento, al diametro dei granuli e alle loro caratteristiche di spigolosità o arrotondamento.
Per ultimo occorre sottolineare che i materiali sopra descritti saranno posti a dimora in strati di limitato spessore in modo da creare un riempimento omogeneo, ben compattato così come prescritto anche dalle "Linee guida" regionali.

9 – CALCOLO DEI PARAMETRI DI PROGETTO

Dalle prove in situ e di laboratorio effettuate e dai rilevamenti geomeccanici, si è ottenuto un chiaro modello geologico e geomeccanico del sito oggetto di studio; di seguito sono riportati i parametri medi (Vm) i parametri caratteristici (Vk) e i parametri di progetto (Vd) calcolati per poi essere di seguito utilizzati nelle verifiche di stabilità dei fronti così come prevedono le NTC 2008 (par. 6.2.3.1.2)

Valori medi (Vm)

Marmo Rosso Levanto

Angolo di attrito (°)	51,66
Coesione (Kg/cmq)	5,9
Peso di Volume (t/mc)	2,7

Materiale di riporto

Angolo di attrito (°)	33
Coesione (Kg/cmq)	0,2
Peso di Volume (t/mc)	1,8

Valori caratteristici (Vk)
Applicando quanto contenuto nelle istruzioni del CSLP si sono assunti quali valori caratteristici del deposito i valori medi: Vm=Vk.

Infatti, come riportato nel C6.2.2 del CSLP "appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azione dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti".
Valori di progetto (Vd)
I valori di progetto di c, cu e φ da adottare nel calcolo si ottengono per combinazioni contenenti M2, dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale secondo quanto indicato nell'eurocodice 7 e nel D.M. 14/01/2008 NTC.

I valori di progetto si ottengono tramite le seguenti formule:

- tgφd=tgφk/1,25
- cd=ck/1,25
- cud=cuk/1,4
- qud=quk/1,6 (resistenza a compressione uniassiale)

Marmo Rosso Levanto

Angolo di attrito (°)	45,33
Coesione (Kg/cmq)	4,72
Peso di Volume (t/mc)	2,7

Materiale di riporto

Angolo di attrito (°)	27,45
Coesione (Kg/cmq)	0,14
Peso di Volume (t/mc)	1,8

I valori ottenuti sono utilizzati per i calcoli nelle verifiche di stabilità di seguito eseguite.

Tabella 6.2.II – *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	**(M1)**	**(M2)**
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

10-VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO

Vita Nominale
La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata (par. 2.4.2 NTC).
La vita nominale dell'opera in progetto è 50 anni.

Classe d'uso
In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le opere sono suddivise in classi d'uso; le classi d'uso delle opere in progetto sono:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli (gradoni);

Il coefficiente C_U in questo caso risulta pari a 0,7 come dalla tabella 2.4.II delle NTC.

- *Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. Scuole. Teatri, Musei,Tribune , sale con affollamenti significativi , etc. (rilevato di ricomposizione ambientale):

Il coefficiente C_U in questo caso risulta pari a 1 come dalla tabella 2.4.II delle NTC.

Fermo restando che la decisione delle classi d'uso è del progettista che ne determina quindi il ruolo, a favore di sicurezza si è optato per inserire il rilevato di ricomposizione ambientale in Classe III, anche se, di fatto non è prevista la presenza di persone su di esso.

Periodo di riferimento per l'azione sismica
Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (par. 2.4.3 NTC):

$V_R = V_N \times C_U =$

Tabella riepilogativa - gradoni

Vita nominale V_N	50 anni
Classe d'uso	I
Coefficiente d'uso C_u	0,7
Periodo di riferimento dell'azione sismica V_R	35

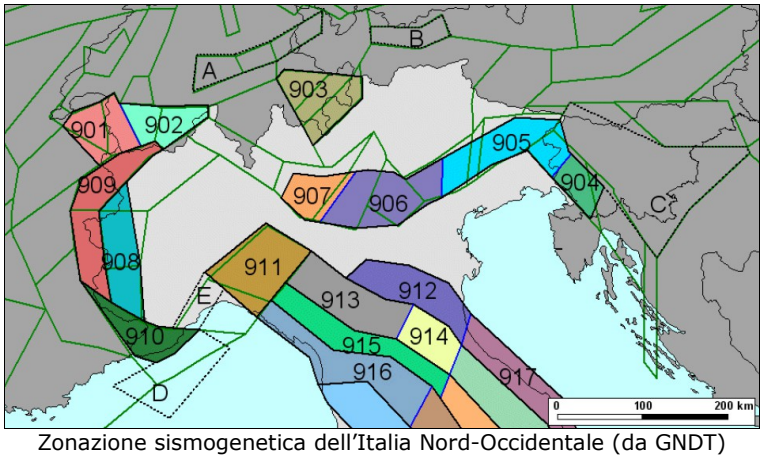
Tabella riepilogativa – rilevato di ricomposizione ambientale

Vita nominale V_N	50 anni
Classe d'uso	III
Coefficiente d'uso C_u	1
Periodo di riferimento dell'azione sismica V_R	50

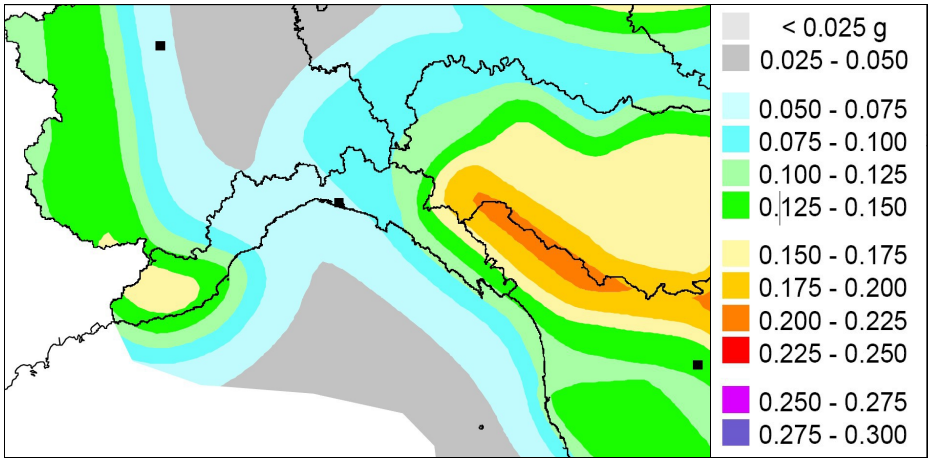
11-NOTE SISMICHE

Zonazione sismogenetica

Dall'esame della cartografia di zonazione sismogenetica ZS9 l'area in esame si colloca nella zona 916 che è classificata come settore in distenzione tirrenica definito dal modello sismotettonico di Meletti ed al. (2000). Questa zona è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.



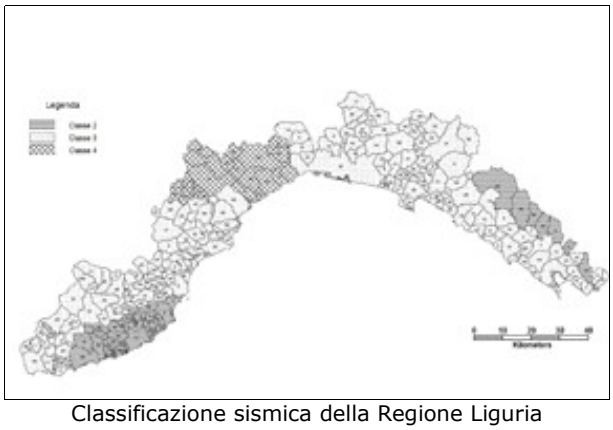
Zonazione sismogenetica dell'Italia Nord-Occidentale (da GNDT)



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (da INGV)

Classificazione sismica

In base al D.G.R. N. 216/17 ("OPCM 3519/2006 - Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"), il territorio del Comune di Deiva Marina è inserito in zona 3, corrispondente ad un valore di accelerazione orizzontale ag = 0,15 g.



Classificazione sismica della Regione Liguria

Categoria di suolo

Per quanto riguarda i valori delle Vs, sulla base della bibliografia e dai dati acquisiti direttamente in campagna, si possono stimare i valori medi. Pertanto, la categoria del suolo, ai fini della definizione dell'azione sismica è assimilabile alla categoria "A" e cioè: "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", secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2018 per quanto riguarda i fronti di coltivazione, e "B", ovvero "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" per quanto riguarda il rilevato di ricomposizione ambientale.

Coefficiente di amplificazione topografica St

Per quanto riguarda l'amplificazione sismica la morfologia dei luoghi influenza gli effetti del sisma, ed infatti si identificano tre conformazioni tipiche:

a) **conca**: conformazione rocciosa a conca con un riempimento di terreno soffice. Si realizzano fenomeni di rifrazione delle onde sismiche che risultano concentrate in una zona localizzata al centro della conca.
b) **pendio**: è dimostrato che le accelerazioni lungo il pendio sono maggiori rispetto al suolo pianeggiante.
c) **vetta**: rappresenta il caso più pericoloso. Le azioni sismiche si focalizzano sul punto sommitale in cui le azioni risultano notevolmente incrementate.

Il sito di intervento è collocato in un un pendio, pertanto sono possibili fenomeni di maggiori accelerazioni sismiche. La categoria topografica è **T2** (tabella 3.2.IV NTC) e il coefficiente di amplificazione topografica risulta **St=1,2**

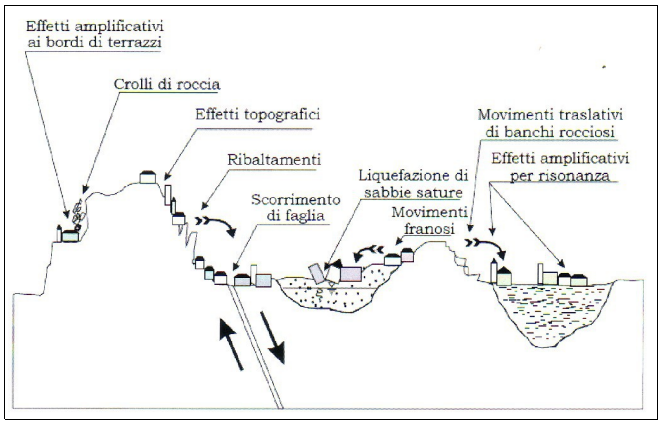


Fig. Schema dei fattori di amplificazione topografica

PARAMETRI SISMICI – GRADONI IN ROCCIA

Sito in esame.

latitudine:	44,230906
longitudine:	9,55143
Classe:	1
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17814	Lat: 44,2181	Lon: 9,5140	Distanza: 3303,998
Sito 2	ID: 17815	Lat: 44,2204	Lon: 9,5837	Distanza: 2826,526
Sito 3	ID: 17593	Lat: 44,2703	Lon: 9,5805	Distanza: 4956,325
Sito 4	ID: 17592	Lat: 44,2680	Lon: 9,5108	Distanza: 5241,657

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	35anni
Coefficiente cu:	0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,037 g	
Fo:	2,517	
Tc*:	0,211	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	35	[anni]
ag:	0,040 g	
Fo:	2,512	
Tc*:	0,220	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	332	[anni]
ag:	0,101 g	
Fo:	2,440	
Tc*:	0,283	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	682	[anni]
ag:	0,134 g	
Fo:	2,392	
Tc*:	0,289	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,009
Kv:	0,004
Amax:	0,439
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,010
Kv:	0,005
Amax:	0,470
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,033
Kv:	0,016
Amax:	1,186
Beta:	0,270

SLC:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,044
Kv:	0,022
Amax:	1,580
Beta:	0,270

PARAMETRI SISMICI – RILEVATO DI RICOMPOSIZIONE AMBIENTALE

Sito in esame.

latitudine:	44,230906
longitudine:	9,55143
Classe:	3
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17814	Lat: 44,2181	Lon: 9,5140	Distanza: 3303,998
Sito 2	ID: 17815	Lat: 44,2204	Lon: 9,5837	Distanza: 2826,526
Sito 3	ID: 17593	Lat: 44,2703	Lon: 9,5805	Distanza: 4956,325
Sito 4	ID: 17592	Lat: 44,2680	Lon: 9,5108	Distanza: 5241,657

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	75anni
Coefficiente cu:	1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	45	[anni]
ag:	0,045 g	
Fo:	2,504	
Tc*:	0,234	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%

Tr:	75	[anni]
ag:	0,055 g	
Fo:	2,523	
Tc*:	0,253	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	712	[anni]
ag:	0,136 g	
Fo:	2,392	
Tc*:	0,289	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1462	[anni]
ag:	0,174 g	
Fo:	2,388	
Tc*:	0,295	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,470
St:	1,200
Kh:	0,013
Kv:	0,006
Amax:	0,630
Beta:	0,200

SLD:

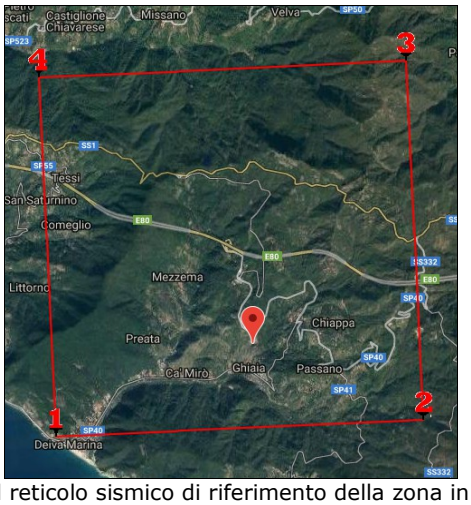
Ss:	1,200
Cc:	1,450
St:	1,200
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,777
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,200
Kh:	0,047
Kv:	0,024
Amax:	1,926
Beta:	0,240

SLC:

Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,200
Kh:	0,060
Kv:	0,030
Amax:	2,462
Beta:	0,240



Nodi del reticolo sismico di riferimento della zona in esame

Valutazione dell'azione sismica nei pendii (Slope Geostru 2010)
Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza. Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

Fh=Kh *W
Fv=Kv *W

Essendo:
FH e FV rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
W: peso concio
Ko: Coefficiente sismico orizzontale
Kv: Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici
Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti Ko e Kv indipendenza di vari fattori:
Ko= βs×(amax/g)
Kv=±0,5×Ko
Con
βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
amax accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.
amax= SS ST ag
SS(effetto di amplificazione stratigrafica): 0.90 ≤Ss≤ 1.80; è funzione di F0(Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e cat. di suolo (A, B, C, D, E).
ST(effetto di amplificazione topografica).
Il valore di ST varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:
T1*(ST= 1.0)* ***T2****(ST= 1.20)* ***T3****(ST=1.20)* ***T4****(ST= 1.40).*
Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è così valutato:

TR=-VR/ln(1-PVR)

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale Ko e verticale Kv che interessano tutte le masse vengono calcolatati come:
Ko= S · (ag/g) Kv= 0.5· Ko
S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:
tipo A - S=1;
tipo B - S=1.25;
tipo C - S=1.25;
tipo E - S=1.25;
tipo D - S=1.35.
Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica ST:
ST≥ 1,2 per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati; ST≥ 1,4 per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media > 30°; ST≥ 1,2 per siti dello stesso tipo, ma pendenza media inferiore.

12-VERIFICA DI STABILITÀ DEL RILEVATO DI RICOMPOSIZIONE AMBIENTALE

Le verifiche che seguono sono state eseguite in conformità di quanto prescritto al punto 6.8 "Opere di materiali sciolti e fronti di scavo" delle NTC lungo le sezioni di ripristino ambientale. Nei criteri generali di progetto delle NCT (6.8.1) si specifica che "Il progetto di un manufatto di materiali sciolti deve tener conto dei requisiti prestazionali richiesti e delle caratteristiche dei terreni di fondazione". Nel caso specifico il rilevato ha una funzione di ricomposizione ambientale, senza alcun carico, e poggia su roccia e pertanto non si pongono particolari problemi.

Allo stesso punto si precisa anche che "Nel progetto devono essere indicate le prescrizioni relative alla qualificazione dei materiali e alla posa precisando tempi e modalità di costruzione, in particolare lo spessore degli strati in funzione dei materiali. Sono altresì da precisare i controlli da eseguire durante la costruzione e i limiti di accettabilità dei materiali, del grado di compattazione da raggiungere e della deformabilità degli strati".

Secondo quanto riportato al punto 6.8.2 delle NTC, le verifiche di sicurezza sono state eseguite secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle.

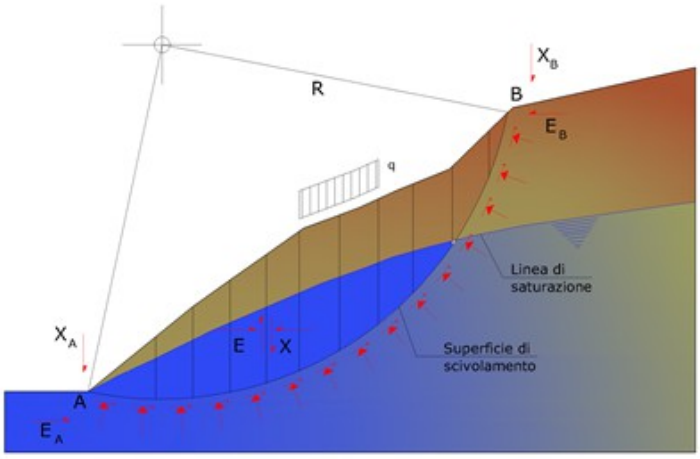
Definizione
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Metodo equilibrio limite (LEM)
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (t) e confrontate con la resistenza disponibile (t_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di

sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci
La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a *n*, il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i;
- (n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono (6n-2).
Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

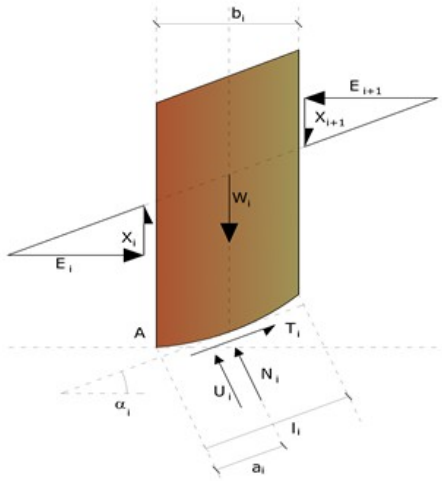
$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

Metodo di Bishop (1955)
Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \qquad \textbf{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\} \times \frac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$



I valori di F e di DX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre DX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario,** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

Ricerca della superficie di scorrimento critica
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.
Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Le verifiche di cui sopra sono eseguite con programma Slope 2018 della Geostru – Software applicando il metodo di calcolo di Bishop, i risultati sono visibili nei grafici e tabelle allegate.

Nelle verifiche si è posta la coesione anche pari ad 1/10 di quella calcolata, ed è stata ipotizzata una falda orientata verso valle, oltre che l'amplificazione sismica e i parametri di progetto, quindi già ridotti rispetto a quelli calcolati e l'applicazione di carichi pari a 0,3 Kg/cmq e della larghezza di 3 m lineari per simulare il passaggio di mezzi pesanti sul rilevato. Utilizzando la coesione con valori di progetto (0,14 Kg/cmq) si ottengono, ovviamente, valori decisamente più alti del Fattore di sicurezza).

Sezione	Fsmin con coesione 1/10	Fsmin con coesione 0,14 Kg/cmq
1-1	1,268	1,58
2-2	1,205	1,61
3-3	1,210	1,71
4-4	1,358	2,38
5-5	1,1015	1,49
6-6	1,129	1,68

Le sezioni 7-7, 8-8 e 9-9 non sono state analizzate poiché con geometria praticamente orizzontale.

13-PRESCRIZIONI PER LA REALIZZAZIONE DEL RIPRISTINO AMBIENTALE

Come risulta dalle verifiche fatte i valori dei coefficienti di sicurezza allo scorrimento dei rilevati di ripristino ambientale sono risultati pienamente accettabili.

Chiaramente le condizioni di stabilità esaminate fanno riferimento ad alcuni criteri di posa in opera del materiale e di opere accessorie che sono qui richiamati come prescrizioni da rispettare nella fase di esecuzione dei lavori:

- Il ripristino ambientale dovrà essere eseguito sistemando il materiale scaricato in strati di circa 50 cm di spessore, adeguatamente compattati con mezzo meccanico, in modo che le resistenze più basse, siano compatibili con parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche;

- In fase di formazione del ripristino ambientale è necessario fare verifiche geotecniche della compattazione del materiale con prove specifiche, tipo proctor e penetrometrie, almeno ogni 10 metri di abbancamento verticale, con almeno tre prove, adeguatamente distribuite per determinare le caratteristiche medie del materiale;

- Al progredire del ripristino ambientale dovrà essere curata e mantenuta in efficienza la regimazione idrica delle acque meteoriche come da progetto;

- Man mano che i vari ripiani saranno giunti alle quote di progetto, si dovrà procedere alla semina di essenze erbacee ed arbustive antierosione e successivamente essenze vegetali arboree.

- Dovrà essere installato in luogo idoneo, deciso dalla Direzione Lavori, un piezometro finestrato, per monitorare la presenza di acqua all'interno del volume di materiale di riporto, misurato con cadenza almeno bimestrale e/o dopo eventi di particolare rilevanza.

Con queste prescrizioni sarà garantita la stabilità del ripristino ambientale in progetto ed il suo mantenimento nel tempo e la rapida rinaturalizzazione dei luoghi.

14-MATERIALI UTILIZZATI PER LA REALIZZAZIONE DEL RIPRISTINO AMBIENTALE

In virtù di quanto riportato nelle recenti delibere di giunta regionale 671 e 672 del 26/07/2019, e vista la pregressa normativa:

- il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e s.m. e i., recante "Norme in materia ambientale" e in particolare la parte quarta, relativa alla gestione dei rifiuti;
- il D.M. 5 febbraio 1998 e s.m. e i., recante "Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero";
- il D.Lgs. 30 maggio 2008, n. 117 e s.m. e i., recante "Attuazione della direttiva 2006/21/CE relativa alla gestione dei rifiuti delle industrie estrattive che modifica la direttiva 2004/35/CE";
- il D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del Decreto Legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla Legge 11 novembre 2014, n. 164";
- la legge regionale 5 aprile 2012, n. 12 e s.m., recante: "Testo unico sulla disciplina dell'attività estrattiva", come modificata in ultimo dalla legge regionale 2 agosto 2017 n. 18 "Modifiche alle leggi regionali 5 aprile 2012, n. 12 (Testo Unico sulla disciplina dell'attività estrattiva) e 12 aprile 2011, n. 7 (Disciplina di riordino e razionalizzazione delle funzioni svolte dalle comunità montane soppresse e norme di attuazione per la liquidazione)";
- la legge regionale 6 giugno 2014, n. 13 e s.m. e i., recante "Testo Unico della normativa regionale in materia di paesaggio";
- la D.G.R. 431 del 27 marzo 2015 "Aggiornamento D.G.R. n. 141 del 5 febbraio 2010, recante: "Modifiche alle Linee Guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse, di cui alla D.G.R. n. 141/2008"

CONSIDERATO inoltre che la Corte di Giustizia Europea – Sezione IV, con propria sentenza C-147 in data 28 luglio 2016, ha escluso che l'attività di riempimento di una cava con rifiuti diversi da quelli di estrazione sia soggetta alla disciplina generale delle discariche di rifiuti se tale operazione è qualificabile come recupero di rifiuti;

CONSIDERATO quanto riporato nella delibera di giunta n° 672 del 26/07/2019 sancisce che il ripristino ambientale possa essere realizzato mediante i materiali di seguito descritti.

"In particolare, il ripristino ambientale dovrà essere conseguito, in coerenza con il comma 3 dell'art. 17 della l.r. n. 12/2012 e s.m. e i. utilizzando i seguenti materiali:

- ***Rifiuti di estrazione*** *di cui all'articolo 3, comma 1, lettera d) del D.Lgs. 30 maggio 2008 n. 117;*
  - ***Terre e rocce da scavo*** *classificate come sottoprodotti ai sensi dell'art. 184-bis del D. Lgs 152/2006 e s.m. e i., secondo i criteri e le procedure definiti dal DPR 120/2017;*
  - ***Rifiuti inerti*** sottoposti ad *attività di recupero R10*

autorizzate in forma semplificata ex art. 214,215, e 216 o in forma ordinaria ex art. 208 del D. Lgs.152/2006;

- ***Materie end of waste*** *derivanti da attività di recupero rifiuti conformi alle caratteristiche indicate dal D.M. 5 febbraio 1998, con particolare riferimento al paragrafo 7.1 e al paragrafo 12.3;*

I suddetti materiali dovranno essere compatibili con le caratteristiche chimico-fisiche, idrogeologiche e geomorfologiche delle aree oggetto di riempimento, non costituire fonte di contaminazione diretta o indiretta per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale, e rispettare le condizioni di seguito elencate:

- ✓ ***Rifiuti di estrazione****: siano approvati i relativi Piani di Gestione dei Rifiuti di estrazione di cui all'art. 5 del D.Lgs. 30 maggio 2008, n. 117;*
- ✓ ***Terre e rocce da scavo****:*
  - *il contenuto dei contaminanti sia conforme alle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di cui alla colonna A della tabella 1, Allegato 5, al Titolo 5, della parte IV del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, ovvero, conforme alle CSC di cui alla colonna B della medesima tabella, nel caso in cui la previsione dello strumento urbanistico, che identifica la destinazione d'uso del sito alla conclusione della coltivazione della cava, sia di tipo commerciale o industriale, o ai valori di fondo naturali;*
  - *nei casi in cui le terre e rocce da scavo contengano materiali di riporto, sugli stessi siano rispettate le CSC delle acque sotterranee di cui alla tabella 2, allegato 5, al titolo 5, della parte IV del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 o i valori di fondo naturali, tramite apposito test di cessione effettuato secondo le metodiche di cui al D.M. 5 febbraio 1998;*
- ✓ ***Rifiuti inerti****: sottoposti ad attività di recupero R10:*
  - *il recupero è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul rifiuto tal quale secondo il metodo in allegato 3 al D.M. 5 febbraio 1998;*
  - *il contenuto dei contaminanti sia conforme a quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di messa in sicurezza, bonifica e ripristino ambientale dei siti inquinati, in funzione della specifica destinazione d'uso;*
  - *siano rispettate le CSC delle acque sotterranee di cui alla tabella 2, allegato 5, al titolo 5, della parte IV del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 o i valori di fondo naturali, tramite apposito test di cessione effettuato secondo le metodiche di cui al D.M. 5 febbraio 1998;*
- ✓ ***Materie end of waste*** *derivanti da attività di recupero rifiuti conformi alle caratteristiche indicate dal D.M. 5 febbraio 1998, con particolare riferimento al paragrafo 7.1 e al paragrafo 12.3; ai fini dell'individuazione delle caratteristiche delle materie o rifiuti destinate alle operazioni di ripristino ambientale è di riferimento la Circolare del Ministero dell'Ambiente 15 luglio 2005, n. UL/2005/5205.*

- *le procedure autorizzative in caso di recupero rifiuti di competenza della Città Metropolitana /Provincia in materia ambientale siano preventive o comunque coordinate con l'approvazione del programma di coltivazione o sue varianti;*
- *sia tenuto in cava apposito registro in cui annotare le tipologie di materiale abbancato, la provenienza ed i relativi quantitativi, fermo restando l'obbligo di tenere i registri di carico e scarico di cui all'art. 190 del D.Lgs 152/2006 e s.m. e i. nei casi ivi previsti;*
- *sia trasmessa alla Regione e alla Città Metropolitana/Provincia, entro il 31 marzo di ogni anno, una relazione contenente i dati consuntivi dell'anno precedente del suddetto registro, comprensiva di una dichiarazione dalla quale sia possibile desumere il rispetto delle condizioni di cui ai punti precedenti."*

stabilire che gli esercenti delle attività estrattive il cui programma di coltivazione e recupero ambientale prevede l'impiego dei materiali come definiti al precedente punto 1, possono proseguire l'attività di abbancamento secondo i profili autorizzati;

stabilire che gli esercenti delle attività estrattive che intendono modificare le tipologie di materiale per l'abbancamento o le geometrie dei profili previsti nel programma di coltivazione e ripristino ambientale autorizzato, presentino apposita istanza di variante allo SUAP che:

- *nel caso in cui garantisca pienamente l'esecuzione del programma di coltivazione e la sistemazione ambientale secondo i profili autorizzati con caratteristiche equivalenti in termini di fattori di sicurezza e di tutela ambientale, è soggetta esclusivamente alle verifiche sotto il profilo del vincolo idrogeologico di competenza comunale;*
- *negli altri casi è oggetto di procedimento di autorizzazione ai sensi dell'art. 12, comma 1, della l.r. 12/2012 e s.m. e i.;*
- *nel caso di attività di recupero rifiuti presuppone l'acquisizione delle autorizzazioni ambientali di competenza della Città Metropolitana/Provincia;*

Vista la citata normativa si richiede pertanto di poter di poter utilizzare tutti i suddetti materiali sopra elencati al fine del riempimento previsto nella cava La Sfinge, anche mediante l'utilizzo di un frantoio mobile sepcifico per il trattamento dei materiali.

15-CONCLUSIONI

Lo studio effettuato ha permesso di elaborare la caratterizzazione dei litotipi presenti nell'area di studio e di effettuare le opportune verifiche di stabilità del rilevato di ricomposizione ambientale. Ai fini della sicurezza si sono utilizzati sempre i parametri ridotti (Vd), considerata l'accelerazione sismica e la falda. Tutte le situazioni studiate sono risultate stabili.

Il progettista
Dott. Geologo Luca Piaggi



16-BIBLIOGRAFIA

- Bieniawski Z.T., 1989, Eigineering rock mass classification, J. Wiley & Sons;
- Boccaletti & Tortorici - Appunti di Geologia strutturale. Patron Editore (Bologna);
- Butler & Bell -1988- Lettura e interpretazione delle carte geologiche. Zanichelli (Bologna);
- Coppola B., Mancini M., Marchese F., Pedemonte S., Rossi F.M., 1992, La classificazione geomeccanica di Bieniawski: modalità di applicazione nella progettazione di gallerie in roccia, Geologia Tecnica e Ambientale, n° 4/92;
- Coppola B., Mancini M., Marchese F., Pedemonte S., Rossi F.M., 1994, Considerazioni tecniche e contrattuali relative all'applicazione del sistema RMR, Geologia Tecnica e Ambientale, n° 2/94;
- Faccini F., Marescotti P., Robbiano A., 2000, La Val Graveglia,: un tesoro geologico nell'appenino ligure, editore Fassicomo Genova;
- Falcioni C., Nosengo S., Paoletti L., Pedemonte S., 1995., Caratteristiche di resistenza al taglio di discontinuità in roccia di alcuni litotipi liguri, Professione Geologo, n° 1-2 1995;
- Geostru, Manuale del software Slope 2010;
- Giani G.P. Analisi di stabilità dei pendii parte 1°, GEAM quaderno n°8;
- Hoek E., Brown E.T., The Hoek-Brown failure criterion - a 1998 update, 18° Canadian Rock Mech. Symposium, Toronto, 1988;
- I.S.R.M., 1993, Raccomandazioni ISRM sulle metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose, Rivista Italiana di Geotecnica n° 2 1993.
- McClay -1987- The mapping of geological structures. Geol. Soc. London, handbook series, 161pp;
- Mercier & Vergely - Tettonica. Lezioni di geologia strutturale. Pitagora Editore (Bologna);
- Pozzi R., Clerici A., 1985, L'applicazione della classificazione di Z.T. Beniawski alla stabilità delle scarpate in roccia, Costruzioni, anno XXXIV, n°2;
- Ragan -1985- Structural geology An introduction to geometrical techniques. J. Wiley & Sons (New York), 393 pp.;
- Rocscience, Manuale del software Dips;
- Rocscience, Manuale del software Plane;
- Rocscience, Manuale del software Swedge;
- Twiss & Moores - Structural Geology. Freeman and Company (New York);