



# COMUNE DI MONTELLA

Provincia di Avellino

## PROGETTO DI DISMISSIONE DELL'ATTIVITA' ESTRATTIVA DELLE CAVE IN LOCALITA' PIETRA DELLE GATTE NEL COMUNE DI MONTELLA

(Progetto redatto ai sensi dell'art. 27 delle Norme di Attuazione del PRAE e delle L. R. 54/85 e 17/95)

**Committente: Società Calcestruzzi Terminio s.r.l.**  
Via N. Clemente n. 38 – Montella (Av) P. IVA 00120990643

## Relazione Geologica - Relazione Geotecnica Relazione Geomorfologica

---

Aspetti Geologici

dr. ENRICO SPAGNUOLO

---



---

AVELLINO, 22.10.2013



## Indice generale

<b>PREMESSA.....</b>	<b>pag. 3</b>
<b>INQUADRAMENTO ALL'INTERNO DEL P.R.A.E.....</b>	<b>pag. 7</b>
<b>DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI.....</b>	<b>pag. 9</b>
<b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>pag.10</b>
<b>RIPROFILATURA AREA DI CAVA E RECUPERO AMBIENTALE.....</b>	<b>pag. 17</b>
<b>CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE.....</b>	<b>pag. 20</b>
<b>VERIFICA STABILITA' DEL FRONTE DI CAVA.....</b>	<b>pag. 47</b>
<b>ANALISI DI STABILITA' DEL TERRITORIO IN STUDIO E FRANE.....</b>	<b>pag. 58</b>
<b>STATO DI PROGETTO E RICOMPOSIZIONE GEOMORFOLOGICA.....</b>	<b>pag. 59</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>pag. 63</b>

### Allegati:

- Carta delle pendenze
- Carta geolitologica del substrato e coltri di alterazione
- Carta idrogeologica dei complessi idrogeologici
- Carta delle coperture sciolte e ubicazione rilievi geologici
- Carta geomorfologica
- Carta geologico – applicativa e scenari del rischio
- Sezioni
- Certificati Analisi e Prove di Laboratorio Geotecnico
- Relazione zonazione sismica e Verifiche di stabilità
- Tabulato delle analisi di stabilità
- Tabulati e schede Indagine Geofisica (M.A.S.W. + H.V.S.R.)

## **PREMESSA**

Si riferiscono i risultati dell'indagine geologico - tecnica eseguita, per conto della ditta Calcestruzzi Terminio s.r.l., legale rappresentante Salvatore MAZZEI, sui terreni di Località Pietra delle Gatte nel Comune di Montella, che ospitano una cava calcarea attiva (art. 36) ed n. 1 cava abbandonata, con pareti di natura calcarea praticamente sub – verticali e di altezza notevole, che raggiungono anche i 40 metri. Con il presente studio si verificheranno le condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e strutturali per dar luogo ai lavori del “PROGRAMMA DI DISMISSIONE E RECUPERO AMBIENTALE DELLE CAVE - CALCESTRUZZI TERMINIO s.r.l. ed EX CALCESTRUZZI TERMINIO s.r.l., nel rispetto delle Norme di Attuazione del Piano Regionale Attività Estrattive, approvato nel giugno 2006. L'obiettivo principale dello studio è di procedere ad un corretto ed efficace recupero ambientale e di messa in sicurezza dell'intero versante, nel rispetto della L.R. 54/85 e s.m.i. e dell'art. 77 e segg delle N. A. del PRAE, completo di tutti gli elaborati grafici. Esso interesserà in modo dettagliato tutti i terreni ascritti al foglio 35 p.lle 65 – 66 – 67 – 68 – 69 – 123 e 137, che ospitano tutti i fronti di cava di proprietà della committenza, ed, in termini percentuali molto bassi, anche i terreni adiacenti agli attuali fronti di cava funzionali al recupero ambientale ed alla messa in sicurezza dei versanti.

Tenendo presenti questi due obiettivi, ovverosia: tutela dell'ambiente e sicurezza si realizzerà un intervento integrato di dismissione della coltivazione e di recupero ambientale, che si svolgerà parallelamente negli anni futuri, il tutto nella prospettiva di dar luogo ad una dismissione controllata dell'attività estrattive in tempi brevissimi.

La base cartografica utilizzata per l'inquadrimento globale dell'area è in scala 1:2.000, mentre per lo studio della sistemazione del fronte di cava è stata utilizzata la scala 1: 500. Le carte tematiche prodotte consentono la lettura grafica delle valutazioni poste a base della proposta di intervento e dei relativi scenari progettuali. Lo studio ha carattere interdisciplinare in quanto è stato sviluppato in stretta collaborazione con altri tecnici.

Il lavoro svolto si è articolato secondo i seguenti punti:

- nella fase preliminare sono stati acquisiti presso vari Enti o Amministrazioni gli studi disponibili sul territorio comunale e le foto aeree dell'area. Sono stati, inoltre, eseguiti sopralluoghi puntuali sul territorio finalizzati alla individuazione delle emergenze idrogeologiche che potessero rappresentare fonte o causa di pericolo per le infrastrutture ed il patrimonio ambientale presente;
- nella seconda fase sono stati eseguiti i rilevamenti geologici di campagna e il rilevamento geomorfologico – strutturale, integrato con l'esame stereoscopico delle foto aeree per una superficie di circa 30 Ha;
- nella terza fase, dopo l'esecuzione di un dettagliato rilievo topografico, con restituzione finale 1:500, è stata eseguito un rilievo geostrutturale finalizzato alle verifiche di stabilità dei versanti e del fronte di cava. In particolare sono state eseguite anche n. 4 point load, presso il laboratorio geotecnico Ambiente e Territorio e **n. 1 M.A.S.W. e n. 1 HVSR, dalla Società Geosafe s.a.s. di Avellino.**

Il modello geologico - tecnico descritto nel seguito, al pari delle considerazioni in merito alle problematiche geologiche attese sulle pareti da recuperare e da consolidare, risponde al

cosiddetto “*metodo osservazionale*”, in base al quale è possibile definire classi di comportamento allo scavo facendo riferimento anche a reali situazioni e ambienti geologici osservati sulle pareti di cava e caratteristici per la formazione geologica in studio.

L’osservazione dei materiali naturali così come si presentano sui fronti di scavo e l’analisi storica e cronologica dettagliata delle fasi di scavo in ambiente di cava, unitamente alle indagini geognostiche ed ai rilievi condotti in sito, hanno dunque consentito l’ottimizzazione delle “migliorie” alla precedente consulenza geologica.

Così, sulla base dei dati disponibili e dopo diversi incontri e sopralluoghi con la committenza ed i vari Enti ed Istituzioni presenti sul territorio, si stabiliva di rielaborare le varie tavole e la relazione, che costituiscono lo studio geologico, al fine di rispondere alle richieste di chiarimento ed alle integrazioni emerse in sede di Conferenza dei Servizi del 5.09.2013, presso il Genio Civile di Avellino.

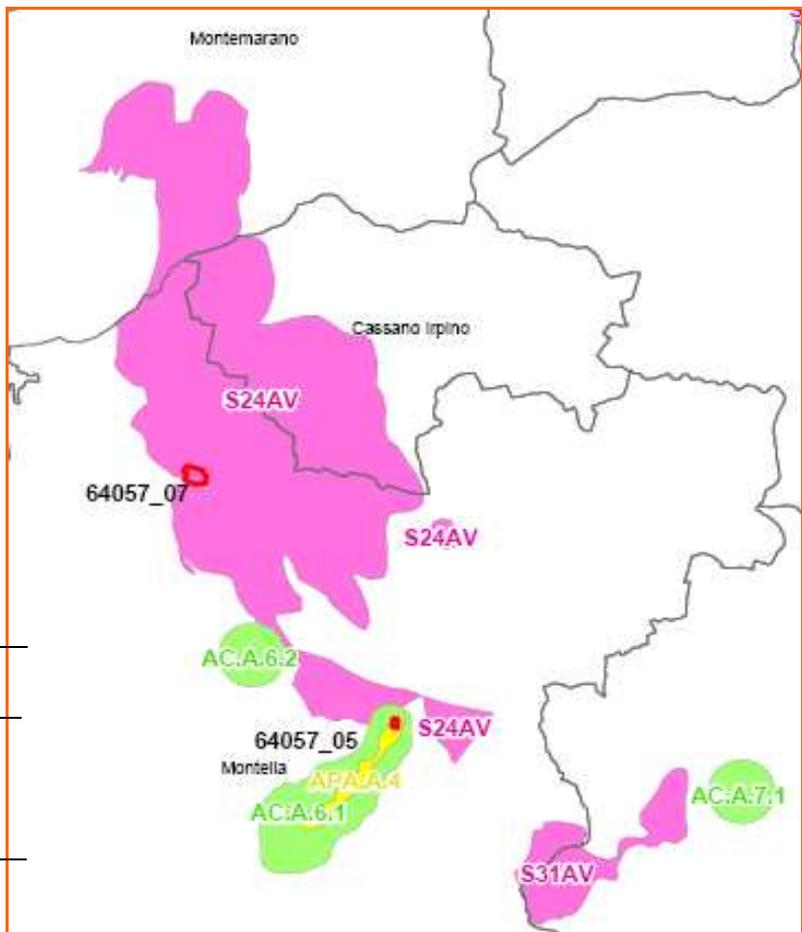
Tenendo presente che nei terreni lapidei in studio, mascherati, per tratti anche significativi dal detrito di falda ed interessati da una serie di fratture e giunti, giungere alla formulazione di un quadro geologico e geotecnico di assoluto dettaglio operativo non è cosa facile; ciò malgrado lo scrivente, sentitosi investito da grosse responsabilità sociali, connesse al recupero ambientale, ha compiuto il massimo sforzo, per colmare le “carenze tecniche” derivanti dall’eterogeneità strutturali del litotipo e per elaborare i seguenti allegati finali:

- Relazione geologica, geotecnica e geomorfologica;
- Carta delle pendenze critiche.....**G1**
- Carta geologica del substrato e coltri di alterazione.....**G2**
- Carta idrogeologica dei complessi idrogeologici.....**G3**
- Carta delle coperture sciolte ubicazione indagini.....**G4**
- Carta geomorfologica.....**G5**

- Carta degli scenari del rischio..... G6
- Sezioni geologiche.....G7
- Carta Microzonazione Sismica
- Certificati Analisi e Prove di Laboratorio Geotecnico
- Relazione zonazione sismica e Verifiche di stabilità
- Tabulato delle analisi di stabilità
- Tabulati e schede Indagine Geofisica (M.A.S.W. + H.V.S.R.)

La conoscenza di tali elementi è indispensabile per poter procedere alla valutazione della stabilità di insieme dell'ammasso e per evidenziare i problemi progettuali legati alla natura ed alle proprietà geomeccaniche della roccia costituente il fronte.

Per quanto riguarda i nuovi fronti di cava si è sviluppata una nuova ipotesi di sistemazione meno impattante e senza interessare "l'Area di riserva integrale" del Parco dei Picentini (Zona "A").



Così, al fine di programmare in modo razionale ed organico l'attività di recupero ambientale, lo studio riguarderà un'area molto più ampia di quella interessata dal progetto in parola, anche per prevedere un efficace recupero ambientale dell'intera superficie di cava, in previsione del nuovo progetto di coltivazione dell'ingegnere Puma Giuliano, essendo l'area ascritta, nel PRAE, all'area di crisi "AC. A. 6.1".

## **INQUADRAMENTO ALL'INTERNO DEL P.R.A.E.**

La cava oggetto del presente studio estrattivo ricade nel comune di Montella, essa risulta identificata all'interno del PRAE Campania con il codice 64057 - 05, ed è inserita all'interno di una vasta area di crisi con A.P.A. Entrambe le aree, sostanzialmente, costituiscono .....  
**fonte di soddisfacimento di parte del fabbisogno individuato per l'approvvigionamento di materiale, attraverso gli interventi di coltivazione finalizzata alla ricomposizione ambientale di durata complessiva non superiore ai tre anni nelle aree A.P.A. e ai cinque anni nelle aree di crisi .....**

La lettura della situazione relativa alle aree circostanti la cava risulta agevolata dall'esistenza della scheda all'interno dell'Atlante delle cave (cfr. Allegato 1).

In particolare dalle schede dell'Atlante delle cave si evince:

1. dalla carta dei litotipi estraibili si rileva che i materiali risultano essere "Calcari";
2. tutta l'area in studio risulta investita dalla perimetrazione del Parco dei Monti Picentini (Area di riserva generale orientata e di protezione);

3. tutta l'area in studio è ascritta ai siti di interesse comunitario e ed alle zone di protezione speciale;
4. non è un'area soggetta a vincolo paesistico ed archeologico ai sensi ed agli effetti del D. leg.vo 42/2004 e s.m.i.;
5. non è un'area boscata come definita dall'art. 14 legge regionale 11/1996 e s.m.i.;
6. non rientra nei perimetri delle concessioni minerarie rilasciate per lo sfruttamento delle acque minerali naturali, di sorgente e delle acque termali, ai sensi ed agli effetti dell'art. 25 R.D. n. 1427/1933 e s.m.i.;
7. non rientra nelle zone di tutela assoluta e nelle zone di rispetto delle acque destinate al consumo umano ai sensi del D. Leg.vo 258/2001 e s.m.i.;
8. non rientra in aree caratterizzate da una morfologia carsica con evidenti indizi superficiali di processi carsici in atto;
9. non è un'area oggetto di interventi finanziati con fondi comunitari, statali e regionali, finalizzati ad attività diversa da quella estrattiva;
10. dalla carta del rischio frane del PAI si rileva marginalmente la presenza di aree di Attenzione Potenzialmente Alta (A pa), cioè aree non urbanizzate, nelle quali il livello di attenzione, potenzialmente alto, può essere definito solo a seguito di indagini e studi di maggiore dettaglio, poco significative ai fini del "PROGRAMMA UNITARIO DI DISMISSIONE E RECUPERO AMBIENTALE".

## DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

La cava di proprietà della ditta committente, come si è riportato precedentemente, è ubicata in agro del comune di Montella, alla Località Pietra delle Gatte, nell'ambito di una estesissima "area di crisi", che interessa i terreni del Comune di Montella, ad essa si accede direttamente percorrendo una comoda strada statale e la viabilità comunale. In riferimento alla situazione dello stato dei luoghi si segnala quanto segue:

- La superficie in studio, riportata in Catasto Terreni al foglio 35 p.lle 65, 66, 67, 68, 69, 123 e 137 per una superficie complessiva < Ha. 4,00<sup>1</sup>, presenta un accesso dall'area di cava attiva, che risulta essere buono, in considerazione del fatto che la cava attiva si trova immediatamente a ridosso della S.S. 164 e della viabilità comunale;
- Non sono state riscontrate, in tutta la superficie ascritta ad "area di crisi" presenze di carattere archeologico;
- Unico vincolo a cui sono soggette le aree in oggetto è quello individuato dagli strumenti di pianificazione dell'Autorità di Bacino, relativamente ai quali si precisa quanto segue: l'area di cava in senso stretto non è perimetrata né a rischio frana né a rischio idraulico, mentre per le aree relative ai modesti ampliamenti non sono presenti vincoli ascrivibili alle classe R1, R2, R3 e R<sub>4</sub>, ma solo vincoli potenziali;
- Il piazzale di cava, ove avviene la lavorazione degli inerti, è mascherato da una parete calcarea, che corre lungo la strada provinciale, con altezza variabile fra i 2 ed i 5 metri.
- Nel loro complesso i terreni risultano avere destinazione urbanistica del tipo agricola.

---

<sup>1</sup>Trattasi mq 35.100 (superficie nominale catastale), mentre a seguito di rilievo di dettaglio dell'area (con ausilio di teodolite elettrotico), l'area oggetto di studio è risultata pari a 35.489 mq.

L'area oggetto del presente programma di dismissione, comunque, si presenta sotto l'aspetto morfologico come delle colline e crinali con ripiani intermedi, che partendo dalle quote 800/1000 mt. s.l.m. degradano fino a giungere sul piazzale di cava a quota 590 mt. s.l.m. e sulla S.S.delle Croci di Acierno, con angolo medio del pendio mediamente inferiore a 35°. Il tutto si evince, chiaramente, dall'allegate carte tematiche.

Così il progetto di dismissione e ricomposizione ambientale della cava sita in L.tà Pietre delle Gatte andrà ad interessare oltre la superficie originariamente coinvolta nell'attività estrattiva, anche l'area, sempre ascritta al Parco dei Monti Picentini, retrostante la parete subverticale ed il fronte di scavo nord – orientale, lambito dal tornante della strada statale.

## **INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'intero centro urbano di Montella, in uno con le frazioni storiche, occupa una superficie di circa 240 ha, e ricade nel Foglio 186 "S. Angelo dei Lombardi" della carta topografica d'Italia I.G.M. in scala 1:100.000. Esso ricade nel settore settentrionale dei Monti Picentini ed in particolare comprende i versanti orientali del Monte Terminio e di M. Sassosano con quote variabili dai 1500m s.l.m. (zona montuosa) ai 580 mt. sl.m (zona del centro abitato). I terreni affioranti sono prevalentemente calcari mesozoici di età cretacea riferibili all'unità tettonica Picentini-Taburno in Bonardi et alii, 1988. Sui calcari poggiano, con limitati spessori, quasi sempre dell'ordine dei 20 centimetri, piroclastiti rimaneggiate e detriti e, nelle zone di raccordo con il fondovalle, detriti di falda e depositi alluvionali, sia ghiaiosi che limoso-argillosi.

**GEOLOGO ENRICO SPAGNUOLO**  
**☎ 0825.25629**

**✉ Corso V. Emanuele, 242 - 83100 - Avellino**  
**geologia.spagnuolo@gmail.com**



L'intera area è interessata da faglie a prevalente andamento appenninico, la più importante delimita il versante nord orientale del Monte Sassosano. Tali faglie hanno ribassato i flysch miocenici nella zona orientale del comune di Montella, che sono ricoperti in gran parte da depositi clastici quaternari presenti nel fondovalle del Fiume Calore. Il sito in oggetto è ubicato, invece, in linea d'area, a circa 500 metri dall'abitato, in un'area a prevalente vocazione agricola, lungo un versante maturo della dorsale carbonatica, con spessori di copertura piroclastica modesti e discontinui, con rare presenze vegetazionali (vedi foto n. 1). Essa ricade lungo il margine meridionale del territorio comunale e non è visibile né dall'abitato di Montella, da cui è schermato dal Colle Piano Salere – Ripamonte, né da altri Comuni.

La morfologia in questa zona, fuori dall'area di cava, trattandosi di un versante lapideo di natura calcarea, assume una configurazione piano - altimetrica alquanto aspra, rappresentata da pendenze dell'ordine del 40 – 50%, che evolvono in alcuni tratti anche a versanti con pendenze dell'ordine del 65 - 70%. Nel complesso l'area in studio richiama una monoclinale a blocchi, con giacitura caotica. Dal punto di vista geologico fa parte del massiccio carbonatico dei Monti Picentini, facies tipica di piattaforma carbonatica appenninica, ascivibile al Cretacico superiore; che è costituita da una serie di blocchi monoclinali variamente dislocati da faglie parallele fra loro, in generale orientate in direzione nord - ovest ed sud - est, a seguito degli eventi tettonici del Pliocene, su questo primo sistema di faglie, in più parti si è sovrapposto un secondo sistema ad orientazioni appenniniche e tirreniche.

Le caratteristiche litostratigrafiche, la tettonica traslativa miocenica, e quella distensiva e di sollevamento plio - pleistocene hanno condizionato l'attuale configurazione dei luoghi in studio. Il territorio, infatti, è caratterizzato da masse montuose, quasi sempre impervie con versanti raramente subvericali, da zone collinari con pendii alquanto acclivi e da aree derivanti dai colmamenti fluvio - lacustri e vulcanici, che essendo composte, per la massima parte, da materiali del tipo litologico tenero, sono caratterizzate da un paesaggio dolce, con morbide forme e pendii lievemente concavi.

La costituzione geologica del giacimento è caratterizzata, per spessori variabili da 0,00 a 1,20 metri, da una coltre di materiali recenti poggianti su di un complesso calcareo, mascherato da detrito di falda, dal caratteristico colore grigio - bianco ed avana, con strati e banchi di varia grandezza, con banchi anche superiori ai 60 centimetri, a grana media, medio - fina, in genere a stratificazione non evidente ed interessati da una fitta rete di fratturazione: prevale una sequenza di calcari detritici: calcareniti e calciruditi avana e biancastre, calcari oolitici e calcari dolomitici, calcari grigiastri con piccoli gasteropodi (acicularia, cuneolina, trocholina, orbitolina, ophtalmidium, ecc.). Le sequenze carbonatiche, infatti, sono interessate da discontinuità tettoniche primarie che tagliano e dislocano porzioni di versanti con rigetti variabili da qualche metro fino anche qualche decina di metri. Quanto maggiore è la dislocazione, tanto maggiori sono gli effetti della tettonica sulla roccia; in questi casi, come nel fronte di cava, si identificano nella roccia fasce larghe anche decine di metri in cui la fratturazione si sviluppa secondo varie famiglie di discontinuità secondarie (vedi foto in alto), che nel loro insieme interferiscono con i piani di stratificazione, suddividendo la roccia in blocchi di diverse dimensioni.

La giacitura degli strati e lo spessore sono notevolmente variabili da luogo a luogo, in particolare lo spessore varia da 0,20 a 0,60 metri. Infatti nell'area di coltivazione il materiale lapideo è molto fratturato; quelle riscontrate sono moltissime e spesso rendono illeggibile la stratificazione tra i banchi. Ove la lettura è possibile si è rilevata una stratificazione con giacitura attraverso poggio e con zone di franapoggio.

Lungo le faglie principali sono presenti delle fasce cataclasiche, spesse qualche decimetro, costituite da blocchi eterometrici di calcari, poco cementati.

Complessivamente lo stato geomeccanico del complesso carbonatico risulta essere generalmente discreto: l'allentamento indotto dalle operazioni di scavo, risulta limitato ad una fascia non superiore ai 2 - 3 metri, che viene rapidamente bonificata dalle operazioni di disaggio eseguite al termine di ogni fase operativa.

I terreni in studio e delle zone limitrofe sono caratterizzati dalle seguenti classi di permeabilità:

1. **bassa** per porosità nei terreni di natura detritica e piroclastica, con spessori > 1,00 metri (C.I.P. = 40 – 60%);
2. **media – alta** per porosità nei terreni alluvionali (C.I.P. = 60 – 80%);
3. **media – alta** ove i calcari cretaci sono affioranti e/o subaffioranti, mentre la permeabilità si riduce in corrispondenza delle coltri piroclastiche con spessori > 1,00 metri; **alta** per fessurazione, con un alto coefficiente di infiltrazione, ove i calcari affiorano nell'area di cava (C.I.P. = 90 – 100%).

Le acque di infiltrazione alimentano un acquifero, con piezometrica  $> 100$  metri dal p.c. del piazzale. La permeabilità relativa nell'ambito dello stesso complesso varia lievemente tra la parte superficiale, più fratturata ed alterata e quella inferiore; la mancanza di sorgenti lungo il contatto calcari – detrito di falda - piroclastiti nelle aree prossime alla cava e lungo tutto il versante, suggerisce la presenza di un sistema di alimentazione profondo in cui vi è un apporto diretto verso i livelli acquiferi della piana di Montella e Cassano, posti a quote molto più basse.

Mentre la rete idrografica è sempre molto povera ed è impostata sulle fratture recenti. Infatti non sono presenti incisioni che lasciano trasparire un minimo di reticolo idrografico, solo ai lati del dosso collinare si denotano le prime incisioni gerarchizzate per lo smaltimento delle acque di corrivazione. In zona non sono state rilevate, come nei precedenti studi, cavità carsiche essendo l'area molto marginale.

Alla luce di tutto ciò i lavori per il programma di dismissione e recupero ambientale dell'intera area in studio devono essere completati con una sistemazione idrogeologica complessiva, che dovrà riguardare la canalizzazione di tutte le acque superficiali provenienti da monte con idonei fossi di guardia, reti drenanti superficiali e/o profonde, al fine di convogliare in maniera accurata le acque fino al Rio limitrofo. Nel quadro degli interventi di sistemazione tesi ad eliminare gli eventuali inconvenienti derivanti da liquidi inquinati e della presenza della falda idrica si ritiene indispensabile costruire un idoneo impianto per la raccolta e smaltimento delle "acque", completo della messa in opera di un idoneo letto di terreno agrario sui piazzali ed alle pareti della cava.

Che, fra l'altro, riduce notevolmente la vulnerabilità all'inquinamento, infatti la rapidità del trasferimento delle acque sotterranee che caratterizza i terreni calcarei porta diverse conseguenze, essenzialmente legate all'assenza o alla riduzione dell'effetto di autodepurazione delle acque meteoriche che avviene durante l'infiltrazione e il transito attraverso la zona non satura dell'acquifero. Quando esistono punti di infiltrazione concentrata delle acque sotterranee (inghiottitoi), può verificarsi che, in concomitanza con l'evento piovoso, vengano convogliate nel sistema carsico in tempi molto rapidi le sostanze eventualmente presenti sulla superficie. Queste possono comprendere prodotti per l'agricoltura, deiezioni legate alla pastorizia o addirittura (come avviene spesso) animali morti. Tali sostanze possono arrivare in tempi molto rapidi alle sorgenti (ore o pochi giorni), ed essere restituite con concentrazioni tali da costituire un rischio per la salute degli eventuali utilizzatori della risorsa idrica.

Se l'infiltrazione è diffusa, come nell'area in studio, in assenza quindi di inghiottitoi, doline o altri punti ad infiltrazione preferenziale, e con la presenza di un idoneo strato di terreno agrario, la vulnerabilità della falda è inferiore, poiché gli apporti non sono concentrati e il tempo necessario all'infiltrazione efficace per raggiungerla diviene relativamente più lungo. In questo caso diviene importante l'effetto di autodepurazione, legato ai processi chimici, fisici e biologici che avvengono innanzi tutto nel suolo e quindi nell'acquifero non saturo.



*Foto 1 – Veduta panoramica della parete di cava principale, in primo piano si rilevano dei cunei di roccia e/o delle guglie di erosione da asportare attraverso modeste operazioni di disaggio. In seguito sono riportate le foto di dettaglio di alcuni interventi da realizzare.*

## RIPROFILATURA AREA DI CAVA E RECUPERO AMBIENTALE

Per quanto  
concerne l'attività



**Mosaico fotografico dei cunei di roccia da asportare**



**PROGETTO DI DISMISSIONE DELL'ATTIVITÀ**

attinente al recupero ambientale, relativa al “PROGRAMMA DI DISMISSIONE E RECUPERO AMBIENTALE” essa verrà preceduta da una preliminare attività di disgaggio, per mettere in sicurezza i luoghi di lavoro, e successivamente si svilupperà secondo le seguenti linee principali:

- sistemazione e potenziamento del piazzale di cava, con la profilatura ed il raccordo topografico con le particelle adiacenti, al fine di rendere disponibile, per la futura attività agricola, un'ampia superficie sub pianeggiante;
- profilatura ed armonizzazione del fronte di cava principale<sup>2</sup>, con ampliamento del perimetro di cava, sempre nell'ambito delle proprietà e/o disponibilità del committente, con creazione di microgradoni alti 2,50 mt e con pedate di 3,00 metri, al fine di ridurre le attuali pareti di cava, essi saranno sempre raccordati al limitrofo piano campagna; laddove le pendenze e la configurazione morfologica dei fronti di cava non consentono interventi di altra natura; si è reso necessario riconfigurare il fronte medesimo, per un breve tratto, con gradonature a vivo aventi lo scopo di conferire pendenze che garantiscano l'efficienza statica nel tempo del fronte scavo così rimaneggiato;
- disgaggio e pulizia delle attuali pareti di cava, con asporto dei blocchi in precario equilibrio, che non potranno essere terrazzate e/o raccordate con i terreni limitrofi, perché ricadenti in prossimità di particelle catastali di proprietà di altre ditte;
- regimazione di tutte le acque dilavanti con raccolta delle stesse e smaltimento attraverso cunette al piede delle scarpate, che seguiranno le pendenze del singolo gradone, fino a

---

<sup>2</sup>Lo stato attuale vede un fronte di cava di natura calcarea sviluppante una teoria caotica di gradonature giacenti a quote disomogenee, laddove il primo gradone si posiziona a quota media 4-5m, un secondo gradone compreso fra 9-11m, da quest'ultimo spicca un fronte unico, ad andamento sub-verticale con alcuni tratti a strapiombo, la cui testa giace a quote comprese fra 45 m, sul versante posto a sud, fino a giungere a 20 m, proseguendo in direzione S->N nella porzione di raccordo con lo stradello di accesso alla proprietà Calcestruzzi Terminio s.r.l..

sversare, compatibilmente con le quote topografiche dei terreni, nell'adiacente rete idrografica che corre lungo l'area di intervento, previa decantazione in due vasche di raccolta; tutti i cunettoni a gaveta, sia quelli montani che quelli di valle, come innanzi detto, verranno realizzati con una sezione a gaveta naturale, ricavata nella roccia calcarea, di opportuna sezione idraulica;

- per migliorare la stabilità dei luoghi e garantire la permanenza temporale della configurazione planoaltimetrica di progetto, del volume di terreno rimodellato, si ricorrerà a metodologie sperimentate e più volte menzionate nella più accreditata bibliografia afferente l'ingegneria naturalistica e consistente nel posizionare, lungo direttrici ubicate ortogonalmente alle linee di massima pendenza, di viminate solidarizzate a pali infissi nel terreno, regolarmente interassati ad intervalli di 4 - 5m fra loro. L'interasse fra le viminate successive è regolato dalle linee di pendenza che si andranno a costituire, ovvero, in linea di principio, interassi minimi per massime pendenze e viceversa. Infatti, con il suddetto intervento si intende raggiungere lo scopo di rallentare passivamente la velocità dei flussi di ruscellamento superficiale delle acque e quindi di scongiurare il depauperamento del ricostituito suolo.

La sistemazione del versante, in altre parole, procederà partendo da monte verso valle, scaricando progressivamente la parte alta del declivio; la rimozione dello strato di copertura avverrà con mezzi meccanici, mentre per gli strati più profondi, in base alla litologia del materiale incontrato, si prevede l'impiego di martelloni od altri mezzi meccanici, oppure di esplosivo. In quest'ultimo caso le operazioni dovranno avvenire con l'abituale cautela e tale da non creare problemi ai manufatti esistenti: la scelta sarà operata in funzione dell'area

d'intervento. Si procederà, infine, all'accumulo, su prefissate aree di stoccaggio, del limitato strato di suolo presente, per il suo successivo utilizzo nelle opere di ripristino, così come per i materiali di risulta delle escavazioni che saranno utilizzati per le operazioni di ricarica al piede del versante e per i rilevati, evitando la realizzazione di ulteriori rilevati per la viabilità interna e d'accesso.

**I lavori in parola, che restituiranno complessivamente, un versante gradonato con pendenza dell'ordine dei 40°, certamente non produrranno una modificazione allo stato tensionale dell'ammasso roccioso, e miglioreranno notevolmente la stabilità di assieme dei luoghi, mitigando, nel contempo l'impatto ambientale.**

L'illustrazione di dettaglio degli interventi previsti è riportata nei grafici allegati, a firma del progettista, da cui si evince, fra l'altro, che tutte le superfici oggetto del presente studio, rientrano nell'ambito dell'area di cava e nella fascia di ampliamento, sempre di proprietà e/o in disponibilità del committente.

## **CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE**

Le indagini eseguite sono state finalizzate soprattutto alla individuazione del giacimento ed alla definizione delle caratteristiche tecniche della frazione lapidea dell'ammasso roccioso oggetto di coltivazione. Le caratteristiche tecniche sono state tarate anche con dati presenti in "letteratura" od ottenuti in altri lavori dello scrivente eseguiti sul territorio comunale di

Montella, poiché i terreni in studio, principalmente quelli più esterni, si presentano con un grado di fratturazione variabile, sia in senso verticale che in senso orizzontale.

A verifica dei dati disponibili in letteratura (prospezioni sismiche eseguite per altri lavori), sono state eseguite, al fine di avere utili indicazioni sullo stato di consistenza della roccia, n. 4 prove Point Load, per risalire alla resistenza a compressione monassiale della roccia, i campioni, chiaramente, sono stati prelevati dalle pareti e non da blocchi già staccati, alla base delle stesse. Pertanto, il sito in esame è stato parametrizzato, partendo dalla ricostruzione litostratigrafia effettuata sulla base delle indagini geologiche consultate e realizzate in sito e in base ai risultati delle misurazioni sismografiche di onde di taglio (Vs) fatte eseguire dal committente, con metodologia M.A.S.W. e metodologia HVSR, dalla GeoSAFE sas di Avellino, direttamente sul sito in esame.

Nel sito, pertanto, sono state svolte le seguenti indagini:

- n° 04 prove point load;
- n° 1 prova sismica tipo M.A.S.W., posizionata sul piazzale di cava;
- n° 1 stazionamenti per l'analisi dei microtrempi con strumentazione tromografica, posizionata sulla pedata dell'attuale primo gradone.

#### PROVA POINT LOAD SUI CAMPIONI PRELEVATI IN PARETE

La prova Point Load ha il vantaggio di essere portatile; da essa si deriva l'indice di carico puntuale  $I_s$  che viene correlato alla resistenza alla compressione uniassiale  $S_u$  mediante la relazione:

$$S_u = K I_s$$

K è un coefficiente moltiplicativo per il quale l'ISRM consiglia il valore 24, ma nella pratica si è evidenziato come tale valore non è univoco ma largamente variabile. Palmström suggerisce di variare K in funzione di  $I_s$  secondo lo schema seguente:

$I_s$ (MPa)	K
< 3,5	14
3,5 – 6,0	16
6,0 – 1,0	20
> 6,0	25

### PROVA M.A.S.W.

Il parametro VS30 è il parametro geofisico che rappresenta meglio la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo: rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30 metri di profondità.

È calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove:

$V_i$ : velocità delle onde S dello strato  $i$ -esimo

$h_i$ : spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

N: numero di strati presenti nei primi 30 metri

In base al valore della  $V_{s30}$  si identificano le seguenti 5 categorie del suolo di fondazione (Classificazione del tipo di suolo secondo NTC 14 gennaio 2008):

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s30}$ (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 metri	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra $360 \div 800$ m/s ( ovvero $N_{stp,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250$ KPa nei terreni a grana fina).	$360 \div 800$
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina	$180 \div 360$

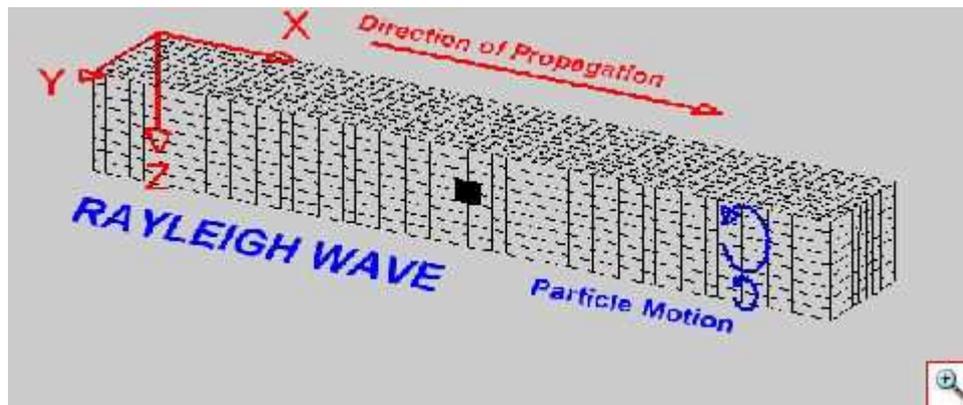
	mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180÷360 m/s (ovvero $15 < N_{stp,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250$ KPa nei terreni a grana fine).	0
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (ovvero $N_{stp,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} < 70$ KPa nei terreni a grana fine).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D con spessore non superiore a 20 metri posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ( ovvero $10$ KPa $< C_{u,30} < 20$ KPa , che includono uno strato di almeno 8 metri di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 metri di torba o di argille altamente organiche.	
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	<100

Le tecniche investigative per l'acquisizione di questo parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- Prove in foro (down hole e cross hole);
- Profili sismici con geofoni orizzontali ed energizzatori di onde SH;
- Modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (SASW, MASW e Refraction Microtremor) e l'impiego di geofoni verticali.

La tecnica MASW, utilizzata per il presente studio, consente una modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh. Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (SV) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte ad una profondità di  $\lambda/2\pi$  : possono esser viste come la sovrapposizione di due componenti separate, una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.

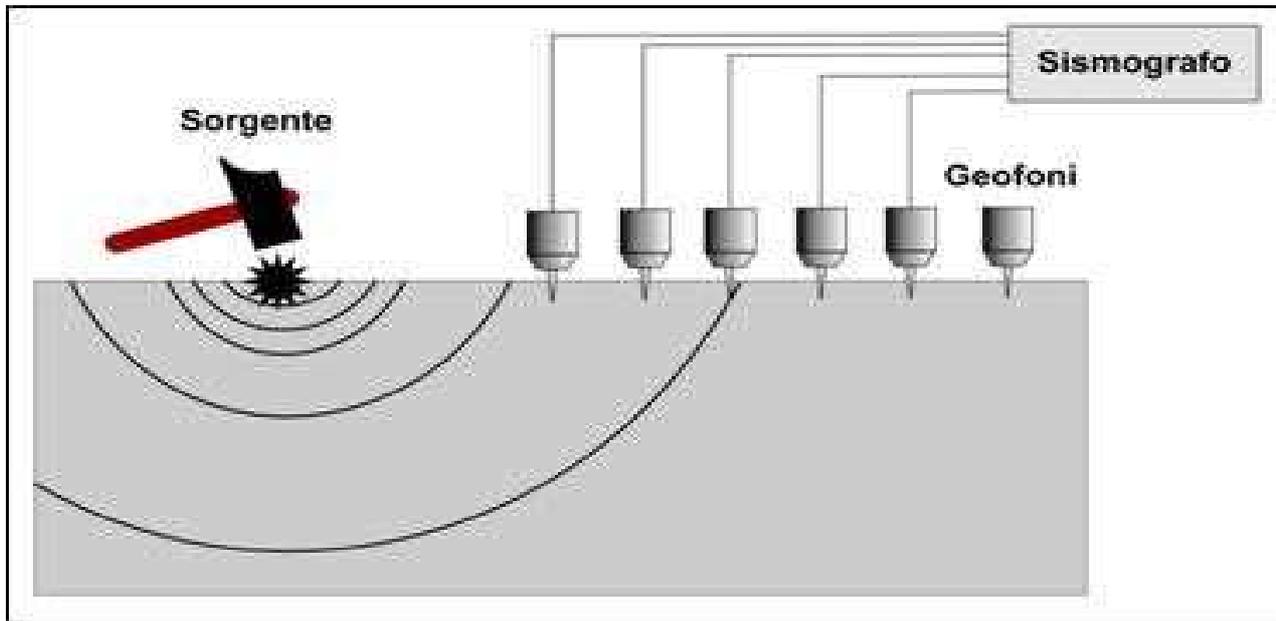


Tali onde vengono considerate perché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

La propagazione delle onde di Rayleigh – anche se influenzata dalla  $V_p$  e della densità - è funzione innanzitutto della  $V_S$  (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito).

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), è una indagine non invasiva in quanto per l'elaborazione del profilo delle onde di taglio verticali non è necessaria l'esecuzione di scavi o misure in foro ma si analizzano le onde di Rayleigh che giungono ai geofoni disposti secondo stendimenti lineari e poggianti direttamente sulla superficie di campagna. L'elaborazione finale dei dati ottenuti dalla prospezione consente, oltre alla individuazione della categoria sismica del sito come definito dalle NTC del 2008, l'acquisizione di utili informazioni sulle caratteristiche geotecniche del semispazio di terreno interessato dalle sollecitazioni trasmesse dalla struttura; essa può essere schematizzata in tre punti:

1. l'acquisizione dei dati di campo: utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione, acquisizione dei dati con comuni geofoni a componente verticale particolarmente sensibili alle basse frequenze, geofoni da 4.5 Hz, registrazione simultanea di 12 o più canali.



2. determinazione della Curva di Dispersione (valutazione dello spettro di velocità);
3. inversione della curva di dispersione interpretata per ottenere il profilo verticale delle Vs che descrive la variazione di Vs con la profondità.

La MASW, eseguita nell'area in studio, sul piazzale di cava, (Vedi foto n. 7), è un metodo di investigazione cosiddetto “attivo” in quanto la generazione di onde sismiche si effettua artificialmente a mezzo di idonea massa battente (martello da 7 chili). Il punto di energizzazione è posto lungo l’allineamento dei geofoni ad una certa distanza dal primo (circa 2 - 3 volte la distanza intergeofonica). Il metodo consente di ricostruire l’assetto sismo-stratigrafico del sottosuolo e si basa sull’analisi delle onde di Rayleigh che si propagano entro un semispazio stratificato. La strumentazione utilizzata è costituita essenzialmente da uno stendimento lineare di 24 geofoni ad asse verticale con distanza intergeofonica di 2,00 m e da un

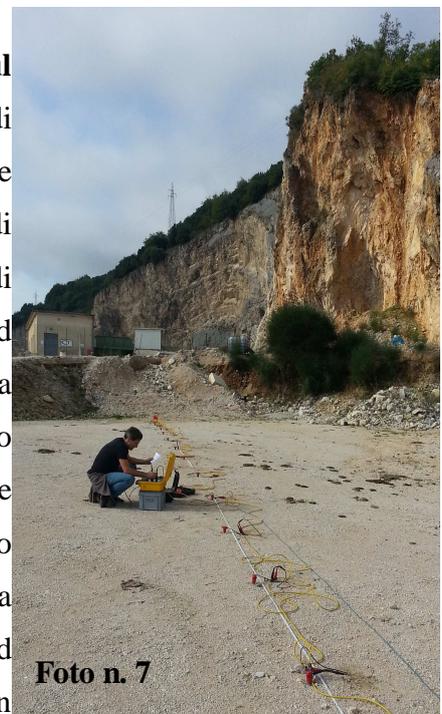


Foto n. 7

sistema di acquisizione del segnale. Nell'ambito della prova è stato utile analizzare frequenze molto basse anche dell'ordine di 20 Hz o inferiori, per cui è necessario l'impiego di geofoni con frequenze comprese tra 4 e 14 Hz. Il tempo totale di campionamento è stato di circa 4 secondi con intervallo temporale di campionamento di 2 - 4 millisecondi.

### ANALISI DEI MICROTREMORI HVSR

La rilevazione del rumore sismico ambientale è stata effettuata con il tromografo della M.A.E. srl 24 canali, 24 bit per canale / 3 geofoni 2.0 Hz verticali; lo strumento è costituito da tre velocimetri orientati rispettivamente con azimuth N-S, E-W e VERTICALE; l'intervallo di frequenze di sensibilità dei velocimetri è compreso tra 0 e 20 Hz.

I tromografi consentono la misura del rumore sismico ambientale generato da fenomeni naturali (attività geodinamica, onde marine, attività atmosferica, ecc.) e delle attività antropiche (traffico veicolare etc.).

Tali fenomeni producono accelerazioni molto piccole, dell'ordine dei 10 -15 m/s<sup>2</sup> , assai minori di quelle indotte dagli eventi sismici, la loro elaborazione, tuttavia, può fornire indicazioni valide circa l'amplificazione sismica e, soprattutto, le frequenze caratteristiche di risonanza dei sottosuoli in ambito locale.

Risulta importante sottolineare, che la validità della frequenza naturale di sito e relativa frequenza di picco, è valida solo per il punto dove è stata eseguita la rilevazione e non può in nessun modo essere estrapolata per aree prossime anche se geologicamente simili.

I dati acquisiti dallo strumento sono stati elaborati tramite il software "Easy HVSR" sviluppato specificamente con la finalità di suddividere il tracciato in finestre di lunghezza stabilita dall'operatore, depurare il segnale dal trend di ciascuna finestra, effettuare il calcolo della trasformata di Fourier (FFT) e degli spettri di ampiezza e calcolare il rapporto spettrale H/V per ogni frequenza e per ogni finestra.

Il rapporto spettrale è rappresentato in funzione della frequenza è il dato di output di maggiore interesse, è dato dai picchi nel grafico, a cui corrispondono le frequenze caratteristiche di amplificazione del sito. Comunque, per meglio individuare i passaggi litologici e/o lo spessore delle coltri areate del litotipo, la misura è stata svolta posizionando lo strumento in sito strategico, con pareti litoidi affioranti, ed in zone di assoluta stabilità. Procedendo in questo modo è stato possibile avere un confronto tra le misure acquisite e la stratigrafia reale del punto investigato.

Dette indagini ci hanno consentito valutazioni sia qualitative che quantitative sullo stato dell'ammasso roccioso; così, sulla base dell'esperienza maturato sul litotipo considerato si è assunto che ai calcari non fratturati e/o poco fratturati competono velocità delle onde P dell'ordine rispettivamente di 4000 m/sec ( $V_p$ ), a valori più bassi delle suddette velocità vanno associati banchi di calcari più fratturati.

### **INVERSIONE**

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso saturo per unità di volume [kg/mc]	Poisson	Falda	$V_p$ [m/sec]	$V_s$ [m/sec]
1	4.03	4.03	1800.0	0.3	No	574.5	307.1
2	oo	oo	2100.0	0.3	No	1507.7	805.9

Premesso ciò si può affermare che nell'area in studio al di sotto di 4 ÷ 5 m esiste uno strato caratterizzato dai seguenti valori di velocità di propagazione:

$V_p$  1.500 ÷ 2.000 m/sec

$V_s$  500 ÷ 800 m/sec

Nel suddetto litotipo l'energia si trasmette con deviazioni contenute, a testimonianza che si tratta di un volume di roccia "alquanto omogeneo", interessato da elementi di perturbazione di lieve entità.

Lo strato più prossimo alla superficie ha fatto registrare le seguenti caratteristiche:

$V_p$  574 ÷ 700 m/sec

$V_s$  300 ÷ 350 m/sec

Ciò conferma che il complesso sistema fessurativo presente nei primi metri, è stato ulteriormente amplificato nel tempo per la coltivazione della cava, il tutto è evidenziato anche dal rilievo eseguito con la tecnica HVSR.

#### MODELLO STRATIGRAFICO RILEVATO CON TECNICA HVSR

<b>Numero di strati</b>	3
<b>Frequenza di picco dell'ellitticità [Hz]</b>	11.30
<b>Valore di disadattamento</b>	- 1.00
<b>Valore di <math>V_s(30)</math> [m/s]</b>	<b>620.00</b>

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	5	18	0.3	300
2	5	10	20	0.3	600
3	15	50	22	0.3	1000

Si è rilevato, comunque, che le normali metodologie di analisi su campioni per la misura diretta dei parametri fisici non sono sempre applicabili ed inoltre l'estrapolazione del dato puntiforme di laboratorio all'intero complesso è in molti casi non attendibile. Pertanto i dati ricavati dal rilievo geomeccanico verranno utilizzati per la determinazione della qualità dell'ammasso roccioso, esprimibile attraverso appositi indici che hanno lo scopo di permettere una valutazione preliminare delle caratteristiche meccaniche della roccia.

Relativamente alle proprietà meccaniche delle discontinuità, invece si fa riferimento alla campagna geostrutturale eseguita in loco, alle spalle dei piazzali di cava esistenti dove sono stati eseguiti differenti rilievi geomeccanici, sintetizzati nelle schede ed elaborati grafici, in particolare la litologia del giacimento carbonatico è risultata poco variabile, alle spalle dello stabilimento sono presenti esigue bancate brecciate, nel complesso la stratificazione si presenta prevalentemente ad attraverso poggio, localmente a franapoggio meno, la stratificazione, comunque, è interrotta da grossi elementi strutturali sub-verticali (vedi rilievo fotografico).

Il procedimento utilizzato per l'esecuzione del rilievo geostrutturale, che meglio si è adattato nello specifico, è quello descritto nelle raccomandazioni ISRM, tradotte in italiano da O. Del Greco nella Rivista Italiana di Geotecnica - R.I.G. 2/93; il titolo originale delle raccomandazioni è "Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses".

Il campionamento è avvenuto attraverso la raccolta dei dati mesostrutturali in più punti, per caratterizzare il massiccio carbonatico i rilievi in parete sono stati effettuati anche lungo pareti che non ricadono nell'area in studio, il rilevamento delle discontinuità (fratture, diaclasi, piani di stratificazione, scistosità, ecc.) è avvenuto utilizzando una bussola del tipo "SILVA"

completa di inclinometro, lungo allineamenti di m. 10 orizzontali segnalati con rollina metrica e con l'ausilio di una tavoletta rigida utilizzata come supporto per la bussola, le informazioni annotate e riportate nelle successive schede sono relative ai dieci parametri scelti nelle Raccomandazioni ISRM per descrivere le discontinuità e le masse rocciose, definiti come segue:

1) Orientazione (dip, dip direction, strike)

Posizione della discontinuità nello spazio, le superfici di discontinuità sono rappresentate come un piano la cui giacitura è individuata da una coppia di angoli ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) dove  $\alpha$  è l'inclinazione e  $\beta$  l'azimut della discontinuità (per i valori medi riscontrati si rimanda alle schede di rilevamento allegate).

2) Spaziatura (S)

Distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse, la distribuzione della spaziatura è alla base della classificazione ISRM e nei rilievi eseguiti è risultata prevalentemente compresa tra (vedi graf. Distribuzione spaziatura):

Spaziatura stretta (6÷20 cm)

Spaziatura moderata (20÷60 cm)

3) Continuità o Persistenza

La lunghezza delle tracce delle discontinuità osservate negli affioramenti danno una misura grossolana dell'estensione areale o della profondità di penetrazione della stessa discontinuità, i rilievi hanno evidenziato le seguenti classi ISRM in funzione della persistenza (vedi graf. Distribuzione persistenza):

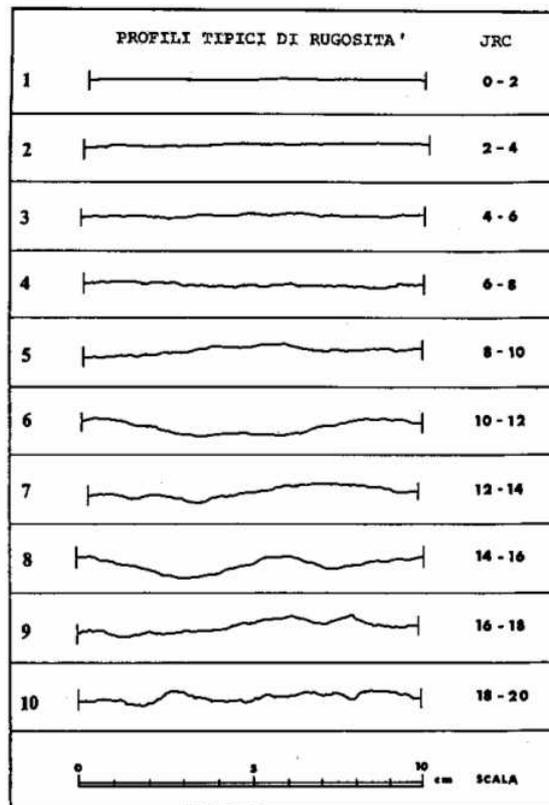
Persistenza bassa (1÷3 m) – famiglia 2

Persistenza media (3÷10 m) – famiglia 1

#### 4) Scabrezza

La scabrezza rappresenta la rugosità delle superfici affacciate di una discontinuità e ondulazione relativamente al piano medio delle discontinuità, sia la rugosità che il suo andamento morfologico contribuiscono alla resistenza di taglio, specialmente nel caso di strutture interconnesse e senza spostamenti relativi. L'importanza della rugosità diminuisce con l'aumentare dell'apertura della discontinuità stessa.

La metodologia e la strumentazione per eseguire il rilievo previste dalle Raccomandazioni ISRM riportano differenti metodi, tra cui l'uso di termini descrittivi della rugosità che possono essere riassunti nella figura seguente e che portano alla valutazione della resistenza a taglio delle discontinuità non riempite. I valori di  $\phi$  di picco possono essere stimati attraverso una relazione che correla i parametri JRC (coefficiente di rugosità della discontinuità), JCS (resistenza a compressione delle pareti della discontinuità) e  $\phi_r$  (angolo di attrito residuo).



Il valore di JRC è stato ricavato per confronto con i profili tipici di rugosità (mediamente si è riscontrato un valore coefficiente di rugosità compreso tra 4-8), questo è mediamente pari a 6, altro parametro misurato, e utile per la classificazione dell'ammasso roccioso è il Jr ("Joint Roughness Number") che dipende dalla rugosità delle pareti del giunto i cui valori sono riassunti in una tabella, in particolare sono stati riscontrati nei rilievi per giunti chiusi o con tratti beanti < 10 cm. i seguenti valori, con prevalenza della classe C:

- 2 – Ondulate e/o lisce (classe C)
- 3 – Rugose, irregolari e ondulate (classe B)

#### 5) Resistenza delle pareti

La resistenza a compressione equivalente dei lembi affacciati di una discontinuità, può essere minore della resistenza della roccia massiccia per l'esposizione agli agenti atmosferici o per l'alterazione delle pareti. Gli effetti dell'azione atmosferica sono di due tipologie principali: disgregazione meccanica e decomposizione chimica. La resistenza delle pareti, come già visto, può essere valutata con il martello di Schmidt e con saggi di scalfitura, ulteriore parametro utile per la classificazione dell'ammasso roccioso è il Ja ("Joint Alteration Number") che dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento; i valori medi misurati sono stati:

1 – Bordi fratture inalterati, superfici autoreggenti

2 - Bordi fratture leggermente alterati, rivestiti di minerali non ammorbiditi, particelle sabbiose (classe C)

Nelle Raccomandazione ISRM viene aggiunto un altro indice, W, che varia da 1 (roccia fresca o poco alterata) a 6 (roccia estremamente alterata), i rilievi hanno evidenziato un valore compreso tra 3 (moderatamente alterata) e 4 (fortemente alterata).

#### 6) Apertura

L'apertura è rappresentata dalla distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità in cui lo spazio interposto è riempito di aria o acqua. Le aperture sottili sono state misurate con l'ausilio di un calibro, mentre quelle larghe con un centimetro rigido.

In base alle misure eseguite, e alle raccomandazioni ISRM sono stati riscontrati i seguenti valori medi delle discontinuità (semi-aperte):

0,25÷2,5 mm (Parzialmente aperta)

2,5÷10 mm (Moderatamente larga)

#### 7) Riempimento

Il riempimento rappresenta il materiale che separa le pareti adiacenti di una discontinuità e che è di solito meno resistente della roccia primitiva. La presenza di materiale di riempimento influenza il comportamento del giunto nei riguardi del movimento reciproco delle pareti della discontinuità, nel rilievo sono stati riscontrati riempimenti misti di tipo Rigido e Plastico.

#### 8) Filtrazione

La filtrazione viene rappresentata dal flusso d'acqua e/o dall'abbondante umidità, visibile nelle singole discontinuità o nella massa rocciosa nel suo insieme.

Le raccomandazioni ISRM forniscono degli schemi descrittivi per stimare la filtrazione attraverso discontinuità a seconda del tipo di riempimento, nel caso in esame per discontinuità con riempimento spnp stati riscontrati i seguenti gradi:

4 – (la discontinuità è umida ma non vi è presenza di acqua)

#### 9) Numero di sistemi di discontinuità

La definizione dell'insieme dei sistemi presenti, risulta importante per la classificazione dell'ammasso roccioso, in quanto la massa rocciosa può essere ulteriormente divisa da discontinuità di carattere singolare.

In fase di rilievo vengono presi in considerazione tutti i sistemi presenti nel fronte; diagrammando i poli delle discontinuità e quindi contornando con linee di ugual densità, si possono ricavare i sistemi principali (vedi diagrammi).

Secondo la classificazione delle raccomandazioni ISRM, è stato classificato il sistema di frattura come sistema a due discontinuità più discontinuità casuali (grado 4-5) che ha portato anche alla definizione di un  $J_n$  (“Joint Set Number”) compreso tra 4 (classe D) e 9 (classe E), mediamente pari 5 (utilizzato anche nella classificazione di Barton).

#### 10) Dimensione dei blocchi

Infine è stata eseguita una valutazione delle dimensioni del blocco roccioso risultante dalla reciproca orientazione dei sistemi principali di fratture che si intersecano e dalla spaziatura dei singoli sistemi. L'indice della dimensione dei blocchi ( $I_b$ ) rappresenta le dimensioni medie dei blocchi di roccia tipici, nel caso di due di sistemi di discontinuità che si intersecano tra di loro danno origine a una forma dei blocchi tipo “prismatica”.

#### **Rappresentazione grafica del rilievo delle giaciture**

La rappresentazione delle discontinuità rilevate in termini di dip, dip direction è stata eseguita con proiezioni di tipo “polari” con proiezione stereografica dei meridiani e paralleli terrestri su un piano passante per il centro ed i poli “equiangolari” (diagramma di Wulff) secondo diagrammi del tipo “polare delle giaciture”, “cicliografiche delle giaciture” e con “diagramma a stella”. Sono state inoltre diagrammate attraverso istogrammi tutte le

occorrenze delle giaciture nelle classi di suddivisione delle caratteristiche della discontinuità da rappresentare (spaziatura e persistenza). Queste hanno permesso la classificazione delle discontinuità stesse e la visualizzazione in modo globale delle classi di appartenenza di ciascuna giacitura rilevata.

E' stata inoltre eseguita l'analisi di stabilità con il test di Markland; con questo test viene calcolata la linea di intersezione (plung, trend) dei piani presi a coppie (i,j) e si verifica se il punto che definisce la linea di intersezione  $I(i,j)$  cade dentro l'area in rosso, inclusa tra il grande cerchio che definisce il piano del pendio (immersione, inclinazione) e il cerchio definito dall'angolo di attrito interno del pendio stesso, in nessuno dei tre casi analizzati si verificano scivolamento lungo la linea di intersezione tra il piano i ed il piano j.

Ovviamente il test di Markland rappresenta solo una prima stima per lo studio della stabilità del pendio e/o fronte analizzato; esso, infatti, indica tra le possibili superfici di scivolamento quelle più sensibili.

Il rilievo ha inoltre messo in evidenza che per ognuno dei rilievi strutturali sono presenti almeno due famiglie (indicate con 1 e 2) di discontinuità principali che si intersecano tra di loro e con la giacitura degli strati (S), con distribuzione mono e/o bimodale della giacitura e inclinazione variabile, come si evince dai valori riportati nelle schede di rilevamento e dai relativi grafici esemplificativi.

## CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

### CLASSIFICAZIONE DI BARTON (SISTEMA Q)

Sviluppata nel 1974 al Norwegian Geotechnical Institute essenzialmente per l'applicazione in campo sotterraneo, negli ultimi anni è stata estesa a diversi campi e di recente, nel 2002, lo stesso Barton ha proceduto ad una revisione totale del sistema.

Il valore di Q si calcola da:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

In cui i vari indici sono:

RQD	(Rock Quality Designation), che tiene conto della suddivisione della massa rocciosa
J <sub>n</sub>	(Joint Set Number), che dipende dal numero di famiglie di giunti presenti nell'ammasso roccioso
J <sub>r</sub>	(Joint Roughness Number), che dipende dalla rugosità della famiglia più sfavorevole
J <sub>a</sub>	(Joint Alteration Number), che dipende dal grado di alterazione delle fratture, dallo spessore e dalla natura del riempimento, e che viene ugualmente determinato sulla famiglia più sfavorevole
J <sub>w</sub>	(Joint Water Number), che dipende dalle condizioni idrogeologiche
SRF	(Stress Reduction Factor), che è funzione dello stato tensionale in rocce massive o dal disturbo tettonico.

Di recente Q è stato normalizzato nei confronti della resistenza a compressione monoassiale della roccia:

$$Q_c = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{\sigma_c}{100}$$

Le tabelle che seguono indicano i coefficienti numerici che vengono assegnati ai vari parametri.

## CALCOLO DEI PARAMETRI DELLA CLASSIFICAZIONE DI BARTON

### Input dati per la definizione di Q

Determinazione Indice di Velocità  $VI = (V_p / V_0)^2 = 0,5^3$

Due serie di discontinuità

Spaziatura media della famiglia principale > 3 m

Giunti levigati, ondulati

Giunti alterati o con lievi ossidazioni

Acqua assente o scarsa, localmente venute < 5 l/min

Ammasso moderatamente spingente

### Risultati per la definizione di Q

RQD	J <sub>n</sub>	J <sub>r</sub>	J <sub>a</sub>	J <sub>w</sub>	SRF
60	4	2,5	1	1	5

Indice Q e classi di ammasso roccioso

Indice Q	Classe	Descrizione
7,5	V	Mediocre

Indice Q normalizzato nei confronti della resistenza alla compressione monoassiale della roccia

Resistenza alla compressione uniassiale (MPa)	Indice Q <sub>c</sub>
750	56.2688

Caratteristiche gomecchaniche dell'ammasso roccioso

Componente attritiva FC (°)	Componente coesiva CC (MPa)	Modulo di deformazione statico (GPa)
68,2	22.5075	38.3197

<sup>3</sup>La Caratterizzazione dell'ammasso roccioso è stata tarata anche con il metodo basato sulla determinazione dell'Indice di velocità (VI), definito come:  $VI = (V_p / V_0)^2$ , dove:  $V_p$  è la velocità delle onde longitudinali misurata in sito e  $V_0$  è la velocità sismica per una roccia intatta misurata in laboratorio con prove di velocità sonica. I valori di VI mostrano un tendenziale aumento del valore dell'Indice di Velocità con la profondità. In ogni caso, l'indice non supera mai il valore di 0.60, dovendosi pertanto riferire ad ammassi rocciosi di qualità compresa tra 0,45 e 0,55, indici che definiscono la qualità dell'ammasso roccioso mediocre. Tale valutazione è peraltro congruente con le indicazioni desunte dalla lettura dell'indice RQD.

### CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI (Beniawski, Romana)

Nel campo della progettazione di infrastrutture di ingegneria civile, siano esse legate alla stabilità di un versante o alla stabilità di un'opera in sotterraneo, difficilmente si possono avere informazioni dettagliate sulle caratteristiche di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso interessato alla progettazione. Allora diventa importante poter utilizzare uno schema che possa soddisfare le richieste, un metodo empirico che permetta di risolvere i problemi dovuti alla scarsa conoscenza o esperienza di una determinata area.

Le classificazioni di Beniawsky e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano. La prima si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$$\text{RMR di base} = \text{RMRb} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR corretto} = \text{RMRc} = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$$

## CALCOLO DEI PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

### **Input dati per il calcolo di Rock Mass Rating (RMR)**

Indice di resistenza (Is)= 3,5/4,7 Mpa (come risulta dalle prove Point Load)

Coefficiente K =16

Determinazione Indice di Velocità VI =  $(V_p / V_o)^2 = 0,5$

Spaziatura delle discontinuità (s)=0,4 m

Persistenza (continuità) del giunto = 1 - 3 m

Apertura del giunto = 1 - 5 mm

Giunto leggermente rugoso

Pareti leggermente alterate

Riempimento assente

Roccia umida

Orientamento delle discontinuità applicato alle fondazioni

Orientamento mediocre

### **Risultati relativi a Rock Mass Rating (RMR)**

Resistenza a compressione Su (MPa)	Rock Quality Designation (RQD)
75,20	60

V1	V2	V3	V4	V5
4	1	3	5	6

V1 è un parametro che dipende dalla persistenza (continuità) del giunto

V2 è un parametro che dipende dall'apertura del giunto

V3 è un parametro che dipende dalla rugosità del giunto

V4 è un parametro che dipende dal grado di alterazione delle pareti

V5 è un parametro che dipende dal materiale di riempimento presente

A1	A2	A3	A4	A5	A6
7.47561421	11.91330851	10	19	10	-7

A1 è un valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta

A2 è un valore numerico derivato dall'indice RQD

A3 è un valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità

A4 è un valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità

A5 è un valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche

A6 è un indice di correzione per la giacitura delle discontinuità

### **Classificazione dell'ammasso roccioso**

RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
58,39	51,39	Terza	Mediocre

### Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Modulo di deformazione (GPa)	Geological Strength Index (GSI)	Coesione di picco (kPa)	Angolo di attrito di picco (°)	Coesione residua (kPa)	Angolo di attrito residuo (°)
16,78	58,39	291,95	34,20	233,56	28,36

### Input dati per il calcolo di Slope Mass Rating (SMR)

Rottura: planare o a cuneo

Parallelismo fra l'immersione dei giunti e quella del pendio: condizione mediocre (20°-10°)

Inclinazione dei giunti: condizione mediocre (30°-35°)

Relazione fra inclinazione del fronte e quella dei giunti: condizione mediocre (0°)

Metodo di scavo: Abbattimento controllato

### Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

#### Fattori di aggiustamento

F1	F2	F3	F4
0,7	0,7	-25	8

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti

F2 è riferito all'inclinazione del giunto

F3 mette in relazione l'inclinazione del fronte e quella dei giunti

F4 è legato al metodo di scavo

### Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

SMR	Classe	Descrizione
54,14	Terza	Mediocre

### Grado di stabilità, tipo di cinematismo di rottura, eventuali interventi di stabilizzazione

Stabilità	Modo di rottura	Stabilizzazione
Parzialmente stabile	Lungo piani o per cunei	Sistematica

### SCHEDA DI RILEVAMENTO DATI GEOLOGICO-TECNICI RILIEVO GEOSTRUTTURALE

Stazione	RS	Riferimento cartografico	Carta ubicazione indagini
Data del rilievo	24.07.08	Affioramento	Cava
Rilevatore	Enrico Spagnuolo	Metodo di scavo	Mezzi meccanici
Località	cava Terminio	Rullino n°	0
Quota (m.s.l.m.)	0	Foto n°	0

#### Litologia

Carbonatica
-------------

Potenza (m)	400	Struttura geologica	Moderatamente fagliata
Formazione	Cretaceo	Fattori geologici	Ammasso stratificato
Età		Zone alterate o corrose	Terreno residuale
Genesi	Sedimentario	Spessore zone alterate (m)	2

Blocchi Jv(Giunti / mc)	Molto grandi < 1	Grandi 1-3	Medi 3-10 x	Piccoli 10-30	Molto piccoli > 30	Int. fratturato > 60
----------------------------	---------------------	---------------	-------------------	------------------	-----------------------	-------------------------

#### Instabilità

Scivolamenti planari	Scivolamenti a cuneo x	Scivolamenti rotazionali	Crolli x
Ribaltamenti diretti X	Ribaltamenti flessionali	Ribaltamenti complessi	

#### Tipo di ammasso (ISRM)

Massivo x	Cubico	Tabulare	Colonnare	Irregolare	Frantumato
--------------	--------	----------	-----------	------------	------------

#### Struttura

Massiccia	Stratificata X	Scistosa	Semicoerente	Alternanze
-----------	-------------------	----------	--------------	------------

#### Alterazione (ISRM)

Fresco	Leggermente alterato x	Moderatamente alterato	Fortemente alterato	Completamente alterato	Suolo residuale
--------	---------------------------	------------------------	---------------------	------------------------	-----------------

#### Resistenza (ISRM)

Estremamente debole	Molto debole	Debole	Mediamente resistente	Resistente	Molto resistente 50 - 100 MPa	Estremamente resistente
---------------------	--------------	--------	-----------------------	------------	----------------------------------	-------------------------

0.25 - 1 MPa	1 - 5 MPa	5 - 25 MPa	25 - 50 MPa x	50 - 100 MPa		50 - 100 MPa
--------------	-----------	------------	------------------	--------------	--	--------------

**Resistenza 'R' sclerometro**

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Numero famiglie	2 famiglie + occasionali	Forma dei blocchi	Prismatica
-----------------	--------------------------	-------------------	------------

**Giacitura del piano di affioramento**

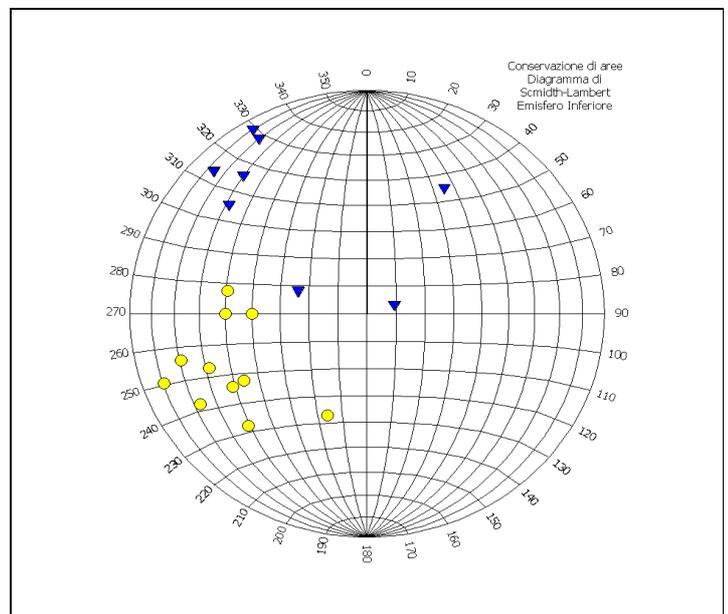
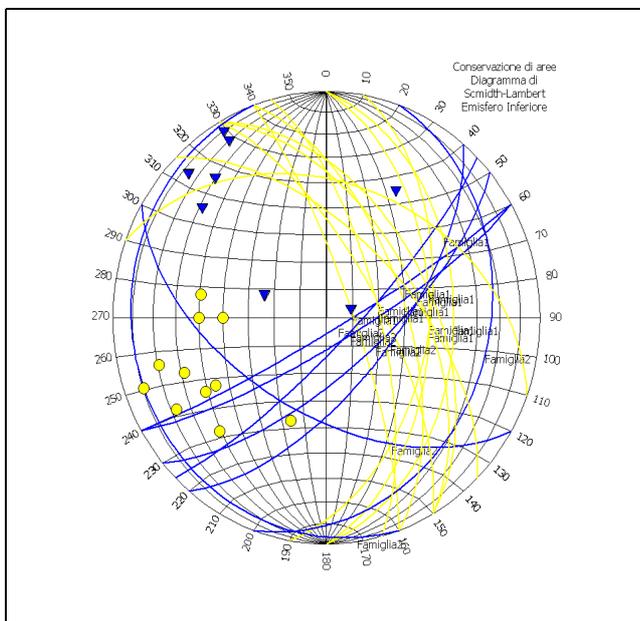
Immersione (°)	Inclinazione (°)	Altezza (m)	Larghezza (m)
20	70	150	300

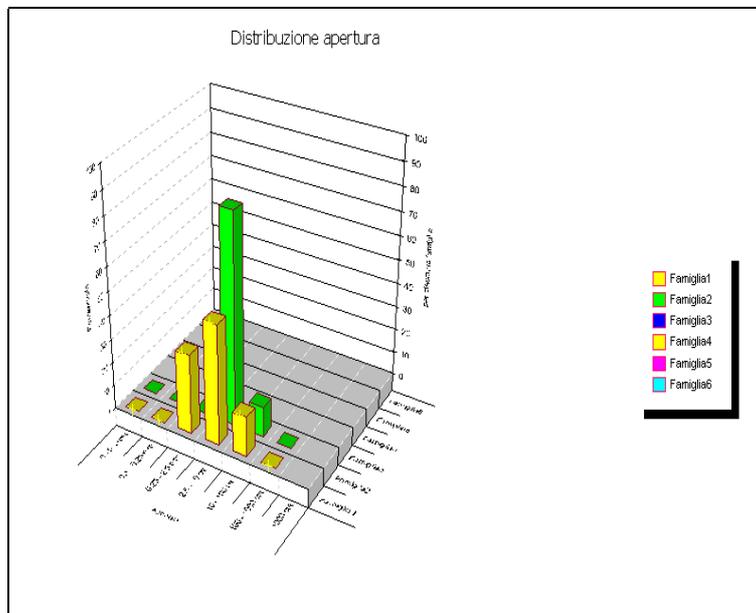
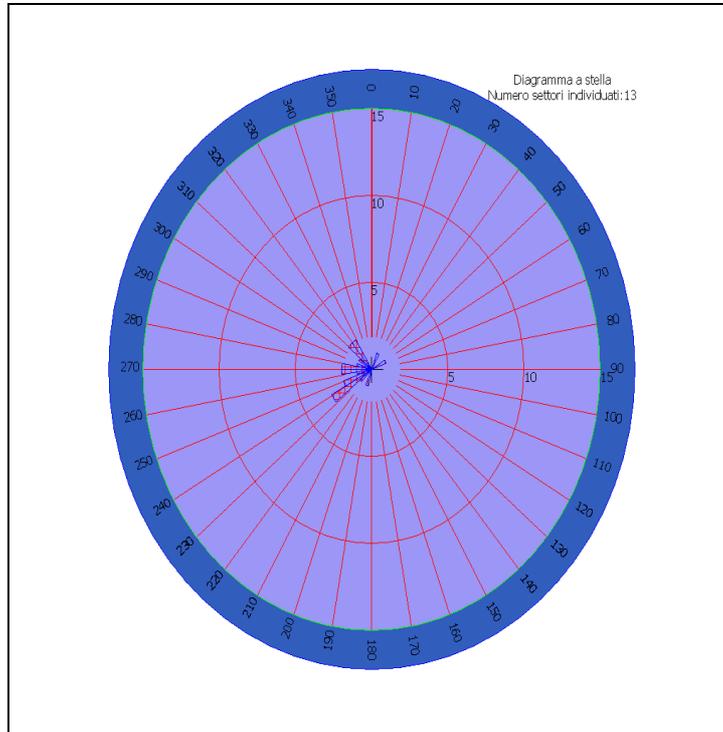
**Giacitura della linea di scansione**

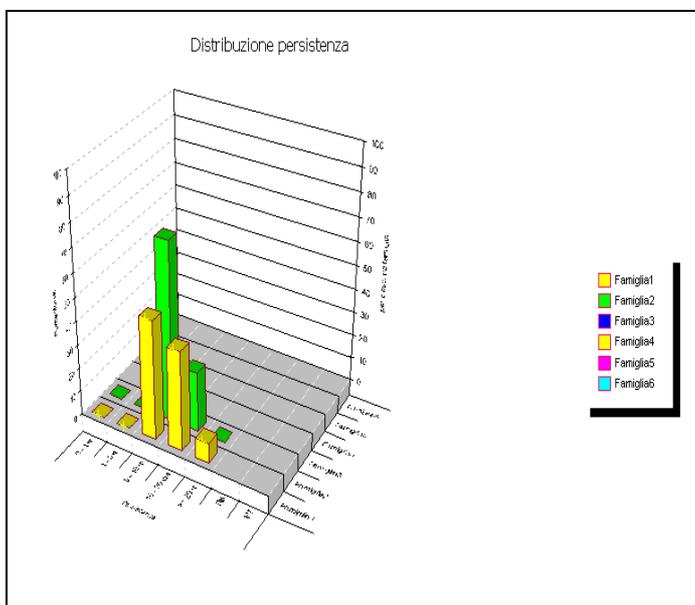
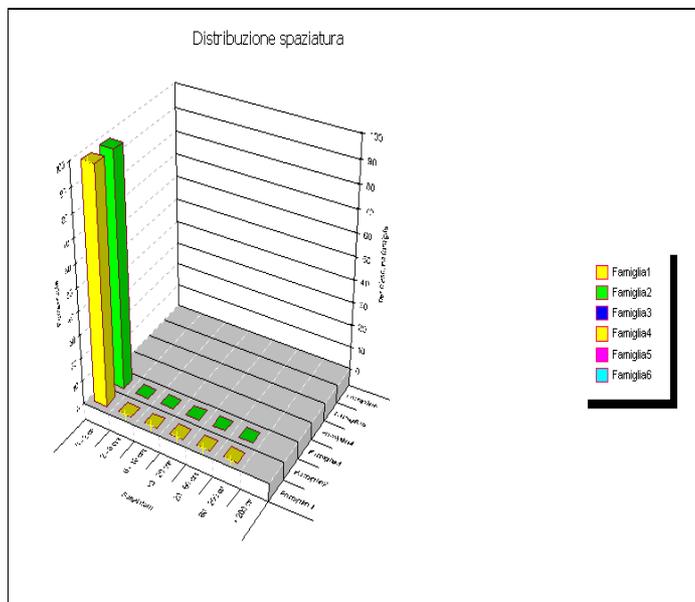
Direzione (°)				Deviazione (°)					Lunghezza (m)					Note
20				0					10					
Nr.	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Famiglia	Distanza (cm)	Lunghezza (m)	Apertura (mm)	Rugosità (mm)	JRC	Riempimento	Grado di alterazione	Prove indice manuale (Mpa)	Prove Martello di Schmidt	Grado di filtrazione	
1	150	85	Famiglia 2	0	10	8	V-Liscia ondulata	4	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
2	100	50	Famiglia 1	0	4	2	VI-Levigata ondulata	4	Assente	III-Mod. alterata	0	0		
3	100	50	Famiglia 1	0	5	1	IV-Rugosa, ondultata	4	Incoerente	I-Fresca	0	0		
4	70	80	Famiglia 1	0	5	2	IV-Rugosa, ondultata	8	Incoerente	III-Mod. alterata	0	0		
5	90	40	Famiglia 1	0	8	5	VI-Levigata ondulata	6	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
6	210	55	Famiglia 2	0	6	5	III-Levigata segmentata	6	Assente	I-Fresca	0	0		
7	60	55	Famiglia 1	0	20	5	IV-Rugosa, ondultata	6	Coesivo	II-Leggermente alterata	0	0		
8	90	50	Famiglia 1	0	16	5	V-Liscia ondulata	4	Incoerente	III-Mod. alterata	0	0		
9	110	25	Famiglia 2	0	10	6	V-Liscia ondulata	8	Coesivo	I-Fresca	0	0		
10	60	70	Famiglia 1	0	12	2	IV-Rugosa, ondultata	6	Assente	II-Leggermente alterata	0	0		
11	70	60	Famiglia 1	0	10	10	IV-Rugosa, ondultata	6	Incoerente	III-Mod. alterata	0	0		
12	140	70	Famiglia	0	8	10	V-Liscia	4	Incoerente	I-Fresca	0	0		

13	135	80	2 Famiglia 2	0	8	8	ondulata V-Liscia ondulata	8	Incoerente	II- Leggermente alterata	0	0		
14	150	80	Famiglia 2	0	8	8	VI- Levigata ondulata	2	Assente	II- Leggermente alterata	0	0		
15	60	50	Famiglia 1	0	10	4	IV- Rugosa, ondulata	4	Incoerente	IV-Fort. alterata	0	0		
16	75	70	Famiglia 1	0	4	4	V-Liscia ondulata	6	Incoerente	I-Fresca	0	0		
17	130	65	Famiglia 2	0	6	4	V-Liscia ondulata	6	Assente	II- Leggermente alterata	0	0		
18	250	10	Famiglia 2	0	6	8	VI- Levigata ondulata	8	Incoerente	II- Leggermente alterata	0	0		
19	20	40	Famiglia 1	0	8	8	VI- Levigata ondulata	6	Incoerente	IV-Fort. alterata	0	0		
20	45	60	Famiglia 1	0	16	10	II-Liscia segmentata	4	Assente	II- Leggermente alterata	0	0		

Nr.	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Famiglia
1	50	180	Famiglia1
2	70	020	Famiglia2







## **VERIFICA STABILITA' DEL FRONTE DI CAVA**

I fenomeni di instabilità che possono verificarsi su di un pendio calcareo, ammantato da una esigua e discontinua coltre piroclastica e/o su di un fronte di roccia lapidea discretamente fratturata, come è il caso della “Cava Pietre delle Gatte” amministrata dal committente, possono essere di tipo:

- 1) locale, vale a dire coinvolgono singoli blocchi isolati sulla parete;
- 2) globale, a dire il vero piuttosto rari, che però risultano ben più gravosi dei primi in quanto possono coinvolgere grossi volumi di roccia.

Nel seguito vengono brevemente esaminati i due meccanismi di instabilità a cui si è fatto cenno.

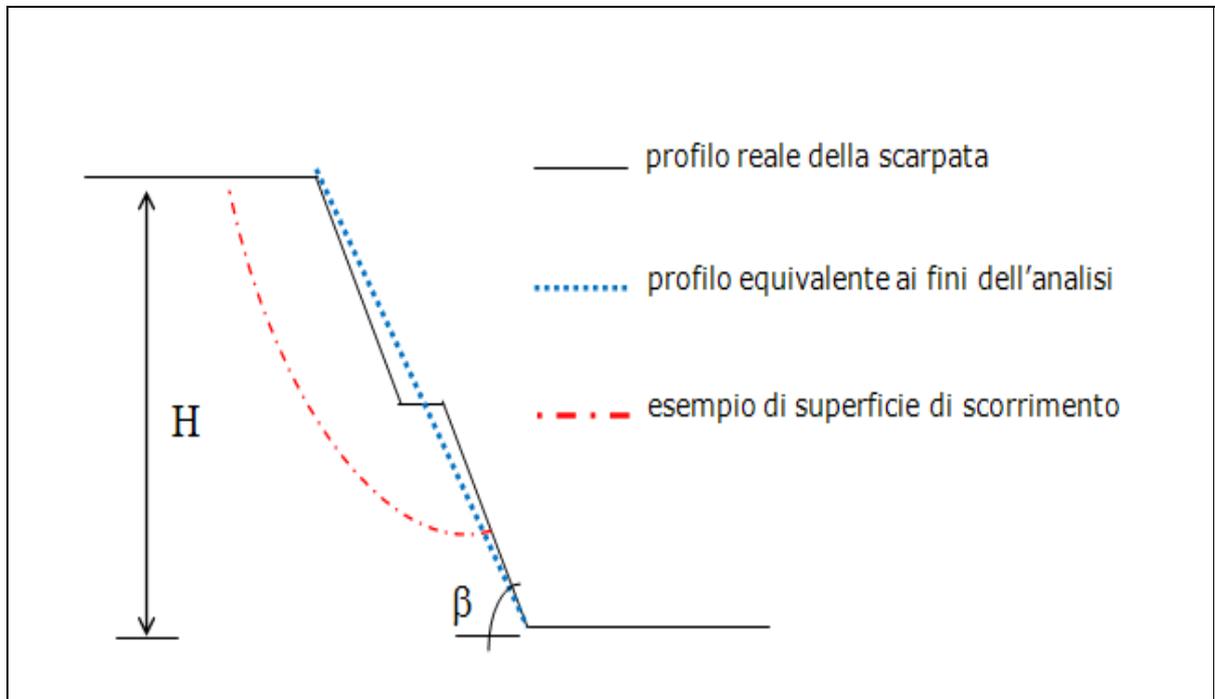
1. La stabilità di un fronte rispetto ai fenomeni locali dipende essenzialmente dalle discontinuità dell'ammasso roccioso (le discontinuità sono superfici di separazione della roccia con resistenza a trazione molto bassa o nulla). Negli ammassi a struttura orientata le discontinuità sono caratterizzate da un numero limitato di giaciture e possono essere raggruppate in famiglie, costituite da superfici parallele o sub-parallele. Per considerazioni di natura statistica si deve ritenere che ciascuna famiglia di discontinuità possa essere ovunque presente all'interno dell'ammasso e che ciascuna frattura possa intersecarsi con altre (di altre famiglie) delimitando cunei di roccia in grado di scivolare verso l'esterno del fronte. Sulla parete possono essere presenti blocchi in condizioni di equilibrio precario in conseguenza della loro posizione, della loro geometria e della resistenza disponibile lungo le discontinuità che li delimitano. Una volta staccatisi dal fronte questi blocchi precipitano verso valle, rotolando o rimbalzando, ed accelerano sensibilmente se il pendio è molto acclive e regolare.

Diversamente se sono presenti tratti sub-orizzontali (banchine) ricoperti da uno strato di terreno sciolto il moto viene rallentato ed il blocco potrebbe addirittura fermarsi quando transita su di essi. Infatti il blocco impattando sul terreno sciolto ne provoca la deformazione, ossia trasmette al terreno la propria energia cinetica che si trasforma in energia di deformazione. In talune circostanze il comportamento dell'ammasso roccioso non corrisponde a quello appena descritto, ossia è meglio schematizzabile col modello di continuo equivalente piuttosto che con quello di mezzo rigido discontinuo. In tal caso si verifica la tendenza dell'ammasso a franare secondo superfici concave, come accade nelle rocce sciolte e l'analisi di stabilità può essere eseguita ipotizzando per il versante condizioni di deformazione piana e superfici di scorrimento circolari (instabilità globale). In questo caso il dissesto comporterebbe il crollo dell'intero fronte di cava o comunque di una sua parte significativa, per cui l'analisi di stabilità deve essere soddisfatta con un congruo margine di sicurezza. A tal fine si rimanda al paragrafo seguente ove si riportano gli elementi utili al calcolo.

A differenza di quanto avviene nei versanti in roccia sciolta, in quelli in roccia lapidea, anche se fratturata, per la descrizione della resistenza al taglio del materiale costituente il pendio non potrebbe essere utilizzato il metodo di rottura di Coulomb. Negli ammassi rocciosi infatti la correlazione fra resistenza al taglio del materiale e la pressione di confinamento non è di tipo lineare. Nel caso specifico anche la verifica di stabilità sui singoli blocchi è poco significativa in quanto l'ammasso roccioso presenta un quadro fessurativo alquanto articolato e variabile da zona a zona.

In ogni caso ai fini della verifica della stabilità globale viene eseguita in prima approssimazione una verifica basata su un metodo cinematico di recente pubblicazione

(Michalowski, 2002). Si tratta di un approccio all'analisi limite che conduce alla valutazione del limite superiore del coefficiente di sicurezza del fronte.



Con riferimento ai simboli illustrati in figura dagli abachi di Michalowski, è possibile calcolare il fattore di stabilità:

$$N = \frac{c}{\gamma \cdot H \cdot \tan \varphi}$$

che varia in dipendenza delle possibili combinazioni di  $c'$  e  $\varphi'$  e per altezze del fronte variabili fra 30 e 40 m. con  $\beta = 75^\circ/80^\circ$ . Il coefficiente di sicurezza corrispondente varia fra 1,3 e 1,15. Ciò significa che anche nella situazione più gravosa rappresentata dalle seguenti condizioni:

$$c' = 1,5 \text{ kg/cm}^2 \quad \varphi' = 35^\circ \quad H = 40 \text{ mt.}$$

la stabilità globale è garantita con un margine di sicurezza medio - basso (coeff. di sicurezza 1,10, che si riduce notevolmente per pareti sub-verticali ( $\beta = 90^\circ$ ):  $N = 1,0 - 1,05$ ).

**Dalle indagini eseguite, pertanto, si può affermare che gli ammassi calcarei della cava, nonostante il sistema fessurativo che li interessa (stratificazione, diaclasi e faglie) mettono in discussione la stabilità solo lì dove si interviene in modo incauto e non programmato.**

Le valutazioni riportate precedentemente sono state poste alla base della proposta di messa in sicurezza e di recupero ambientale del fronte di cava. Il progetto è stato basato sui rilievi topografici forniti dalla committenza, ed ha tenuto conto dell'attuali "impronte di cava", frutto della coltivazione delle particelle degli ultimi anni. La profilatura conferirà alla roccia un effetto di contenimento "per forma" consentendo l'instaurarsi di uno stato tensionale più favorevole di quello che si verifica in regime di deformazioni piane. Di ciò non si è tenuto conto nei calcoli, sia perché il contributo è favorevole, cioè gioca a vantaggio di stabilità, sia perché esso è assai difficile ed incerto da determinare. Per quanto concerne la geometria di progetto sul piazzale principale verrà stoccato tutto il terreno agrario ricavato dai lavori di scoperta del cappellaccio sterile, compreso i livelli limo - sabbiosi del complesso litologico, così come è prassi in questo tipo di interventi. Per gli eventuali rilevati che si realizzeranno non si pongono problemi di carico limite della fondazione, costituita dai calcari in posto del piazzale di cava, quindi da un litotipo di resistenza e rigidità elevatissime; i cedimenti saranno limitati all'assestamento della terra messa a rilevato e saranno comunque ininfluenti da un punto di vista ingegneristico, poiché sulla superficie dei futuri "piazzali - rilevati" non sarà eretto alcun manufatto, ma sarà solo sparso terreno vegetale per consentire l'attecchimento di idonee specie arboree.

Per quanto riguarda i futuri gradoni, oggetto dell'intervento di ricomposizione ambientale, compatibilmente con il livello di sicurezza che si vuole raggiungere, avranno un'altezza media di circa 2,5 mt., berme di 3 mt. e con un fronte di scavo inclinato di 80°; le pedate ed il piazzale, avranno una pendenza verso monte di 4° - 5°, al fine di:

1. migliorare le condizioni di sicurezza nel caso di caduta massi;
2. disciplinare le acque dilavanti.

Pertanto il profilo finale della cava sarà costituito da un unico versante configurato con una scarpa di circa 40° - 42°.

Ciò significa che anche nella situazione più gravosa rappresentata dalle seguenti condizioni:

$$c' = 1,50 \text{ kg/cm}^2 \quad \varphi' = 35^\circ \quad H = 40 \text{ m}$$

**la stabilità globale è garantita con un margine di sicurezza nettamente superiore a 3,00.**

In questa sede, alla luce delle indagini eseguite<sup>4</sup>, si possono formulare le seguenti considerazioni generali:

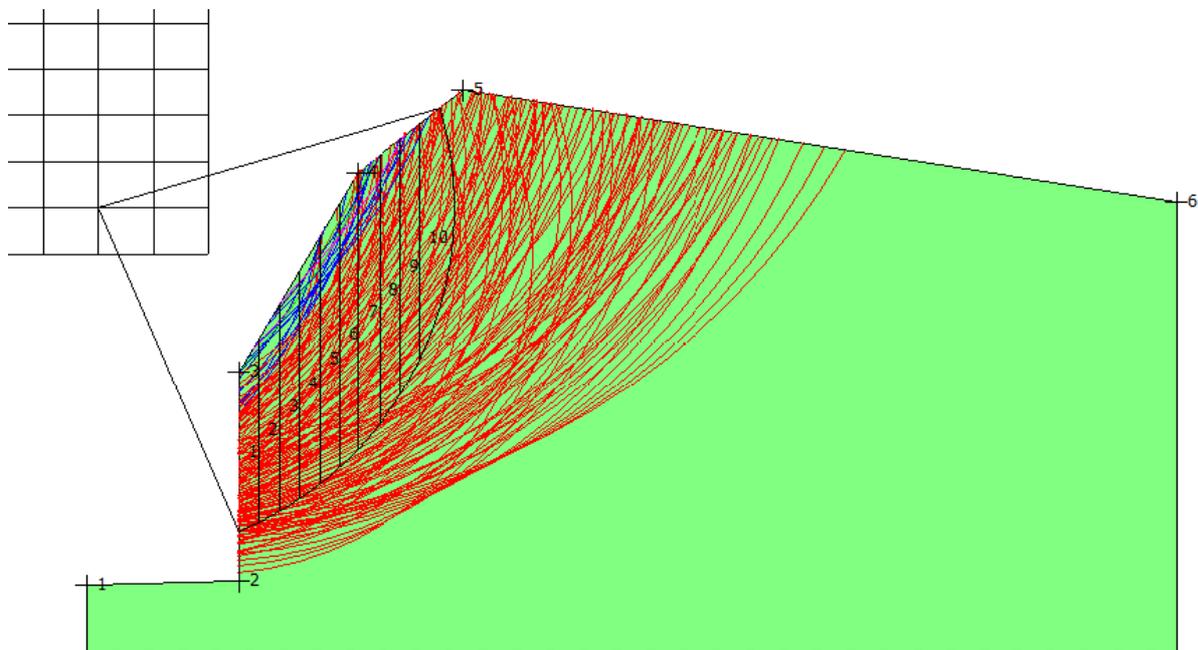
- la spinta idrostatica, nella quasi generalità dei casi, non rappresenta un fattore determinante per la stabilità;
- l'intensità e l'orientamento del sistema fessurativo contribuisce a ridurre il coefficiente di sicurezza;
- l'impulso sismico rappresenta un elemento determinante nell'equilibrio dei blocchi rocciosi isolati;
- la coltivazione della cava, eseguita esclusivamente con mezzi meccanici certamente non produrrà una modificazione allo stato tensionale dell'ammasso roccioso, conservando e/o migliorando l'attuale stabilità.

---

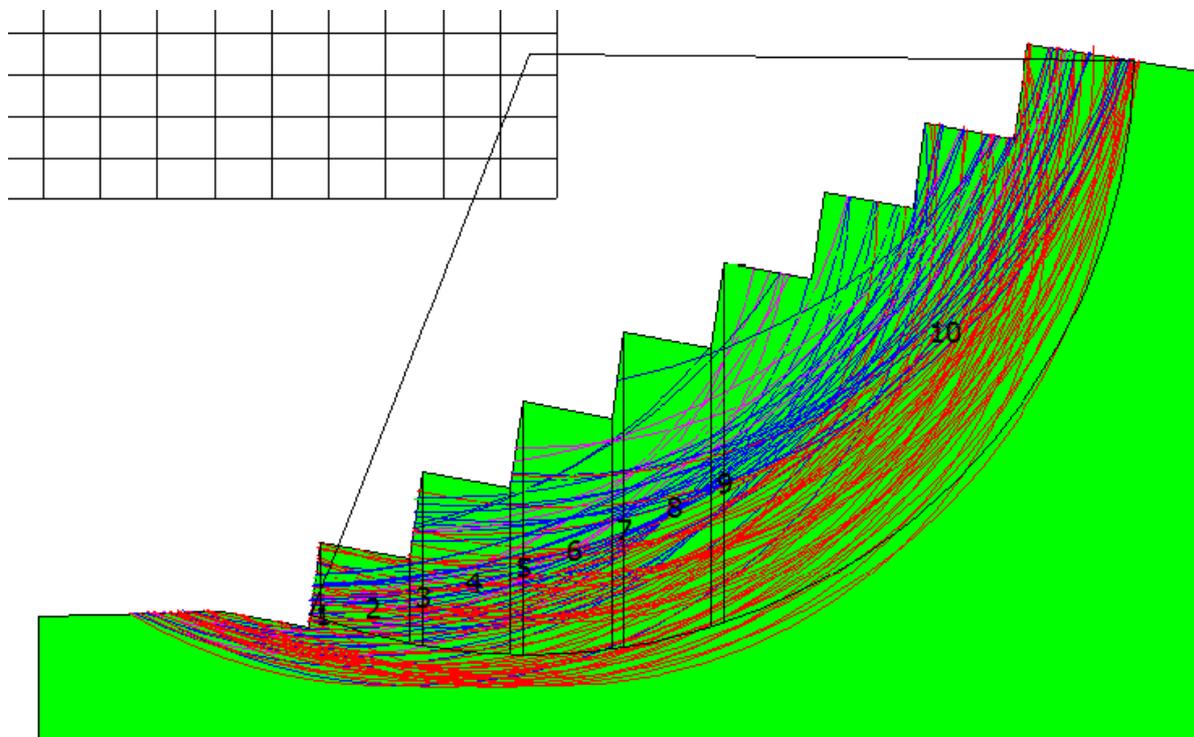
<sup>4</sup>L'indice RMR così calcolato ascrive l'ammasso roccioso, a livello cautelativo fra la classe IV e la classe III, che è caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:  $c' = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$   $\varphi = 35^\circ$

Dalle indagini eseguite, pertanto, si può affermare che gli ammassi rocciosi, nonostante il sistema fessurativo che li interessa (stratificazione, diaclasi e faglie) mettono in discussione la stabilità solo lì dove si interviene in modo incauto e non programmato. In questo assetto geotettonico non sono da sottovalutare i fenomeni di erosione causati dall'azione delle acque meteoriche in tutte le sue forme, con conseguente alterazione e degrado della roccia e delle stesse caratteristiche meccaniche. A tutto ciò si aggiungono le azioni delle escursioni termiche ed il vento, l'effetto cuneo prodotto dalle radici della vegetazione che s'innesta all'interno delle fratture. Tali azioni, quasi sempre concomitanti, innescano sulle pareti, segnatamente su quelle sub-verticali, lenti processi deformativi che danno luogo a dei collassi localizzati, con caduta di materiale roccioso. Ai piedi di queste pareti (pareti sub – verticali delle cave abbandonate), sono state rilevate numerose tracce di crolli vecchi ed anche recenti che confermano l'esistenza di meccanismi di degrado. Pertanto, si ritiene che per la presenza di questi fenomeni improvvisi e con velocità di spostamento del materiale elevata, si debba dar luogo, prima dell'inizio dell'attività estrattiva, ad una bonifica delle pareti verticali con l'asportazione dei blocchi isolati.

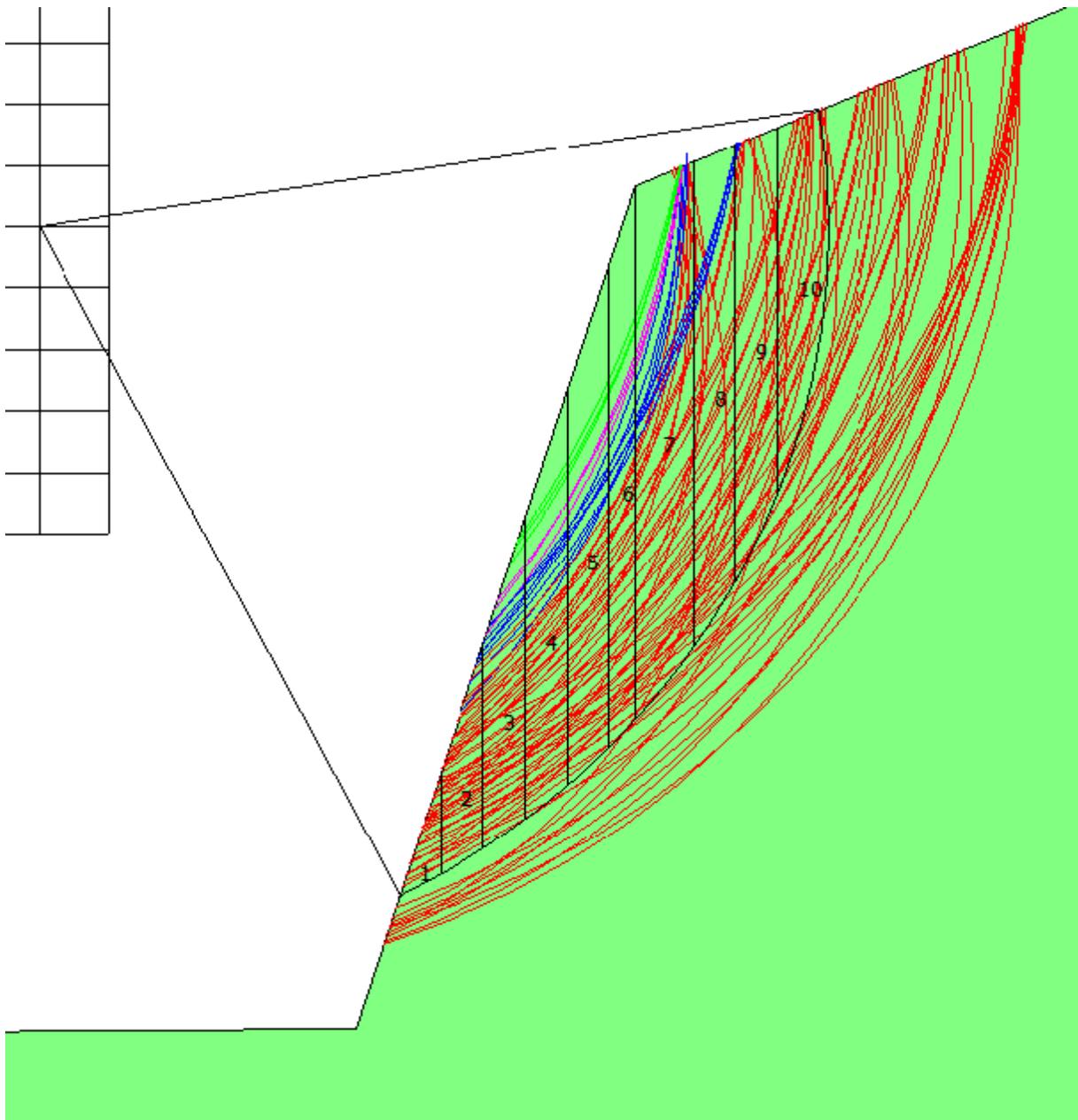
Così il progetto di recupero ambientale del fronte di cava principale, riportato nei vari allegati grafici, prevede una riprofilatura finale del giacimento a circa 40°, con la classica forma sinuosa ad anfiteatro, aperto a sud, sud - est. L'intero versante, in uno al fronte di cava, nel pieno rispetto della normativa sismica vigente, è stato verificato anche con una metodologia strettamente analitica, nell'ambito dello studio di *Microzonazione sismica - Verifiche di stabilità, eseguito sempre dallo scrivente:*



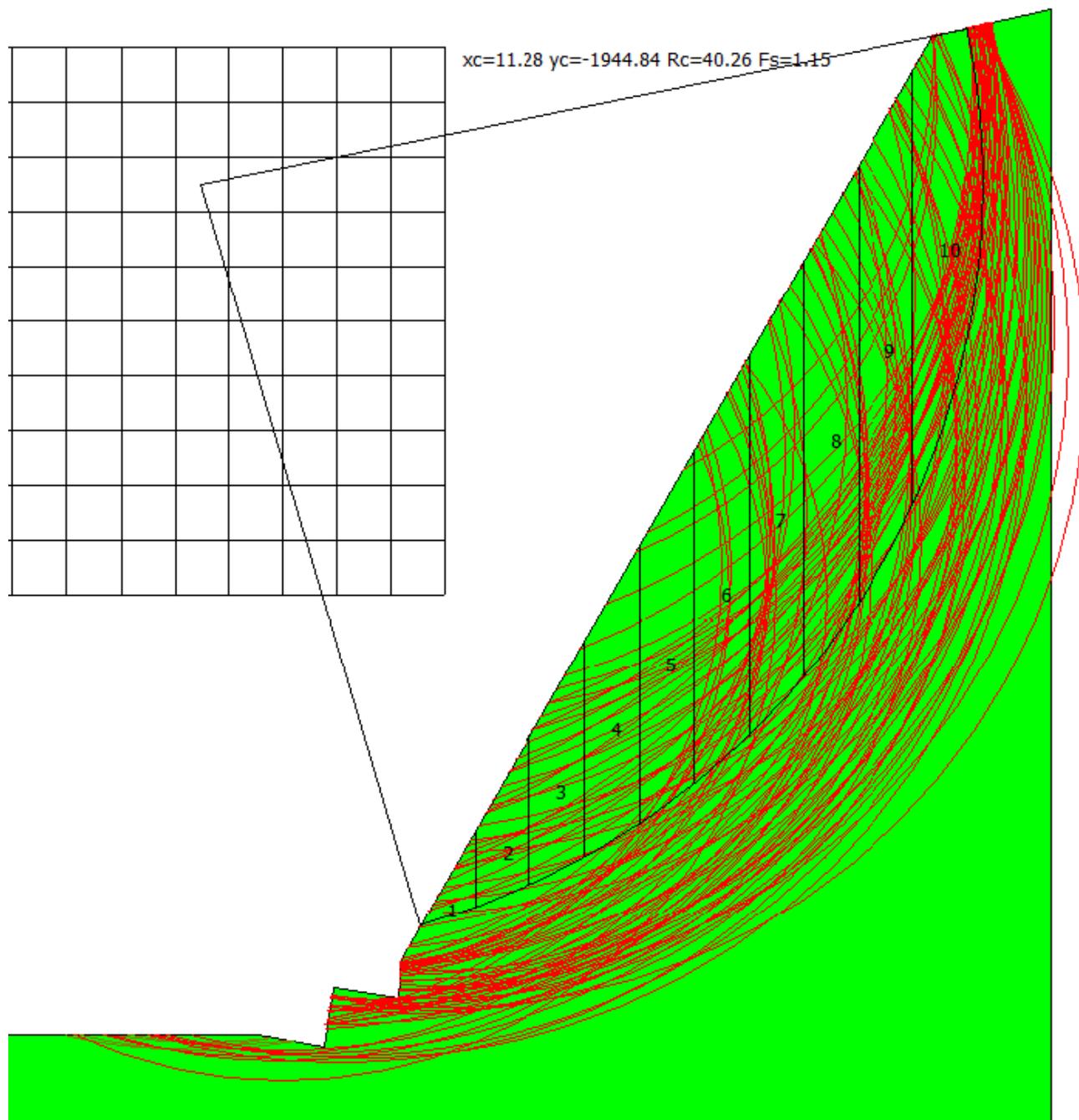
Stato di Fatto– Sezione n. T4. – FS = 1,25



Stato di Progetto – Sezione n. T4. – FS = 1,69



Stato di Fatto – Sezione n. T 12 – FS = 1,02



Stato di Progetto – Sezione n. T 12 – FS = 1,15

I calcoli analitici, comunque, sono stati eseguiti mediante l'approccio all'equilibrio limite globale, che si basa sulle seguenti ipotesi:

1. la legge tensioni-deformazioni del terreno è di tipo rigido plastico;
2. la deformazione è piana;
3. la rottura si raggiunge contemporaneamente lungo tutta la superficie di scorrimento;
4. il coefficiente di sicurezza FS, definito come rapporto fra la resistenza disponibile e la tensione tangenziale agente lungo la superficie di scorrimento ipotizzata, è costante lungo l'intera superficie di scorrimento.

Le analisi di stabilità sono state effettuate riferendosi alle sezioni topografiche del progetto, più critiche (sez. T4 e T12), rappresentative del versante nello stato di fatto e finale del progetto di PUG, utilizzando anche considerazioni di back analyst per individuare i parametri minimi in condizioni di sicurezza estreme, pertanto le proprietà geotecniche del giacimento sono state ulteriormente tarate mediante un'analisi a ritroso, variando l'angolo di attrito e la coesione in modo tale da giustificare la stabilità del fronte roccioso nello stato di fatto di aree già oggetto di coltivazione.

	Resistenza a taglio di picco			Resistenza a compressione (kg/cm <sup>2</sup> )
	Peso dell'unità di volume (kg/m <sup>3</sup> )	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo di attrito (°)	
<b>Giacimento minerario</b>	2200	1,5	35°	500 - 750

Tab. 1 - Proprietà fisico-meccaniche dei terreni utilizzati nel modello stratigrafico

SEZ	STATO	Stato di fatto e di progetto		
		Metodo di Fellenius	Metodo di Bishop	Metodo di Jambu
<b>T4</b>	di Fatto	1.38	<b>1.25</b>	1.52
	di Progetto	<b>1.69</b>	1.92	1.92
<b>T12</b>	di Fatto	1.12	<b>1.02</b>	1.21
	di Progetto	1.17	<b>1.15</b>	1.23

Tabella 2 - Sintesi dei risultati delle analisi di stabilità

## ANALISI DI STABILITA' DEL TERRITORIO IN STUDIO E FRANE

I versanti in studio costituiti dalle unità calcareo e calcareo-dolomitiche non mostrano segni di movimenti franosi recenti: solo lungo le aste dei valloni principali sono stati rilevati indizi d'attività erosiva, mentre nell'area di cava e lungo il versante che dovrà ospitare i lavori di recupero ambientale è quasi sempre affiorante la roccia calcarea in ottime condizioni di stabilità. Il rilievo e le indagini geognostiche eseguite hanno consentito di redigere la carta geomorfologica con i potenziali movimenti franosi, individuando soltanto una potenziale tipologia principali: scorrimento - colata rapida incanalata, sempre di modestissima entità (poche centinaia di metri cubi). Trattasi di frane che si sviluppano su versanti intagliati trasversalmente da piccoli impluvi; esse dopo un primo tratto di scorrimento sul versante, si incanalano nell'impluvio trasversale percorrendolo fino a valle. Da un punto di vista morfologico le frane a scorrimento – colata incanalate presentano una forma stretta ed allungata, così come è stata potenzialmente individuata nella Carta Geomorfologia: i recapiti ricadono tutti fuori dall'area che dovrà ospitare il “PROGRAMMA DI DISMISSIONE E RECUPERO AMBIENTALE”.

Per quanto riguarda la copertura piroclastica sul versante calcareo, a monte del fronte di cava e lungo l'ampliamento si ritiene che non rappresentino un elemento limitante, ai fini della stabilità i fenomeni di scollamento della coltre superficiale costituita da sedimenti sciolti (terreno vegetale, suoli sepolti, piroclastiti, detriti) la maggior parte sono stati originati lungo versanti, lontano dall'area in studio, con inclinazione superiore a 35° impostate su un substrato lapideo. Ove i versanti presentano pendenze inferiori ai 35° detti materiali si presentano sempre stabilizzati. Non sono presenti in questi casi particolari fenomenologie di dissesto poiché i terreni sono dotati di angolo di scarpa inferiore a quelli di attrito o di naturale declivio. Non sono state, comunque, rilevate neanche fenomenologie erosive ascrivibili alle azioni combinate delle acque incanalate e di ruscellamento. Alla luce di tutto ciò si ritiene che se si verificano, lungo i versanti in studio scivolamenti della copertura piroclastica, il materiale non ha modo di migrare “a colata” verso valle poiché non ha energia sufficiente a

sollecitare dinamicamente le coltri piroclastiche del pendio sottostante. Le indagini eseguite nel mese di settembre, ottobre, novembre lungo i settori estremi delle aree di conoide hanno sostanzialmente confermato il basso livello di pericolosità. Le trincee geognostiche eseguite hanno ulteriormente confermato il modello geomorfologico e litostratigrafico esposto precedentemente, e, cioè le frane da scorrimento - colata rapida non incanalate, (le colate che interessano i versanti regolari e privi di incisioni lineari) non si sono mai verificate lungo il versante in studio.

**In conclusione si può, pertanto, ribadire che il territorio in studio presenta un grado di stabilità generalmente soddisfacente e che le aree di possibile innesco di frane sono alquanto limitate: esse sono state oggetto di analisi di dettaglio nella Carta degli scenari del rischio, che è il frutto della sovrapposizione della Carta Geologica, della Carta delle Acclività, della Carta Geomorfologia e delle Coperture. Essa ha avallato, ulteriormente, quanto emerso dalle indagini eseguite, escludendo definitivamente la possibilità dell'innesco di frane nella coltre piroclastica: i punti critici di potenziale collasso, nell'area in studio risultano di estensione assolutamente non significativa.**

## **STATO DI PROGETTO E RICOMPOSIZIONE GEOMORFOLOGICA**

La morfologia del rilievo e quella dei fronti abbandonati, insieme alle caratteristiche ambientali del Colle Piano Salere, hanno orientato la progettazione dell'intervento qui proposto verso una soluzione che determina il risanamento di tutte le pareti di cava, profondamente segnate da scavi abbandonati da tempo che, in un prossimo futuro, potrebbero dare luogo ad una accentuazione dei fenomeni di dissesto, se non altro perché le geometrie di abbandono sono sostanzialmente il risultato di una cessazione improvvisa dell'attività e non il risultato di analisi di stabilità e di eventuali interventi di consolidamento. Tutto ciò è stato posto alla base della proposta di dismissione e recupero ambientale del fronte di cava.

Il progetto di dismissione dell'intero fronte di cava, riportato nei vari allegati grafici, prevede la riprofilatura finale del giacimento mediante le seguenti operazioni di recupero ambientale:

- riconfigurazione con pendenze dolci condizionate da vimate tese ad inibire il trascinarsi degli strati superficiali riconfigurati a seguito di eventi piovosi, interventi questi utilizzati prevalentemente nella riconfigurazione dell'area di fondo cava;
- riconfigurazione con tipologia di gradonatura tipo "Vallo di Diano", avente scopo, oltre al condizionamento e alla conservazione della configurazione del terreno nel tempo, a consentire la realizzazione di aree atte alla messa a dimora della vegetazione, vincendo nel contempo pendenze dei fronti di cava altrimenti non riconfigurabili;
- laddove le pendenze e la configurazione morfologica dei fronti di cava non consentono interventi di altra natura, si è reso necessario riconfigurare il fronte medesimo con gradonature a vivo aventi lo scopo di conferire pendenze che garantiscano l'efficienza statica nel tempo del fronte scavo così rimaneggiato.

Interventi questi, particolarmente indicati per il tipo di suolo che ci si appresta a ricostituire poiché sono realizzati al fine di ridurre l'erosione, il dilavamento dei nutrienti dal terreno, ovvero per offrire alla vegetazione un microhabitat temperante tutte le variabili necessarie al suo sviluppo persistente e duraturo. Questa sistemazione è quella che si adatta meglio all'attuale sagoma dei terreni in studio, rappresentandone la naturale evoluzione e la totale messa in sicurezza delle varie pareti di cava. Ciò conferirà alla roccia, come si è detto precedentemente, un effetto di contenimento "per forma" consentendo l'instaurarsi di uno stato tensionale più favorevole di quello che si verifica in regime di deformazioni piane e rappresenterà un'attrazione ambientale di notevole pregio. Di ciò non si è tenuto conto nei calcoli, sia perché il contributo è favorevole, perché gioca a vantaggio della stabilità, sia perché esso è assai difficile ed incerto da determinare.

Gli obiettivi che il progetto vuole raggiungere sono il *recupero*, la *rinaturalizzazione* e la *valorizzazione* dell'area di cava, ubicate in un ambiente comunque caratteristico dal punto di vista geomorfologico e naturalistico, ma che attualmente presenta un aspetto

geomorfologico contrastante con il resto del paesaggio circostante, per di più caratterizzato dalla presenza di pareti calcaree subverticali. Il concetto di recupero e/o ricomposizione ambientale è andato via via evolvendosi negli anni; da un modello concettuale di ristrutturazione del territorio, finalizzato unicamente a mascherare le ferite prodotte sul paesaggio, si è passati ad un modello concettuale volto non solo al ripristino, ma anche alla fruizione e valorizzazione storico-culturale oltre che, naturalmente, idrogeologica del territorio. Si è passati quindi da un modello più artificioso ad un modello più compatibile e funzionale dal punto di vista paesaggistico. È proprio sulla base di questo principio che si è giunti all'idea progettuale di dar luogo ad un recupero ambientale esteso a tutto il margine sud, sud – orientale del vecchio fronte di cava.

In altre parole si vuole ripristinare, da un punto di vista morfologico, il vecchio *versante strutturale a faccetta trapezoidale* ed il relativo *ripiano intermedio*, lungo cui corre in assoluta stabilità la Strada Statale delle Croci D'Acerno (n. 164). Trattasi di due morfotipi che garantiscono una perfetta replicazione geomorfologica dei luoghi ed assoluta stabilità. Si fa rilevare, infine, che la trasformazione topografica proposta, muovendo dalla riscontrata necessità di ricostruire un corretto rapporto tra l'area di cava ed il suo intorno, è stata individuata e formulata in base al seguente obiettivo: il sito dovrà divenire, da un punto di vista geomorfologico, un versante - ripiano maturo alberato e cespugliato, speculare ai versanti adiacenti.

Come già evidenziato, nei precedenti capitoli, l'intervento prospettato costituirà un consolidamento e miglioramento ambientale a totale carico dell' esercente che, contestualmente, e come riportato nei grafici, provvederà anche ai lavori di sistemazione e regimentazione delle acque piovane mediante fossi e canali, progettati anche con l'obiettivo di facilitare la infiltrazione naturale delle acque nel suolo naturale.

Lo scrivente ritiene che un approccio così articolato può ridurre sensibilmente i danni all'ambiente ed al paesaggio causati nel passato ed una progettazione di alto profilo (caratterizzata dal fatto che considera come parametri di progetto la minimizzazione degli effetti sull'ambiente ed il paesaggio e la sicurezza all'interno ed all'esterno della cava) può rendere del tutto compatibile la riqualificazione del sito. Le metodologie proposte intendono perseguire gli obiettivi di mitigazione visiva e di ricomposizione ambientale con uno sguardo verso le nuove forme di progettazione del paesaggio senza limitarsi alla mimesi. In altre

parole, le proposte progettuali definiscono un paesaggio che dialoga con l'ambiente naturale riproponendone le forme generali e la composizione vegetazionale, introducendo elementi di fruizione ambientale e di recupero della tradizione storica. In questo modo l'attività produttiva pur ponendo negli aspetti temporali ed operativi, problematiche di evidenza e di dequalificazione delle aree, riesce a compensare il territorio e la società attraverso una ricomposizione ambientale e paesaggistica tale da consentire una nuovo equilibrio naturalistico ed una nuovo utilizzo delle aree compatibile con l'ambiente naturale e rispondente alle esigenze del territorio. In conclusione si può affermare, tranquillamente, che tutte le nuove attività, opere e sistemazione e tutti i nuovi interventi prospettati, per il recupero della cava e la messa in sicurezza del fronte di cava sono tali che:

- migliorano le condizioni di sicurezza del territorio, dell'area di cava e di difesa del suolo e non costituiscono in nessun caso un fattore di aumento del rischio da dissesti di versante. *A tal riguardo si ricorda che le gradonature sono consigliate dalle stesse Autorità di Bacino, come interventi attivi per ridurre l'insacco di fenomeni franosi e l'azione di erosione e trasporto esercitata dall'acqua di ruscellamento.*
- non interferiscono né aumentano le specifiche cause di potenziale rischio idrogeologico cartografato dall'Autorità di Bacino.
- garantiscono condizioni adeguate di sicurezza durante le varie fasi di coltivazione e di recupero ambientale.
- limitano l'impermeabilizzazione superficiale del suolo, poiché impiegano tipologie costruttive e materiali tali che controllano la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio.
- impiegano tecniche a basso impatto ambientale.

A maggior conforto delle valutazioni precedenti, per aggiungere un ulteriore grado di sicurezza a tutto il sistema, si suggeriscono gli interventi operativi e di controllo riportati in seguito:

- Monitoraggio di tutto il fronte di cava, prima e dopo della messa in opera del rilevato, con verifiche dell'ammasso roccioso al fine di segnalare la presenza di situazioni che richiedono interventi puntuali;

- Sopralluoghi periodici tendenti a verificare la presenza di fratture sul corpo del rilevato ed a monte dell'area di coltivazione, chiaramente, durante i periodi di cospicui eventi piovosi, con verifica di eventuali venute d'acqua in corrispondenza del contatto tra i calcari ed il rilevato;
- Controllo e monitoraggio del territorio per evitare gli incendi;
- Ipotizzare e perseguire sempre accordi con gli Enti Locali per consolidare e tenere puliti gli impluvi limitrofi.

## **CONCLUSIONI**

Alla luce delle considerazioni proposte nei precedenti paragrafi, il versante meridionale di Colle Piano Salere, si presenta in buone condizioni di stabilità; non presenta punti di debolezza tetto-stratigrafico rilevabili dalla superficie. Pertanto si ritiene che il *“PROGRAMMA DI DISMISSIONE DELLA ATTIVITA' ESTRATTIVA DELLE CAVE IN LOCALITA' PIETRA DELLE GATTE”* nel rispetto della normativa vigente, è ammissibile grazie alle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche ed ambientali. Così un'adeguata programmazione dei lavori ed un adeguato piano di riprofilatura e messa in sicurezza delle zone via via sfruttate, costituiscono le migliori garanzie per un uso antropico razionale delle risorse naturali, nel rispetto dei fattori dell'ambiente fisico. Così si ritiene indispensabile ed indifferibile, con quest'ampliamento di superficie, un intervento di sistemazione globale tendente a migliorare l'assetto geometrico del fronte di cava con un importante intervento di rimodellamento finalizzato al miglioramento delle condizioni di stabilità globali ed alla limitazione del rischio connesso alla possibilità di distacchi di roccia. Ciò al fine di prevedere, una volta esaurito il giacimento, la restituzione del territorio all'agricoltura e/o ad altra attività compatibile con l'ambiente circostante e con il P.R.G. del Comune di Montella e con il Parco

dei Monti Picentini: l'intervento proposto all'autorizzazione si qualifica anche sotto il profilo sociale, infatti con la chiusura dell'attività di cava e con l'inizio delle nuova attività agroforestale (art. 69 del P.R.A.E.), si può ritenere che l'indotto dipendente direttamente o indirettamente dalla futura attività sia pari a circa 03 persone, oltre quelle già occupate perché continueranno l'impegno nella stessa attività in un'altra località del Comune di Montella.