COMUNE DI BORMIDA
PROVINCIA DI SAVONA
REGIONE LIGURIA

PROGETTO PER LA COLTIVAZIONE DELLA CAVA DI CALCARE DENOMINATA GIAMBRIGNE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMECCANICA, MINERARIA E DI STABILITA'

IL COMMITTENTE: Airone S.a.s.

IL TECNICO: Dott. Geologo Gino Piaggi

-2010 -

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

Relazione:

1. Premessa;
2. Normativa di riferimento
3. Cronistoria progettuale
4. Inquadramento geologico- strutturale generale;
5. Geologia, geomorfologia e tettonica di dettaglio;
6. Idrografia, idrogeologia e carsismo;
7. Sondaggi geognostici e penetrometrici
8. Rilievo strutturale e geomeccanico;
9. Analisi sismica
10. Scelta dei parametri di progetto
11. Verifiche di stabilità dei fronti di cava;
12. Stabilità del rilevato di ricomposizione ambientale della cava;
13. Prescrizioni per la realizzazione dei rilevati di ricomposizione ambientale e drenaggi;

Allegati:

- Schemi geologici – tettonici e paleogeografici:
- Cartografia geologica:
  - carta geologica e geomorfologica d'insieme
  - sezione geologica x-x
  - carta geologica
  - carta idrogeologica
  - carta geomorfologica
  - carta ubicazione prove in situ
- Sezioni geologiche riferite allo stato di progetto
  - sez. 1-1; sez. 2-2 ; sez. 3-3; sez. 4-4; sez. 5-5 ; sez.
  - 6-6 ; sez. 7-7; sez. 8-8 e sez. 9-9
- Analisi petrografiche di laboratorio
- Analisi di laboratorio geotecnico
- Stratigrafia dei carotaggi S1 – S2 – S3 – S4 e S5
- Fotografie dei carotaggi
- Prove penetrometriche dinamiche e grafici di elaborazione
- Cartografia drenaggio profondo delle acque di infiltrazione nei rilevati:
  - planimetria dello stato di sistemazione con i drenaggi
  - sezione di sistemazione 3-3 con riportato i drenaggi
  - sezione tipo del drenaggio profondo
- Verifiche di stabilità:
  - Analisi del fronte di scavo
  - Analisi del rilevato di ricomposizione ambientale.

1 - PREMESSA

Su incarico della Soc. Airone s.a.s. di Pastorino Adolfo & C., via Gramsci n. 18 - 17041 Altare (SV), è stata redatta la presente relazione geologica relativa il progetto di coltivazione della cava di calcare denominata Giambrigne sita in località Giambrigne a Bormida.

La cava in questione ex Calce Idrata, fu aperta alla fine degli anni '60 per la produzione di calce idrata.

Il progetto prevede la riapertura della vecchia cava posta lungo il Rio Cavazzoli, ad ovest del paese di Bormida, attraverso la creazione di due fronti a gradoni.

La sistemazione prevede una buona ricomposizione morfologica dei siti di scavo attraverso il riporto di materiale detritico opportunamente sistemato e naturalizzato con essenze vegetali.

In questa relazione sono riassunti gli elementi geologici – tettonici, geotecnici, geomorfologici e idrogeologici che caratterizzano la zona di cava e dell'areale circostante per poter procedere al miglior sfruttamento delle risorse esistenti senza compromettere l'equilibrio geomorfologico dei versanti, minimizzare l'impatto e contestualmente recuperare ambientalmente l'area.

2-NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- Decreto ministeriale 14/01/2008, Testo Unitario – Norme tecniche per le Costruzioni;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circ. 2 febbraio 2009;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- Eurocodice 8 (1998), Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture; Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stes. fin. 2003);
- Eurocodice 7,1 (1997), Progettazione geotecnica – Parte I: Regole generali – UNI;
- Eurocodice 7,2 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – UNI;
- Eurocodice 7,3 (2002), Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove in sito (2002) – UNI;
- O.P.C.M. n. 3519/2006 (Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche per l'aggiornamento e degli elenchi delle medesime zone) (già OPCM 3274/2003);
- Legge Regionale n°4 del 22/01/1999;
- D.G.R. n. 530 del 16/05/2003 ("Individuazione, formazione ...);
- D.G.R. n. 1308 del 24/10/2008 ("Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria");
- L.R. 14/1990 "Tutela e valorizzazione del patrimonio speleologico";
- Dgr n. 141 del 15/02/2008 e relative modifiche di cui al Dgr. N. 141 del 05/02/2010.

3 – CRONISTORIA PROGETTUALE

In data 27/02/2008 la Regione Liguria nella variante al Piano Territoriale Regionale delle attività di Cava ha introdotto come "Nuova Localizzazione" la cava GIAMBRIGNE in comune di Bormida.

In data 05/06/2008 è stato richiesto un permesso di ricerca mineraria per la realizzazione delle indagini geologiche necessarie, rilasciato con provvedimento 13/2008 in data 01/08/2008.

In data 30/12/2008 è stata presentata istanza di autorizzazione per la ripresa dell'esercizio estrattivo della cava a norma della L.R. 12/79.

L'iter istruttorio si è concluso con la determinazione della conferenza dei servizi regionali del 15/07/2009, con la quale è stato rigettato il progetto come formulato e richiesta la predisposizione di un nuovo progetto di intervento.

In particolare le problematiche rilevate dalla Conferenza dei Servizi riguardavano, oltre che ad alcuni aspetti legati alla progettazione vera e propria, soprattutto le tematiche geologiche, come risulta dalla lettera del Dipartimento Ambiente – Settore Assetto del Territorio - prot. PG 2009/26078 del 13/02/2009, e dalla Relazione Istruttoria n. 387/2009 del 07/07/2009 al capitolo "Giustificazione dell'opera e approfondimenti geologici".

A seguito di tali osservazioni i sottoscritti hanno provveduto ad un riesame del lavoro svolto, compreso nuovi ed approfonditi rilievi geologici, geomeccanici, prelievo di campioni e nuove analisi di laboratorio.

Queste nuove indagini e approfondimenti sono state oggetto di specifiche relazioni e documentazioni integrative prodotte nell'Aprile del 2009 (riferita alla conferenza dei servizi del 4/2/20909) e nel Settembre 2009 (riferita alla relazione istruttoria).

Mentre per quanto riguarda la relazione integrativa dell'Aprile 2009, i le integrazioni necessarie sono state incluse nella presente Relazione Geologica, per quella del Settembre 2009 si ritiene utile, per una migliore comprensione del lavoro qui illustrato, riproporla di seguito.

§§§

"RELAZIONE INERENTE I RISULTATI DEI NUOVI RILIEVI ED ANALISI ESEGUITE A SEGUITO DELEL VALUTAZIONI GEOLOGICHE RIPORTATE NELLA "RELAZIONE ISTRUTTORIA" N. 387 DEL 07/07/2009" DEL DIPARTIMENTO AMBIENTE – SERVIZIO ASSETTO DEL TERRITORIO".

La presente relazione si riferisce al progetto di autorizzazione della Cava denominata Giambrigne in comune di Bormida, di proprietà della Soc. Immobiliare Airone sas di cui alla pratica n° 1756/2009, ed in particolare su quanto riportato nella Relazione Istruttoria n° 387 del 07 Luglio 2009.

Nello specifico, nella relazione che segue si esaminano solo le questioni di carattere geologico ed in particolare quelle riportate nel capitolo "Giustificazione dell'opera e approfondimenti geologici" contenuti a pag. 3 nella citata Relazione istruttoria n° 387/09 che si riporta integralmente:

"Nel corso della Conferenza dei Servizi Istruttoria del 4 febbraio 2009 è stata inoltrata al proponente richiesta di documentazione integrativa, volta in particolare ad ottenere precisazioni circa la fattibilità geologica del progetto di coltivazione. A supporto dell'analisi istruttoria si è svolto, in data 09/06/2009, un sopralluogo congiunto tra gli uffici regionali coinvolti nel procedimento, segnatamente Servizio Attività Estrattive, Settore Assetto del Territorio e Settore VIA, al fine di verificare de visu lo stato dei luoghi e valutare le integrazioni pervenute.
Nel corso del sopralluogo sono state utilizzate le conoscenze geologiche recentemente acquisite attraverso il progetto CARG (carta geologica d'Italia a scala 1:50.000), svolto sotto il coordinamento regionale, i cui rilievi, ancora inediti, sono stati resi disponibili dagli autori nell'Aprile 2009.
Si è così osservato come il giacimento calcareo si collochi nel settore nord del Ca indicato nel PTRAC,

verso il rio Verne, e come nel settore meridionale siano , invece, presenti diversi litotipi di natura scistosa, ed in minor misura calcarei, appartenenti alle formazioni indicate nello stralcio cartografico CARG. Ciò è coerente con quanto riportato nella cartografia geologica del Progetto di Coltivazione sebbene in tale cartografia, a differenza con quanto rappresentato nelle cartografia CARG, i diversi litotipi scistosi non vengano suddivisi, e singolarmente rappresentati , ma inglobati sotto la generica dizione di "Scisti di Gorra".
L'interpretazione geologico – stratigrafica dell'areale appare invece differente tra il progetto di Coltivazione e quanto rappresentato nella cartografia geologica nazionale. In quest'ultima vengono individuate due unità tettonostratigrafiche: "l'Unità di Pamparato – Murialdo, costituita dai litotipi scistosi della Formazione di Murialdo, sostanzialmente esterna all'area del Ca, e l'Unità di Bormida rappresentata da termini calcarei e scistosi disposti geometricamente secondo una sequenza verticale (Porfiroidi del Melogno – Formazione di Monte Pianosa – Quarziti di Ponte Nava –Calcari di Val Tanarello – Formazione di Caprauna), con i terreni più "antichi" alla base, che è incisa dal Rio Cavazzoli lungo il cui asse affiorano appunto i Porfiroidi del Melogno, cronologicamente inferiori.
I litotipi calcarei di Val Tanarello risultano, così, limitati inferiormente dalle Quarziti di Ponte Nava – come evidenziato, anche, nei sondaggi S1 e S4 – collocandosi, nel settore meridionale del Ca, nelle zone altimetricamente più elevate ed interessando in maniera estensiva, da monte a valle, il settore meridionale.
Il modello geologico – strutturale del Progetto di cava, evidenziato nelle sezioni geologiche interpretative, indica invece la presenza di un importante "nocciolo" di calcari appartenenti alla Formazione di Val Tanarello, continuo e con potenza decrescente dal settore settentrionale verso quello meridionale, dalla sezione D-D fino alla sez. A-A, inglobante locali lenti di "scisti", che si interpone tra gli "scisti di Gorra" nella cui dizione sono incorporati, come già evidenziato, i diversi termini scistosi rilevabili sul terreno.
Nella sostanza, sulla base delle considerazioni suesposte, è verosimile ritenere il "giacimento" localizzato, in termini volumetricamente significativi, nella porzioni settentrionale del Ca, mentre nella restante parte, che occupa circa la metà dell'estensione areale del Ca, la disponibilità della risorsa come rappresentata nel Progetto di cava non pare invece sufficientemente accertata, alla luce , anche, delle più recenti conoscenze geologiche (CARG). Il Piano di coltivazione proposto non pare pertanto ammissibile ai sensi della DGR 141/2008 parte II appendice 1 punti a) e b). Con riferimento, poi, all'ipotesi di sfruttamento degli "scisti" in ragione delle buone caratteristiche di resistenza rilevate mediante un'unica prova di compressione uniassiale eseguita su di uno spezzone di carota del sondaggio S4 (S4 Car2, prof. 15m), la stessa parrebbe poco rappresentativa stante anche la variabilità litologica dei litotipi definiti "scisti".
Emerge che il Progetto di coltivazione proposto, prevedendo rilevanti volumetrie di scavo, circa 400.000 mc, su buona parte dell'estensione dell'areale del Ca, non risponde in maniera coerente alle finalità di tutela del vincolo idrogeologico di cui al R.D. 3267/23 determinando, infatti, importanti modifiche morfologiche e vegetazionali anche in settori dove la disponibilità della risorsa litoide parrebbe limitata.
Risulta pertanto necessario che il Progetto di coltivazione venga riconsiderato anche alla luce delle conoscenze geologiche recentemente acquisite, eventualmente meglio puntualizzate attraverso adeguati approfondimenti, al fine di garantire la coerenza con il vincolo ambientale vigente sull'areale e di circoscrivere la coltivazione e i relativi impatti al giacimento economicamente e volumetricamente significativo".

Sulla base di quanto sopra riportato il sottoscritto ed i suoi collaboratori hanno provveduto ad un riesame del lavoro e ad effettuare ulteriori approfondimenti ed analisi sulle questioni rilevate che sono di seguito trattate.

In particolare, poiché le argomentazioni poste in evidenza sono molteplici, per una migliore comprensione e puntualizzazione, i vari aspetti sono stati riportati per punti esaminando dettagliatamente i problemi posti.

Preme subito sottolineare che, al di là di aspetti marginali, gli approfondimenti geologici eseguiti hanno confermato, al di là di modifiche marginali, pienamente quanto precedentemente elaborato, così come risulta dalla cartografia geologica elaborata.

a) <u>Documentazione ufficiale considerata nei rilievi per il Progetto:</u>

Da quanto riportato nella Relazione istruttoria n° 387 "Giustificazione dell'opera e approfondimenti geologici" risulterebbe che tutte le problematiche rilevate siano in relazione ai nuovi rilievi della cartografia CARG che è stata utilizzata come base geologica per il sopralluogo del 9/6/09 (o 8/6/09) effettuato nella zona di cava dagli uffici regionali.

Tale cartografia (scala 1:50.000) <u>era ed è tuttora inedita</u> ed è stata resa disponibile agli uffici regionali solo <u>nell'aprile 2009,</u> mentre le indagini geologiche e geognostiche per il Progetto sono iniziate nel

Giugno del 2008 ed il progetto presentato nel Gennaio 2009; anche le integrazioni richieste dalla Conferenza dei servizi del 4/1/09 sono state consegnate in data 23 Aprile 2009, giorno in cui il sottoscritto ha potuto visionare detta cartografia CARG.
Da ciò appare evidente che nella descrizione geologica dei luoghi non si poteva far riferimento alla cartografia CARG, per altro non ufficiale, ed infatti, si è sempre fatto riferimento alla documentazione ufficiale della Carta Geologica d'Italia F. 92 – 93 Albenga – Savona, II edizione nel 1970 a scala 1:100.000 da rilievo 1:25.000.
Dall'esame di detta cartografia risulta che su tutta la zona affiorano gli Scisti di Gorra (PEsc) con passaggio verso sud ai Porfiroidi del Melogno (PEp) e con inclusioni della Formazione di Eze (pr) e di Calcari di Val Tanarello (G11-9).*
Dal punto di vista litologico i Scisti di Gorra sono così definiti: "Quarzoscisti, scisti quarzo sericitici, cloritici, micascisti, scisti gneissici, localmente con grossi cristalli di K-feldspato, di colore variabile, localmente con lenti della formazione di Eze non cartografabili separatamente, con subordinate intercalazioni di Porfiroidi del Melogno ….".
Si tratta quindi di una formazione complessa che racchiude varie litologie non sempre ben definibili dal solo rilievo di campagna.
Che la situazione geologica ufficiale della zona di Bormida fosse complessa e non sempre ben chiara era stata messa in evidenza sia nella Relazione Geologica – Mineraria e di Stabilità allegata al Progetto che nella Relazione contenente le integrazioni richieste dalla Conferenza dei Servizi del 4/01/09.
Proprio per questo motivo nell'illustrazione della geologia della zona si è fatto un ampio riferimento all'evoluzione paleogeografica, alla tettonica delle strutture coinvolte, con particolare riferimento ai sovrascorrimenti, anche fornendo una specifica situazione di una cava di calcare presso Mallare inclusa negli Scisti di Gorra (pag. 9 della Relazione Geologica – da Menardi 1981) che per certi versi può essere presa come esempio della geologia della zona di Giambrigne.
Sempre a livello di documentazione ufficiale presa in esame per gli studi geologici in questione occorre ricordare le Guide Geologiche Regionali Alpi Liguri (BE-MA ed) a cura della Società Geologica Italiana, ed in particolare la Stratigrafia del Dominio Brianzonese Ligure e l'itinerario n. 8 da Mondovì a Finale Ligure, con specifico richiamo alle Colonne Stratigrafiche riportate a pag. 10 della Relazione Geologica di Progetto.
A livello di grande scala è stata esaminata la Carta Geologica della Liguria – Università degli Studi di Genova.
A livello puntuale è stata esaminata la documentazione geologica prodotta a corredo della Scheda di Rilevamento della frana di Bormida contenuta nell'Atlante dei Centri Instabili della Liguria – III Provincia di Savona del Consiglio Nazionale delle Ricerche – Università di Pisa - Regione Liguria 2006 (scala 1:6.100 c.a).
E' stata pure esaminata la documentazione redatta per lo Strumento Urbanistico del Comune di Bormida, ed in particolare le varie cartografie tematiche (geologica – geomorfologica- idrogeologica – suscettività, redatta a scala 1:5000) elaborate nel 2008.
Dall'esame di tutta questa documentazione risulta che la situazione geologica e stratigrafica del comprensorio di Bormida non è ancora del tutto ben definita in sede di cartografia ufficiale e numerose sono le discrepanze rilevate nell'ambito della zona esaminata.
Preme sottolineare che tra le cartografie esaminate quella che più rispecchia la situazione che ad oggi è stata rilevata nella zona dal sottoscritto, è la Carta Geologica allegata al PUC che è stata redatta a scala 1:10.000 con rilievi recenti (2008).

b) Campagna geologica dell'agosto 2009:

I rilevamenti sono stati effettuati utilizzando la carta di progetto a scala 1:500 e poi riportati a scala 1:1000 per una più facile lettura.
Il territorio della zona di "Ca" e circostante è stato esaminato nella sua completezza in modo da avere un ulteriore approfondimento delle conoscenze già acquisite, tenuto conto anche delle indicazioni geologiche riportate nella cartografia CARG.
In particolare è stato nuovamente rilevato l'affioramento calcareo all'interno del "Ca" oggetto di sfruttamento ed i terreni al contorno, cercando, per quanto possibile e tenuto anche conto delle finalità del lavoro, di rilevare le sequenze che secondo al carta CARG fanno parte della Unità di Bormida (e cioè Porfiroidi del Melogno – Formazione di Monte Pianosa – Quarziti di Ponte Nava – Calcari di Val Tanarello e Formazione di Caprauna), oltre che della formazione di Murialdo appartenente all'Unità Pamparato – Murialdo, in buona parte esterna al "Ca".

E' opportuno ribadire che l'obiettivo del lavoro è quello di fornire una situazione geologica - interpretativa il più possibile reale in modo da permettere una corretta progettazione della cava.
E' di estrema importanza, e del tutto interesse del sottoscritto e del Committente, che il lavoro geologico e l'interpretazione che ne deriva sia coerente alla realtà in modo da accertare la disponibilità della risorsa, al di là delle varie terminologie geologiche che vengono date ai vari terreni.
Si vuole sottolineare, altresì, che l'indagine svolta, esula dal voler dare interpretazioni geostratigrafiche

e tettonica delle varie Unità del comprensorio né voler confutare le indagini svolte per la carta CARG stante anche la notevole diversità della scala del rilievo e gli obiettivi prefissati.

Preme comunque rilevare che nella cartografia geologica in genere, spesso nomi diversi indichino unità o formazioni con caratteri uguali o simili, ma solo geograficamente distribuite in zone diverse, come nel caso dei metasedimenti fini che sono stati distinti ufficialmente in tre unità litologiche denominate Formazione di Murialdo / Scisti Viola / Scisti di Gorra
Che la situazione sia complessa viene espresso anche nelle Note Illustrative della Carta Geologica D'Italia f. 228 del CARG, (inedite) allorché al punto 3.3. si afferma che l'Unità tettonostratigrafica di Bormida è presente sotto forma di scaglie tettoniche tra Osiglia e Mallare (e quindi anche la zona Bormida e della cava).

Passando al lavoro svolto, dai rilievi effettuati, integrati dalla fotointerpretazione, dai risultati delle analisi di laboratorio e dai dati sopra riportati risulta quanto segue:

1) *La nuova campagna di indagini è stata svolta sull'intera area del "Ca" e nelle zone circostanti in modo da avere un quadro ancora più ampio della situazione geologica. Nell'ambito del rilievo sono stati effettuati 60 punti di rilievo in affioramenti significativi, prelevati 50 campioni di roccia di cui 27 utilizzati nelle analisi, fatto il punto stazione G.P.S., scattate fotografie e su buona parte degli stessi effettuata prova con acido cloridrico per la valutazione della componente calcarea. Dei campioni prelevati 11 (9 di superficie + 2 dei sondaggi S4 e S5) sono stati fatti analizzare dal laboratorio T.S.Lab & Geoservices di Pisa per la caratterizzazione petrografica, mineralogica e microstrutturale, mentre gli altri sono stati esaminati attraverso strumentazione ottica per la caratterizzazione microscopica. Dei campioni esaminati dal laboratorio si riassumono i seguenti risultati:*
   - *i campioni n° 9 – 37 e S4 sono classificabili Gneiss*
   - *il campione n° 23 è marmo grigio*
   - *i campioni n° 2 – 15 – 47 e S5 sono meta – calcare*
   - *i campioni 25 – 31 e 36b sono di micascisto ricco in quarzo.*

   In sintesi, dall'esame petrografico – mineralogico risulta che sia il marmo (medio – basso grado di metamorfismo) che il metacalcare (roccia metamorfica di bassissimo grado) sono costituiti dagli stessi elementi (e quindi la stessa formazione) ma con differente grado di metamorfismo. In particolare il metamorfismo maggiore si ha sulle parti più esterne in quanto sottoposte alle maggiori sollecitazioni (sia di temperatura che di pressione) durante la messa in posto dell'unità. Di fatto, questi dati confermano le analisi petrografiche fatte precedentemente dal laboratorio Palladio di Vicenza dove il litotipo calcareo è stato riconosciuto come "Marmo leggermente dolomitico con tracce di quarzo", mentre lo scisto prelevato dal sondaggio come "gneiss". Anche le prove di compressione fatte eseguire dal laboratorio geotecnico G.E.T. di Genova hanno indicato valori accettabili sia del calcare che del gneiss.

2) *I limiti dell'affioramento del metacalcare è risultato essere pressochè identico a quello già rilevato in precedenza; solo nella parte nord – orientale, cioè in sponda sinistra del Rio Cavazzoli, l'affioramento metacalcareo risulta più esteso e si porta a quota di circa 630 m e ciò è a favore del giacimento. Sono stati individuati (e confermati) tutti gli altri limiti del calcare che, a partire dal piazzale dell'attraversamento sul fosso e ruotando in senso orario seguono il crinale e lo stacco morfologico riportato sulla base topografica sino a quota di circa 690 m. Da quota 690 metri l'affioramento del metacalcare (localmente intervallato da zone detritiche) prosegue sino alla quota massima di 700 m (circa 40 m più in alto del limite dei calcari di Val Tanarello riportato sulla carta CARG) per poi riscendere a quota 680 m circa lungo il Rio delle Verne. Qui si rileva evidente il contatto con i terreni scistosi (scisti sericitici in prevalenza) sovrastanti, ed il metacalcare si immerge verso NNE. I metacalcari proseguono lungo tutta la sponda sinistra del Rio delle Verne dove affiorano con pareti dirupate di elevata altezza sino al Rio Cavazzoli, estendendosi verso nord sin oltre il limite del "Ca" trasversalmente al versante scendendo progressivamente da quota 680 a quota 618 m circa. In particolare, nella sua massima estensione verso nord il metacalcare "entra" nell'impluvio sottostante il rudere a quota 650,69 per circa 100 metri a partire dal Rio delle Verne. Nell'ambito del "Ca" altro contatto significativo e ben evidente si rileva lungo il fosso che scende da nord, circa 40 metri prima della confluenza con il Rio delle Verne. Qui, lo stacco morfologico tra i terreni metacalcarei e quelli sovrastanti si evidenzia anche sulla base topografica (quota 618 m circa). Il metacalcare prosegue quindi verso sud – est sino al piazzale del vecchio impianto di cava e da qui si chiude nuovamente in prossimità del sondaggio n. 4, dopo il rilevato di attraversamento del corso d'acqua.*

3) *Oltre ai metacalcari, l'esame degli affioramenti sostenuto dai dati di laboratorio ha permesso di distinguere anche i limiti dei marmi grigi (roccia metamorfica di medio – basso grado) che pur*

distinguibili a vista (tanto che nel precedente rilievo erano stati indicati come calcescisti facenti parte degli Scisti di Gorra) fanno parte della stessa formazione (Val Tanarello). Questi si rinvengono in varie zone attorno all'affioramento dei metacalcari ma in particolare si rilevano nella zona compresa tra il fosso che scende da nord e le strutture del vecchio impianto di cava dove vanno a costituire la scarpata sin quasi alla sommità. Si tratta di una roccia a grana media di colore grigio, a struttura talvolta scistosa, compatta e resistente che certamente può essere cavata, e che nella cartografia CARG è stata, in parte, associata ai Calcari di Val Tanarello. Questa roccia è ben rilevabile sulla vecchia parete di scavo dell'impianto ed ha un fronte di oltre 20 metri ed è limitata superiormente da una sequenza di scisti e scisti sericitici. Il contatto marmi – scisti è ben visibile sulla scarpata pochi metri sotto la cabina elettrica del vecchio impianto. Procedendo verso sud – est detti marmi sono interessati da una faglia e si riducono progressivamente di spessore sino alla strada di accesso alla cava dove si ha una potenza di circa 10 m. In questa zona riaffiorano i metacalcari, che assieme ai precedenti si estendono, con affioramenti evidenti, verso sud - est andando a costituire il crinale di Cavazzoli, come indicato anche sulla Carta Geologica d'Italia F.92 – 93 Albenga – Savona (1970). Altri affioramenti di marmi grigi sono visibili nella zona del sondaggio n°2 (dove era stata indicata genericamente una lente di "Scisti di Gorra") e nella parte alta del giacimento calcareo vicino a Cà Giambrigne. E' evidente quindi che l'ipotizzata lente perde significato e l'affioramento in questione rappresenta una zona calcarea con maggior metamorfismo.

4) *L'esame degli affioramenti presenti lungo il fosso in sponda destra del Rio Cavazzoli, al limite con l'area "Ca" ha evidenziato una sequenza di terreni caratterizzati da "Quarzoscisti, scisti quarzo sericitici, cloritici, micascisti, scisti gneissici, con intercalazioni di Porfiroidi del Melogno" che ricalcano i terreni presenti all'interno degli Scisti di Gorra. Non si sono rilevati elementi tali da poter distinguere sequenze nette e separabili corrispondenti a quelle riportate nella carta del CARG (Porfiroidi del Melogno – Formazione di Monte Pianosa – Quarziti di Ponte Nava). Sono stati rilevati tre livelli di diversi metri di potenza costituiti da rocce più competenti e resistenti individuati come gneiss dalle analisi di laboratorio intervallati ogni 15 metri circa, che vanno a costituire altrettanti "salti" morfologici dell'asta torrentizia e dei crinali secondari. La stratificazione di detti livelli e degli altri litotipi è abbastanza omogenea, a traverpoggio, con immersione sia a sud – est che a nord con valori dell'ordine di 20° - 30°. Detta stratificazione non appare permettere, salvo l'esistenza di evidenti anomalie giaciturali e tettoniche non rilevate lungo l'incisione del fosso, di riportare graficamente una sequenza di terreni come quella indicata nella cartografia CARG dove appaiono a reggipoggio e con debole immersione dei contatti verso ovest e sud/ovest. Il citato fosso è stato esaminato attentamente per tutta la sua lunghezza, sin oltre Cà Giambrigne, e non sono stati rilevati affioramenti di calcari di Val Tanarello che potessero ricollegarsi con quelli della zona di cava.*

5) *Il rilievo ha comunque permesso di distinguere, nell'ambito dei generici Scisti di Gorra, una serie di terreni che sono riconducibili probabilmente alla formazione di Murialdo. Si tratta di scisti e scisti sericitici che vanno a costituire il crinale in sponda sinistra del Rio Cavazzoli, su cui è impostata la strada di accesso all'area di cava. Questi terreni, che presentano una generale immersione verso nord – est, nella cartografia della "Scheda di Rilevamento della frana di Bormida contenuta nell'Atlante dei Centri Instabili della Liguria – III Provincia di Savona del C.N.R. – Università di Pisa - Regione Liguria 2006 (scala 1:6.100 c.a)" sono stati indicati genericamente come Porfiroidi del Melogno e ciò evidenziando ancora una volta una non ben definita classificazione dei terreni ivi affioranti. Infine, scendendo lungo il Rio Cavazzoli a valle della cava, affiorano sequenze ravvicinate di strati e bancate ad elementi competenti che potrebbero far ipotizzare una maggior presenza di Porfiroidi del Melogno, come per altro affioranti allo sbocco della tombinatura.*

6) *Nell'ambito del rilevo sono state anche ridefinite le zone detritiche che, sostanzialmente ricalcano quelle già individuate in precedenza, sia come estensione che potenza. I litotipi calcarei normalmente sono affioranti salvo alcune lingue detritiche che scendono dalla sommità sino la fosso. Sugli altri litotipi, più alterabili si ha una diffusa copertura detritica che non ne permette sempre una visione diretta salvo le zone più acclivi, o in erosione areale o concentrata e lungo i corsi d'acqua. La copertura detritica spessa si ha nella zona di Cà Giambrigne con estensione verso sud – est lungo il fosso al limite con il "Ca". La definizione delle varie aree detritiche, come pure delle faglie - fratture e limiti geologici, è stata fatta anche con la fotointerpretazione utilizzando le fotografie aeree stereoscopiche scattate nel 2008 per la restituzione della base cartografica di dettaglio.*

Da tutto quanto sopra risulta evidente che la campagna di indagini fatta (la terza) ha confermato pienamente i risultati delle precedenti sia per quanto riguarda gli affioramenti che l'interpretazione geologica che si può fare. Anzi, con la definizione degli affioramenti di marmi grigi, che sono associabili

ai metacalcari, di fatto giustifica pienamente l'estensione della escavazione sul versante in sponda sinistra del Rio Cavazzoli a lato dell'impianto.

Se si volesse fare un raffronto tra le varie cartografie esaminate e il rilievo fatto, una buona somiglianza si ha con la Carta Geologica dello Strumento Urbanistico Comunale, dove compare l'affioramento dei Calcari di Val Tanarello circondato dalla formazione degli Scisti di Gorra. La geometria dell'affioramento calcareo è abbastanza simile a quello rilevato per la cava, mentre poco assomiglia alla carta CARG.

Per quanto riguarda il "tipo" di materiale presente nella cava Giambrigne, sulla base delle conoscenze acquisite, l'estrazione prevista si riferisce esclusivamente ai Calcari della Val Tanarello (metacalcari e marmi).

c) Volumetria teorica estraibile dal "Ca":

La superficie complessiva dell'area perimetrata "Ca" nel PTRAC è dell'ordine di 50.000 mq ed è attraversata al centro dal Rio Cavazzoli e lateralmente dal suo affluente il Rio delle Verne.

Pertanto, ipotizzando di mantenere una adeguata fascia di rispetto per i corsi d'acqua, considerando la morfologia, la viabilità di accesso e la effettiva possibilità di escavazione, la superficie realmente utilizzabile per la cava è dell'ordine di 18.000 mq.

Conseguentemente la volumetria estraibile ipotizzabile, considerando che tutto l'areale del "Ca" comprenda terreni utilmente coltivabili, può essere stimata, considerando le usuali geometrie di scavo, dell'ordine di 380.000 mc.

§§§

Sulla base di questi nuovi elementi si conferma la fattibilità geologica del progetto di escavazione nella cava in questione, ed infatti, il nuovo progetto che è stato predisposto risulta conforme alle indicazioni della conferenza di servizi in quanto supera e risolve le perplessità espresse in quella sede.

Sempre per una migliore chiarezza di esposizione, tenuto conto del sovrapporsi dei nuovi rilievi e studi (anche ufficiali) non sempre tra loro coerenti, si è preferito mantenere nella relazione che segue le indicazioni riportate a suo tempo nella Relazione del progetto del 2008 che fanno riferimento alla cartografia della Carta Geologica d'Italia F.92 Albenga - Savona.

4 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE GENERALE

Per descrivere geologicamente la zona esaminata è necessario ripercorrere le tappe evolutive del territorio prendendo in esame le varie formazioni rocciose ed i loro rapporti, anche in un contesto di più ampia visione che comprende il complesso della catena montuosa.

Ciò perché le spinte tettoniche generarono grandi piegamenti, faglie, fratturazioni e causarono l'accavallamento di varie unità con grandi e piccoli scompaginamenti, disarticolazioni complesse talvolta di difficile interpretazione.

E' noto, infatti, che le Alpi Liguri sono formate da un insieme di unità tettoniche trasportate ed appilate verso l'esterno dell'arco Alpino, successivamente dapprima retroflesse, poi coinvolte nelle deformazioni di età e direzione appenninica.

In esse sono presenti complessi rocciosi derivanti dal continente paleoeuropeo (dall'esterno all'interno: domini delfinese provenzale, sub-brianzonese, brianzonese esterno, intermedio, interno), dal suo margine s.s. (dominio piemontese) e dall'oceano ligure-piemontese (rappresentato da due grandi gruppi: successioni ofiolifere pre-flysch e successioni di flysch); è dubbio che vi siano anche coinvolti anche elementi di pertinenza insubrica o di un ipotetico continente intraoceanico.

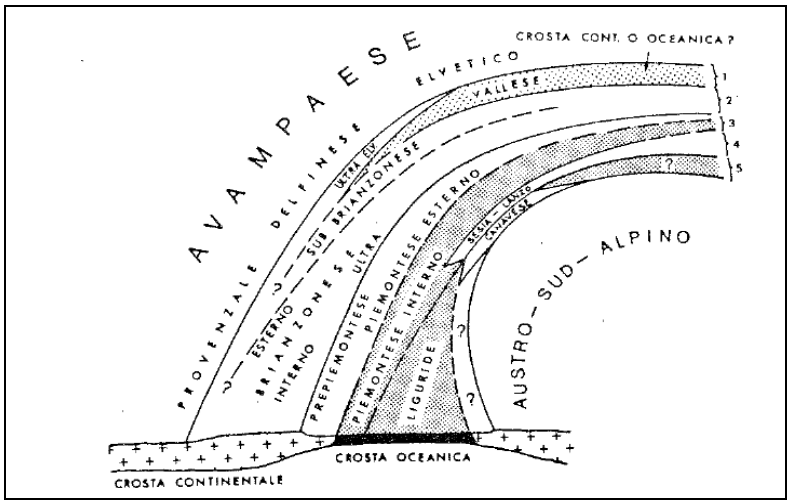


Fig.1 Schema paleogeografico ipotetico delle Alpi occidentali e centrali durante il Giurassico medio superiore dall'esterno (avampaese) all'interno (Austro Sud-Alpino) (da VANOSSI *et alii*, 1983).

Sinteticamente a partire dalle zone più esterne si riconoscono i seguenti domini:

1. *Delfinese-provenzale*: rappresenta le porzioni più esterne del continente europeo interessate dall'orogenesi che ha edificato la catena alpina; consta di un basamento cristallino e di una copertura da carbonifera a eocenica superiore - oligocenica;
2. *Subbrianzonese*: comprende un certo numero di unità tettoniche di copertura, derivate dalla zona di raccordo paleogeografico tra i domini delfinese e brianzonese;
3. *Brianzonese*: rappresenta un dominio particolare, che comporta un basamento cristallino, un tegumento permo-carbonifero ben sviluppato ed è caratterizzato da una copertura meso-cenozoica lacunosa con successioni sempre più ridotti a partire dai settori esterni;
4. *Piemontese s.l.*: è corrispondente al dominio del argine s.s. del continente europeo;
5. *Piemontese-Ligure*: corrisponde al dominio oceanico, vi si collocano varie successioni ofiolitiche, caratterizzate da differenti storie deformativo-metamorfiche alpine.

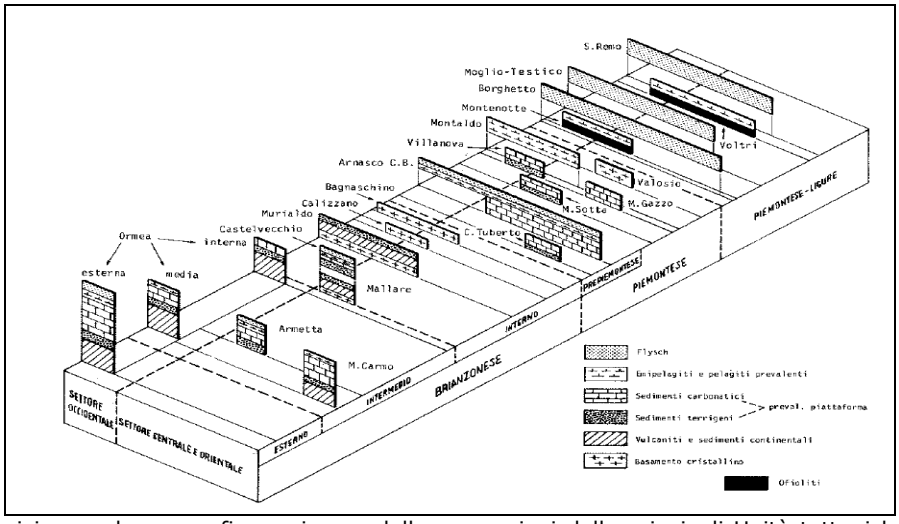


Fig.2 Disposizione paleogeografica reciproca delle successioni delle principali Unità tettoniche delle Alpi Liguri (da VANOSSI *et alii*, 1984).

Sotto il profilo puramente geologico-strutturale e paleogeografico il Brianzonese ligure, il cui dominio inizia a differenziarsi da quello Piemontese nel Trias superiore,costituisce il prolungamento verso SE, dal Colle di Tenda fino al mare, del Brianzonese classico e, come quest'ultimo, rappresenta al tempo stesso parte di un dominio paleogeografico e di un complesso di Unità Tettoniche che si ritiene provengano dalla porzione del paleocontinente europeo più prossima al margine esterno.

Dal punto di vista paleogeografico si suole suddividere il Brianzonese in tre settori, che, procedendo verso l'avampaese, prendono le qualificazioni di interno, intermedio, esterno.

Anche la serie stratigrafica viene generalmente distinta in tre parti: basamento cristallino (interessato da una o più orogenesi prealpine), tegumento permocarbonifero e copertura meso-cenozoica.

- Il **basamento cristallino** (complesso polimetamorfico) è normalmente formato da ortogneiss derivanti da rocce acide essenzialmente intrusive (granitoidi) e subordinatamente effusive (rioliti), e da paragneiss e micascisti derivati da arenarie e da peliti. All'interno del territorio considerato è presente solo in una piccola finestra tettonica in gneiss in Loc. Manie (vasca acquedotto) appartenente alla Unità cristallina di Calizzano Savona.

- Il **tegumento permo-carbonifero**, di origine in parte vulcanica e in parte sedimentaria continentale, di età compresa tra i 300 e i 250 milioni di anni (MA), si interpone tra il basamento cristallino e le rocce sedimentarie della copertura mesozoica.

Le successioni permocarbonifere presentano grande variabilità di facies e di spessore, sebbene mediamente dell'ordine delle centinaia di metri; la sedimentazione fu accompagnata da un'importante attività tettonica, che generò fosse subsidenti, e da tre episodi vulcanici (precoce, intermedio, principale) caratterizzati da prodotti petrograficamente e chimicamente diversi.

Nel bacino le formazioni metamorfiche di origine sedimentaria sono rappresentate dagli Scisti di Gorra, costituiti essenzialmente da metasedimenti. Esse sono rocce chiare di diversa origine: sedimenti quarzo-micacei, dominanti; tufiti e/o prodotti di rimaneggiamento di vulcaniti acide. Gli spessori, variabili, sono sempre dell'ordine di alcune centinaia di metri. L'età permiana superiore della formazione è solo presunta, poiché non è documentata paleontologicamente.

Le Formazioni metamorfiche di origine vulcanica sono rappresentate dalla Formazione di Eze e dai Porfiroidi del Melogno.

La formazione di Eze è costituita da prasiniti e scisti prasinitici, intercalati ai metasedimenti fini stefano-autuniani. Rappresenta l'episodio vulcanico intermedio, durante il quale vennero messi in posto volumi anche considerevoli di lave e piroclastiti andesitiche.
I Porfiroidi del Melogno rappresentano la fase più importante - dal punto di vista del volume di materiali emessi - e più recente dell'attività vulcanica, considerata di età essenzialmente permiana inferiore. Sono formati essenzialmente da ignimbriti e sono caratterizzati da numerosi membri e litozone.

- La **Copertura meso-cenozoica** (250-150 MA)
La Copertura meso-cenozoica ha inizio nel Trias inferiore (250 MA) con la cessazione dell'attività vulcanica e l'ingressione marina e susseguente deposizione di materiali detritici molto rielaborati (Quarziti di Ponte di Nava).

Queste sono quarziti scistiche, in banchi di spessore variabile, occasionalmente separati da livelli pelitici millimetrici verdi o violacei, depositi di spiaggia molto elaborati ricchissimi di quarzo, con rari ciottoli feldspatici, passanti transizionalmente a calcari e dolomie grigie di piattaforma del Trias medio (Ladinico, 220 MA).

La successione calcareo - dolomitica (Dolomie di S. Pietro dei Monti) è analoga a quelle delle coeve piattaforme orlanti il paleocontinente euro-asiatico-africano che si affacciava sul golfo della Paleotetide; durante il Trias superiore (220-210 MA) cessa la subsidenza della piattaforma, che torna in condizioni prevalentemente sopratidali.

Nel Giurassico inferiore (210-180 MA) il dominio brianzonese ligure è totalmente emerso e soggetto ad erosione di tipo prevalentemente chimico (carsismo) che localmente porta ad una completa elisione dei termini triassici specie nei settori intermedio interni. Il sollevamento regionale, che verosimilmente si realizza con faglie a gradinata, è massimo nei settori interni, prospicienti il continente paleoeuropeo, cosicché nei settori esterni le dolomie ladiniche vengono preservate dall'erosione.

È soltanto con il Giurassico superiore (Malm, 160-140 MA), in connessione con il progressivo ampliamento dell'oceano piemontese-ligure, che il clima distensivo diviene generalizzato: ne deriva una brusca sommersione, per sprofondamento delle terre emerse, di quasi tutto il dominio brianzonese. Salvo eventuali locali isole, non si hanno interruzioni tra la massa d'acqua dell'oceano e quella epicontinentale che si estende ampiamente verso W, al di sopra dei domini brianzonese, delfinese e provenzale.

I sedimenti del Malm sono rappresentati da successioni di calcari marmorei chiari, ceroidi, ben stratificati (Calcari della Val Tanarello), trasgressivi sulle dolomie mesotriassiche nei settori esterni e trasgressivi sul tegumento in quelle intermedie (Castelvecchio-Cerisola) o interne.

Si ha uno *iatus* (assenza di sedimentazione) per tutto il cretaceo (140-66 MA).

Con le rocce della Formazione di Caprauna (Eocene, 55-35 MA), rese scistose dal metamorfismo alpino, e ormai molto poco diffuse, a causa della loro erodibilità, si chiude la successione brianzonese.

Segue l'orogenesi alpina, che causa la laminazione ed il metamorfismo delle rocce brianzonesi ed il sovrascorrimento del Brianzonese interno su quello esterno.

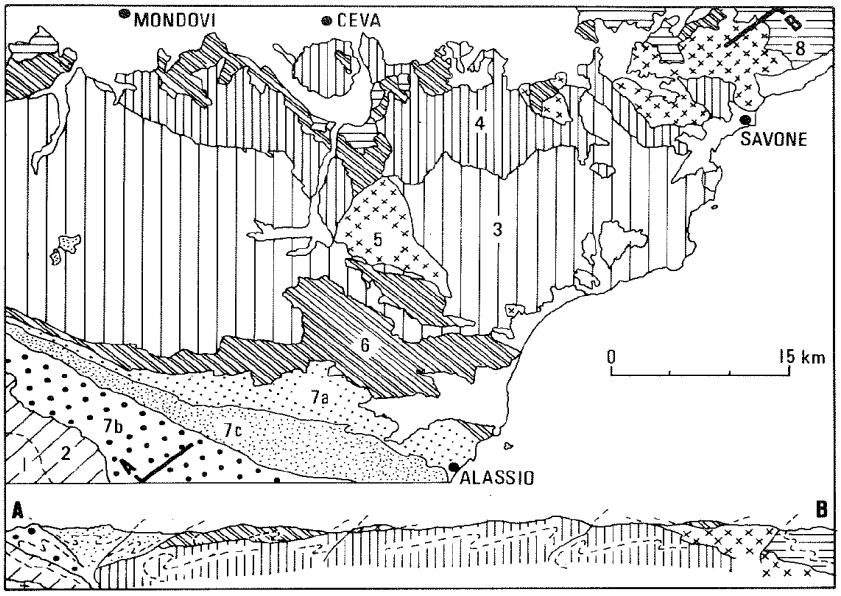


Fig.3 Carta tettonica e sezione schematica delle Alpi Liguri. 1)copertura autoctona dell'Argentera; 2)schistes a blocs; 3)unità del Brianzonese Ligure esterno e intermedio; 4)unità del Brianzonese Ligure interno; 5)massicci cristallini del Brianzonese ligure molto interno; 6)unità prepiemontesi; 7)flysch ad Elmintoidi; 8)unità Piemontesi interne e piemontesi ligure. La copertura (da oligocenica a quaternaria) è lasciata in bianco. (da DURAND DELGA *et alii*, 1981)

Dei terreni sopraccitati, solo gli Scisti di Gorra affiorano vastamente sull'areale con inclusioni più o meno estese della formazione di Eze e dei Calcari di Val Tanarello.

Dal punto di vista tettonico la struttura del Brianzonese ligure è dominata dalla esistenza di alcune grandi falde che determinano estesi ricoprimenti con senso di accavallamento da Nord verso Sud; i sovrascorrimenti minimi comportano distanze superiori ai 10 km.

Nella evoluzione tettonica polifasata di questo segmento della Catena Alpina si distinguono fasi deformative che precedono e fasi che seguono l'impilamento delle falde. Il Brianzonese ligure ha subito l'azione di un metamorfismo alpino polifase i cui effetti sono importanti nelle unità interne, tenuo e difficili da caratterizzare nelle unità esterne.

Fatto di grande rilevanza appare il ripiegamento delle superfici di sovrascorrimento secondo due generazione di pieghe differenti per stile ed orientazione; nessuna struttura può quindi essere considerata cilindrica.

Nella zona compresa tra gli abitati di Mallare e Bormida è ben visibile una superficie di sovrascorrimento tettonico con la quale gli Scisti di Gorra ricoprono tettonicamente i litotipi sottostanti. Tale situazione è ben evidente in una cava presso Mallare (Noguera, 1981).

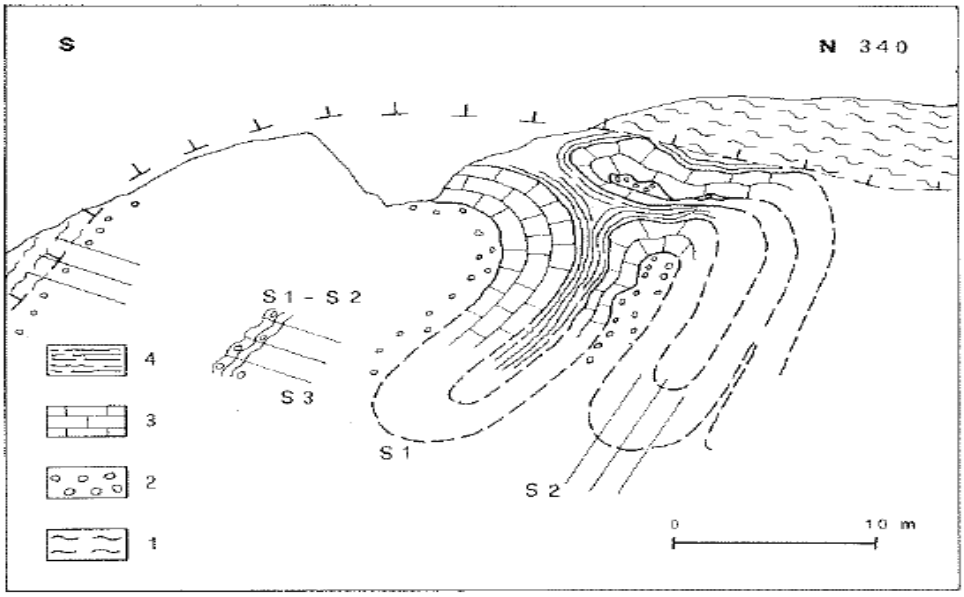


Fig.4 Cava presso Mallare: esempio di struttura polifasata nell'unità Brianzonese interna 1)Scisti di Gorra; 2)quarziti; 3)marmi; 4)scisti calcarei (da MENARDI, 1981).

Qui gli affioramenti, che sono rappresentati da piccole sinformi ed antiformi, emergono dal di sotto di una sottile scaglia di Scisti di Gorra la cui presenza è riconoscibile in tutta la zona.

Questa situazione, aiuta meglio a capire la situazione geologico – strutturale dell'areale di cava in progetto che, per quanto meno complessa di quella sopra evidenziata, presenta alcune similitudini, soprattutto per quanto riguarda le pieghe, la scistosità penetrativa e la laminazione tettonica della prima fase, la scistosità e lineazioni della seconda fase, l'impilamento e sovrascorrimenti degli Scisti di Gorra con ricoprimenti della successione mesozoica (terza fase), ed infine il ripiegamento delle strutture precedenti con clivaggi (quarta fase).

Il metamorfismo alpino nell'unità Brianzonese interna raggiunge la facies degli Scisti Verdi ad anfibolo sodico (Messiga et al. 1978).

5 – GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E TETTONICA DI DETTAGLIO

L'area esaminata si colloca circa 500 metri ad Ovest dell'abitato di Bormida, all'interno di una valle incisa entro la quale scorre il Rio Cavazzoli, affluente di sinistra del torrente Bormida di Pallare.

Sul territorio in questione è presente l'Unità Brianzonese di Mallare con la formazione degli Scisti di Gorra caratterizzata da quarzoscisti, scisti quarzo – sericitici, cloritici, micascisti, scisti gneissici con lenti della formazione di Eze (andesiti), con subordinate intercalazioni di Porfiroidi del Melogno.

All'interno di questa complessa formazione vi sono anche delle scaglie e/o lenti di calcare (Calcari di Val Tanarello) di una certa estensione.

E' proprio quest'ultimo litotipo che rappresenta l'oggetto della ricerca e sfruttamento e che si estende prevalentemente in sponda destra del Rio delle Verne e Rio Cavazzoli per circa 20.000 mq, tra le quote 600 e 700 metri circa.

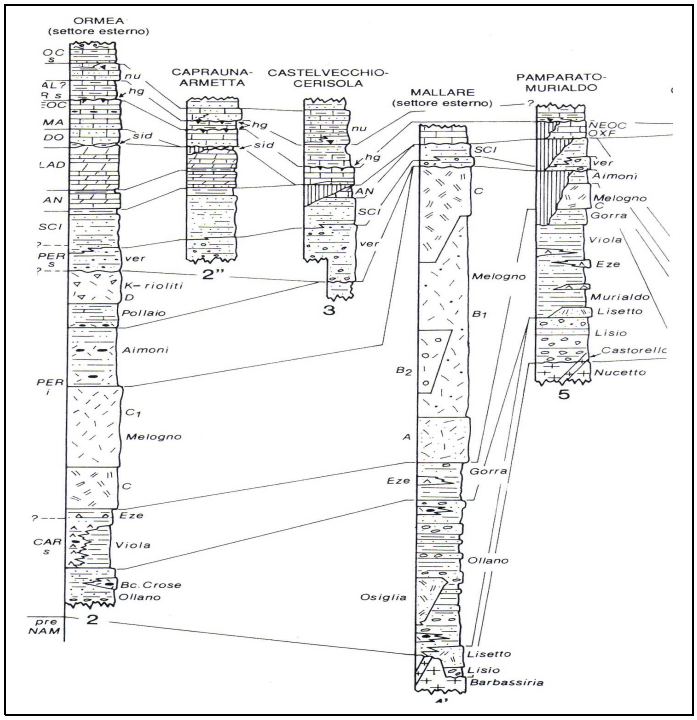


Fig.5 Colonne stratigrafiche del brianzonese Ligure (da Guide Geologiche Regionali – Le Alpi Liguri).

La formazione di Gorra comprende una serie di litologie di età permocarbonifera a facies eminentemente scistosa e origine sedimentaria.

La litologia più frequente presente in zona sono i calcescisti, quarzoscisti e i scisti gneissici originati da sedimenti fini e successivamente interessati da metamorfismo alpino di basso grado.

La formazione contiene spesso delle intercalazioni lentiformi, non cartografabili separatamente, di rocce metamorfiche della formazione di Eze.

Nella cartografia geologica d'insieme allegata (scala 1:5.000), il limite (incerto) tra gli Scisti

di Gorra propriamente detti (presenti nella parte sud) e quelli con intercalazioni della formazioni di Eze (nella parte nord) si posiziona in corrispondenza del fosso posto al limite sud del "Ca" e prosegue in direzione Est verso Bormida.

Questa formazione presenta una generale immersione verso est, anche se non mancano anomalie giaciturali a causa dei citati accidenti tettonici di messa in posto dell'Unità.

In affioramento queste rocce appaiono localmente caratterizzate da una forte anisotropia planare (soprattutto le facies di micascisti e sericitoscisti) legata ad una scistosità assai pervasiva ed elevata alterabilità con formazioni di manti detritici eluvio - colluviali a granulometria variabile.

In presenza di prevalenti facies di calcescisti, quarzoscisti e scisti gneissici la roccia risulta ben più compatta e tenace, scarsamente alterabile e con buone caratteristiche geomeccaniche.

La formazione di Eze raggruppa litologie metavulcaniche d'età permocarbonifera a facies eminentemente massiccia e di colore verde scuro o bruno intenso, e il litotipo è rappresentato da meta-andesiti sia con giacitura filoniana che effusiva, talvolta trasformate in prasiniti o scisti prasinitici verdi.

La formazione calcarea di Val Tanarello affiora con una grossa lente inclusa all'interno degli Scisti di Gorra con uno spessore di oltre 50 metri.

Detta lente, che immerge verso est con un'inclinazione media di 35°, è complicata da alcune pieghe, ed è interessata da una faglia a direzione E – W impostata lungo il Rio Verne.

I rilevamenti di dettaglio dell'affioramento calcareo sono stati effettuati utilizzando la carta di progetto a scala 1:500 e poi riportati a scala 1:1000 per una più facile lettura.

Il territorio della zona di "Ca" e circostante è stato esaminato nella sua completezza in modo da avere un ulteriore approfondimento delle conoscenze già acquisite nei rilievi precedenti, tenuto conto anche delle indicazioni geologiche riportate nella cartografia CARG.

Nell'ambito del rilievo sono stati effettuati 60 punti di rilievo in affioramenti significativi, prelevati 50 campioni di roccia di cui 27 utilizzati nelle analisi, fatto il punto stazione G.P.S., scattate fotografie e su buona parte degli stessi effettuata prova con acido cloridrico per la valutazione della componente calcarea. 60 campioni di roccia in affioramenti significativi, fatto il punto stazione G.P.S., scattate fotografie e su buona parte degli stessi effettuata prova con acido cloridrico per la valutazione della componente calcarea. Dei campioni prelevati 11 (9 di superficie + 2 dei sondaggi S4 e S5) sono stati fatti analizzare dal laboratorio T.S.Lab & Geoservices di Pisa per la caratterizzazione petrografica, mineralogica e microstrutturale, mentre gli altri sono stati esaminati attraverso strumentazione ottica per la caratterizzazione microscopica. Dei campioni esaminati dal laboratorio ed i cui risultati sono riportati in allegato, si riassumono i seguenti dati:

- i campioni n° 9 – 37 e S4 sono classificabili Gneiss
- il campione n° 23 è marmo grigio
- i campioni n° 2 – 15 – 47 e S5 sono meta – calcare
- i campioni 25 – 31 e 36b sono di micascisto ricco in quarzo.

In sintesi, dall'esame petrografico – mineralogico risulta che sia il marmo (medio – basso grado di metamorfismo) che il metacalcare (roccia metamorfica di bassissimo grado) sono costituiti dagli stessi elementi (e quindi la stessa formazione) ma con differente grado di metamorfismo. In particolare il metamorfismo maggiore si ha sulle parti più esterne in quanto sottoposte alle maggiori sollecitazioni (sia di temperatura che di pressione) durante la messa in posto dell'unità.

Di fatto, questi dati confermano le analisi petrografiche fatte precedentemente dal laboratorio Palladio di Vicenza dove il litotipo calcareo è stato riconosciuto come "Marmo leggermente dolomitico con tracce di quarzo", mentre lo scisto prelevato dal sondaggio come "gneiss". Anche le prove di compressione fatte eseguire dal laboratorio geotecnico G.E.T. di Genova hanno indicato valori accettabili sia del calcare che del gneiss.

I limiti dell'affioramento del metacalcare è risultato essere pressochè identico a quello già rilevato in precedenza; solo nella parte nord – orientale, cioè in sponda sinistra del Rio Cavazzoli, l'affioramento metacalcareo risulta più esteso e si porta a quota di circa 630 m e ciò è a favore del giacimento.

Sono stati individuati (e confermati) tutti gli altri limiti del calcare che, a partire dal piazzale dell'attraversamento sul fosso e ruotando in senso orario seguono il crinale e lo stacco morfologico riportato sulla base topografica sino a quota di circa 690 m.

Da quota 690 m l'affioramento del metacalcare (localmente intervallato da zone detritiche) prosegue sino alla quota massima di 700 m (circa 40 m più in alto del limite dei calcari di Val Tanarello riportato sulla carta CARG) per poi riscendere a quota 680 m circa lungo il Rio delle Verne.

Qui si rileva evidente il contatto con i terreni scistosi (scisti sericitici in prevalenza) sovrastanti, ed il metacalcare si immerge verso NNE.

I metacalcari proseguono lungo tutta la sponda sinistra del Rio delle Verne dove affiorano con pareti dirupate di elevata altezza sino al Rio Cavazzoli, estendendosi verso nord sin oltre il limite del "Ca" trasversalmente al versante scendendo progressivamente da quota 680 a quota 618 m circa.

In particolare, nella sua massima estensione verso nord il metacalcare "entra" nell'impluvio sottostante il rudere a quota 650,69 per circa 100 metri a partire dal Rio delle Verne.

Nell'ambito del "Ca" altro contatto significativo e ben evidente si rileva lungo il fosso che scende da nord, circa 40 metri prima della confluenza con il Rio delle Verne.

Qui, lo stacco morfologico tra i terreni metacalcarei e quelli sovrastanti si evidenzia anche sulla base topografica (quota 618 m circa). Il metacalcare prosegue quindi verso sud – est sino al piazzale del vecchio impianto di cava e da qui si chiude nuovamente in prossimità del sondaggio n. 4, dopo l'attraversamento del corso d'acqua.

Oltre ai metacalcari, l'esame degli affioramenti sostenuto dai dati di laboratorio ha permesso di distinguere anche i limiti dei marmi grigi (roccia metamorfica di medio – basso grado) che pur distinguibili a vista (tanto che nel precedente rilievo erano stati indicati come calcescisti facenti parte degli Scisti di Gorra) fanno parte della stessa formazione (Val Tanarello).

Questi si rinvengono in varie zone attorno all'affioramento dei metacalcari ma in particolare si rilevano nella zona compresa tra il fosso che scende da nord e le strutture del vecchio impianto di cava dove vanno a costituire la scarpata sin quasi alla sommità.

Si tratta di una roccia a grana media di colore grigio, a struttura talvolta scistosa, compatta e resistente che certamente può essere cavata, e che nella cartografia CARG è stata, in parte, associata ai Calcari di Val Tanarello.

Questa roccia è ben rilevabile sulla vecchia parete di scavo dell'impianto ed ha un fronte di oltre 20 metri ed è limitata superiormente da una sequenza di scisti e scisti sericitici.

Il contatto marmi – scisti è ben visibile sulla scarpata pochi metri sotto la cabina elettrica del vecchio impianto.

Procedendo verso sud – est (al di fuori della zona interessata dal progetto di scavo) detti marmi sono interessati da una faglia e si riducono progressivamente di spessore sino alla strada di accesso alla cava dove si ha una potenza di circa 10 m.

In questa zona riaffiorano i metacalcari, che assieme ai precedenti si estendono, con affioramenti evidenti, verso sud - est andando a costituire il crinale di Cavazzoli, come indicato anche sulla Carta Geologica d'Italia F.92 – 93 Albenga – Savona (1970).

Altri affioramenti di marmi grigi sono visibili nella zona del sondaggio n°2 (dove precedentemente era stata indicata genericamente una lente di "Scisti di Gorra") e nella parte alta del giacimento calcareo vicino a Cà Giambrigne.

L'esame degli affioramenti rocciosi presenti lungo il fosso in sponda destra del Rio Cavazzoli, al limite con l'area "Ca" ha evidenziato una sequenza di terreni caratterizzati da "Quarzoscisti, scisti quarzo sericitici, cloritici, micascisti, scisti gneissici, con intercalazioni di Porfiroidi del Melogno" che ricalcano i terreni presenti all'interno degli Scisti di Gorra.

Non si sono rilevati elementi tali da poter distinguere sequenze nette e separabili, mentre sono stati rilevati tre livelli di diversi metri di potenza costituiti da rocce più competenti e resistenti individuati come gneiss dalle analisi di laboratorio intervallati ogni 15 metri circa, che vanno a costituire altrettanti "salti" morfologici dell'asta torrentizia e dei crinali secondari.

La stratificazione di detti livelli e degli altri litotipi è abbastanza omogenea, a traverpoggio, con immersione sia a sud – est che a nord con valori dell'ordine di 20° - 30°.

Il citato fosso è stato esaminato attentamente per tutta la sua lunghezza, sin oltre Cà Giambrigne, e non sono stati rilevati affioramenti di calcari di Val Tanarello che potessero ricollegarsi con quelli della zona di cava.

Il rilievo ha comunque permesso di distinguere, nell'ambito dei generici Scisti di Gorra, una serie di terreni che sono riconducibili probabilmente alla formazione di Murialdo. Si tratta di scisti e scisti sericitici che vanno a costituire il crinale in sponda sinistra del Rio Cavazzoli, su cui è impostata la strada di accesso all'area di cava.

Questi terreni, che presentano una generale immersione verso nord – est, nella cartografia della "Scheda di Rilevamento della frana di Bormida contenuta nell'Atlante dei Centri Instabili della Liguria – III Provincia di Savona del C.N.R. – Università di Pisa - Regione Liguria 2006 (scala 1:6.100 c.a)" sono stati indicati genericamente come Porfiroidi del Melogno e ciò evidenziando ancora una volta una non ben definita classificazione dei terreni ivi affioranti.

Infine, scendendo lungo il Rio Cavazzoli a valle della cava, affiorano sequenze ravvicinate di strati e bancate ad elementi competenti che potrebbero far ipotizzare una maggior presenza di Porfiroidi del Melogno, come per altro affioranti allo sbocco della tombinatura.

Nell'ambito del rilevo sono state anche ridefinite le zone detritiche che, sostanzialmente ricalcano quelle già individuate in precedenza, sia come estensione che potenza. I litotipi calcarei normalmente sono affioranti salvo alcune lingue detritiche che scendono dalla sommità sino la fosso. Sugli altri litotipi (non interessati dagli scavi), più alterabili si ha anche una diffusa copertura detritica che non ne permette sempre una visione diretta salvo le zone più acclivi, o in erosione areale o concentrata e lungo i corsi d'acqua.

La copertura detritica spessa si ha nella zona di Cà Giambrigne con estensione verso sud – est lungo il fosso al limite con il "Ca". La definizione delle varie aree detritiche, come pure delle faglie - fratture e limiti geologici, è stata fatta anche con la fotointerpretazione utilizzando le fotografie aeree stereoscopiche scattate nel 2008 per la restituzione della base cartografica di dettaglio.

Lungo il fosso principale sono presenti alluvioni, generalmente grossolane (ghiaie, ciottoli con massi e trovanti in matrice argillosa – limosa), localmente miste a detrito, e di spessore medio di 3 – 4 metri.

Quanto sopra è stato riportato nella Carta geologica allegata e relative sezioni geologiche (rilievo a scala 1:500 ridotto per impaginazione a scala 1:1000) dove le varie litologie sono state sintetizzate in: Calcari e Calcari grigi (per la formazione di Val Tanarello) Scisti di Gorra e Scisti.

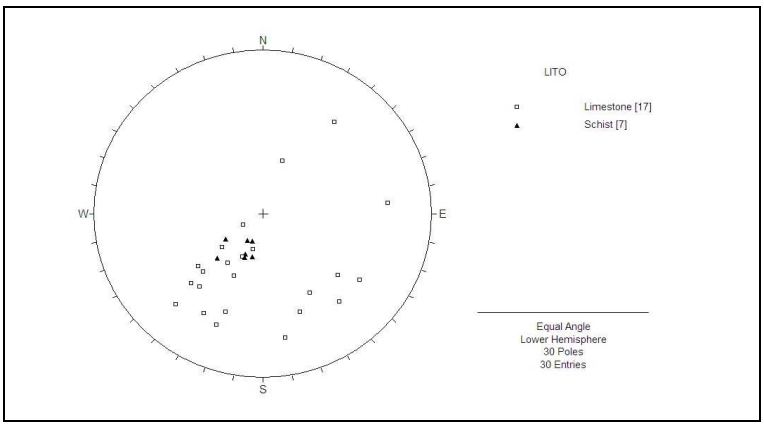
Dal punto di vista geomorfologico, come riportato nell'allegata Carta Geomorfologica, sono state distinte le alluvioni miste a detrito (lungo il fosso), il detrito di versante eluvio colluvio di spessore superiore ai 2metri, il riporto della vecchia escavazione oltre che gli accumuli detritici distinti tra frane e paleofrane e relativi cigli di distacco.

Le frane sono dislocate a sud e a nord del sito di cava, ben al di fuori dell'area interessata dal progetto, come pure gli accumuli di paleofrana sono ubicati tutti sul settore di sud – est a valle del sito.

Sono state inoltre evidenziate le scarpate morfologiche con dirupi anche di 10 metri di altezza, che si rilevano lungo il Rio Verne, sugli affioramenti di calcare, e i cigli di cava nelle zone di vecchia escavazione.

Da un punto di vista strutturale l'area interessata dalla coltivazione è dominata da motivi di sovrascorrimento tettonico tra i Calcari della val Tanarello e gli Scisti di Gorra.

La zona di sovrascorrimento è ben visibile a Nord della attuale pista di esbosco presente sul versante in sponda destra del Rio Cavazzoli, ed è allineata in direzione Est-Ovest circa, concorde con le spinte tettoniche di compressione prima e successivamente di bachthrusting essendo le Alpi una catena a doppia vergenza.



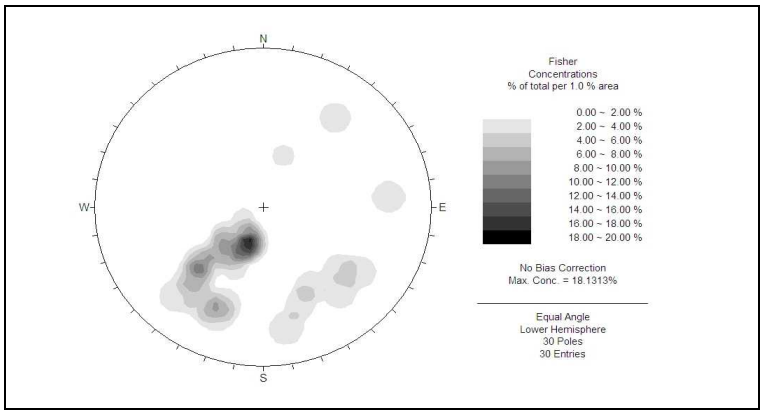


Fig.6 Stereonet e conturing della stratificazione nella zona in esame.

Gli scisti hanno una stratificazione orientata mediamente (in dip direction) N32/30, concorde con quella dei calcari nella parte Est della valle e nella zona di contatto.

Nella parte sommitale del versante, al di sopra del limite "Ca" è stata rilevata una piega nei calcari avente asse N95/16, e piano assiale quasi verticale.

6 – IDROGRAFIA, IDROGEOLOGIA E CARSISMO

La situazione idrografica della zona in oggetto è piuttosto semplice e caratterizzata dal Rio Cavazzoli, al quale giungono alcuni ripidi rii laterali, il principale dei quali è il Rio delle Verne.

Detti corsi d'acqua lambiscono la zona di cava ma non sono interessati dall'attività estrattiva, che resta all'interno di una fascia di rispetto di almeno 10 metri.

Il Rio Cavazzoli, che versa le sue acque al torrente Bormida di Pallare ha un bacino imbrifero (misurato alla chiusura della cava in progetto) di circa 0,6 Kmq, una quota media di 700 m, con una quota massima di 902 m in corrispondenza del Bric della Croce.

Come risulta dai vari sopralluoghi, le portate del corso d'acqua sono molto modeste (alcuni litri al minuto) o assenti e lo scorrimento in alveo è legato esclusivamente agli eventi meteoclimatici.

Data la conformazione morfologica del sito di scavo, nell'areale di escavazione in progetto l'idrografia superficiale è assente e le acque meteoriche che non s'infiltrano scorrono a valle in forma laminare senza ristagni ed erosioni.

In seguito, con i lavori di escavazione le acque meteoriche saranno regimate e convogliate in apposite vasche di sedimentazione e poi avviate al corso d'acqua naturale come meglio illustrato nelle tavole progettuali.

Il territorio esaminato è caratterizzata da vasta copertura arborea, normalmente fitta, entro la quale vi sono alcune aree a prato – pascolo.

In riferimento alla permeabilità dei terreni affioranti nella zona di cava, sulla base delle condizioni geologiche sopra esposte si ha:

- Calcari - metacalcari, calcari grigi - marmi (Calcari di Val Tanarello): Si tratta di rocce calcaree cristalline ceroidi, aventi buona permeabilità per fratturazione e limitato carsismo;

- Quarzoscisti, gneiss, scisti quarzo sericitici, micascisti e scisti (Scisti di Gorra): Sono

rocce prevalentemente impermeabili o poco permeabili per fratturazione;

- I terreni detritici sono invece permeabili per porosità, con valori differenti in rapporto alla granulometria e matrice argillosa.

Lo schema della circolazione è caratterizzato dalla percolazione idrica nelle discontinuità della roccia dei Calcari con drenaggio verso il basso.

Tenuto conto di quanto sopra non vi sono falde acquifere nei livelli superficiali raggiunti dalla cava e la circolazione idrica è veloce ed è di tipo anisotropo, prevalentemente lungo la stratificazione.

Nell'ambito della cava e nei dintorni non sono conosciute emergenze idriche significative, e quelle riportate nella cartografia regionale sono ad oltre 250 metri di distanza dalla zona di scavo ad una quota superiore.

Per quanto riguarda il carsismo si deve rilevare la presenza di fenomeni di scarso interesse, ed infatti, l'areale di cava non è inserito nella perimetrazione delle aree carsiche d'interesse regionale, ai sensi della L.R. 14/90.

Aree tutelate di particolare interesse carsico e idrogeologico sono invece rilevabili nella valle Bormida di Millesimo, tra la stessa località e Calizzano, a notevole di stanza dal sito in questione.

In base all'art. 26 delle Norme di Attuazione (aree carsiche), di seguito si illustrano le caratteristiche della zona in rapporto ai fenomeni carsici superficiali e profondi, con particolare riferimento all'individuazione di grotte.

Per quanto riguarda il carsismo, è noto che l'esistenza di caverne e fenomeni carsici in genere, avvengono solo in determinate rocce e più precisamente le rocce calcaree sono quelle che maggiormente si presentano permeate di cavità a seguito dell'azione solvente che l'acqua esercita sul carbonato di calcio.

Nella zona direttamente interessata dallo scavo della cava non sono conosciute e/o censite grotte.

Pertanto l'attività estrattiva non compromette il regime carsico, tuttavia se fossero individuate cavità durante gli scavi, la Ditta esercente s'impegna a tutelare il fenomeno adottando tutte le misure necessarie alla loro salvaguardia, così come previsto dall'art. 13 della l.r. 3/4/90 n. 14 e l.r. 14/12/93 n. 54

7 - SONDAGGI GEOGNOSTICI E PENETROMETRICI

a) Sondaggi geognostici:

In considerazione del tipo di affioramento litologico, della morfologia dei luoghi, dell'accessibilità e della tipologia di cava in progetto, sono stati effettuati 5 sondaggi geognostici così da verificare la stratigrafia del materiale oggetto di ricerca, la potenzialità, lo stato di conservazione e definire le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche.

I sondaggi sono stati eseguiti lungo le piste di esbosco già esistenti in modo da evitare movimenti terra e l'apertura di nuove strade, ma solo interventi di pulizia.

Per ottenere il maggior numero di informazioni significative per la ricostruzione dei rapporti tra le diverse formazioni geologiche presenti, tre sondaggi (n° 1 – 2 e 3) sono stati trivellati

nella parte medio alta del giacimento, lungo una fascia pressoché orizzontale, e due alla base del versante in prossimità del vecchio fronte di cava (n° 4) e nella zona a nord (n° 5).

Tutti i sondaggi hanno raggiunto la profondità di 20 metri, salvo il n° 3 che è stato fermato a 15 metri.

Detti carotaggi, del diametro di 101 mm, sono stati eseguiti con circolazione d'acqua, a carotaggio continuo, con l'uso di doppio carotiere e l'impiego, dove necessario di corona diamantata.

Tenuto conto del versante, i sondaggi saranno eseguiti con inclinazione di 10° – 20° rispetto alla verticale.

Dette prove sono ubicate come in planimetria allegata (dove sono state riportate anche tutte le altre prove eseguite) ed i risultati ed elaborazioni sono visibili nelle schede allegate.

Sinteticamente la stratigrafia che si ricava dai singoli carotaggi è la seguente; per semplicità di interpretazione gli Scisti di Gorra (calcescisti, quarzoscisti, scisti gneissici, scisti quarzo - sericitici, cloritici, micascisti) sono indicati genericamente "scisti", mentre i litotipi calcarei della formazione di Val Tanarello sono stati distinti tra calcari in senso stretto(Calcari – metacalcari) e calcari grigi (calcari grigi - marmi).

Sondaggio n° 1:

- da 0 a 5,5 m terreno detritico;
- da 5,5 a 13,2 m calcare con RQD = 95 %;
- da 13,2 a 20,0 m calcare grigio RQD = 65 %.

Sondaggio n° 2:

- da 0 a 2,9 m terreno detritico e cappellaccio d'alterazione;
- da 2,9 a 7,5 m calcare grigio, RQD = 75 %;
- da 7,5 a 10,4 m calcari RQD = 80 %;
- da 10,4 a 15,0 m calcari grigi RQD = 60%;
- da 15,0 a 20,0 m calcare RQD = 100 %.

Sondaggio n° 3:

- da 0 a 9,5 m terreno detritico;
- da 9,5 a 15,0 m calcare, RQD = 90 %;
-

Sondaggio n° 4:

- da 0 a 4,5 m terreno detritico;
- da 4,5 a 8,5 m calcare RQD = 97 %;
- da 8,5 a 20,0 m scisti compatti RQD = 95 %.

Sondaggio n° 5:

- da 0 a 3,1 m terreno detritico;
- da 3,1 a 20,0 calcare, RQD = 98 %;

Nel complesso, a parte il detrito superficiale il materiale estratto dalle carote presenta buone caratteristiche geomeccaniche, compatto e scarsamente fratturato.

Sui campioni prelevati sono state effettuate analisi di tipo ottico e di tipo chimico con acido

cloridrico ed inoltre prove sclerometriche, sia perpendicolarmente che secondo la stratificazione che sono state comparate con quelle ricavati nei rilievi geomeccanici in affioramento e con i dati delle analisi petrografiche.

b) Sondaggi penetrometrici:

In seguito ai dati ricavati dai carotaggi, sulle aree di affioramento detritico spesso, sono state effettuate tre prove penetrometriche dinamiche in modo da integrare i dati stratigrafici e valutare i parametri geotecnici.

le prove penetrometriche sono state eseguite con strumento dinamico medio, e i dati geotecnici sono stati ricavati in base alla resistenza offerta dai terreni stessi alla penetrazione della punta conica di dimensioni standard (Ø = 35,7 mm.; area di base = 10 cm^2) con massa battente di 30 kg e altezza di caduta di 20 cm.

Le prove "A" e "B" sono state eseguite sull'areale dei carotaggi n° 1 e 3, mentre la prova "C" nella zona del carotaggio n° 4.

Le prove "A" (soprattutto) e "B" hanno confermato la presenza di terreni prevalentemente argillosi, con numero medio di colpi pari a Nm = 10 , mentre la prova C ha evidenziato la presenza di terreni plurigranulari con numerosi elementi litoidi grossolani, in parte di riporto derivante dagli scavi della vecchia cava.

Le prove sono state spinte sino al rifiuto e le profondità raggiunte sono rispettivamente S1 = 5,1 m - S2 = 6,2 m e S3 = 3,6 m.

Le caratteristiche geotecniche, definite ogni 10 centimetri di penetrazione dell'attrezzo sono visibili nelle schede allegate, mentre quelle medie principali del detrito sono riportate di seguito:

- angolo di attrito interno φ = 28,6° – 31,6° con media di 30,1°
- densità relativa Dr = 43 - 55 % con media del 48%
- coesione non drenata Cu = 0,8 – 1,2 Kg/cmq - media di 1,0 Kg/cmq
- peso di volume γ = 1,77 – 1,88 t/mc e media di 1,81 t/mc.

8 - RILIEVO STRUTTURALE E GEOMECCANICO

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

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

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

A - Classification parameters and their ratings

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

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

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

In particolare si ha:

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

5) Le condizioni idrauliche (R5) dell'ammasso roccioso sono state valutate qualitativamente in quanto in nessuna area campione mostra insorgenze di acqua quantificabili.

Dal valore dell'RMR è possibile pervenire ad una valutazione dei valori della Coesione (C), Angolo di attrito (φ) e Modulo di deformabilità (E) secondo la suddivisione dell'autore, come riportato nella tabella sottostante.

Litotipo	GSI	RMR	Descrizione
Calcari della Val Tanarello	63	68	buono

Da cui si ricava:

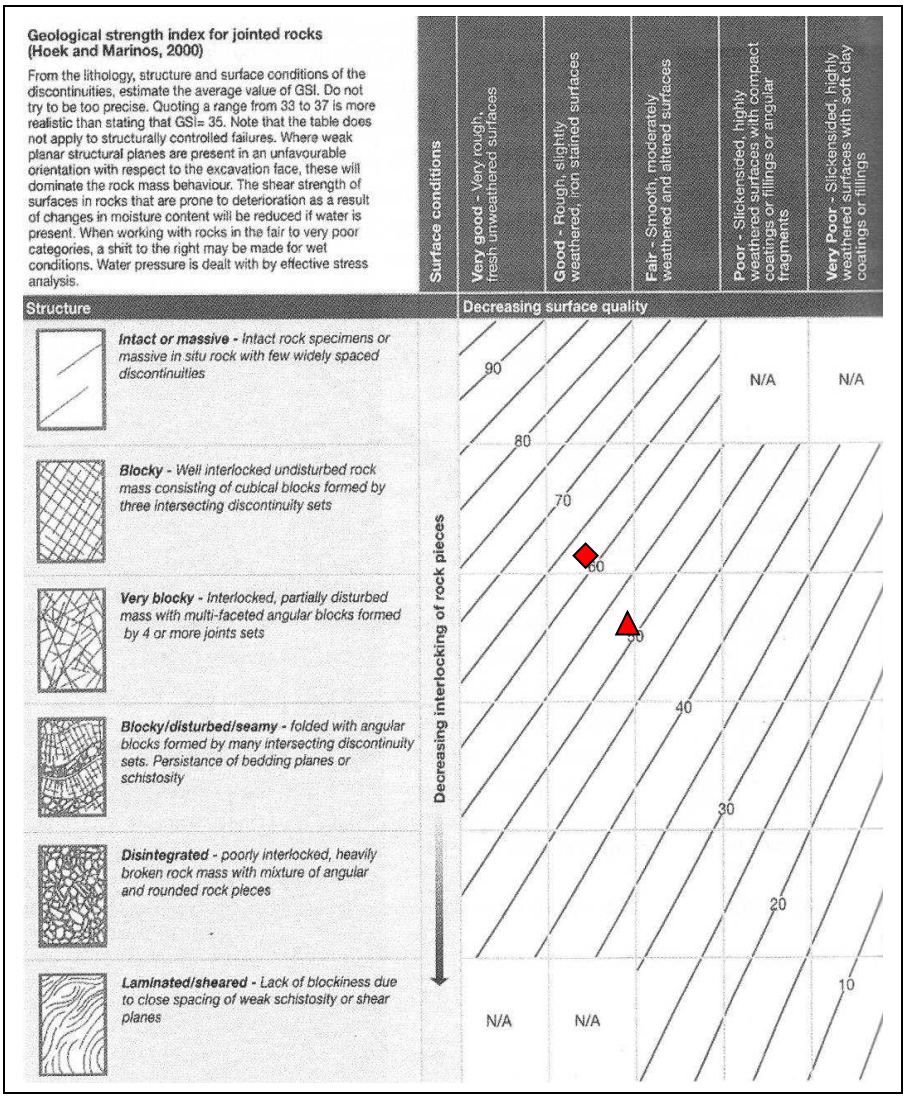
Angolo di attrito	φ	39,00	°	Bieniawski (1970)
Coesione	c	0,34	MPa	Bieniawski (1970)
Modulo di deformazione	E_d	36,00	GPa	Bieniawski (1970)
Modulo di deformazione	E_d	28,18	GPa	Serafim e Pereira(1983)
Modulo di deformazione	E_d	19,20	GPa	Berardi e Bellingeri (1998)

Litotipo	GSI	RMR	Descrizione
Scisti di Gorra	52	57	discreto

Da cui si ricava:

Angolo di attrito	φ	33,50	°	Bieniawski (1970)
Coesione	c	0,29	MPa	Bieniawski (1970)
Modulo di deformazione	E_d	14,00	GPa	Bieniawski (1970)
Modulo di deformazione	E_d	14,96	GPa	Serafim e Pereira(1983)
Modulo di deformazione	E_d	11,64	GPa	Berardi e Bellingeri (1998)

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



Abaco per la stima del GSI. ▲ Scisti di Gorra; ◆ Calcari della Val Tanarello;

Si tratta, ovviamente, di valori medi, che ben rappresentano l'ammasso roccioso, come ben specificato da Hoek (Rock Engeenering), infatti, dall'RMT si ottiene un range di variabilità dello stesso.

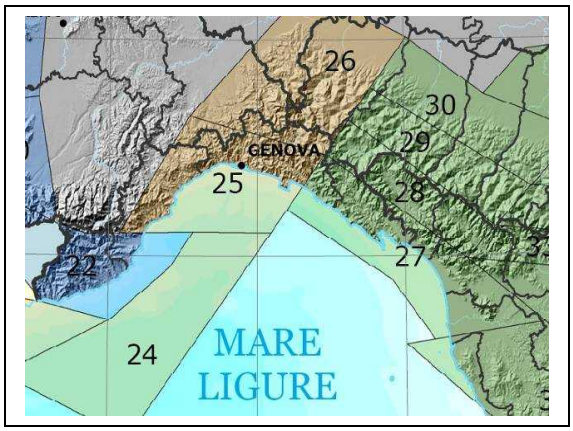
Questo è stato attentamente valutato anche in sede di scelta dei parametri per le verifiche di stabilità, dove sono stati scelti comunque valori ridotti a quelli medi (come previsto dalle NTC), è stato considerato un valore nullo o molto ridotto della coesione e non sono stati considerati ponti di roccia.

Tutto questo a favore di sicurezza ed allo scopo di esportare le condizioni peggiori del litotipo alche laddove vi siano condizioni assolutamente positive per la stabilità.

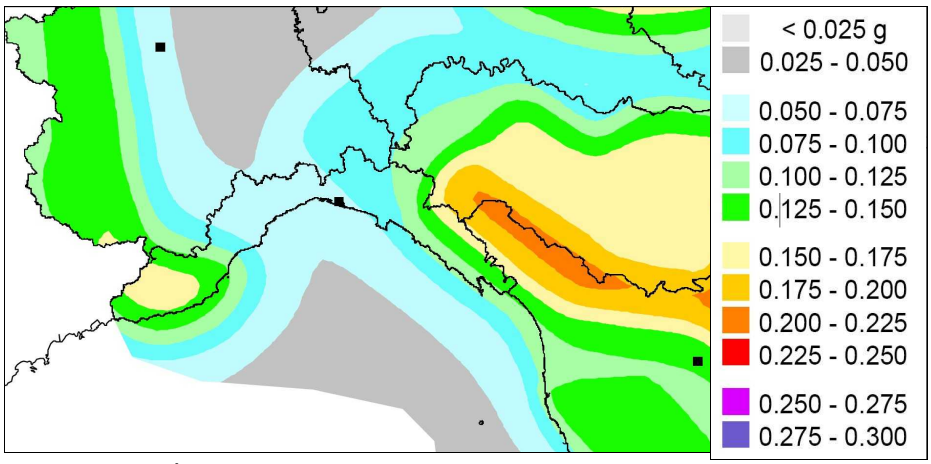
9-ANALISI SISMICA

Zonazione sismogenetica

Dall'esame della cartografia di zonazione sismogenetica ZS4 l'area in esame si colloca nella zona 25 che è classificata come: "Zone di trasferimento Alpi-Appennino e Mar Ligure. Meccanismi attesi: *strike-slip* sinistro in strutture crostali superficiali e dip-slip in strutture più profonde (zone 23, 25, 26); compressione (*thrust* e *strike-slip* sinistro con assi P W-E" nello ZS4 " mentre nel ZS9 (2004) l'area viene invece classificata come "E" - indeterminata.



Zonazione sismogenetica dell'Italia Nord-Occidentale (da GNDT-ZS4)



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

Classificazione sismica

In base al D.G.R. n. 1308 del 24/10/2008 ("Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"), il territorio del Comune di Bormida è inserito in zona 3, sottozona 3B, corrispondente ad un valore di accelerazione orizzontale ag = 0,100 g.

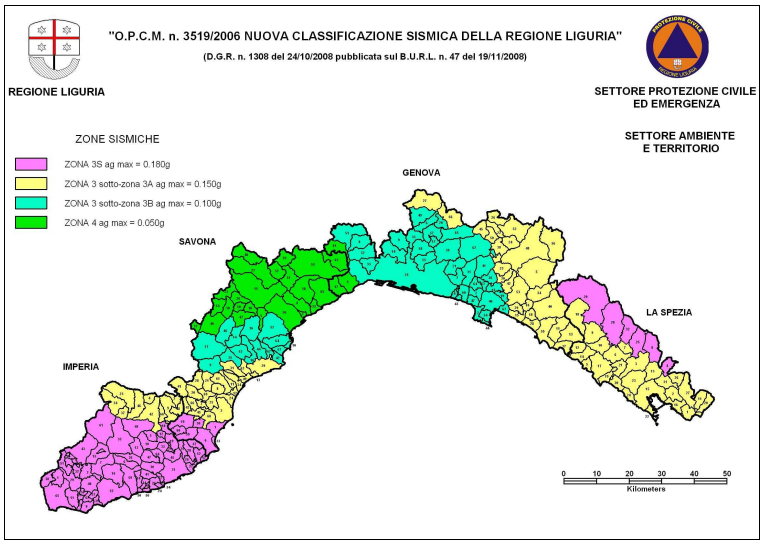


Fig. Classificazione sismica della Regione Liguria

Categoria di suolo

Gradoni

Per quanto riguarda i valori delle Vs, sulla base della bibliografia e dai dati acquisiti direttamente in campagna, si possono stimare i valori medi. Pertanto, la categoria del suolo ai fini della definizione dell'azione sismica è assimilabile alla categoria come "A" e cioè: "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 metri", secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008.

Rilevato di ricomposizione ambientale

In questo caso la categoria del suolo ai fini della definizione dell'azione sismica è assimilabile alla categoria come "B" e cioè: "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 Vs30 compresi tra 360 e 800 m/sec", secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008.

Coefficiente di amplificazione topografica St

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

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

Nel caso specifico si distingue:

Gradoni

In considerazione della morfologia prevista del fronte di cava il sito è assimilabile ad un pendio ripido, pertanto sono possibili fenomeni di maggiori accelerazioni sismiche. La categoria topografica è T3 (tabella 3.2.IV NTC) e il coefficiente di amplificazione topografica risulta St=1,2

Rilevato di ricomposizione ambientale
Anche in questo caso il profilo di ricomposizione ambientale costituisce un pendio e pertanto sono possibili fenomeni di maggiori accelerazioni sismiche. La categoria topografica è T2 (tabella 3.2.IV NTC) e il coefficiente di amplificazione topografica risulta St=1,2

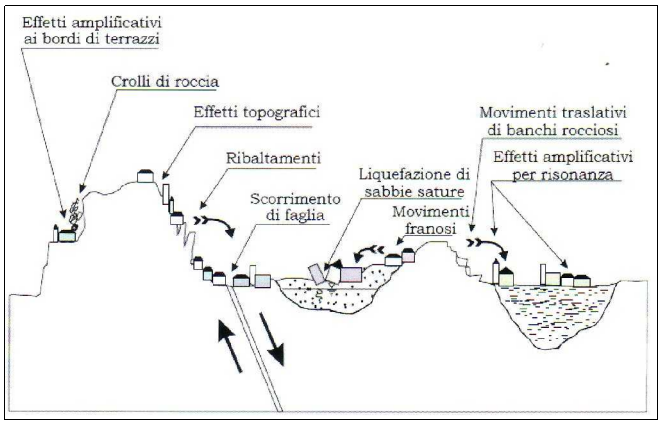


Fig.14 Schema dei fattori di amplificazione topografica

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

Classe d'uso
In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso, la classe d'uso dell'opera in progetto è:

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

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

- *Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti (rilevato di ricomposizione ambientale)

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

Fermo restando che la decisione delle classi d'uso è del progettista che ne determina quindi il ruolo, a favore di sicurezza si sono considerati anche i gradoni come "opera" e classificati come Classe I; sempre a favore di sicurezza si è optato per inserire il rilevato di ricomposizione ambientale in Classe II.

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

$V_R = 50$ anni

Tabella riepilogativa - gradoni

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

Tabella riepilogativa – rilevato di ricomposizione ambientale

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

Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR}.

La pericolosità sismica è definita in termini di:
-accelerazione orizzontale massima attesa "ag" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale categoria T1;
-ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente Se(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia ultimi che di esercizio, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite ultimi (SLU) dinamici sono:
- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)

Gli stati limite di esercizio (SLE) dinamici sono:
- Stato Limite di Operatività (SLO)
- Stato Limite di Danno (SLD)

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente"; l'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati* limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- Fo valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

PARAMETRI SISMICI-GRADONI

Sito in esame.

latitudine:	44,277767
longitudine:	8,224562
Classe:	1
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17129	Lat: 44,3159	Lon: 8,1788 Distanza: 5594,511
Sito 2	ID: 17130	Lat: 44,3190	Lon: 8,2485 Distanza: 4969,015
Sito 3	ID: 17351	Lat: 44,2660	Lon: 8,1831 Distanza: 3548,354
Sito 4	ID: 17352	Lat: 44,2692	Lon: 8,2527 Distanza: 2439,140

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	A
Categoria topografica:	T3
Periodo di riferimento:	35anni
Coefficiente cu:	0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,020 g	
Fo:	2,627	
Tc*:	0,155	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	35	[anni]
ag:	0,022 g	
Fo:	2,603	
Tc*:	0,167	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	332	[anni]
ag:	0,059 g	
Fo:	2,594	
Tc*:	0,286	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	682	[anni]
ag:	0,077 g	
Fo:	2,602	
Tc*:	0,311	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,005
Kv:	0,002
Amax:	0,238
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,005
Kv:	0,003
Amax:	0,261
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,014
Kv:	0,007
Amax:	0,691
Beta:	0,200

SLC:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,018
Kv:	0,009
Amax:	0,906
Beta:	0,200

PARAMETRI SISMICI-RILEVATO DI RICOMPOSIZIONE AMBIENTALE

Sito in esame.

latitudine:	44,277767
longitudine:	8,224562
Classe:	2
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 17129	Lat: 44,3159Lon: 8,1788	Distanza: 5594,511
Sito 2	ID: 17130	Lat: 44,3190Lon: 8,2485	Distanza: 4969,015
Sito 3	ID: 17351	Lat: 44,2660Lon: 8,1831	Distanza: 3548,354
Sito 4	ID: 17352	Lat: 44,2692Lon: 8,2527	Distanza: 2439,140

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,020 g	
Fo:	2,627	
Tc*:	0,155	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,027 g	
Fo:	2,550	
Tc*:	0,198	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,067 g	
Fo:	2,595	
Tc*:	0,301	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,088 g	
Fo:	2,608	

Tc*: 0,321 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,600
St:	1,200
Kh:	0,006
Kv:	0,003
Amax:	0,286
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,520
St:	1,200
Kh:	0,008
Kv:	0,004
Amax:	0,385
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,200
Kh:	0,019
Kv:	0,010
Amax:	0,949
Beta:	0,200

SLC:

Ss:	1,200
Cc:	1,380
St:	1,200
Kh:	0,025
Kv:	0,013
Amax:	1,243
Beta:	0,200

Valutazione dell'azione sismica nei pendii (Slope Geostru 2010)
Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico.

Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

Fh=Kh *W
Fv=Kv *W

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

Calcolo coefficienti sismici
Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti Ko e Kv indipendenza di vari fattori:

Ko= βs×(amax/g)
Kv=±0,5×Ko
Con
βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
amax accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.
amax= SS ST ag
SS(effetto di amplificazione stratigrafica): 0.90 ≤Ss≤ 1.80; è funzione di F0(Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
ST(effetto di amplificazione topografica).
Il valore di ST varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:
T1*(ST= 1.0)* ***T2****(ST= 1.20)* ***T3****(ST=1.20)* ***T4****(ST= 1.40).*

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è così valutato:

TR=-VR/ln(1-PVR)

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

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale Ko e verticale Kv che interessano tutte le masse vengono calcolatati come:

Ko= S · (ag/g) Kv= 0.5· Ko
S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:
tipo A - S=1;
tipo B - S=1.25;
tipo C - S=1.25;
tipo E - S=1.25;
tipo D - S=1.35.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica ST:
ST≥ 1,2 per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
ST≥ 1,4 per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media > 30°; ST≥ 1,2 per siti dello stesso tipo, ma pendenza media inferiore.

10- SCELTA DEI PARAMETRI DI PROGETTO

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

Valori medi (Vm)

Calcari della Val Tanarello
I valori medi del litotipo sono:

Angolo di attrito	39°
Coesione non drenata	0,34 Kg/cmq
Peso di Volume	2,6 t/mc*
Res. a comp. Uniassiale	418 Kg/cmq*

Note:
* valori ottenuti da prove di laboratorio

Scisti di Gorra
I valori medi del litotipo sono:

Angolo di attrito	33,50°
Coesione non drenata	0,29Kg/cmq
Peso di Volume	2,45 t/mc*
Res. a comp. Uniassiale	314 Kg/cmq*

Note:
* valori ottenuti da prove di laboratorio

Materiale per il rilevato di ricomposizione ambientale
Per i dati desunti per il calcolo dei parametri del rilevato di composizione ambientale si veda il cap. 12.
I dati medi forniscono i seguenti valori:

Angolo di attrito	37,5°
Coesione non drenata	0,25 Kg/cmq
Peso di Volume	1,9 t/mc

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

Infatti, come riportato nel C6.2.2 del CSLP "appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azione dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti".

Valori di progetto (Vd)
I valori di progetto di c, cu e φ da adottare nel calcolo si ottengono per combinazioni contenenti M2, dividendo i valori caratteristici per un coefficiente riduttivo parziale secondo quanto indicato nell'eurocodice 7 e nel D.M. 14/01/2008 NTC.

I valori di progetto si ottengono tramite le seguenti formule:

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

Calcari della Val Tanarello

Angolo di attrito	32,93°
Coesione non drenata	0,272 Kg/cmq
Res. a comp. Uniassiale	261,25 Kg/cmq

Scisti di Gorra

Angolo di attrito	27,9°
Coesione non drenata	0,232 Kg/cmq
Res. a comp. Uniassiale	196,25 Kg/cmq

Materiale per il rilevato di ricomposizione ambientale

Angolo di attrito	31,54°
Coesione non drenata	0,2 Kg/cmq

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

Nella verifica di stabilità globale per il versante in roccia il calcolo della coesione e dell'angolo di attrito è determinato direttamente dal software, che in base all'RMR (ridotto), alla resistenza a compressione uniassiale (ridotta come prescritto nelle NTC) calcola automaticamente i valori anche in base alla tensione alla base dei conci, i valori calcolati rientrano comunque in quelli desunti dalle prove di laboratorio ed in situ.

11-VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI IN PROGETTO

11.1 Analisi statistica per cinematismi di scivolamento

Nel caso di cava in materiale rigido con una coltivazione a gradoni si prevede generalmente una analisi impostata sulla verifica allo scivolamento di cunei (o piani) rispettivamente su una superficie di scivolamento o su due o più superfici che si intersecano.

L'effettivo movimento delle strutture è legato al verificarsi di altre ulteriori condizioni indispensabili al realizzarsi del cinematismo:

- mancanza di continuità laterale della massa rocciosa,
- effettiva emersione in superficie delle fratture di cui si è accennato sopra,
- dimensioni del cuneo fisicamente compatibili con quelle della cava,
- condizione di effettiva persistenza delle discontinuità su tutta la superficie di contatto del cuneo idealizzato, etc.

In modo particolare si ritiene utile evidenziare come in accordo con i primi tre punti il cuneo e/o il piano idealmente formati devono essere posti in relazione alla morfologia della cava e dell'area circostante.

In altri termini il cuneo e/o il piano deve risultare abbastanza piccolo da far sì che le fratture che lo individuano si sviluppino completamente all'interno delle pareti di cava ed analogamente l'andamento morfologico della superficie topografica sopra il ciglio del fronte deve permettere l'emersione delle suddette fratture, diversamente il cuneo e/o il piano non potrà muoversi o perché "fermato" dai fronti laterali della cava (se è troppo grande) o perché fisicamente congiunto con l'ammasso roccioso se le fratture non emergono sulla superficie superiore esterna.

Come usuale nel caso di coltivazioni di cave a cielo aperto, la valutazione di stabilità viene effettuata con i metodi classici di equilibrio al limite allo scivolamento di cunei cinematicamente rimovibili e dell'analisi dei prismi di parete rimovibili.

L'approccio generale adottato è di tipo statistico: per ogni famiglia rappresentativa della situazione strutturale della cava si considera il campione medio con le proprie caratteristiche di variabilità, mentre per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza dei giunti si è cercato di utilizzare lo spettro più ampio di variazione degli stessi come descritto nei paragrafi precedenti al fine di descrivere tutta la forbice all'interno della quale sono distribuiti i coefficienti di sicurezza.

Le ipotesi alla base del metodo di equilibrio limite dei cunei analizzati sono: completa persistenza delle fratture ed andamento planare delle stesse con mantenimento delle caratteristiche superficiali individuate, interessamento dell'intero fronte per tutto il suo sviluppo in altezza (se non diversamente specificato e motivato, ad esempio per permettere la realistica formazione del cuneo), presenza di acqua secondo la legge derivante dall'ipotesi di distribuzione di Hoek e Bray (legge bitriangolare con pressione nulla in testa ed al piede del cuneo) localmente percentualmente deratata dove poco realistica (cunei-schegge parietali).

Il metodo di analisi utilizzato è quello analitico alle equazioni vettoriali sviluppato da Hoek e Bray (1981) nel classico lavoro "Rock Slope Engineering" che analizza le condizioni geometriche nello spazio, le caratteristiche delle discontinuità, la presenza di acqua, l'eventuale utilizzo di tiranti stabilizzanti.

Per la determinazione dei cunei tipo è stato utilizzato il programma SWEDGE© di Rocscience Inc. sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria delle Rocce dell'Università di Toronto sotto la supervisione del Dr. E. Hoek.

Il programma esegue una serie di simulazioni secondo il metodo Monte Carlo generando casualmente, nell'ambito delle distribuzioni definite, diversi valori per ogni parametro considerato e calcola, per ogni cuneo riconosciuto valido, cioè cinematicamente rimovibile, il coefficiente di sicurezza.

Per eseguire le verifiche di stabilità dei fronti rocciosi attuali o previsti nella cava sono state prese in considerazione le diverse situazioni corrispondenti alle situazioni più critiche che si possono verificare nella cava.

I volumi, espressi in m^3 ed indicati nelle tabelle che riepilogano i risultati delle analisi di stabilità dei vari fronti, si riferiscono al potenziale cuneo isolato dalle due famiglie prese in considerazione.

Il programma sovrastima tali cubature in quanto prende in considerazione solo due sistemi per volta; in questo modo due sistemi sub-ortogonali al fronte e con direzione di immersione opposta possono generare cunei teoricamente molto grandi.

In realtà, nel caso della formazione di cunei, i potenziali blocchi sono isolati da più di due discontinuità; nel nostro caso ad esempio le discontinuità a traverpoggio riducono le dimensioni dei cunei generati da sistemi ortogonali al fronte. Per ovviare a tale inconveniente s'è ipotizzata la presenza di un tension crack parallela al fronte.

Per eseguire le verifiche di stabilità dei fronti rocciosi previsti nella cava sono stati presi in considerazione due diverse situazioni: calcari con inclinazione della scarpata di 70° con un fronte N73/70° e calcari su scarpata di scavo inclinata di 30° con fronte N7/30°.

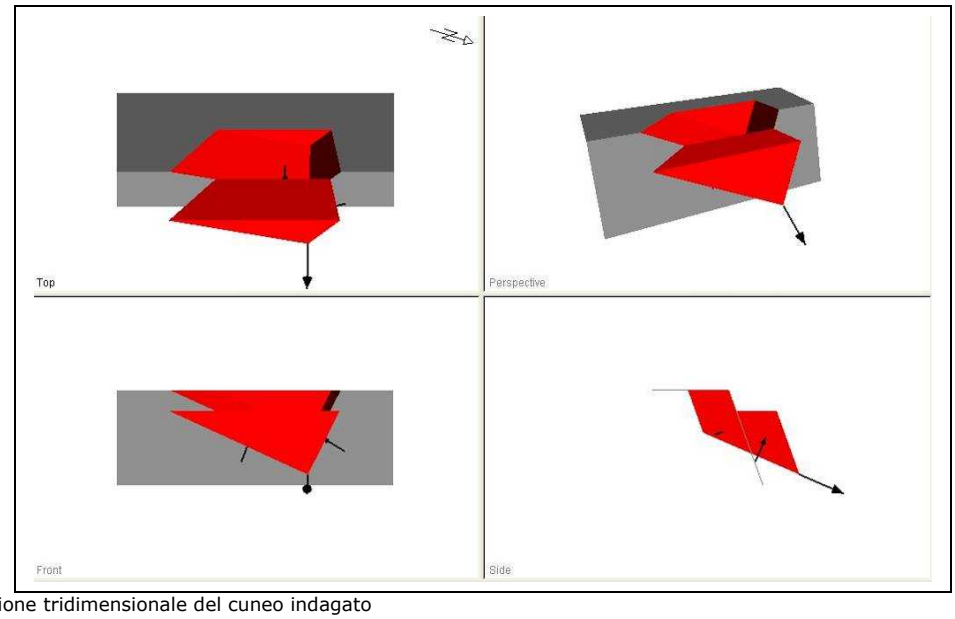
Le prima ipotesi riflette la situazione dei fronti principali della cava, ovvero quelli orientati circa Nord/Sud, con la roccia disposta a traverpoggio rispetto al versante; in questo caso si sono utilizzate due discontinuità, una la stratificazione e l'altra ruotata di circa 90° rispetto alla prima, per formare un cuneo da analizzare con il software Swedge, come riportato in seguito.

Per la 2° situazione ipotizzata, calcari inclinati di 30°, ovvero i fronti della zona Sud della cava, orientati circa Est/Ovest, con la roccia disposta a franapoggio rispetto al pendio con inclinazione pari alla superficie di scavo, è stato invece previsto uno scivolamento planare, ovvero uno scorrimento di strati, sulla superficie di stratificazione. Per analizzare tale situazione è stato utilizzato il software Plane, come riportato in seguito.

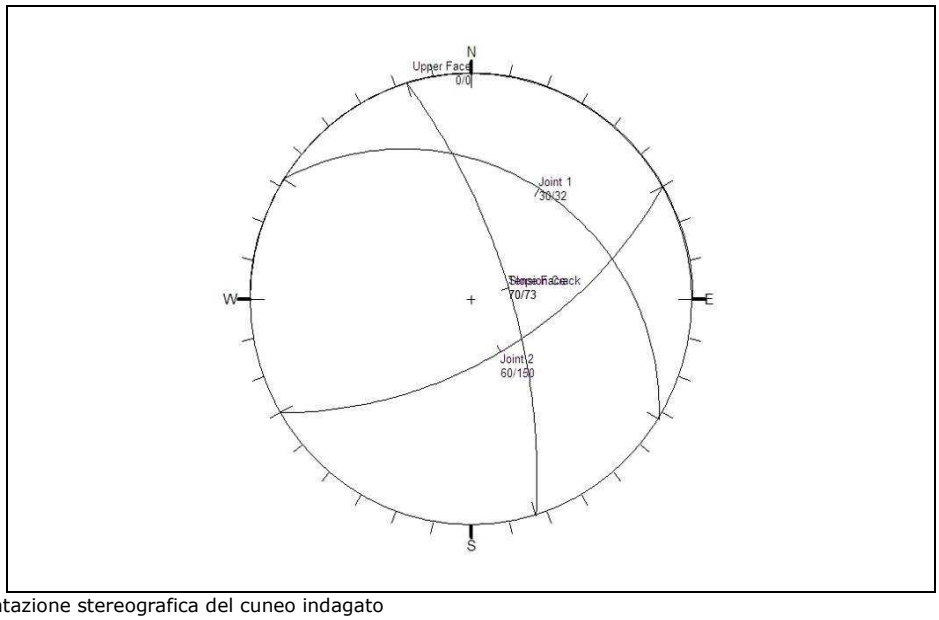
Tutti fronti analizzati hanno altezza di 12 metri c.a, come da progetto.

Si ricorda che per le verifiche sono stati utilizzati i coefficienti ridotti (Vd) come indicato nell'apposito capitolo 10.

A) Calcari con inclinazione del gradone di 70°



Modellazione tridimensionale del cuneo indagato



Rappresentazione stereografica del cuneo indagato

Analysis Results:

Analysis type=Deterministic
Safety Factor=**1.44107**
Wedge height(on slope)=12 m
Wedge width(on upper face)=7.87271 m
Wedge volume=1090.58 m3
Wedge weight=2835.51 tonnes
Wedge area (joint1)=240.2 m2
Wedge area (joint2)=93.3752 m2
Wedge area (slope)=209.166 m2
Wedge area (upper face)=215.095 m2
Wedge area (tension crack)=93.3506 m2
Normal force (joint1)=2227.22 tonnes
Normal force (joint2)=893.005 tonnes
Driving force=1402.35 tonnes
Resisting force=2020.88 tonnes

Water Pressures/Forces:
Average pressure on fissures=0.07215 tonnes/m2
Water force on joint1=17.3304 tonnes
Water force on joint2=6.73702 tonnes
Water force on tension crack=6.73524 tonnes

Seismic Force:
Seismic force=283.551 tonnes

Failure Mode:
Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:
plunge=23.1309 deg, trend=74.2781 deg
length=10.14 m

Trace Lengths:
Joint1 on slope face=29.5576 m
Joint2 on slope face=14.1532 m

Joint1 on upper face=12 m
Joint2 on upper face=8.07979 m
Tension crack on upper face=21.8846 m

Maximum Persistence:
Joint1=29.5576 m
Joint2=17.6687 m

Intersection Angles:
J1&J2 on slope face = 89.9431 deg
J1&Crest on slope face = 25.5973 deg
J1&Crest on upper face = 41 deg
J2&Crest on slope face = 64.4596 deg
J2&Crest on upper face = 77 deg
J1&TC on upper face = 139 deg
J2&TC on upper face = 103 deg

Joint Set 1 Data:
dip=30 deg, dip direction=32 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=32.93 deg

Joint Set 2 Data:
dip=60 deg, dip direction=150 deg
cohesion=0 tonnes/m2, friction angle=32.93 deg

Slope Data:
dip=70 deg, dip direction=73 deg
slope height=12 meters
rock unit weight=2.6 tonnes/m3
Water pressures in the slope=YES
Overhanging slope face=NO
Externally applied force=NO
Tension crack=YES

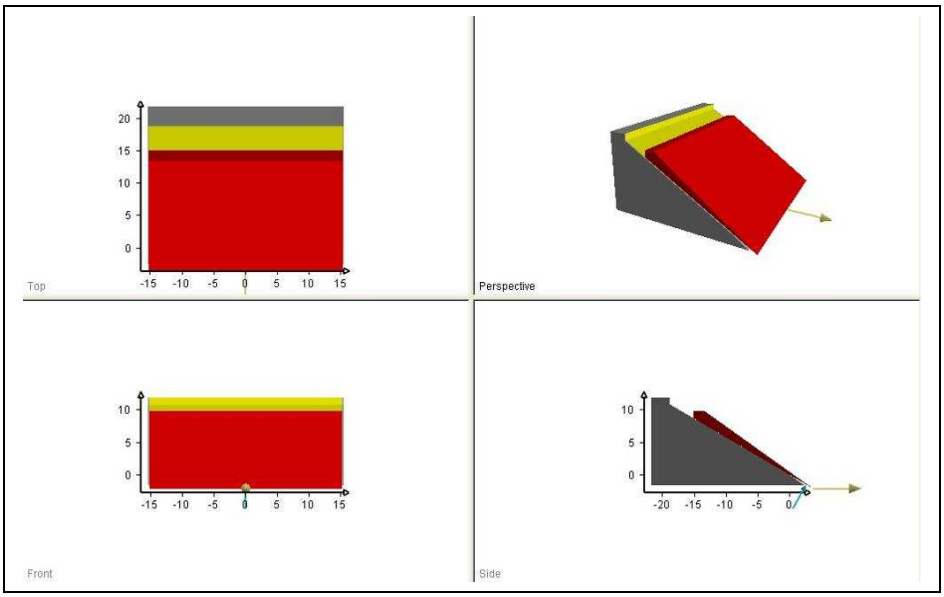
Upper Face Data:
dip=0 deg, dip direction=0 deg

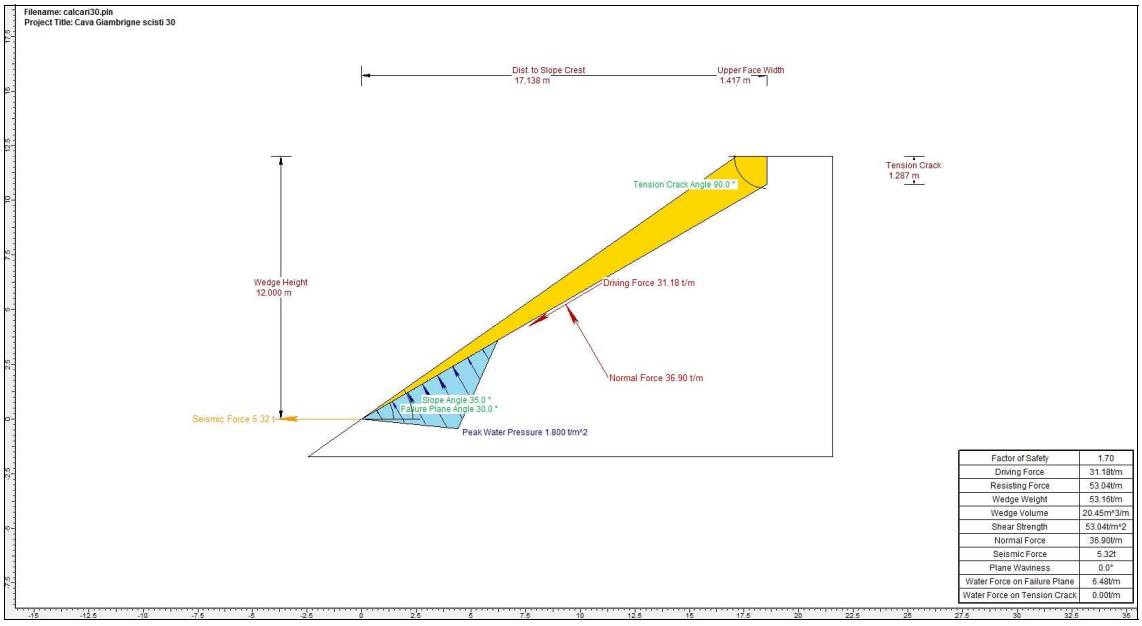
Tension Crack Data:
dip=70 deg, dip direction=73 deg
trace length=12 meters

Water Pressure Data:
Water unit weight=1 tonnes/m3
Pressure definition method=Percent Filled Fissures
Percent Filled=30 %

Seismic Data:
Seismic coefficient=0.1
Direction=line of interesection J1&J2
trend=74.2781 deg, plunge=23.1309 deg

2) Calcari con inclinazione del gradone di 30°





Analysis Results:

Analysis type = Deterministic
Normal Force = 36.8992 t/m
Resisting Force = 53.037 t/m
Driving Force = 31.1833 t/m
Factor of Safety = **1.70082**

Geometry:

Slope Height = 12 m
Wedge Weight = 53.1591 t/m
Wedge Volume = 20.4458 m^3/m
Rock Unit Weight = 2.6 t/m^3
Slope Angle = 35 °
Failure Plane Angle = 30 °

Upper Face Angle = 0 °
Bench Width = 5 m
Wedge Height = 12 m
Waviness = 0 °

Intersection Point (B) of slope and upper face = (17.1378 , 12)
Intersection point (C) of tension crack and upper face = (18.5549 , 12)
Intersection point (D) of failure plane and tension crack = (18.5549 , 10.7127)
Upper face length (B --> C) = 1.41712 m
Wedge Slope length (Origin --> B) = 20.9214 m
Tension Crack Length (C --> D) = 1.28733 m
Failure Plane length (Origin --> D) = 21.4253 m

Tension Crack : present
Tension Crack Angle = 90 °
Distance From Crest = 1.41712 m
Tension Crack Length = 1.28733 m

Strength:

Shear Strength Model : Mohr-Coulomb
Friction Angle = 32.93 °
Cohesion = 1.36 t/m^2
Shear Strength: 53.037 t/m^2

Water Pressure:

Water Unit Weight = 1 t/m^3
Pressure Distribution Model : Peak Pressure - Mid Height
Percent Filled : 30 %
Water Force on Failure Plane = 6.48 t/m
Water Force on Tension Crack Plane = 0 t/m

Seismic Force:

Direction : Horizontal
Seismic Coefficient : 0.1
Seismic Force : 5.31591 t/m

N° Analisi	Fs
1	1,44
2	1,7

Tabella riassuntiva dei fattori di sicurezza delle analisi di stabilità eseguite

I fattori di sicurezza assumono i valori riportati in tabella, ottenuti per i potenziali cunei, isolati da sistemi che hanno una direzione d'immersione che differisce di 45°- 90° rispetto a quella dei fronti o piani di roccia inclinati parallelamente alla stratificazione.

Nelle verifiche è stato calcolato il coefficiente per i vari Stati Ultimi, utilizzando il coefficiente amax pari a 0,1, a favore di sicurezza al posto del valore di amax calcolato per SLV (0,088), come previsto dalle NTC.

Il fattore di sicurezza è sempre risultato superiore a quello minimo, pari a 1.

In base ai risultati ottenuti è possibile affermare che i fronti di cava in progetto, che hanno altezza media di 12 metri, sono stabili.

Inoltre nelle verifiche è stata ipotizzata la presenza di acqua (nella percentuale del 30%) nelle fessure, nella verifica dei cunei la coesione è stata ipotizzata pari a zero e nella verifica dei piani di scivolamento è stata ridotta (partendo da parametri di progetto, quindi già ridotti-vedere cap.10) di un ulteriore 50%, a favore di sicurezza.

11.2 Analisi di ribaltamento colonnare

Questa analisi viene affrontata per identificare situazioni che ipoteticamente potrebbero dare origine a fenomeni di ribaltamento.

Infatti, si osserva che questo fenomeno è subordinato alla presenza di una stratificazione verticale o comunque ad una fitta presenza di giunti subverticali.

Secondo la terminologia di Varnes 1958 (classificazione maggiormente diffusa dei movimenti franosi in roccia) i principali tipi di *rock topple* sono:

- il *flexural toppling* (figura Aa) caratterizzato da un sistema prevalente di discontinuità verticali che accomuna anche il *block toppling* (figura B);
- il *block-flexure toppling* (figura. Ac e figura B) caratterizzato da flessione pseudo continua di colonne (anche in questo caso determinate da un pseudo stratificazione verticale) già interessate da numerosi giunti trasversali che, raddrizzati a seguito della flessione, possono dar luogo a successivo scivolamento.

Il fenomeno complesso dello scivolamento conseguente al toppling, ossia un *complex rock topplerock,* è ancora più evidente nel *chevron topple* (figura Ab) una tipologia di *block topple* che si può manifestare su versanti piuttosto acclivi e caratterizzata da inclinazione circa costante delle colonne, ruotate verso valle attorno a punti di cerniera tali da configurare una vera e propria discontinuità non conforme né alla giacitura dei piani di strato né a quella dei giunti trasversali.

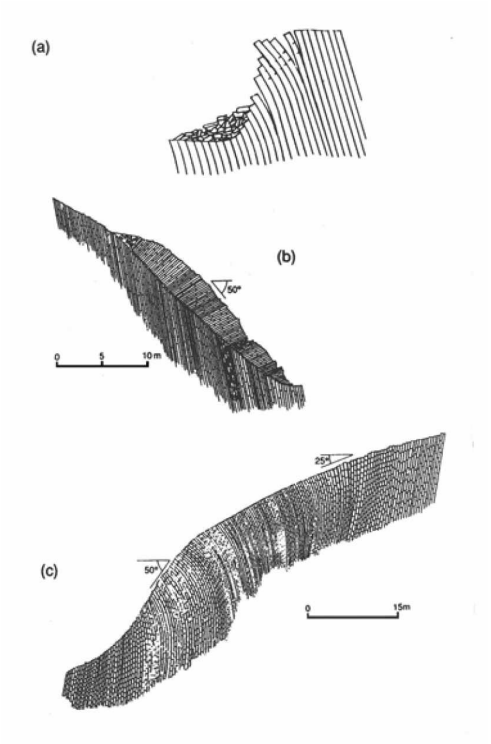


Fig. A - Tipologie di toppling a)b)c) (Cruden & Varnes, 1996)

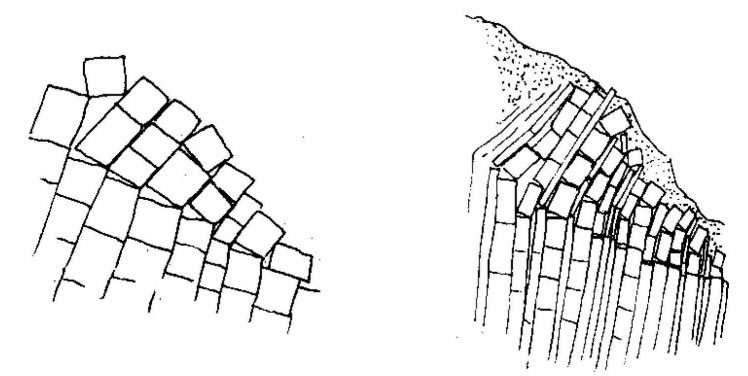


Fig. B - Block toppling a sinistra e block flexural toppling a destra

La figura C (Hoek & Bray, 1981) rappresenta ulteriori classi secondarie di movimenti, sempre con toppling, quali ad esempio: *slide head topple*, il *slide base toppling*, il *slide toe topple,* il *toppling and slumping* o il *tension crack topple* in cui un tipo di movimento, ad es. lo scivolamento, induce il ribaltamento in zone differenti della frana originando quindi un fenomeno composito, oppure la creazione di fratture di trazione che può originare in parete blocchi sottili in condizione di ribaltare.

Le principali condizioni di ribaltamento reperite in bibliografia presuppongono perciò, in ogni caso, una fitta presenza di giunti subverticali in grado di determinare delle porzioni tabulari di roccia.

Spesso il fenomeno è contiguo ad altri quali lo scivolamento piano su giunto o il rilascio di prisma con scivolamento su una superficie.

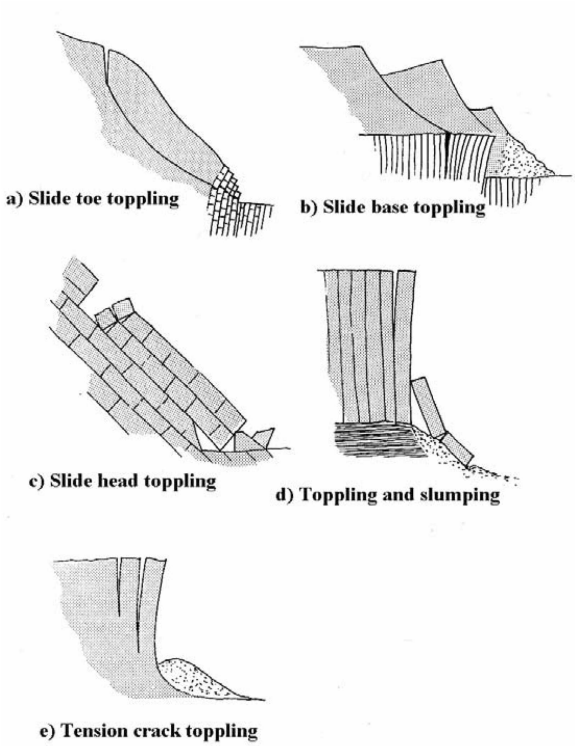


Fig. C - Tipologie secondarie di toppling (Hoek & Bray, 1981)

Poiché il cinematismo possa avvenire è necessaria la concomitante presenza di una frattura al piede che tagli l'elemento, oltre ovviamente ad altre fratture sub-verticali che lo isolino lateralmente, sia naturale che indotta.

Tale fenomeno è in genere tipico di situazioni con presenza di materiali fortemente stratificati verticalmente.

Dalle analisi fatte risulta che nelle rocce esaminate in cava le possibilità che si possa innescare un fenomeno di ribaltamento sono molto scarse o nulle.

Infatti, nel caso riguardante il fronte principale della cava i poli potenzialmente instabili appartengo alla famiglia K2 e i poli in grado di staccare al piede porzioni tabulari di ammasso roccioso appartenenti a tale famiglia appartengono principalmente alla famiglia K1.

Data anche la loro elevata inclinazione, tali poli non sono in grado di dare origine a fenomeni di instabilità colonnare di elevata proporzione.

In tal senso la relativa densità di fratturazione fa sì che le masse siano modeste, fattore questo che, da un lato, limita l'evento a fenomeni prettamente superficiali e, dall'altro, impedisce la creazione di un elevato battente idraulico.

11.3 Stabilità del fronte a contatto tra calcare – scisto

La verifica di stabilità che segue si riferisce al fronte Ovest della cava dove la roccia presenta struttura a reggipoggio nei calcari e a traverpoggio - franapoggio nei sottostanti scisti.

Questi ultimi, infatti, hanno una generale immersione verso NE con valori di inclinazione dell'ordine di 20° che rapportati al fronte di scavo danno una inclinazione apparente degli strati di 10° ca.

L'analisi di stabilità è riferita alla sezione di progetto 3 - 3 e le condizioni geometriche sono riassunte nella figura in allegato dove la superficie più probabile ipotizzata ai fini dello scivolamento coincide nella parte superiore con il contatto scisti – calcare e poi segue tra calcare/calcare nella parte inferiore sino alla quota di 646 m.

L'altezza della scarpata verificata è di 34 metri (tre gradoni) e la pendenza media del fronte è di 58°.

La verifica di stabilità sismica pseudostatica è fatta con il metodo dell'equilibrio limite per una superficie di taglio assimilabile a planare.

Il pacco di strati disposto su superficie a franapoggio considerato nelle verifiche è stato limitato verso monte, in assenza di una effettiva frattura di trazione verificabile sul campo, da una discontinuità strutturale di neoformazione la cui posizione è stata ottenuta minimizzando Fs in rapporto al peso e alla superficie del piano di scivolamento.

Come più volte richiamato, le verifiche sono state fatte in conformità alle vigenti disposizioni di legge adottando i parametri ridotti come già indicato nelle precedenti e nelle successive analisi.

Per quanto riguarda i parametri geomeccanici più significativi si fa riferimento a quelli riportati in precedenza al capitolo 10.

Passando alle elaborazioni, il fattore di sicurezza Fs è ricavabile dalla formula generica:

Fs = Sg tr (N / Sg)/T

Dove:

Sg = lunghezza superficie di scorrimento

tr = resistenza al taglio

N = componente normale del peso

T = componente tangenziale del peso.

Detta superficie limita un pacco di strati la cui massa ha un peso complessivo in condizioni sismiche di Wsism = 1.518,429 t per metro lineare di fronte.

Da qui:

Ut:Pressione neutrale lungo la discontinuità

Ut = ½ + gw * zw2 = 3,125 t/mq

Ug: pressione neutrale lungo la superficie di strato

Ug = ½ + gw * Sg * (zw + Hw)= 41,875 t

La componente normale del peso N risulta:

N = W cosy - Ug - Ut cos (a - y) = 1235,83 t.

con y = 22°, Bt = 10 metri, z = 25,5 metri e a=58°

$T = W_{sism}$ seny + Utsen (90-y) = 571 t.

Per quanto riguarda il valore dell'angolo di attrito (ridotto) da considerare, poiché la superficie di scivolamento attraversa due litotipi, si adotta cautelativamente il valore minimo degli scisti, per cui φ = 27,9° (valore già ridotto con i coefficienti NTC);

Il coefficiente di sicurezza allo scivolamento Fs risulta pertanto:

Fsa = Sg tr (N / Sg)/T = 1,145 > 1

il grado di sicurezza è maggiore di 1,0 di legge e pertanto il fronte è stabile.

Nelle verifiche, per sicurezza, non è stata considerata la coesione né eventuali ponti di roccia presenti lungo la discontinuità.

Sempre a favore della sicurezza è stata ipotizzata la presenza di acqua per una altezza di 2,5 metri.

Infine, è da tener presente che parte del fronte sarà poi oggetto di tombamento sino a quota 670 m (superiore di oltre 20 m rispetto al piano di scivolamento ipotizzato) per la ricomposizione morfologica, per cui le condizioni di stabilità aumentano notevolmente.

11.4 Stabilità globale del versante

La stabilità globale del versante è stato verificato tramite il software Slope della Geostru, come visibile negli allegati, utilizzando l'apposito *tool* per i versanti in roccia.

Le verifiche della sicurezza nei confronti degli stati ultimi devono rispettare la condizione fondamentale:

Ed ≤ Rd

ovvero: valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione ≤ valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno).

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti:

- per le azioni (A1 e A2);
- per i parametri geotecnici (M1 e M2);
- per le resistenze (R1, R2 e R3);

La verifica di stabilità del pendio è stata effettuata secondo l'approccio 1:

- combinazione 2 (A2+M2+R2)

dove il coefficiente R2 è posto come γR=1,1 (tab. 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo – par. 6.8.2 delle NTC 2008)

La verifica di stabilità è stata effettuata sulla sezione 5-5 di progetto, che risulta sicuramente la più critica rispetto alle altre sezioni.

Nella verifica si è introdotto un RMR inferiore rispetto a quello calcolato, a favore di sicurezza, e anche il valore della compressione monoassiale è stato opportunamente corretto tramite la formulazione prescritta nelle NTC (qd=qk/1,6).

Si è utilizzato il metodo della maglia dei centri per generare 200 superfici di scorrimento possibili ed il Fsmin è risultato pari a **2,29** (>1).

Le proprietà geomeccaniche dei litotipi esaminati favoriscono in ogni caso la stabilità e pertanto viste le discontinuità presenti nell'ammasso roccioso sono possibili solamente i cinematismi esaminati nei capitoli precedenti.

Per quanto riguarda il calcolo dei Vp, come già specificato nel capitolo 10, si sono utilizzati i coefficienti ridotti, opportunamente combinati con i coefficienti parziali, come consigliato nel capitolo 6, par. 6.2.3.1.2 e in particolare alla Tab. 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2008; il software utilizzato infatti calcola automaticamente i valori di coesione e di angolo di attrito già corretti dai coefficienti NTC per ciascun concio considerato.

12 – STABILITA' DEL RILEVATO DI RICOMPOSIZIONE AMBIENTALE

12.1 Morfologia del rilevato e modalità di posa

Nell'ambito del progetto si prevede la sistemazione definitiva della cava e la riprofilatura del versante con il riempimento delle "fosse" create con gli scavi, attraverso il riporto di materiale derivante dal ciclo di lavorazione dell'inerte e quello di sbancamenti di terre e roccia proveniente dall'esterno, secondo quanto previsto dalle vigenti disposizioni.

Completato il riporto si procederà al recupero vegetazionale con la semina delle essenze erbacee e alla messa a dimora della vegetazione arborea ed arbustiva prevista nella Relazione Agronomica.

Sul fronte principale di scavo (quello ovest) detto materiale sarà contenuto all'interno delle pareti rocciose di scavo, ed avrà una scarpata che a partire dalla sponda destra del rio Cavazzoli, si ergerà sino alla quota del gradone 670 m circa, lasciando a vista solo il gradone superiore (quota 671 m circa) su cui sarà impostato il fosso di guardia.

Detta scarpata, che ha un gradone intermedio a quota media di 635 m, ha pendenza di 25 gradi, è in grado di garantire la più completa stabilità dei terreni che saranno messi a dimora e di effettuare con successo gli interventi di recupero ambientale.

Si prevede pure la ricomposizione morfologica del piccolo fronte orientale sempre con il riporto di materiale sciolto e ciò permetterà di riqualificare in parte il versante a suo tempo interessato dalla vecchia escavazione.

Anche in questo caso si prevede una profilatura a bassa pendenza, inferiore ai 25° con unica scarpata tra le quote 617 e 629 m (quota del gradone superiore), conformata in modo da

ricreare una morfologia simile all'originale e su cui effettuare la piantumazione di essenze vegetali.

A livello costruttivo, il tombamento delle fosse ed i rilevati saranno realizzati con cura in modo da evitare zone con differente compattazione e pertanto il materiale sversato dagli automezzi sarà steso in strati orizzontali successivi di non elevato spessore (60 – 80 cm) ed opportunamente compattati con il passaggio dei mezzi operativi idonei, sino a raggiungere buone caratteristiche geotecniche.

Nel caso di evidente disomogeneità granulometrica del materiale da abbancare si procederà preventivamente ad una miscelazione per ottenere un riempimento il più possibile omogeneo.

Per il drenaggio di eventuali acque di infiltrazione, si procederà a realizzare opportuni drenaggi come meglio specificato in seguito.

Sulla parte più superficiale del riporto finale sarà steso il terreno naturale e pedologico vegetale per la semina e la piantumazione delle essenze vegetali.

Al progredire del rilevato sarà realizzata e mantenuta in efficienza la regimazione idrica delle acque meteoriche e una volta giunti alle quote di progetto si dovrà procedere alla semina di essenze erbacee ed arbustive antierosione e successivamente essenze vegetali arboree.

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

12.2 Caratteristiche geotecniche del materiale

Per l'attribuzione dei caratteri fisici e meccanici dei materiali da porre a dimora si sono utilizzati, come indicato al punto 6.2.2 delle citate NTC, i dati della bibliografia nonché quelli ottenuti da prove dirette effettuate sui differenti materiali già utilizzati per la sistemazione ambientale di altre cave della regione.

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

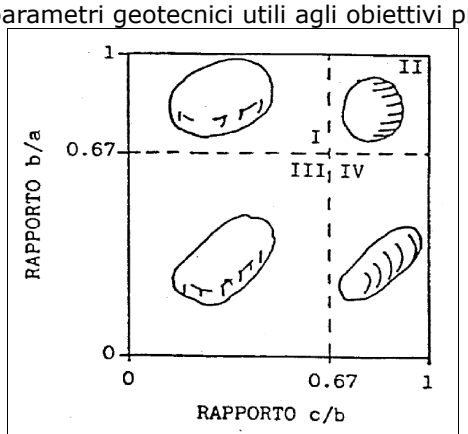
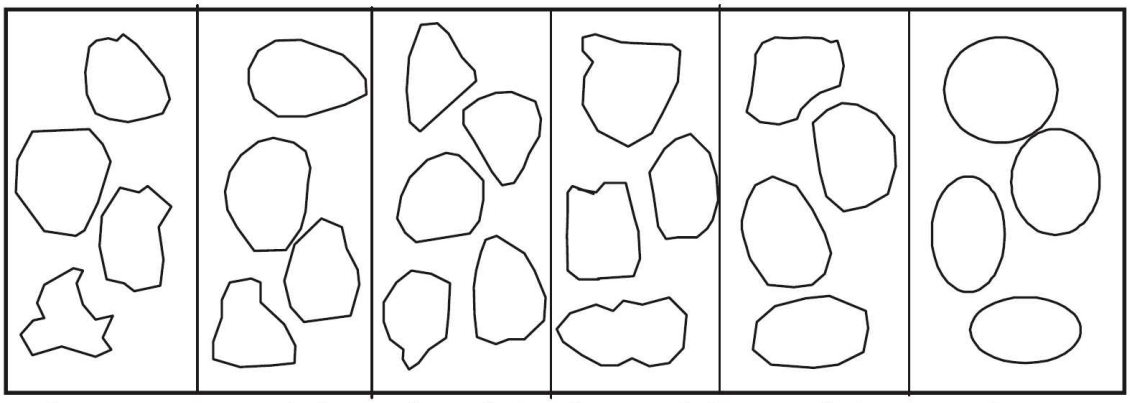
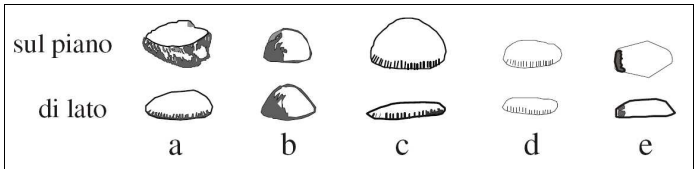
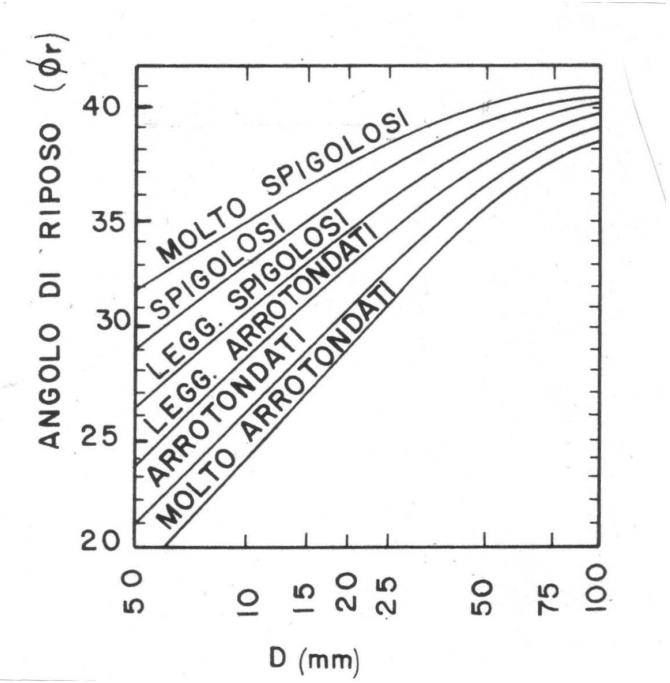


Fig. 1/3 - Classificazione della ghiaia e dei ciottoli in funzione della forma (Gnaccolini, 1978): a, b, c d sono le dimensioni caratteristiche dei grani.
I = discoidali II = sferoidali
III = lamellari IV = allungati





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



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

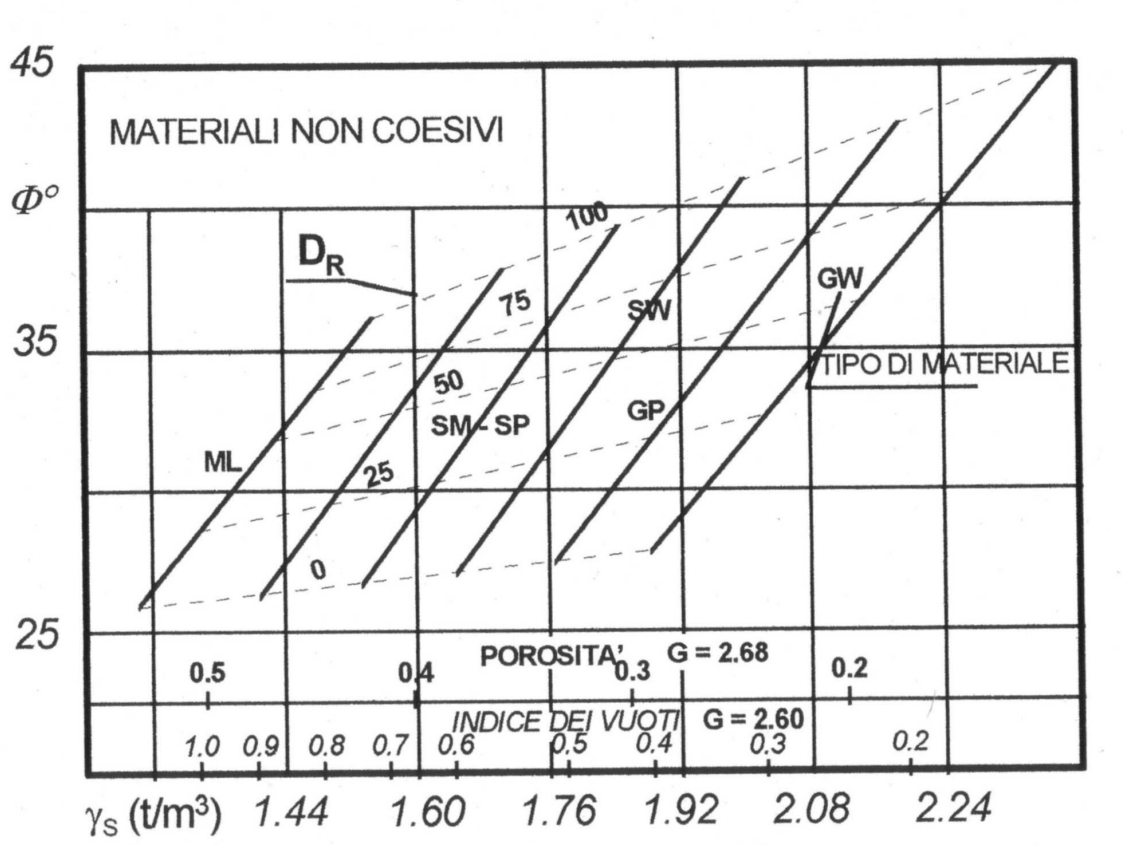


Diagramma NAVFAC D.M. 1971: relazione tra ps e φ in base alla tipologia del materiale

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

- angolo di attrito interno φ = 35-40°
- coesione Cu = 0,0 – 0,5 Kg/cmq
- peso di volume ps = 1,8 – 2,1 gr/cmc
- densità relativa Dr = 40 - 50%.

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

Trattandosi di materiale derivante prevalentemente da scavi di terre e rocce, il valore dell'angolo d'attrito interno considerato concorda con i valori desumibili dal grafico di Cooke e Doornkamp in relazione al grado di addensamento, al diametro dei granuli e alle loro caratteristiche di spigolosità o arrotondamento.

Per ultimo occorre sottolineare che, come prescritto, i materiali sopra descritti saranno posti a dimora in strati di limitato spessore in modo da creare un riempimento omogeneo, ben compattato.

Per quanto riguarda i valori di Vk e Vp si rimanda al capitolo 10.

12.3 Verifica di stabilità

Premesso che la morfologia della scarpata di sistemazione in progetto ha una pendenza molto bassa (di norma inferiore ai 25°) e che il materiale da porre a dimora ha caratteristiche geotecniche certamente compatibili con detta inclinazione, di seguito, per completezza di progettazione si esegue la verifica di stabilità di detto rilevato che, come prevedibile, risulta totalmente stabile.

Le verifiche che seguono sono state eseguite in conformità di quanto prescritto al punto 6.8 "Opere di materiali sciolti e fronti di scavo" delle NTC.

Nei criteri generali di progetto delle NCT (6.8.1) si specifica che "Il progetto di un manufatto di materiali sciolti deve tener conto dei requisiti prestazionali richiesti e delle caratteristiche dei terreni di fondazione". Nel caso specifico il rilevato ha una funzione di ricomposizione ambientale, senza alcun carico, e poggia su roccia e pertanto non si pongono particolari problemi.

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

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

Le verifiche della sicurezza nei confronti degli stati ultimi devono rispettare la condizione fondamentale:

$$\mathbf{Ed \leq Rd}$$

ovvero: valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione ≤ valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico (terreno).

La verifica di detta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti:

- per le azioni (A1 e A2);
- per i parametri geotecnici (M1 e M2);
- per le resistenze (R1, R2 e R3);

La verifica di stabilità del pendio è stata effettuata secondo l'approccio 1:

- combinazione 2 (A2+M2+R2)

dove il coefficiente R2 è posto come $\gamma R=1,1$ (tab. 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo – par. 6.8.2 delle NTC 2008)

Di seguito viene effettuata la verifica di sicurezza della scarpata del riempimento con il metodo dell'equilibrio limite utilizzando la metodologia proposta da "Jambu" secondo il quale la stabilità alla traslazione viene valutata in base alla proiezione di tutte le forze in gioco sull'asse orizzontale, per una superficie di scorrimento qualsiasi.

Il coefficiente di sicurezza è dato in prima approssimazione dalla:

$Fo = \Sigma i\ (\Delta Pi\ .\ tg\varphi i\ + ci\ .\ \Delta x\ i)/\ \Sigma i\ (\Delta Pi\ .\ tg\alpha\ i) + Q =$ dove:

- ΔPi = peso totale di un concio generico, dato, per una striscia di larghezza unitaria,

dell'area del concio per il peso specifico apparente
- φi = angolo di attrito interno del materiale relativo al concio generico
- ci = coesione apparente relativa al concio generico
- Δxi = larghezza del concio generico
- αi = angolo tra un tratto generico della superficie di scorrimento e l'orizzontale
- Q = forza esterna mobilizzante (segno +) ovvero resistente (segno -).

Ottenuto il valore F si calcolano successivamente i coefficienti di sicurezza con ulteriori approssimazioni secondo un sistema iterativo finché Fi+1= Fi.

Passando alla fase operativa, la verifica è stata effettuata sulla sezione 3-3 di progetto di sistemazione ambientale, ritenuta la sezione più critica.

Come caratteristiche di resistenza dei materiali si sono considerati i valori di progetto Vp, la coesione è stata considerata nulla e per sicurezza è stata ipotizzata la presenza di una falda acquifera temporanea inclinata verso valle.

Per quanto riguarda il calcolo dei Vp, come già specificato nel capitolo 10, si sono utilizzati i coefficienti ridotti, opportunamente combinati con i coefficienti parziali, come consigliato nel capitolo 6, par. 6.2.3.1.2 e in particolare alla Tab. 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2008.

Le verifiche di cui sopra sono eseguite con programma Slope 2010 della Geostru - Software ed i risultati sono visibili nei grafici e tabelle allegate

Dalle elaborazioni delle 200 linee di scivolamento testate, visibili in allegato, si ottengono coefficienti di sicurezza minimi sempre maggiori di 1 (Fsmin= 1,38) e quindi la stabilità globale della scarpata è verificata, così come previsto dalla normativa.

I coefficienti di sicurezza assunti sono del tutto coerenti con la situazione della zona, con la tipologia d'intervento prevista anche in rapporto al livello di conoscenza e al grado di affidabilità dei dati disponibili.

13 – PRESCRIZIONI PER LA REALIZZAZIONE DEI RILEVATI DI RICOMPOSIZIONE AMBIENTALE E DEFINIZIONE DEI DRENAGGI PROFONDI

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

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

- Il rilevato dovrà essere eseguito sistemando il materiale scaricato in strati di circa 60 – 80 cm di spessore, adeguatamente compattati con mezzo meccanico, in modo che le resistenze più basse, siano compatibili con parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche;

- In fase di formazione dei gradoni (almeno ogni 10 metri di spessore riportato) è necessario fare verifiche geotecniche della compattazione del materiale con prove specifiche, tipo proctor e penetrometrie;

- Per evitare che l'acqua d'infiltrazione possa instaurare accumuli idrici, e quindi sovrapressioni, è necessario realizzare un sistema drenante composto da un letto drenante e trincee drenanti come meglio specificato di seguito;

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

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

- Ai bordi, al contatto roccia – detrito, il rilevato sarà sempre mantenuto ad una quota leggermente inferiore (1 – 1,5 metri) in modo da avere sempre un setto roccioso che impedisce il formarsi di scoscendimenti di detrito verso i versanti naturali;

- Le canalette di scarico acqua ai bordi del rilevato saranno rese solidali al corpo roccioso con un letto di cls oppure con chiodature in roccia in modo da garantirne la stabilità.

Come sopra accennato, per evitare che l'acqua d'infiltrazione nella massa detritica possa instaurare accumuli idrici, e quindi sovrapressioni, si prevede il suo smaltimento attraverso la realizzazione di un sistema drenante composto da un letti drenanti aventi uno spessore di 15 - 20 cm, convoglianti in trincee drenanti.

Queste trincee saranno realizzate con materiale arido (ghiaia, ciottoli, sabbia etc) da porre entro un letto realizzato direttamente sul rilevato alla quota indicata dal progetto; sul fondo, per evitare l'infiltrazione si porrà un telo impermeabile, mentre superiormente, per evitare intasamento da parte delle particelle fini eventualemente trasportate dalle acque di drenate, si porrà un telo di tessuto – non tessuto.

Per quanto riguarda il rilevato del fronte di cava principale (occidentale) si prevede di realizzare due letti drenante posti rispettivamente alla quota media tra le quote 617 metri e 640 metri convoglianti in trincee drenanti (di lunghezza variabile tra i 40 e 90 metri circa, di cui quattro sul livello inferiore e tre su quello superiore) disposte leggermente a ventaglio così come riportato in cartografia allegata.

Il tutto sarà basato su di una superficie variamente conformata che sarà realizzata durante il riempimento ed avente inclinazione verso valle di circa il 5 – 6 %, e trasversalmente verso le trincee del 3 %.

Considerando che il materiale per la ricomposizione ambientale ha una permeabilità media stimata K_m dell'ordine di K_m=10E-3, una porosità di circa il 30 – 40 % ed una velocità di percolazione valutabile in 0,09 cm/sec, e che la permeabilità del materiale drenante (ghiaie e ghiaietto) può essere considerata pari a K_d =1x10 E-2 cm/sec, l'interasse tra le trincee drenanti risulta mediamente dell'ordine di 18 – 25 metri.

Con questi elementi e considerando l'infiltrazione effettiva, la portata massima drenata è dell'ordine di Qmax = 4 l/sec.

Prevedendo una sezione della trincea drenante a forma trapezoidale la portata smaltita risulta di oltre Qt = 12 l/sec, per cui il dreno è ampiamente verificato.

Le acque così drenate saranno raccolte dalla canaletta esistente alla base del rilevato e lungo il gradone intermedio.

In merito agli apporti meteorici e all'infiltrazione, si precisa che i valori sono stati desunti dai dati delle stazioni pluviometriche riportati sugli Annali del Servizio Idrologico che coprono una vasta area attorno alla cava.

Dalle elaborazioni, fatte per il periodo 1921 – 1989, hanno permesso di definire una pioggia

media annua sulla zona di circa 1300 mm, ed il mese più piovoso è risultato essere quello di Novembre.

Tenuto conto della situazione geologica, morfologica e climatica della zona, la parte di pioggia che s'infiltra può essere considerata circa 1/3 di quella piovana.

Il drenaggio è sovradimensionato e ciò è garanzia di sicurezza del funzionamento dell'opera nel tempo e per impedire il potenziale intasamento si porrà un telo di tessuto non tessuto.

Per quanto riguarda il piccolo rilevato ad est, tenuto conto del modesto riempimento è previsto un solo letto drenante posto a livello del piazzale attuale.

Mantenendo le stesse indicazioni idrogeologiche e progettuali del rilevato precedente, detto livello scaricherà in due trincee drenanti disposte con interasse di 25 metri circa e lunghezza di 25 metri ciascuna, così come riportato in cartografia.

Le acque drenate sono raccolte dalla canaletta di base sul piazzale.

Si precisa che l'esatta disposizione degli impianti degli elementi drenanti e la loro realizzazione sarà curata dalla Direzione Lavori in base all'effettiva situazione dei rilevati, dal periodo di lavorazione e dalle esigenze di cantiere.

Il tecnico incaricato
Dott. Geologo Gino Piaggi