REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI SAVONA

COMUNE DI PALLARE

IL RICHIEDENTE

Ditta BAGNASCO EDOARDO S.r.l.

PROGETTO

CAVA DI CALCARE DENOMINATA "VERIUSA"
VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE
ai sensi della L.R. 30.12.1993, n.63 e s.m.i.

DOCUMENTAZIONE DI ISTRUTTORIA

RELAZIONE GEOMINERARIA

ALLEGATO 15

SCALA

DATA 05/12/2008

IL RICHIEDENTE

Ditta BAGNASCO EDOARDO S.r.l.
Sede Legale: via Cosseria 15, CENGIO (SV)

BAGNASCO EDOARDO S.r.l.
Via Cosseria, 15
17056 CENGIO (SV)
Part. IVA: 01333970091

I PROGETTISTI

Architetto MELLANO Sebastiano
Ordine Architetti CUNEO n.1016

Geologo ROLFO Sergio
Ordine Geologi Piemonte A.P. SEZ. A n. 393

Dott. Forestale SCALETTA Riccardo
Ordine Agronomi e Forestali della Prov. di Genova e Savona n.166

COLLABORATORI

Architetto ROLANDO Silvia
Geologo ARESE Enrico

ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE
SERGIO ROLFO GEOLOGO A.P. SEZ. A N. 393
ALBO PROFESSIONALE

LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE DI QUESTO DOCUMENTO
E' PERMESSA SOLO CON L'AUTORIZZAZIONE SCRITTA DEI PROGETTISTI

INDICE

1 PREMESSA 1
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO 2
2.1 Ubicazione 2
2.2 Caratteri morfologici generali 2
2.3 Caratterizzazione delle forme e dei processi 5
2.4 Climatologia 6
2.4.1 Temperatura 7
2.4.2 Precipitazioni 7
2.4.3 Evapotraspirazione reale 8
2.4.4 Evapotraspirazione potenziale 8
2.5 Sismicità 9
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 10
3.1 Contesto geologico regionale 10
3.1.1 Il Brianzonese Ligure 13
3.1.2 Il Dominio Piemontese 16
3.2 Assetto litostratigrafico del giacimento 16
3.2.1 Quarziti di Ponte di Nava 17
3.2.2 Peliti di Case Valmarenca 19
3.2.3 Dolomie di San Pietro dei Monti 20
3.2.4 Scisti di Gorra 22
3.2.5 Depositi alluvionali medio-recenti ed attuali 24
3.2.6 Copertura detritico-colluviale e detrito di falda 25
3.2.7 Riporti 25
3.3 Assetto strutturale del giacimento 26
4 INQUADRAMENTO GEOIDROLOGICO 28
4.1 Premessa 28
4.1.1 Complesso dei depositi alluvionali 30
4.1.2 Complesso delle Dolomie di San Pietro 30
4.1.3 Complesso degli Scisti di Gorra 31
4.1.4 Complesso delle Quarziti di Ponte di Nava 31
4.2 Circolazione idrica profonda 32
5 VERIFICA DI STABILTA' DEI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA 33
5.1 Premessa 33
5.2 Rilievi geologico strutturali 33
5.2.1 Subarea a calcari dolomitici prevalenti 36
5.2.2 Subarea a quarziti prevalenti 39

5.3 Elaborazioni dei dati 43
5.4 Test di Matheson 45
5.4.1 FRONTE 40 47
5.4.2 GRADONE 40 49
5.4.3 FRONTE 355 51
5.4.4 GRADONE 355 53
5.4.5 FRONTE 325 55
5.4.6 GRADONE 325 57
5.4.7 FRONTE 315 59
5.4.8 GRADONE 315 61
5.5 Metodo di calcolo dei parametri geomeccanici delle discontinuità 63
5.6 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso 66
5.7 Verifiche di stabilità 69
5.8 Risultati dell'analisi 71
6 VERIFICA DI STABILTA' IN MATERIALE SCIOLTO 76
6.1 Caratterizzazione geotecnica 76
6.2 Verifiche di stabilità 78
6.2.1 Premessa 78
6.2.2 Metodologia 78
6.3 Risultati dell'analisi 79
7 VERIFICHE IDRAULICHE 80
7.1 Regimazione delle acque 80
7.1.1 Calcoli idrologici 81
7.1.2 Metodo di calcolo della capacità di smaltimento 83
7.2 Risultati dell'analisi 83
7.2.1 Verifica delle canalette 83
7.2.2 Verifica degli invasi 87

ELENCO APPENDICI

Appendice A Sommario del rilievo geologico strutturale

Appendice B Modello geomeccanico delle discontinuità

Appendice C Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Appendice D Verifiche di stabilità dei fronti di scavo in roccia

Appendice E Verifica di stabilità in materiale sciolto

Appendice F Verifiche idrauliche

1 PREMESSA

La ditta BAGNASCO Edoardo s.r.l. con sede in Cengio (SV), Via Cosseria n° 15 (P.IVA:01333970091) intende promuovere l'istanza di variante al piano di coltivazione approvato, inerente la propria cava di calcare denominata "Veriusa", localizzata nel Comune di Pallare.

Allo scopo, il sottoscritto Geol. Sergio Rolfo, è stato incaricato, ai sensi della L.R. 30 dicembre 1993 n. 63 "Disposizioni relative al rilascio di permesso di ricerca e all' esercizio di attività di cava e torbiera. Modificazioni ed integrazioni alla L.R. 10 aprile 1979 n. 12" e s.m.i., di redigere la presente relazione geomineraria.

L'esigenza di definire in modo completo l'assetto dell'ambiente fisico in cui si colloca l'intervento, con riferimento sia alla configurazione naturale del territorio, sia all'assetto attuale ed agli interventi in progetto ha comportato lo sviluppo di un'indagine articolata, svolta in più fasi condotte attraverso:

- rilievi geologico-strutturali di terreno;
- redazione di una carta geologica con relative sezioni;
- redazione di una carta geoidrologica;
- verifiche di stabilità dei fronti/gradoni di scavo in roccia;
- verifiche di stabilità in materiale sciolto;
- verifiche idrauliche.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

2.1 Ubicazione

L'area, oggetto di studio, ricade nel territorio comunale di Pallare (SV), nella porzione settentrionale della Provincia di Savona, all'interno della tavoletta 228080 (Fig. 2.1) della cartografia tematica della Regione Liguria (scala 1:10.000). La base topografica utilizzata per il presente lavoro deriva invece dalla restituzione numerica in scala 1:500, da ripresa aerea eseguita da Soc. Alifoto di Torino il 12 luglio 2007 alla quota di 1.280 m s.l.m. con aggiornamenti in data novembre 2008.

La cava, denominata "Veriusa", si estende sul versante orografico destro della valle occupata dal corso d'acqua denominato Rio Tecci in un primo tratto, e Torrente Viazza successivamente, nel settore di valle in cui sorge la frazione Case Assoldini, posta sul versante idrografico sinistro, lungo la strada comunale che collega l'abitato di Pallare alla frazione Biestro (Fig. 2.1). L'area di coltivazione occupa l'intero versante a partire dal fondovalle sino al settore sommitale del rilievo su cui sorge la Frazione, ormai abbandonata, denominata Case Veriusa di Sopra. L'assetto topografico del versante è caratterizzato da pendenze piuttosto elevate e da un dislivello complessivo di circa 220 m tra il fondovalle occupato dal corso d'acqua, posto a circa 430 m s.l.m., e la sommità del rilievo, posta a circa 650 m s.l.m.. L'area di cava comprende un piazzale (quota media 440 m s.l.m circa) su cui sorgono l'impianto di frantumazione e l'edificio e ad uso magazzino, ed un settore di coltivazione caratterizzato da gradonature in roccia, che si estendono a partire da 455 m s.l.m. sino a 620 m s.l.m..

2.2 Caratteri morfologici generali

Il territorio pedemontano, in cui si inserisce l'area di cava, presenta aspetti assai diversificati dal punto di vista morfologico, caratterizzati essenzialmente da aree di fondovalle coincidenti con l'alveo del T. Viazza e da zone montuose, fittamente boscate, raramente coltivate e di norma disabitate.

Le forme del paesaggio e l'assetto del reticolo idrografico principale e secondario sono improntate, in gran parte, dai caratteri litologici e dalle strutture tettoniche, prevalentemente di tipo fragile (faglie e discontinuità), che interessano il territorio.

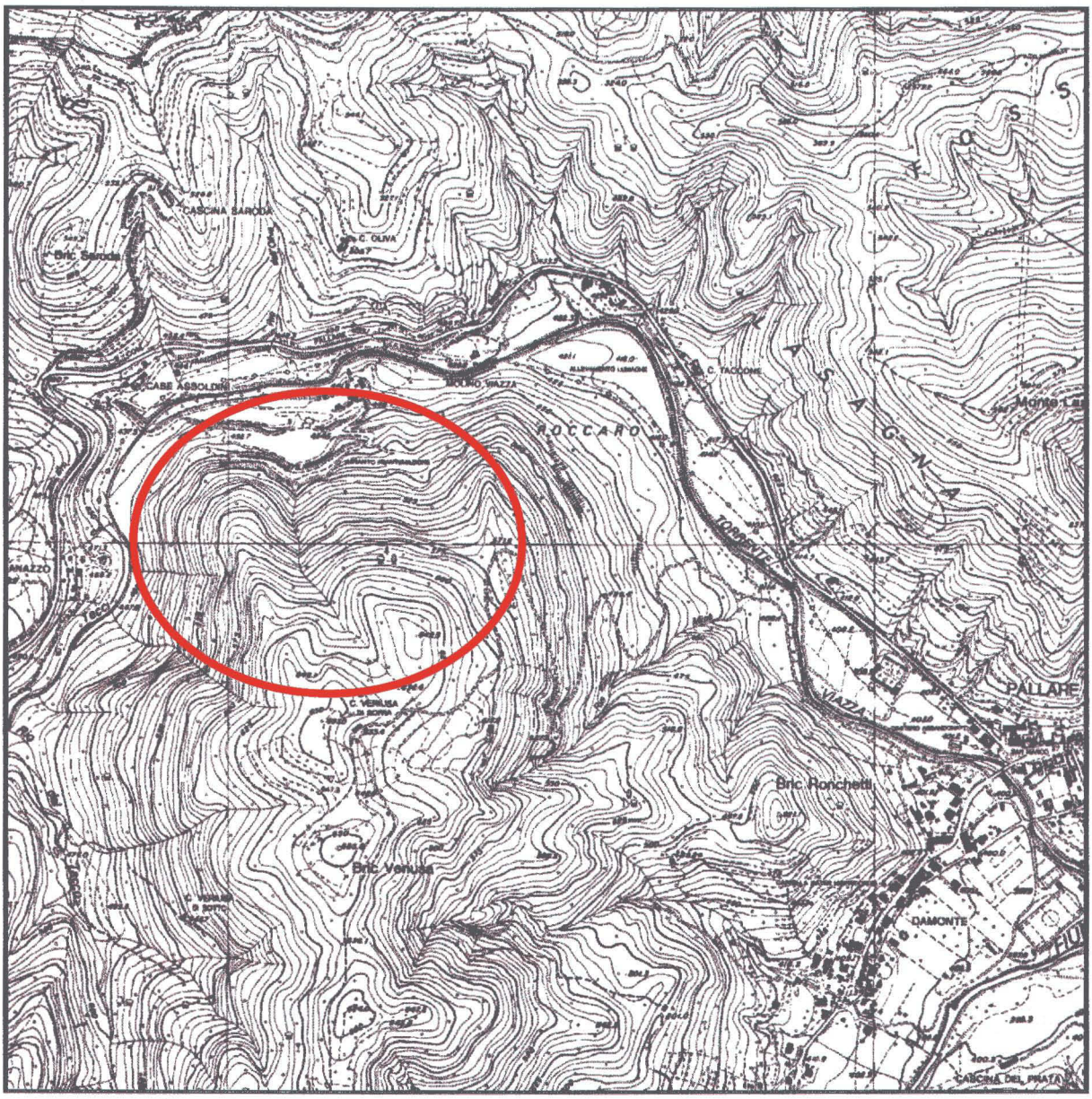


Fig. 2.1 - Ubicazione dell'area occupata da Cava Veriusa. Estratto non in scala della Tavoletta 228080 della cartografia tematica della Regione Liguria (scala 1:10.000).

Nell'ambito dell'area in esame affiorano (cfr. Cap. 3) essenzialmente litotipi appartenenti alla "Zona Brianzonese" ed alla "Zona Piemontese", costituiti da dolomie e calcari dolomitici (*Dolomie di San Pietro dei Monti*), quarziti (*Quarziti di Ponte di Nava*), peliti (*Peliti di Case Valmarenca*). I carbonati e le quarziti sono generalmente associati a speroni e falesie che, a causa della loro elevata acclività, conferiscono al paesaggio forme nette, che risultano ben visibili anche da notevoli distanze. Morfologie più blande sono riferibili invece a litotipi più facilmente erodibili come scisti micacei

sericitici (*Scisti di Gorra*) e conglomerati ed arenarie appartenenti alla *Formazione di Molare*, quest'ultimi presenti sul versante orografico sinistro della valle. L'area di coltivazione interessa direttamente i calcari le quarziti ed in parte ridotta gli scisti.

Il T. Viazza presenta un andamento piuttosto irregolare, con bruschi cambi di direzione dell'alveo, procedendo dal settore di monte sino alla confluenza nel T. Bormida di Pallare, in corrispondenza dell'abitato omonimo. Osservando l'andamento planimetrico dell'asta torrentizia è possibile infatti, individuare settori in cui la valle muta radicalmente la propria direzione: partendo dalla zona di testata il corso d'acqua presenta un andamento prevalente N-S per poi assumere un'orientazione SO-NE sino all'altezza di Case Assoldini. A partire da questa frazione la valle ruota bruscamente assumendo un andamento E-O per circa 800 m (settore occupato dall'area di cava) per poi mutarlo nuovamente all'altezza di Case Taccone, dove si dispone con un andamento NO-SE sino alla zona di confluenza. Queste variazioni nette nell'andamento dell'asse vallivo, sono riferibili alla presenza di lineamenti o strutture tettoniche prevalentemente di tipo fragile che, una volta intercettate dal corso d'acqua, costringono l'alveo ad impostarsi secondo la loro direzione.

I versanti sono caratterizzati da una copertura vegetale di tipo arboreo largamente diffusa, con boschi misti, mentre solo localmente sono presenti aree coltivate a prato di limitata estensione concentrate in corrispondenza dei settori meno acclivi.

Il versante occupato dalla cava presenta un'acclività elevata e piuttosto regolare nella zona compresa tra il fondovalle e quota 620 m s.l.m. circa. Il settore sommitale del rilievo è caratterizzato da una morfologia più dolce con aree sub-pianeggianti o con deboli pendenze, che si estendono verso sud a costituire la dorsale montuosa di Bric Veriusa (quota 655 m s.l.m.). Quest'ultima mostra un'orientazione N-S ed un andamento debolmente irregolare causato dalla presenza di selle morfologiche anch'esse a debole acclività, che isolano "bricchi" di limitato sviluppo.

L'assetto morfologico di questo settore del rilievo, in cui si individuano, inoltre, numerose depressioni morfologiche di estensione ridotta, indicherebbero la presenza potenziale di strutture legate a fenomeni di tipo carsico, largamente diffuse nei litotipi a composizione carbonatica, che costituiscono i rilievi di questo settore della catena alpina. Il versante sinistro presenta invece un assetto differente, con acclività più ri-

dotte ed una morfologia irregolare contraddistinta da un'alternanza di dossi e superfici sub-pianeggianti rimodellate dall'intervento antropico, come in località Cascina Oliva ove sono presenti terrazzamenti coltivati a prato.

Il reticolo idrografico secondario è costituito essenzialmente da rii a carattere stagionale o con deflussi estremamente ridotti, che presentano profili fortemente acclivi e con andamenti rettilinei che farebbero supporre, come nel caso dell'andamento planimetrico dei Rio Tecci e del T. Viazza, la presenza di strutture tettoniche di tipo fragile. Lungo il rilievo sono presenti inoltre numerosi impluvi in cui si concentrano le acque di ruscellamento in occasione di eventi metereologici particolarmente intensi. Le strutture tettoniche citate in precedenza rappresentano le via preferenziali di infiltrazione delle acque di precipitazione e di scorrimento superficiale e costituiscono la via di alimentazione principale per la circolazione idrica sotterranea.

2.3 Caratterizzazione delle forme e dei processi

La maggior parte dell'area di cava è interessata da roccia affiorante o sub-affiorante al di sotto di circa 1 m di copertura in materiale sciolto.

Esternamente, all'area di cava, la coltre detritico-colluviale si estende con continuità costituendo il ricoprimento pressoché continuo del substrato roccioso che affiora sporadicamente lungo scarpate, impluvi e nei tagli stradali di origine antropica.

In generale (sia internamente, sia esternamente all'area di cava) si osserva che sul substrato calcareo predominano le *terre rosse*. Queste, sono costituite soprattutto dagli elementi insolubili del calcare, come l'ossido di ferro che attribuisce il colore *ruggine* al terreno agrario, a seguito alla degradazione delle rocce calcaree e da sostanze argillose e impurità, presenti in origini nelle rocce calcaree stesse.

Sui substrati quarzitici si osservano invece suoli sabbiosi, generalmente con spessori ridotti, a composizione eterogenea, con frammenti litici a spigoli vivi di varia dimensione in una matrice limosa talora abbondante.

Le forme di erosione cartografate sono quelle dovute alle acque superficiali ruscellanti od incanalate. Il ruscellamento diffuso è associato al colamento di materiale detritico per un tratto del versante.

I corsi d'acqua di basso ordine gerarchico, che interessano l'area in esame, scorrono lungo i versanti a pendenza elevata e tendono ad approfondire i loro alvei mediante erosione concentrata di fondo. Il fenomeno si verifica talora in maniera molto marcata, sia per le condizioni di conservazione del substrato roccioso, sia probabilmente anche per effetto della neotettonica.

2.4 Climatologia

Nella provincia di Savona lo spartiacque alpino si avvicina al mare e, lungo i due versanti, la quantità delle piogge che cade annualmente decresce a mano a mano che si scende di quota. Vengono a configurarsi in tal modo due aree con minore apporto pluviometrico: una sul versante interno e l'altra su quello marittimo. Le più basse quantità della provincia si riscontrano, infatti, all'estremo lembo di costa occidentale e alle quote inferiori e più interne della Valle Bormida di Millesimo, rispettivamente con 700 mm a Capo Mele e 711 mm alla diga di Osiglia.

Al fine di raccogliere tutti gli elementi necessari per le verifiche idrauliche dell'area, in cui è posta la cava in oggetto, è stata effettuata un'indagine conoscitiva volta alla determinazione delle fonti e della disponibilità dei dati pluviometrici all'interno del bacino idrografico sotteso (Torrente Viazza) e/o in aree limitrofe.

Per illustrare la situazione termopluviometrica (Tab. 2.1) nell'intorno del bacino del Torrente Viazza si è utilizzato il dato, riferito alle medie annuali degli anni 1961-1990, relativo alla stazione pluviometrica del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.) di Osiglia Diga (quota 620 m s.l.m.).

Una schematizzazione interessante per correlare i dati di pluviometria e temperature e rappresentata dal climatodiagramma di Bagnolus-Gaussen, che è costruito in modo tale per cui la scala relativa alle precipitazioni è doppia rispetto a quella delle temperature il che consente di valutare gli eventuali periodi di siccità.

I periodi siccitosi si evidenziano quando la linea delle temperature oltrepassa quella delle precipitazioni. Nel caso in esame risulta, per la stazione di Osiglia Diga, un periodo di siccità nel mese di luglio: le due curve si intersecano in tale periodo dell'anno sottolineando una diminuzione delle riserve idriche accumulate.

Si tratta, in buona sostanza, di un clima a carattere subatlantico, con influenze a carattere submediterraneo montano.

Periodo	Temperature (t°C)	Precipitazioni (mm)
Gennaio	2.94	39
Febbraio	4.38	51
Marzo	7.14	67
Aprile	10.70	86
Maggio	14.58	69
Giugno	18.55	46
Luglio	20.91	27
Agosto	20.76	49
Settembre	17.44	52
Ottobre	12.39	101
Novembre	7.50	86
Dicembre	4.20	38

Tab. 2.1 - Dati termopluviometrici stazione di Osiglia Diga.

2.4.1 Temperatura

La temperatura media annua, riferita alla stazione termopluviometrica di Osiglia Diga, è di 11.79°C. La temperatura media massima, nel mese di Luglio, è di 20.91°C mentre quella media estiva, non presenta temperature particolarmente elevate (la media dei mesi di giugno, luglio e agosto è di 20.07°C), mentre la temperatura media del trimestre invernale (dicembre, gennaio, febbraio) è di 3.84°C.

2.4.2 Precipitazioni

La piovosità totale annua tra la stazione di Cairo Montenotte (quota 335 m s.l.m.) e la stazione di Osiglia Diga (quota 620 m s.l.m.) è compresa rispettivamente tra 1032 mm e 711 mm; il mese più piovoso risulta essere ottobre (156 mm stazione di Cairo

Montenotte e 101 mm stazione di Osiglia Diga), mentre il più secco è luglio (35 mm stazione di Cairo Montenotte e 27 mm stazione di Osiglia Diga).

L'andamento della piovosità annua presenta un minimo assoluto in estate (luglio) ed un minimo relativo in inverno (dicembre).

2.4.3 Evapotraspirazione reale

In relazione ai dati di temperatura è stata calcolata, tramite la formula di Turc e Keller, l'evapotraspirazione reale (E.T.R.) media annua.

L'evapotraspirazione è stata determinata riferendosi alla sola stazione di Osiglia Diga:

- E.T.R. (Turc) = 502 mm
- E.T.R. (Keller) = 446 mm.

2.4.4 Evapotraspirazione potenziale

In relazione ai dati di temperatura è stata calcolata, tramite la formula di Thornthwaite, l'evapotraspirazione potenziale (E.T.P.) media mensile (Tab. 2.2) che, messa in relazione con la pluviometria, può fornire informazioni sugli eventuali stress idrici subiti dalla vegetazione.

L'evapotraspirazione potenziale presenta un totale annuo medio di 698.3 mm e raggiunge, come è normale, i massimi valori nel trimestre estivo, mentre la piovosità raggiunge il suo minimo principale (luglio), il che determina un deficit idrico.

Mese	**Gen**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**
mm	6.8	11.4	26.3	48.5	80.7	111.1
Mese	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
mm	130.3	119.3	82.9	49.1	21.9	10.0

Tab. 2.2 - Dati E.T.P. media mensile calcolata per la stazione di Osiglia Diga.

Indice annuo di calore I = 49.04

Coefficiente a = 1.265.

2.5 Sismicità

L'area in esame è sottoposta all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e la successiva Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02/10/2003 che hanno aggiornato e modificato gli elenchi delle zone sismiche (Allegato 1 dell'O.P.C.M. n. 3316 del 02/10/2003), individuando in particolare 4 zone, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro ag = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A.

I valori di ag espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g, da adottare per il Comune di Pallare, ricadente in zona 4, salvo più accurate determinazioni, sono:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni **[a_g/g]**	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (N.T. O.P.C.M. 3274/2003) **[ag/g]**
4	**<0,05**	**0,05**

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Contesto geologico regionale

In ambito geologico i litotipi, presenti nell'area, sono riconducibili a formazioni geologiche di età ed evoluzione strutturale molto diverse, variamente coinvolte nelle fasi deformative che caratterizzano l'orogenesi alpina ed in seguito negli eventi successivi, fino a quelli che recentemente, e anche attualmente, interessarono l'evoluzione neotettonica della zona.

La zona analizzata, infatti, comprende litotipi appartenenti al *Dominio Brianzonese Ligure Interno* ed al *Dominio Piemontese* in prossimità del contatto con la porzione terminale del *Bacino Terziario Ligure-Piemontese (BTLP)*.

Si tratta di un'area emersa dall'Eocene medio (GELATI & GNACCOLINI,1988) a seguito della collisione tra la *placca europea* e la *microplacca Adria* e formata da un impilamento di unità alloctone costituite da corpi rocciosi riferibili sia al margine paleoeuropeo che all'area oceanica piemontese-ligure (Sistema Basso Monferrato-Appennino Settentrionale). L'assetto geologico-strutturale dell'area si presenta piuttosto complesso con unità a composizione differente separate da contatti tettonici, che sono state dislocate rispetto alle aree di origine, durante le fasi che hanno portato alla formazione della catena alpina. Il settore in esame comprende Unità Brianzonesi costituite da un basamento permo-carbonifero, rappresentato dal Massiccio di Pallare (*Graniti del Torrente Letimbro*), e da formazioni sedimentarie e vulcaniche del tegumento permo-carbonifero (*Formazione di Murialdo, Scisti di Gorra e Verrucano brianzonese*), dalle coperture meso-cenozoiche riferibili alle Unità Piemontesi (*Quarziti di Ponte di Nava, Peliti di Case Valmarenca, Formazione di Costa Losera e Dolomie di San Pietro dei Monti*), e dai termini basali del *Bacino Ligure-Piemontese* (*Formazione di Molare*) (Fig. 3.1).

Il dominio brianzonese rappresenta la porzione più prossima al margine del paleocontinente europeo e comprende tre settori denominati, procedendo dal margine oceanico verso l'avanpaese, interno, intermedio ed esterno in riferimento alla direzione di trasporto delle unità avvenuta durante l'orogenesi alpina. Le unità piemontesi costituiscono i termini che marcano il passaggio al bacino oceanico della Tetide e

sono suddivise in prepiemontese (o piemontese esterno) e piemontese (riferibile ai settori interni).

I termini appartenenti al Bacino Ligure-Piemontese sono costituiti da conglomerati prevalenti, depostisi durante l'Oligocene, in ambiente prospiciente al mare con conoidi alluvionali, caratterizzate da materiali grossolani scarsamente selezionati, che nella loro parte distale venivano ad interferire con i processi marini esistenti (*fan-deltas sensu* Mc Gowen, 1970; Mc Gowen e Scott, 1974). La sedimentazione si verificò nelle immediate vicinanze dell'area in erosione (area madre o area fonte) con trasporto breve in condizioni di elevata energia. Localmente vi furono anche depositi salmastri preannuncianti l'ingressione marina, come del resto le prime discontinue intercalazioni arenacee osservate al tetto.

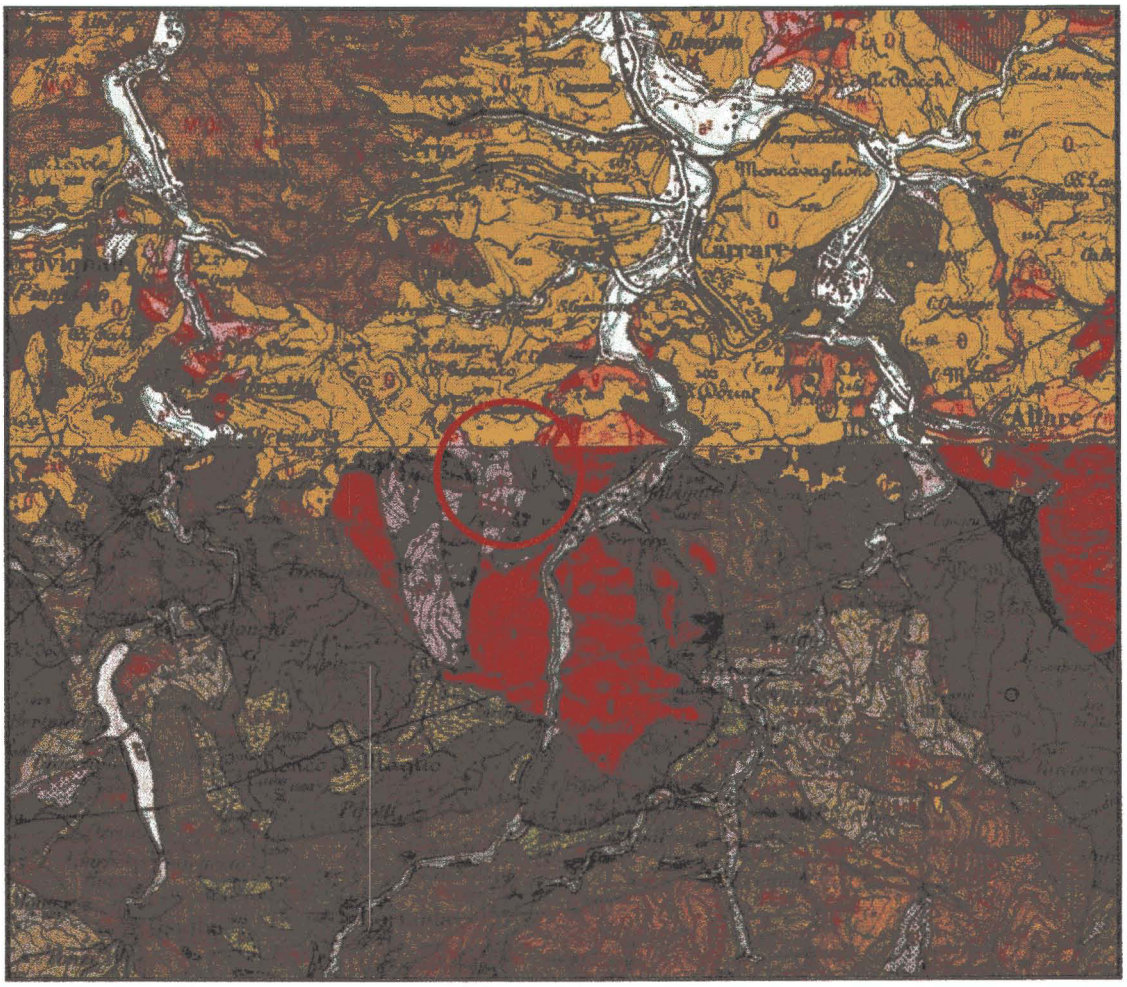


Fig. 3.1 - Ubicazione dell'area occupata da Cava Veriusa. Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 81 Ceva (parte superiore della figura) e Foglio 92-93 Albenga-Savona (parte inferiore della figura). Estratto non in scala.

I Domini in cui è suddiviso questo settore della Catena Alpina e le diverse unità che li compongono, sono riportati nella Fig. 3.2. La descrizione delle unità, riportata di seguito, fa riferimento alle suddivisioni rappresentate nella figura.

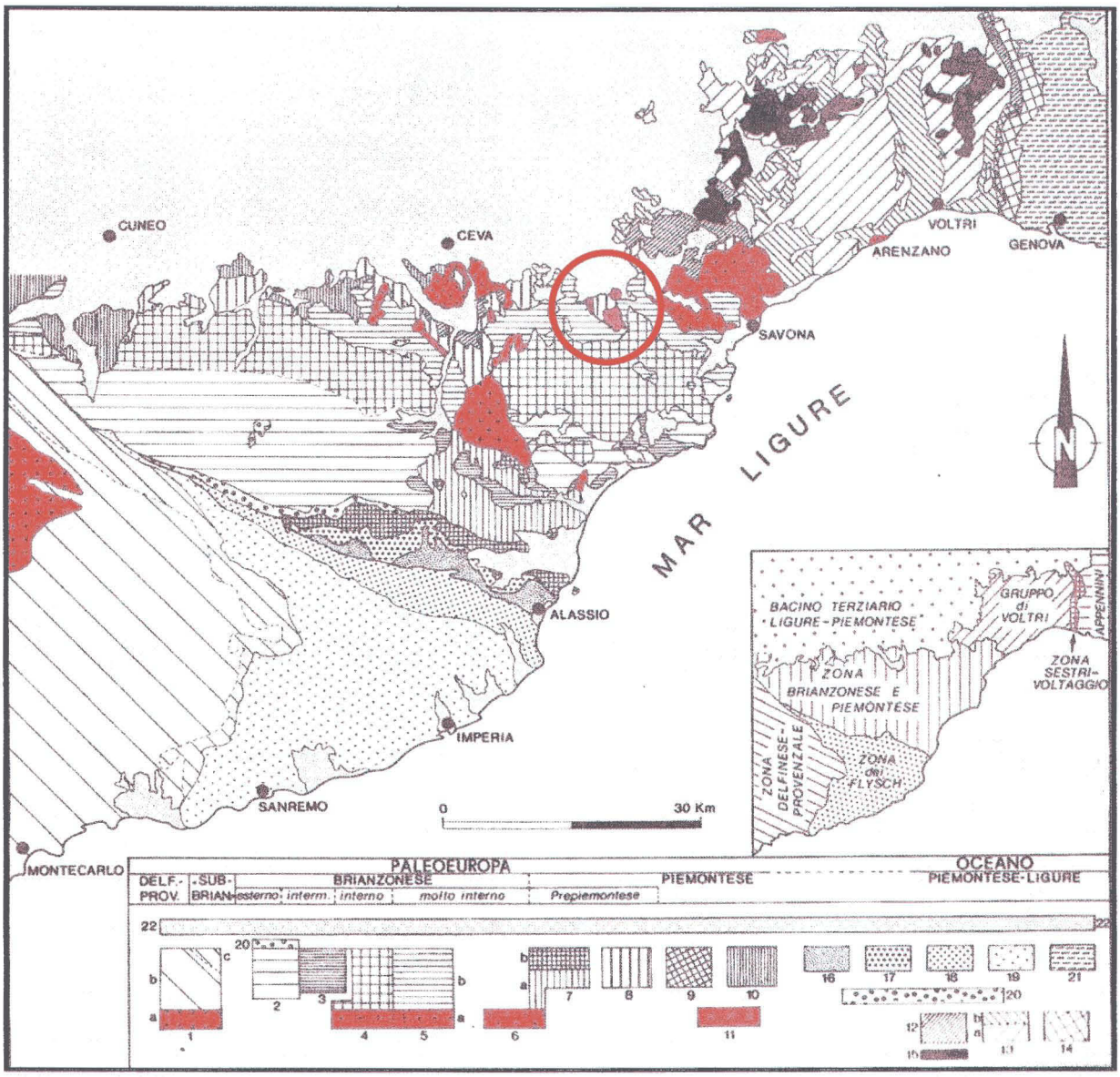


Fig. 3.2 - Ubicazione dell'area occupata da Cava Veriusa. Schema tettonico delle Alpi Liguri con delimitazione delle unità che compongono i Domini appartenenti a questo settore della Catena Alpina. Nella parte inferiore della figura sono riportate le posizioni paleogeografiche delle diverse unità tettoniche. L'area di Cava Veriusa, evidenziata con il tratto rosso, ricade all'interno di Unità Triassico-Liassiche Piemontesi in posizione esterna o prepiemontese (Trias inf- Lias) indicate in figura con il numero 8, poggianti al di sopra del Massiccio di Pallare appartenente alle Unità Molto Interne del Brianzonese Ligure (numero 6 in figura).

Estratto, non in scala, tratto da Guide Geologiche Regionali (1991) – Alpi Liguri – BE-Ma Editrice. Tav. F.T.

3.1.1 Il Brianzonese Ligure

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 è generalmente distinta in tre parti: basamento cristallino (interessato da una o più orogenesi prealpine), tegumento permo-carbonifero 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. Affiora sotto forma di masse alloctone isolate quasi sempre prive di tegumento e copertura provenienti dai domini interni ed attualmente poste in posizione geometrica elevata, e come substrato stratigrafico dei domini interni, al di sotto del tegumento e delle coperture.

  In prossimità dell'area in esame è rappresentato dal *Massiccio di Pallare*, costituito da graniti gneissici biotitico-muscovitici, fortemente cataclasati (*Graniti del Torrente Letimbro*), che rappresenta una delle masse alloctone isolate del basamento cristallino.

- 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 sub-

sidenti, e da tre episodi vulcanici (precoce, intermedio, principale) caratterizzati da prodotti petrograficamente e chimicamente diversi.

Nell'area di Pallare le formazioni metamorfiche di origine sedimentaria sono rappresentate dalla *Formazione di Murialdo* e dagli *Scisti di Gorra*, costituiti essenzialmente da metasedimenti distinti sulla base della diversa posizione geografica e delle *facies*. La *Formazione di Murialdo* comprende filladi e micascisti carboniosi scuri con frequenti lenti e vene di quarzo e subordinate intercalazioni di arenarie grigie o verdastre e scisti arenaci verdastri (età Carbonifero superiore-medio). Gli *Scisti di Gorra* sono costituiti da 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. 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.

Le formazioni permocarbonifere affiorano nei pressi dell'area di cava ma non sono interessate da attività di escavazione né ricadono nell'area rilevata. La loro descrizione viene riportata solamente per dare un inquadramento completo dell'assetto stratigrafico delle Alpi Liguri.

- La copertura meso-cenozoica (250-150 MA) 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 scitiche, in banchi di spessore variabile, occasionalmente separati da livelli pelitici millimetrici verdi o violacei, depositi di spiaggia molto elaborati ric-

chissimi 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 San 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 O, 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.

3.1.2 *Il Dominio Piemontese*

Costituisce la porzione del paleocontinente europeo che divide il Dominio Brianzonese dal Dominio Oceanico Piemontese-Ligure, smembratosi durante le fasi della formazione della catena alpina. Attualmente affiora in unità tettoniche disperse comprendenti termini riferibili per lo più alla copertura meso-cenozoica ed, in un caso solo, a rocce del basamento (*Massiccio di Valosio*), mentre è quasi del tutto assente il tegumento permo-carbonifero. La copertura meso-cenozoica affiora sotto forma di numerosi klippen posti in posizione geometrica più elevata rispetto alle falde brianzonesi. I klippen piemontesi presentano caratteristiche simili alla successione descritta per il Brianzonese Ligure, ma si differenziano da quest'ultima per la presenza di sedimenti triassico superiore-liassici generalmente assenti nelle serie brianzonesi.

Nell'area di Cava Veriusa in particolare, affiora *l'Unità di Monte Sotta* comprendente, procedendo dai termini più antichi verso i più recenti, peliti scitiche (*Quarziti di Ponte di Nava*) passanti verso l'alto a peliti muscovitico-sericitico-cloritiche con frazione siltosa quarzosa di colore verde scuro violaceo (*Peliti di Case Valmarenca*). Al di sopra delle peliti si incontrano calcari marmorei grigi o marroncini (*Formazione di Costa Losera*) di età ladinica passanti superiormente o in rapporti eteropici con dolomie e calcari di età ladinico-anisica (*Dolomie di San Pietro dei Monti*).

L'attribuzione al dominio paleogeografico prepiemontese dei klippen di coperture meso-cenozoiche rimane comunque incerta.

3.2 *Assetto litostratigrafico del giacimento*

L'assetto litostratigrafico, evidenziato nel paragrafo precedente, è stato affinato in seguito ad un rilievo geologico di dettaglio (Allegato 16), svolto nel mese di settembre – ottobre 2007 e novembre 2008, che ha permesso di individuare, nell'area di cava, la presenza di 4 unità litologiche e 2 tipi di depositi derivanti dall'alterazione del substrato roccioso. Inoltre sono stati descritti brevemente i depositi alluvionali recenti ed attuali che occupano il fondovalle principale, affioranti al di fuori dell'area di cava.

3.2.1 *Quarziti di Ponte di Nava*

Tali rocce testimoniano la cessazione dell'attività vulcanica permiana e la fase iniziale di ingressione marina triassica. Sono costituite prevalentemente da quarziti a grana da fine a grossolana, a scarso cemento siliceo, di colore variabile da grigio-chiaro a verdino, molto massicce, in cui difficilmente si osserva la stratificazione originaria. Contengono quantità ridotte di sericite e clorite che localmente si concentrano in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico, che evidenziano la giacitura regionale della roccia. Localmente le quarziti si presentano in facies conglomeratica con ciottoli di quarzo grigio-verdino raramente rosato, di dimensioni centimetriche. Nonostante la *facies* prevalente sia quella massiccia, localmente conglomeratici, della *Formazione di Ponte di Nava* di età triassica, al di fuori dell'area di cava si incontrano *facies* più spiccatamente conglomeratiche o arenaceo-pelitiche, attribuibili al *Verrucano Brianzonese* di età permiana. Infatti, anche se in generale, si ha la sottoposizione dei conglomerati verrucani rispetto alle quarziti, è frequente una certa eteropia fra le due *facies*, complicata anche da episodi conglomeratici intercalati all'interno della *facies* arenacea.

All'interno dell'area di studio le quarziti presentano una grana variabile da fine a grossolana con una stratificazione evidenziata dai livelli pelitici verdastri. Localmente si osservano livelli a tessitura più marcatamente conglomeratica in cui la stratificazione non appare evidente.

Le quarziti affiorano prevalentemente lungo la grossa parete di cava, posta ad est rispetto all'area di coltivazione attuale, caratterizzata da pendenze elevate ed un dislivello di circa 55 m compresi tra 465 m s.l.m. circa, del piazzale posto alla base, e 520 m s.l.m. circa, del limite superiore del gradone di coltivazione posto più a monte. Nella porzione più orientale, in prossimità dell'area boscata, in corrispondenza del piazzale posto a quota 465 m s.l.m. la roccia si presenta come un conglomerato poligenico minuto ben stratificato, costituito da frammenti ben arrotondati e cementati di quarzo di colore rosato, bianco, o più spesso da ciottoli violacei di vulcaniti acide, con diametro variabile ma mediamente compreso tra 2 e 5 cm, immersi in una fine matrice arenaceo-pelitica di colore grigio, violaceo o verdastro.

Lungo il fronte sovrastante il sopraccitato piazzale (posto a quota 465 m s.l.m.) si osservano livelli di spessore da centimetrico a decimetrico di peliti verdastre fortemente scistose, a composizione muscovitico-sericitico-cloritica e frazione pelitica quarzosa (*Peliti di Case Valmarenca*). La presenza di questi livelli consente di identificare e misurare la scistosità dell'ammasso, che, presentando generalmente una tessitura massiccia ed una composizione omogenea, rende difficile l'individuazione di livelli di riferimento.

L'intero settore compreso tra la terminazione del fronte coltivato e la linea di cresta è caratterizzato dalla presenza di quarziti da sub-affioranti ad affioranti. La scistosità regionale immerge mediamente verso ovest con inclinazioni variabili da 50° a 70° circa. Superata la linea di cresta e la sella morfologica presente a sud dell'area di cava, le quarziti affiorano estesamente lungo la porzione di versante posta immediatamente ad est dei ripiani morfologici che caratterizzano la porzione sommitale del rilievo e lungo i tagli che delimitano la strada che collega Case Veriusa con il fondovalle (settore orientale dell'area di studio). In questa zona le quarziti immergono mediamente verso ovest ma con inclinazioni minori rispetto al settore di cava, con angoli compresi tra 30° e 40° circa. In prossimità della zona sub-pianeggiante sommitale, si osservano livelli di spessore decimetrico di peliti verde-rossastre intensamente fogliate (Peliti di Case Valmarenca) che presentano blande ondulazioni, con pieghe aperte ad assi immergenti verso NO inclinati di circa 50°, riferibili a fasi deformative successive alla formazione della scistosità regionale.

Altri affioramenti di quarziti si rinvengono alla base del versante sinistro della valle del T. Viazza, nel settore posto di fronte ai magazzini ricovero mezzi dell'impianto di lavorazione. Immediatamente a monte della strada provinciale le quarziti si trovano in condizioni da sub-affioranti ad affioranti, dando vita a pareti e speroni in roccia con altezze di 10÷15 m. La tessitura massiccia, localmente conglomeratica, dell'ammasso non consente, se non raramente, di misurare la giacitura della scistosità regionale. Ove osservata, questa risulta in accordo con le struttura del rilievo immergendo verso ovest con inclinazione di 80°.

Sotto il profilo geomeccanico le rocce del complesso quarzitico presentano un'elevata tenacità e buona compattezza.

Altra caratteristica comune alle rocce del complesso quarzitico è la loro elevata alterabilità per detrizione termoclastica spesso associata alla formazione di notevoli spessori di coltri detritico-colluviali come osservato nel settore di bosco posto immediatamente a sud-est dell'area di cava, in cui affiora una diffusa coltre detritica costituita prevalentemente da detrito a grossi blocchi (cfr. Cap. 3.2.6).

Le rocce del complesso quarzitico passano gradualmente ai soprastanti termini calcareo-dolomitici rappresentati dalle *Dolomie di San Pietro dei Monti*. Il passaggio è principalmente di tipo stratigrafico come testimoniato dalla presenza di intercalazioni da centimetriche a decimetriche di livelli pelitici di colore verde o violaceo che nella parte alta dell'unità possono raggiungere spessore di alcuni metri (max 10 ÷ 15 m da letteratura).

Nella restante parte della relazione, per comodità espositiva, si useranno indistintamente i termini *Quarziti di Ponte di Nava* o semplicemente quarziti per indicare le rocce appartenenti all'unità litologica sopra descritta.

3.2.2 *Peliti di Case Valmarenca*

Si tratta di un livello pelitico di ambiente lagunare che segna il passaggio tra le quarziti, depositatesi durante le prime fasi dell'ingressione marina (età scitica), ed i sedimenti calcareo-dolomitici tipici di un ambiente di piattaforma, attivo a partire dal Trias medio. Questi livelli pelitici, di colore scuro, variabile da verde a violaceo, sono costituiti prevalentemente da muscovite, sericite e clorite con frazione siltosa quarzosa e presentano una tessitura scistosa, con letti di spessore ridotto ad andamento lentiforme.

All'interno dell'area di studio affiorano a tetto delle *Quarziti di Ponte di Nava* e segnano il passaggio alle dolomie e calcari dolomitici delle *Dolomie di San Pietro dei Monti*. Livelli continui di spessore da decimetrico a pluridecimetrico (0.5 m circa) si rinvengono lungo i gradoni posti a 500 m s.l.m. di quota circa, ove, grazie allo sbancamento del vecchio fronte di cava, si possono seguire con continuità sino al settore posto a quota 470 m s.l.m circa (parete ovest dello sbancamento). I livelli pelitici immergono mediamente verso ovest con inclinazioni di circa 50°.

Livelli pelitici riferibili alle *Peliti di Case Valmarenca*, sono stati rinvenuti anche all'interno della porzione basale delle *Dolomie di San Pietro dei Monti.* Si tratta di porzioni estremamente sottili non cartografabili, presenti in prossimità del contatto con gli Scisti di Gorra.

A causa dei limitati spessori, le *Peliti di Case Valmarenca* non sono state rappresentate separatamente nella *Carta Geologica* allegata (Allegato 16) ma inserite all'interno delle *Quarziti di Ponte di Nava.*

3.2.3 *Dolomie di San Pietro dei Monti*

Le rocce calcareo-dolomitico, che sono il materiale principale della coltivazione, affiorano nella porzione centro-orientale della cava.

Il litotipo è rappresentato da dolomie, dolomie calcaree, calcari dolomitici, appartenenti alla formazione mesotriassica di San Pietro dei Monti.

In considerazione dell'intensa deformazione, sia duttile che fragile, della roccia e delle molte *litofacies* in essa esposte, risulta estremamente difficile costruire delle correlazioni atte a definire una serie unica o "*serie-tipo*", per la cui definizione sarebbe necessario uno studio sedimentologico di tipo specialistico, il che esula dagli scopi di questo lavoro.

In generale il litotipo più frequente della copertura mesotriassica è costituito da alternanze di calcari dolomitici grigio chiaro e scuro disposti secondo strati di potenza da decimetrica a pluridecimetrica. La stratificazione primaria, evidenziata dalle variazioni cromatiche dal grigio chiaro a quello scuro, è difficilmente riconoscibile e generalmente, non è associata alla presenza di un sistema di discontinuità di importanza rilevante. Raramente sono presenti intercalazioni decimetriche di peliti siltose e di brecce intraformazionali autoclastiche.

Il settore orientale della cava sembra essere costituito in prevalenza da calcari dolomitici grigio-scuri mentre la facies grigio-chiara prevale nel settore occidentale. Le differenze cromatiche non sembrano costituire però un elemento distintivo e non consentono di tracciare un limite definito, in quanto spesso i due tipi di calcari dolomitici si alternano in maniera irregolare.

La giacitura media della stratificazione primaria è di circa 240°÷270° con inclinazioni variabili da 40°÷ 70°, in accordo con l'orientazione media dei piani di scistosità osservati negli altri litotipi.

Al di fuori dell'area di coltivazione, la roccia si presenta generalmente massiccia con tracce locali di forme di dissoluzione, presumibilmente riferibili a forme di tipo carsico. Si tratta prevalentemente di cavità di dimensioni metriche sviluppatesi in corrispondenza di zone soggette a deformazioni di tipo fragile (faglie, zone di taglio), in cui l'intenso grado di alterazione e di fratturazione della roccia, favoriscono la circolazione di acqua ed la successiva dissoluzione del carbonato. Cavità di questo tipo sono state osservate in particolare nel settore ovest del rilievo, lungo l'impluvio ad andamento O-E, che si sviluppa dal settore di Case Resii sino al fondovalle, e sbocca in corrispondenza delle case indicate sulla cartografia tecnica con il toponimo *"Il Fontanazzo"*. L'andamento rettilineo dell'impluvio indicherebbe la presenza di un lineamento tettonico riferibile ad una faglia, come testimoniato dallo stato di fratturazione e dalla tessitura delle dolomie che, nel settore di monte si presentano sotto forma di cataclasite, con frammenti spigolosi di roccia di dimensioni centimetriche, immersi in una matrice fine limoso-sabbiosa. A sostegno di questa ipotesi e dello stato di deformazione dell'ammasso, gli affioramenti osservati procedendo verso valle lungo l'impluvio, presentano piccole cavità di dissoluzione impostate lungo linee di frattura o faglie di dimensioni ridotte. L'intero versante presenta acclività molto elevate ed è ricoperto da un bosco fitto, con affioramenti di dimensioni da metriche a localmente pluridecametriche, evidenti lungo le linee di drenaggio a carattere stagionale, ove le dolomie affiorano estesamente in pareti subverticali.

Nel settore sommitale di Bric Veriusa, le dolomie affiorano sporadicamente all'interno del bosco e nel settore sub-pianeggiante a prato, posto immediatamente ad est della linea di cresta. La roccia si presenta generalmente massiccia con immersione verso ovest (giacitura 275°/72° lungo la cresta). In questa parte del rilievo è stata osservata la presenza di depressioni chiuse e/o aperte di dimensioni estremamente ridotte (metriche), presumibilmente riconducibili, a forme di sprofondamento connesse a fenomeni di dissoluzione, all'interno delle dolomie.

Sotto il profilo geomeccanico le rocce calcareo-dolomitiche presentano in generale discreta tenacità e compattezza nonostante il grado di fratturazione medio che lo-

calmente può diventare assai ingente con *block sizing* anche subdecimetrico. All'interno dell'area di coltivazione la dolomia presenta infatti un grado di fratturazione da medio ad elevato, imputabile all'utilizzo degli esplosivi, che tendono ad amplificare l'apertura dei giunti in corrispondenza dei fronti di scavo, mentre nei settori esterni, la roccia appare massiccia con grado di fratturazione da debole a medio (cfr. § 3.3).

Analogamente alle rocce quarzitiche anche quelle calcareo-dolomitiche appaiono alterabili per detrizione termoclastica con formazione di accumuli detritici a spigoli vivi ed elevato angolo d'attrito.

Il processo d'alterazione più importante è però sicuramente rappresentato dalla formazione di suoli rossastri di potenza variabile, essenzialmente costituiti da argille residuali più o meno siltose, sabbiose o clastiche, prodotte per dissoluzione chimica per decalcificazione dei carbonati.

Nella restante parte della relazione, per comodità espositiva, si useranno indistintamente i termini calcari dolomitici o semplicemente dolomie per indicare le rocce appartenenti all'unità litologica sopra descritta (*Dolomie di San Pietro dei Monti*).

3.2.4 Scisti di Gorra

Comprendono scisti filladici nerastri, scisti quarzo-sericitici, micascisti minuti di colore variabile da grigio a verdastro e marrone, da estremamente scistosi a localmente compatti. Si tratta di lembi riferibili al tegumento permo-carbonifero costituiti da rocce metamorfiche di origine sedimentaria di età permiana, inglobate all'interno della successione sedimentaria dell'unità prepiemontese di Monte Sotta, a cui appartengono le rocce descritte precedentemente.

Affiorano in maniera discontinua, su fronti di pochi metri di estensione, lungo i tagli delle piste di accesso ai gradoni più alti della cava, ed al margine orientale dei fronti di coltivazione delle rocce dolomitiche. Un affioramento di pochi metri di estensione è stato rinvenuto sul versante sinistro della valle principale, lungo la strada provinciale Pallare – Biestro. Lungo entrambi i versanti della valle gli *Scisti di Gorra* si trovano in posizione strutturale intermedia tra le *Quarziti di Ponte di Nava*, ubicate inferiormente, e le *Dolomie di San Pietro dei Monti*, poste superiormente. La natura dei contatti

con questi litotipi non è chiara e solamente in due punti dell'area indagata, affiorano direttamente. Nel settore inferiore dell'area di coltivazione, lungo uno dei tornanti della pista di accesso ai settori più alti, il contatto con le quarziti avviene attraverso una zona di deformazione di tipo fragile con spessore di alcuni decimetri, immergente verso ovest con inclinazione di circa 45°, concordemente all'orientazione della giacitura media della scistosità regionale, misurata nel settore di indagine. Nella porzione superiore della coltivazione gli scisti affiorano al di sotto di blocchi metrici di dolomie non evidenziando la natura e la geometria del contatto. Spostandosi lateralmente verso ovest, in corrispondenza dell'apertura dei fronti di coltivazione, i due litotipi si trovano a contatto tramite una zona di deformazione fragile di spessore pluridecimetrico immergente verso NE con inclinazione di circa 55°.

Gli scisti immergono mediamente verso ovest con angoli compresi tra 40° ÷ 50° e si presentano generalmente da mediamente ad intensamente fratturati con porzioni più massicce corrispondenti a termini con contenuto minore di mica. L'elevata erodibilità della roccia riduce notevolmente la percentuale di affioramento degli scisti, che normalmente si presentano su fronti di estensione ridotta. La distribuzione degli affioramenti principali indica la presenza di una fascia continua di spessore variabile, "pizzicata" tra le quarziti e le dolomie, che si estende con continuità a partire dal versante sinistro della valle, sino al settore orientale di Bric Veriusa. La morfologia più dolce caratteristica del settore sommitale del rilievo, la sella morfologica posta a quota 570 m s.l.m. circa e la mancanza di affioramenti lungo le piste di accesso, confermerebbero la presenza, al di sotto di una copertura di spessori limitati, di litologie facilmente degradabili, disposte lungo un allineamento continuo ad andamento circa SSE-NNO. Le misure effettuate sui pochi affioramenti rinvenuti confermano questa ipotesi, indicando la presenza di scisti concordanti con l'assetto giaciturale degli altri litotipi.

Le relazioni osservate sul terreno e la posizione strutturale intermedia tra due litotipi appartenenti ad una successione stratigrafica continua, conferma l'ipotesi riportata sulla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Foglio 92-93 Albenga-Savona), secondo cui gli *Scisti di Gorra* costituirebbero delle scaglie isolate di rocce sedimentarie appartenenti al tegumento permo-carbonifero, incluse nelle unità prepiemontesi, attraverso contatti di tipo tettonico.

3.2.5 *Depositi alluvionali medio-recenti ed attuali*

Costituiscono una sottile copertura alluvionale che si estende lungo la valle del T. Viazza. All'interno di questi termini è possibile operare una distinzione cronologica principalmente sulla base di criteri morfologici, in quanto la litologia non rappresenta un valido criterio discriminante. Nell'insieme la composizione granulometrica comprende, in prevalenza, ghiaie ciottoli e sabbie con blocchi e localmente frazioni limose. Il suolo, di norma poco sviluppato (poche decine di cm), si sviluppa sui depositi relativamente più antichi terrazzati.

I depositi terrazzati si sviluppano solamente a partire dal settore posto di fronte al piazzale della cava, da dove il fondovalle aumenta la propria estensione laterale, consentendo divagazioni più ampie al corso d'acqua principale. Questi di dispongono su superfici sub-pianeggianti debolmente inclinate verso valle, poste ad altezze variabili da 2 m a 6 m rispetto all'alveo attuale e delimitate da scarpate morfologiche legate all'attività fluvio-torrentizia. Ai depositi alluvionali presenti lungo il fondovalle principale, si associano alla base dei versanti e nelle aree di confluenza, in proporzione nettamente subordinata, i sedimenti relativi al reticolo minore, la cui attività deposizionale attualmente appare limitata o caratterizzata da episodi sporadici.

All'interno dell'unità considerata nel suo complesso è stata operata la suddivisione rappresentata in carta, utilizzando principalmente criteri morfologici, distinguendo i depositi medio-recenti e quelle attuali. I primi costituiscono le superfici terrazzate e generalmente stabilizzate distribuite a quote diverse all'interno dell'incisione del T. Viazza, mentre quelle recenti sono direttamente coinvolti nei processi di erosione e deposizione legati alla dinamica fluvio-torrentizia.

Nel dettaglio sono stati distinti:

Depositi alluvionali medio-recenti terrazzati, relativi al Torrente Viazza. Ghiaie, ciottoli, sabbie e limi, con alla sommità suolo sviluppato con spessore decimetrico. Presenza di sedimenti eluvio-colluviali al piede e lungo le scarpate.

Depositi alluvionali attuali costituiti da blocchi, ciottoli, ghiaie e sabbie presenti nell'alveo di deflusso ordinario e nell'alveo di piena. Procedendo lungo il fondovalle principale, è possibile distinguere un settore compreso tra l'area di monte ed il ponte di accesso all'area di cava ed un secondo tratto che dal ponte si estende sino al limite

orientale dell'area di studio. Nel primo i depositi costituiscono una sottile "pellicola" (da pochi dm a 1 ÷ 2 m max), comprendente in prevalenza blocchi metrici, ciottoli e ghiaie, che ricopre il substrato roccioso rappresentato dalle dolomie. Nel secondo tratto occupano una fascia ristretta ai lati dell'alveo attuale del T. Viazza e risultano delimitati dalle scarpate delle superfici terrazzate poste a quote superiori.

3.2.6 *Copertura detritico-colluviale e detrito di falda*

Comprende terreni sciolti a granulometria prevalentemente fine, provenienti dal rimaneggiamento e da un limitato trasporto ad opera delle acque di scorrimento superficiale non incanalate dei prodotti di alterazione in posto del substrato. Limi sabbiosi fini non addensati, limi argillosi poco consistenti inglobanti a tratti sabbie, ghiaie e ciottoli a spigoli da vivi a sub-arrotondati (d. max = 10 ÷ 20 cm). Si estende con continuità su tutta l'area indagata con spessori mediamente ridotti da pochi centimetri a qualche decimetro.

Il detrito di falda è costituito da blocchi di dimensioni decimetriche e metriche (d_{max} = 2 m) e ciottoli allo stato sciolto, presenti alla base delle principali pareti in roccia. L'accumulo più significativo è presente nel settore orientale dell'area indagata, all'interno dell'area boschiva posta a lato del vecchio fronte di coltivazione nelle quarziti. Comprende blocchi e ciottoli di quarziti che ricoprono parte del settore medio-inferiore del versante estendendosi per un vasto tratto di bosco sino ad una zona di radura.

3.2.7 *Riporti*

Comprende i terreni di riporto relativi ad interventi di rimodellamento della superficie topografica ed al colmamento di scavi sede di attività estrattiva. Lo stato di addensamento è variabile da basso ad elevato. Nell'area posta alla base della zona di coltivazione, soggetta a rimodellamento legato all'attività di estrazione e lavorazione, le osservazioni di terreno (subaffioramenti di substrato roccioso) indicano spessori esegui di materiale di riporto.

3.3 Assetto strutturale del giacimento

I rapporti geometrici attuali tra le unità sopra citate (*Quarziti di Ponte di Nava*, *Dolomie di San Pietro* e *Scisti di Gorra*) sono notevolmente complessi, infatti da un'iniziale fase di traslazione verso l'esterno, che ha condotto all'impilamento delle falde, si è passati ad una seconda fase, a vergenza opposta, che ha deformato gli originari contatti rovesciandoli (VANOSSI, 1975; VANOSSI *et alii*, 1991). A questa fase si sono associate strutture con carattere di deformazione fragile-duttile con evoluzioni polifasiche in epoca mesoalpina.

Come descritto nei paragrafi precedenti i rapporti tra le diverse formazioni sono sia di tipo stratigrafico che di tipo tettonico.

Sulla base dei dati di terreno gli Scisti di Gorra costituirebbero un livello continuo ad andamento SE-NO

Sul terreno queste strutture si osservano al contatto tra le Quarziti di Ponte di Nava e le Dolomie di San Pietro e sono evidenziate da una banda di brecce e cataclasiti, leggermente discordanti con la foliazione regionale, potenti da alcuni m ad alcune decine di m. Le caratteristiche della deformazione e i sensi di *shear* misurati, indicano un movimento polifasico, in condizioni probabilmente dapprima duttili e poi fragili.

Tali strutture hanno un orientazione prevalente secondo sistemi ONO-ESE, con subordinate distribuzioni secondo sistemi NNE-SSO, probabilmente coniugati dei precedenti.

L'orientazione di tali strutture, viene confermato anche dallo studio di immagini aeree rivolto ad evidenziare la tettonica di tipo fragile, dove risulta ben visibile che gli elementi lineari corrispondono a scarpate e rotture di pendenza a sviluppo rettilineo e ad aste torrentizie. In quest'ultimo caso il controllo strutturale nello sviluppo dell'incisione è reso evidente dalla direzione che assume il reticolo, spesso non corrispondente alla massima pendenza del versante e dalla relativa "freschezza" di tali lineamenti.

Le Dolomie di San Pietro dei Monti, affioranti in cava, sono, inoltre, interessate dalla presenza sporadica di faglie ad andamento pluri-metrico ma con bassa persistenza, essenzialmente parallele ai principali sistemi di discontinuità (cfr. § 5) che interessa-

no l'ammasso. Tali faglie sono per lo più chiuse senza materiale di riempimento, con rari indicatori cinematici che indicano comunque movimenti transtensivi.

In alcune porzioni all'interno dell'area di coltivazione[1], la dolomia presenta, infine, un grado di fratturazione da medio ad elevato, interessante di norma solamente i primi metri dell'ammasso, imputabile all'utilizzo improprio, in passato, degli esplosivi, che tendono ad amplificare l'apertura dei giunti in corrispondenza dei fronti di scavo. Nei settori esterni all'area di coltivazione, invece, la roccia appare massiccia con grado di fratturazione da debole a medio.

[1] Rappresentano essenzialmente i "vecchi" fronti non ancora interessati dalla coltivazione da parte della Ditta "BAGNASCO EDOARDO s.r.l.".

4 INQUADRAMENTO GEOIDROLOGICO

4.1 Premessa

Sulla base delle caratteristiche composizionali, delle relative permeabilità e dei rapporti esistenti tra i differenti litotipi e depositi, per inquadrare correttamente l'assetto idrogeologico è necessario distinguere, all'interno dell'area indagata, due domini che, dal punto di vista della circolazione idrica sotterranea, appaiono ben distinti e solo parzialmente in connessione. Il primo è rappresentato dall'area di fondovalle in cui affiorano depositi alluvionali connessi all'attività del corso d'acqua principale (Rio dei Tecci e T. Viazza) e localmente dei corsi d'acqua minori, mentre il secondo è costituito dal settore montuoso, in cui affiorano formazioni rocciose coperte da depositi superficiali di spessore ridotto. Le differenti caratteristiche di permeabilità primaria e secondaria (nel caso delle formazioni rocciose) inducono infatti a trattare in maniera differente i due domini, che pertanto verranno descritti separatamente.

Settore di fondovalle

Comprende le aree del fondovalle principale del Rio dei Tecci e del T. Viazza ed i settori di confluenza dei rii tributari minori, caratterizzati dalla presenza di depositi alluvionali relativi all'attività dei corsi d'acqua. Si tratta per lo più di depositi a granulometria grossolana prevalente, costituiti da blocchi di dimensioni metriche e plurimetriche, ghiaie grossolane e localmente sabbie, affioranti lungo il canale di deflusso ordinario del T. Viazza, poggianti sul substrato roccioso rappresentato dalle *Dolomie di San Pietro dei Monti*, dagli *Scisti di Gorra* e dalle *Quarziti di Ponte di Nava*. Procedendo da monte verso valle, i depositi alluvionali variano da spessori minimi (prossimi a zero nel settore occidentale in cui il corso d'acqua incide direttamente i termini del substrato roccioso) sino a raggiungere alcuni metri a partire dalla strada di accesso alla cava sino al limite orientale dell'area di studio, in cui tendono a disporsi su superfici terrazzate poste a quote differenti. In questo caso i depositi sono caratterizzati da un aumento della percentuale sabbiosa e risultano ricoperti da terreni a composizione limoso-sabbiosa di spessore ridotto. L'insieme di questi depositi costituisce un unico acquifero indicato in carta come Complesso Idrogeologico dei depositi alluvionali (Allegato 18), a permeabilità da media ad elevata, in relazione al contenuto di materiale fine, ospitante una falda libera superficiale poggiante su di un letto imper-

meabile costituito dal substrato roccioso, ed in equilibrio con il corso d'acqua principale. La falda ha potenzialità piuttosto ridotte ed è alimentata dai corsi d'acqua e dalle acque di deflusso superficiale e di infiltrazione legate alle precipitazioni. Questa falda può essere in contatto diretto con la circolazione idrica sotterranea presente all'interno del substrato roccioso (alimentandola o viceversa, essendone alimentata), attraverso faglie o altre discontinuità di tipo tettonico che interessano le rocce che costituiscono i rilievi e la base del fondovalle.

Settore del rilievo

La descrizione riportata è riferita in particolare al versante destro della valle, ove è ubicata l'area di coltivazione, e solo marginalmente alle aree del versante opposto (non oggetto di studio), di cui sono state analizzate le zone prossime al fondovalle. Il rilievo montuoso è costituito dalle *Quarziti di Ponte di Nava* (comprendenti livelli pelitici da decimetrici a metrici delle *Peliti di case Valmarenca*), dalle *Dolomie di San Pietro dei Monti* e dagli *Scisti di Gorra* ricoperti in maniera discontinua da terreni detritico-colluviali ed eluviali, con spessori generalmente estremamente ridotti.

Nonostante il rilievo sia costituito da rocce a composizione differente è possibile considerare le diverse unità come facenti parte di un unico substrato roccioso caratterizzato da una permeabilità primaria da molto bassa a bassa, in funzione delle variazioni composizionali locali dei diversi litotipi (dolomie, scisti, peliti e quarziti). La circolazione idrica sotterranea del rilievo è improntata dalla permeabilità secondaria dell'ammasso, connessa al grado di fratturazione ed alla presenza di discontinuità tettoniche caratterizzate da elevati spessori e persistenza. Queste svolgono il ruolo di infiltrazione e circolazione idrica preferenziale, conferendo a scala del rilievo permeabilità rilevanti anche a litologie di per sé caratterizzate da valori primari molto ridotti. Le zone di infiltrazione più importanti sono rappresentate pertanto dalle faglie e dalle zone di taglio fragile che interessano l'ammasso, con particolare attenzione alle discontinuità osservate lungo i gradoni della cava ed ai contatti tettonici che delimitano le diverse unità, riattivati in regime fragile. La mancanza di corsi d'acqua perenni sul rilievo, è riferibile alla presenza di discontinuità tettoniche ed eventualmente ad inghiottitoi e forme di sprofondamento relative alle rocce carbonatiche.

Nonostante il rilievo possa essere considerato complessivamente omogeneo per quanto concerne la circolazione idrica sotterranea, i litotipi affioranti sono stati suddivisi in *serie idrogeologiche* intendendo con questo termine un insieme di *complessi idrogeologici* (CIVITA, 1973), evidenziando le differenze di permeabilità relative tra i diversi termini del substrato e delle coperture.

Per il settore in esame sono stati individuati 3 complessi idrogeologici riferibili al substrato roccioso ed uno comprendente i depositi alluvionali.

- Complesso dei *depositi alluvionali*.
- Complesso delle *Dolomie di San Pietro dei Monti*.
- Complesso degli *Scisti di Gorra*.
- Complesso delle *Quarziti di Ponte di Nava*.

4.1.1 Complesso dei depositi alluvionali

- Descrizione litologica

  Depositi a granulometria grossolana prevalente (blocchi, ciottoli e ghiaie con sabbia), con aumento della percentuale di sabbia e limo nelle porzioni terrazzate, ove si sviluppa una copertura limoso-sabbiosa di spessore ridotto.

- Descrizione idrogeologica

  Complesso idrogeologico a permeabilità da alta a media (orizzonte superficiale a granulometria limoso-sabbiosa).

  Costituisce un acquifero di modesto spessore (pochi metri) che ospita la falda libera superficiale in connessione idraulica con l'alveo del T. Viazza.

4.1.2 Complesso delle Dolomie di San Pietro

- Descrizione litologica

  Dolomie, dolomie calcaree ed alternanze di calcari dolomitici grigio chiaro e scuro, disposti secondo strati di potenza da decimetrica a pluridecimetrica difficilmente individuabili, con locali intercalazioni di brecce intraformazionali autoclastiche.

La roccia si presenta generalmente compatta nonostante presenti un grado di fratturazione da medio a localmente elevato.

- Descrizione idrogeologica

  Complesso idrogeologico a permeabilità bassa e discontinua per fratturazione, con possibilità di un modesto carsismo indotto ed impostato lungo le principali discontinuità.

4.1.3 Complesso degli Scisti di Gorra

- Descrizione litologica

  Scisti filladici nerastri, scisti quarzo-sericitici, micascisti minuti di colore variabile da grigio a verdastro e marrone, da estremamente scistosi a localmente compatti. Costituiscono delle scaglie tettoniche all'interno della successione dei termini appartenenti alle coperture mesozoiche.

- Descrizione idrogeologica

  Complesso idrogeologico a permeabilità da molto bassa a bassa per fratturazione, con rare e locali circolazioni impostate lungo le principali discontinuità.

4.1.4 Complesso delle Quarziti di Ponte di Nava

- Descrizione litologica

  Quarziti relativamente omogenee massicce, a grana da fine a grossolana, con locali arricchimenti in clorite, miche bianche o sericite tali da portare a *facies* eminentemente quarzoscistiche (livelli pelitici da centimetrici a decimetrici). Nella porzione sommitale l'unità è caratterizzata da alternanze di livelli quarzitici e di peliti verdi e violacee, fortemente scistose, a composizione muscovitico-sericitico-cloritica (Peliti di Case Valmarenca).

- Descrizione idrogeologica

  Complesso idrogeologico a permeabilità da molto bassa a bassa per fratturazione, con rare e locali circolazioni impostate lungo le principali discontinuità.

4.2 Circolazione idrica profonda

Da quanto sopra esposto la circolazione idrica in profondità, può essere legata a fratture o può marginalmente interessare alcuni livelli interessati da dissoluzione.

Per quanto concerne l'alimentazione delle possibili falde contenute nel substrato, si possono distinguere alcune situazioni tipo:

- l'infiltrazione diretta di acqua meteorica: nel caso di aree poste a quote elevate la presenza di nevai può garantire un'alimentazione costante nel periodo di disgelo; nel caso di aree poste a quote basse il contributo delle precipitazioni sarà molto più irregolare.
- L'infiltrazione di corsi d'acqua minori con regime irregolare; in tal caso l'alimentazione avrà carattere di scarsa costanza e forte irregolarità.

Il censimento delle risorse idriche, condotto sulla base dei dati bibliografici disponibili e dai sopraluoghi esperiti, non ha posto in evidenza la presenza di sorgenti ed opere di captazione, anche ad uso potabile, nell'ambito dell'area di cava.

L'unica opera di captazione censita (Allegato 18) si colloca in sinistra idrografica del T. Viazza, in località il Fontanazzo, in un contesto caratterizzato da un passaggio tra acquiferi pseudocarsici e scistosi poco permeabili (sorgenti di contatto).

Lo scorrimento idrico superficiale, sia incanalato in alveo che libero lungo i versanti, assume un'importanza rilevante in occasione di precipitazioni intense e prolungate, nonostante il reticolo idrico secondario assuma uno sviluppo piuttosto limitato. Per limitata estensione dei bacini e le basse permeabilità dei terreni affioranti la risposta dello scorrimento superficiale agli apporti meteorici è rapida, con tempi di corrivazione molto ridotti ed elevati contributi specifici delle aree drenate. Deflussi idrici rilevanti - dell'ordine dei m^3/s ÷ decine di m^3/s - possono riversarsi lungo le aste dei rii o nelle depressioni relative alle forme di sprofondamento presenti sul versante. L'esistenza di sistemi di fratture consente una connessione idraulica diretta tra le acque di superficie e la circolazione sotterranea. Tramite queste zone di rapida infiltrazione lo scorrimento idrico superficiale può alimentare con estrema rapidità la falda di base.

5 VERIFICA DI STABILTA' DEI FRONTI DI SCAVO IN ROCCIA

5.1 Premessa

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso è stata realizzata attraverso il rilevamento delle principali discontinuità, in accordo con le raccomandazioni ISRM (1993), lungo:

- 9 stendimenti di lunghezza e direzione variabile all'interno dei calcari dolomitici, affioranti sia in corrispondenza degli attuali fronti di scavo, sia nelle immediate vicinanze dell'area in coltivazione (Allegato 16);
- 3 stendimenti di lunghezza e direzione variabile all'interno delle quarziti affioranti sia in corrispondenza degli attuali fronti di scavo, sia nelle immediate vicinanze dell'area in coltivazione (Allegato 16).

Non sono invece stati caratterizzati gli Scisti di Gorra in quanto praticamente mai affioranti (Allegato 16) e interessati solo marginalmente dal progetto in questione.

In totale sono state rilevate 491 misure di discontinuità, 379 nei calcari dolomitici e 112 nelle quarziti.

Successivamente è stata condotta l'elaborazione dei dati raccolti mediante proiezioni stereografiche equiareali su reticolo di Schmidt (emisfero inferiore) dell'orientazione spaziale delle superfici di discontinuità rilevate.

Infine è stata condotta un'analisi di stabilità mediante metodi dell'equilibrio limite, basati sull'individuazione di modelli di instabilità convenzionali (UNESCO, 1990; CRUDEN e VARNES, 1996; GOODMAN, 2003) attraverso tecniche di proiezione stereografica e successiva elaborazione mediante codici di calcolo.

5.2 Rilievi geologico strutturali

Le "Raccomandazioni ISRM (1978)" sulle metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità delle masse rocciose individuano come modalità "oggettiva" della campionatura, il rilevamento lungo uno stendimento lineare di lunghezza opportuna delle caratteristiche salienti di tutte le discontinuità individuate. Questo modo di procedere, basato sulla descrizione sistematica di ogni singola discontinuità e dei dati

ad essa pertinenti, comporta lo svantaggio operativo di richiedere tempi rilevanti ed oltre a ciò si basa sull'implicita assunzione che l'area di applicazione delle osservazioni sia di fatto una limitata fascia nell'intorno dello stendimento lineare. Risulta quindi evidente che per ottenere un'adeguata rappresentazione dell'ammasso roccioso sia indispensabile disporre di un elevato numero di "stendimenti" diversamente orientati.

La metodologia adottata per queste verifiche, si basa, invece, sulla preventiva analisi del quadro strutturale complessivo, finalizzata all'individuazione delle grandi unità geometriche, per poi procedere alla caratterizzazione dello stato di fratturazione, dei principali sistemi di discontinuità ed al riconoscimento e descrizione delle eventuali singolarità strutturali. In tal modo, viene ricavata a priori una suddivisione dell'ammasso roccioso in famiglie di sistemi di fratturazione basato su di un approccio che richiede un processo preliminare di tipo interpretativo; durante tale processo, viene effettuato il riconoscimento delle superfici misurate e, laddove sia possibile, il loro raggruppamento in un numero limitato di famiglie. Il criterio di raggruppamento delle discontinuità in famiglie è di tipo essenzialmente geometrico.

Visto il particolare tipo di approccio utilizzato, la trattazione dei dati acquisiti in campagna sarà di tipo statistico: le caratteristiche geometriche e meccaniche rilevate non saranno infatti riferite alla singola discontinuità ma ad un'intera famiglia di discontinuità.

Il numero di dati riportati nelle tabelle relative alle singole stazioni strutturali non è stato quindi pari al numero di misure effettuate, ma rappresenta invece il numero minimo di valori ritenuti necessari per definire la distribuzione dei singoli parametri che concorrono a caratterizzare il singolo sistema di discontinuità.

Nel corso della campagna di rilevamento geologico-strutturale sono stati raccolti dati tesi a caratterizzare sia l'ammasso roccioso nella sua totalità, sia i singoli sistemi di discontinuità riconosciuti.

I parametri necessari per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso nella sua totalità possono essere così riassunti:

- litologia del litotipo costituente l'ammasso roccioso;
- orientazione, estensione del fronte.

I parametri necessari per caratterizzare compiutamente i singoli sistemi di discontinuità possono essere così riassunti:

- tipologia della discontinuità (scistosità traspositiva, giunto, faglia, ecc.);
- immersione ed inclinazione delle discontinuità;
- persistenza, ovvero la lunghezza della traccia della discontinuità osservata in un affioramento misurata lungo la direzione, l'immersione o lungo una traccia generica della discontinuità, espressa in m;
- spaziatura delle discontinuità, ovvero la distanza tra discontinuità adiacenti misurata in direzione ortogonale alle discontinuità stesse, espressa in m; tale parametro controlla le dimensioni dei singoli blocchi di roccia integra: se la spaziatura è molto piccola, si avranno condizioni di bassa coesione dell'ammasso roccioso;
- apertura, ovvero la distanza tra i lembi affacciati di una discontinuità, espressa in mm;
- tipo di riempimento;
- JRC;
- tipo di terminazione, ovvero il modo in cui terminano le estremità di una discontinuità; sono state utilizzate le seguenti sigle: di = (terminazione contro un'altra discontinuità); x = (terminazione non visibile); r = (terminazione in roccia);
- resistenza delle superfici di discontinuità (prove eseguite con il martello di Schmidt modello RL), effettuando almeno due prove per ogni superficie di discontinuità;
- condizioni idriche;
- eventuale presenza di indicatori cinematici.

Successivamente è stata condotta l'elaborazione dei dati raccolti mediante proiezioni stereografiche equiareali su reticolo di Schmidt (emisfero inferiore) dell'orientazione spaziale delle superfici di discontinuità rilevate per evidenziare le orientazioni preferenziali e le dispersioni dei valori.

Attraverso la *clustering analisys* si sono poi trattati i dati fino all'individuazione dei set delle diverse discontinuità, calcolando per ogni famiglia, così definita, il centroide.

L'area in esame, come accennato in precedenza, è stata suddivisa in 2 subaree, per le quali è stata riscontrata un'omogeneità dal punto di vista geologico-strutturale:

1. **Subarea a calcari dolomitici prevalenti;**
2. **Subarea a quarziti prevalenti.**

L'elaborazione statistica dei dati, ha permesso di definire e caratterizzare le seguenti famiglie di discontinuità, distinte per ogni subarea:

5.2.1 Subarea a calcari dolomitici prevalenti

- **Famiglia di discontinuità 1 (159/74)**

  Sistema di frattura diretto prevalentemente est-nordest ovest-sudovest, inclinato di 74°, verso sud-sudest (Foto 1). Presenta superfici piane o piane-ondulate, con deboli aperture (<0,1 mm), asciutte, con assenza di riempimento. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza compresa tra 10 e 20 m con una spaziatura di circa 35 cm. A tale sistema di frattura si associano delle faglie caratterizzate da evidenti specchi con crescita di fibre (calcite) indicanti un movimento sinistro *look to* ovest. Tali faglie evidenziano superfici sovente levigate, con apertura variabile nell'ordine del centimetro e riempimento costituito da materiale limoso-argilloso. Presentano lunghezza superiore ai 20 m con una spaziatura compresa tra i 10 ÷ 30 m.

- **Famiglia di discontinuità 2 (67/79)**

  Sistema di frattura diretto prevalentemente nord-nordovest sud-sudest, inclinato di 79°, verso est-nordest (Foto 2). Presenta superfici scabre, asciutte, con deboli aperture (<0,1 mm), con assenza di riempimento. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza compresa tra 10 e 20 m, con una spaziatura compresa tra i 20 ÷ 30 cm, con porzioni ridotte aventi spaziatura di pochi cm. Associate a tale si-

stema di frattura si evidenziano alcune faglie con medesima giacitura ma con aperture variabili ma sostanzialmente < 1 cm, con lunghezza > 10 m e spaziatura variabile ma generalmente > 25 m.

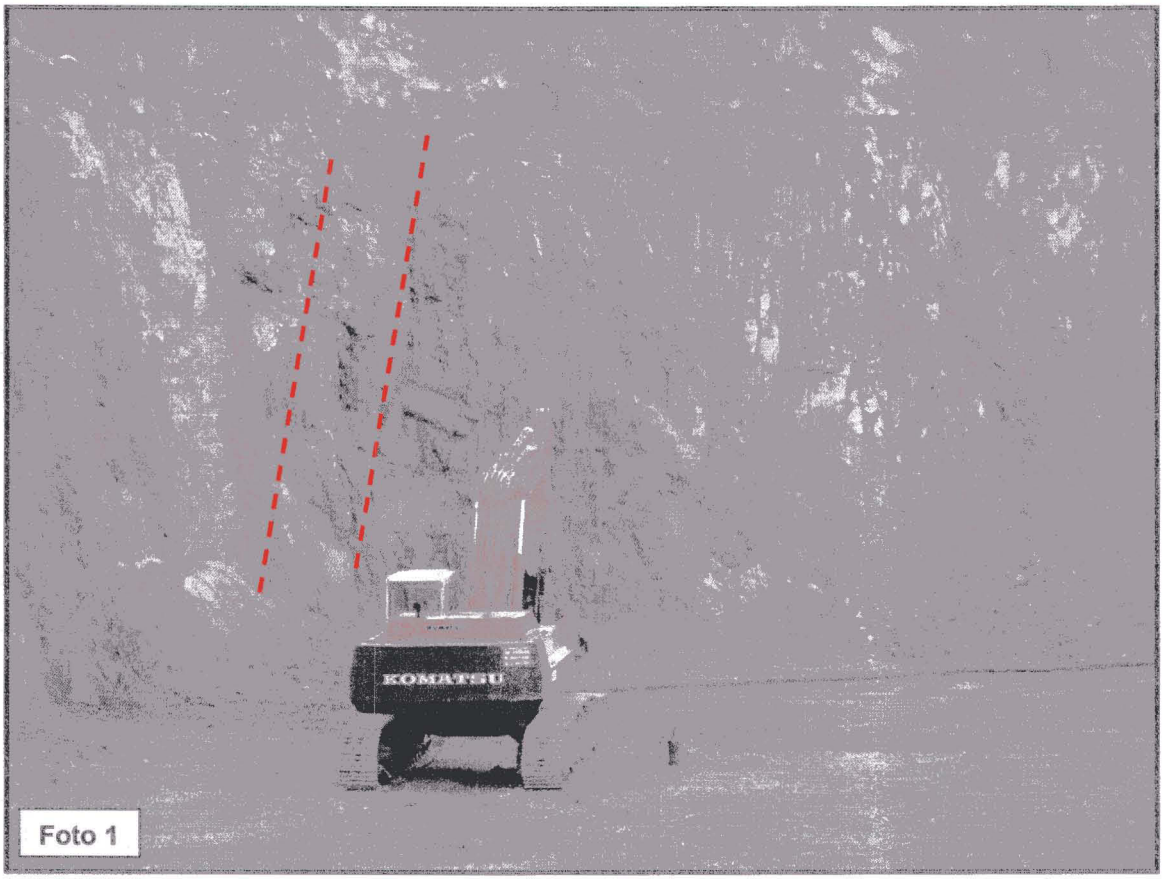


Foto 1

- **Famiglia di discontinuità 3 (327/33)**

Sistema di frattura diretto prevalentemente nord-est sud-ovest, inclinato di 33° verso nordovest (Foto 3). E' caratterizzato dalla presenza sia di giunti sia di faglie. Presenta superfici da moderatamente a fortemente persistenti, da piane-ondulate a molto scabre, con aperture sia modeste (giunti) sia ~ 1 cm (faglie) con riempimento costituito da materiale limoso-sabbioso per le faglie, assente per i giunti. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza superiore a 20 m con una spaziatura compresa tra 200 ÷ 400 cm (giunti) e 500 ÷ >1000 cm (faglie).

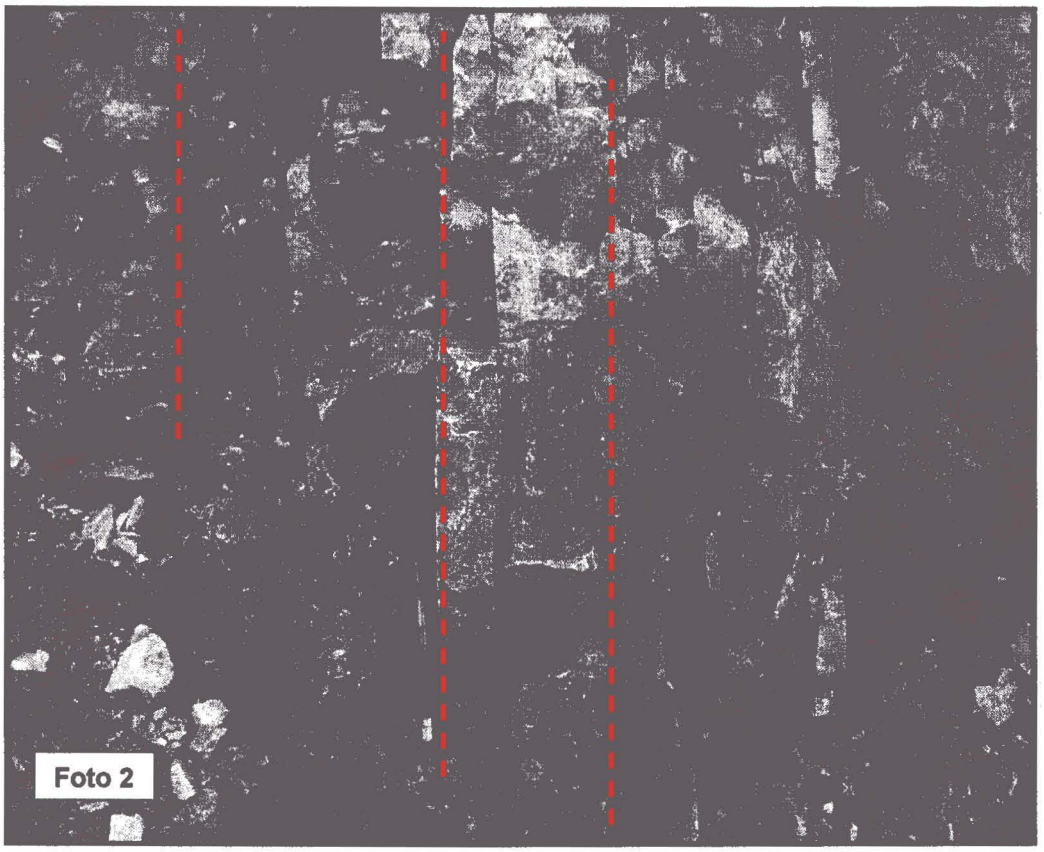


Foto 2

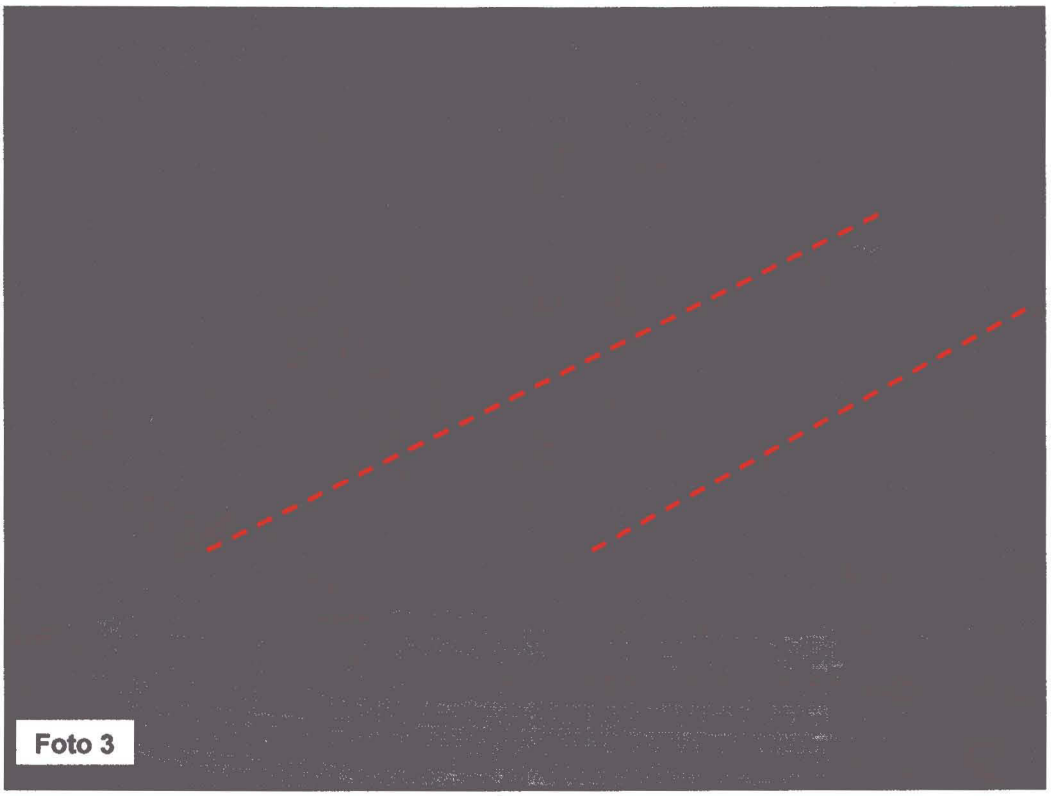


Foto 3

- **Famiglia di discontinuità 4 (254/51)**

  Sistema di frattura sub parallelo alla stratificazione (St), con direzione prevalentemente nord-nordovest sud-sudest, con inclinazione variabile ma compresa tra 35° e 65° verso ovest-sudovest (Foto 4). Presenta superfici da piane-ondulate a molto scabre, generalmente chiuse e asciutte. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza superiore a 5 m con una spaziatura compresa tra i 100 ÷ 200 cm.

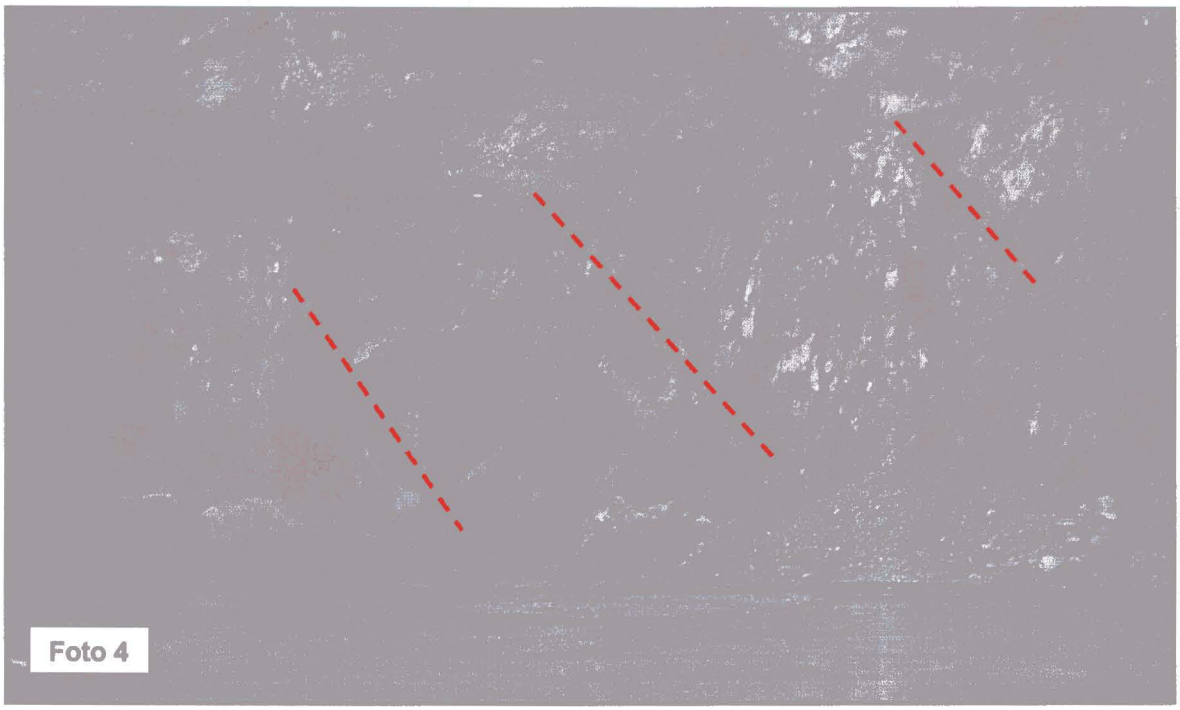


Foto 4

Sono state inoltre individuate 2 famiglie di discontinuità non associabili alle famiglie sopra esposte e definite "random".

5.2.2 *Subarea a quarziti prevalenti*

- **Famiglia di discontinuità 1 (151/83)**

  Sistema di frattura diretto prevalentemente est-nordest ovest-sudovest, inclinato di 83°, verso sud-sudest (Foto 5). Presenta superfici piane o piane-ondulate, con deboli aperture (<0,1 mm), asciutte, con assenza di riempimento. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza compresa tra 10 e 20 m con una spaziatura di circa 40 cm.

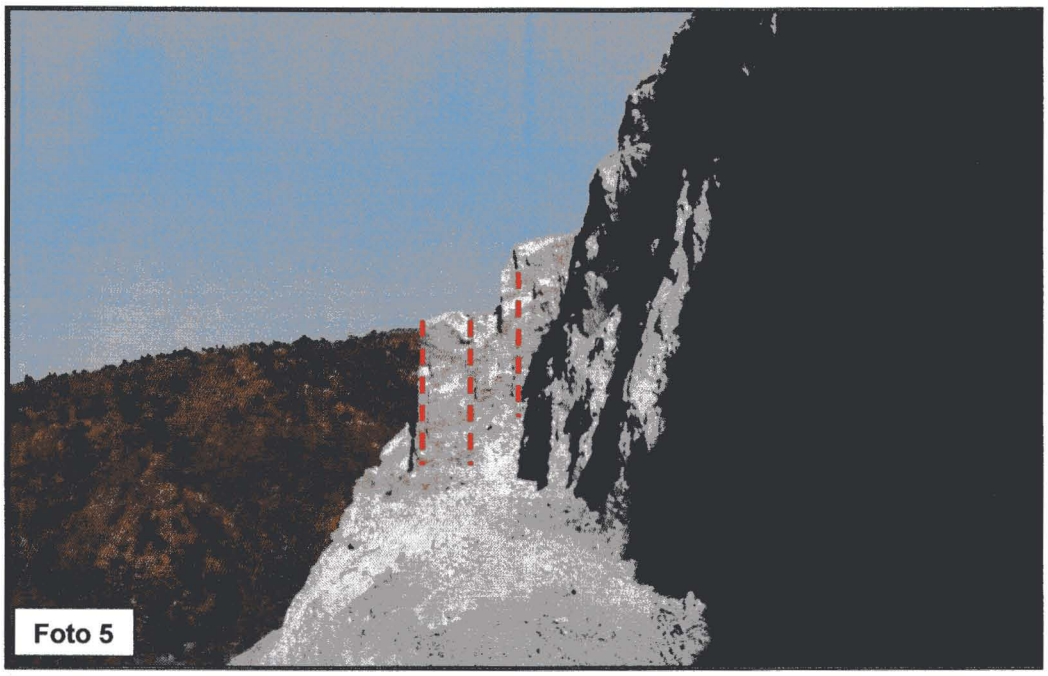


Foto 5

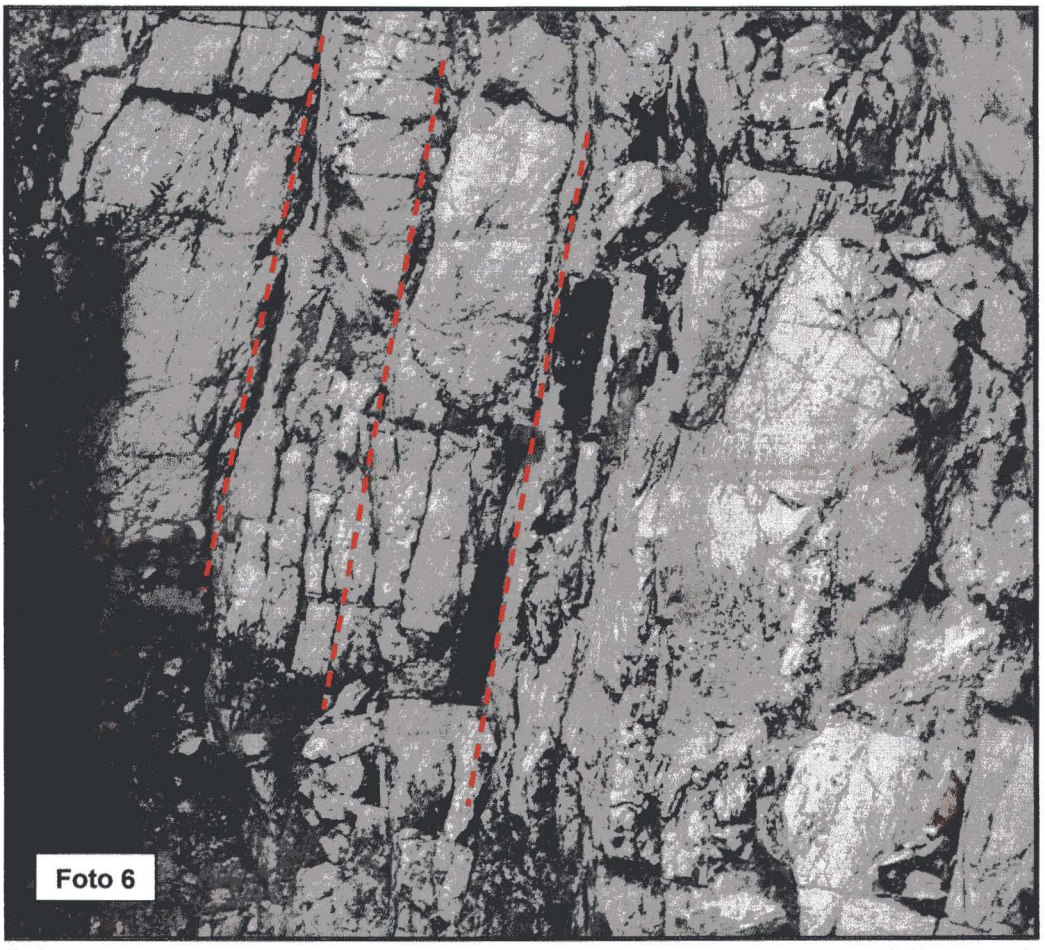


Foto 6

- **Famiglia di discontinuità 2 (71/81)**

  Sistema di frattura diretto prevalentemente nord-nordovest sud-sudest, inclinato di 81°, verso est-nordest (Foto 6). Presenta superfici scabre, asciutte, con deboli aperture (<0,1 mm), con assenza di riempimento. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza compresa tra 10 e 20 m, con una spaziatura compresa tra 20 ÷ 40 cm.

- **Famiglia di discontinuità 3 (301/29)**

  Sistema di frattura diretto prevalentemente nord-est sud-ovest, inclinato di 29° verso nordovest (Foto 7). E' caratterizzato dalla presenza sia di giunti sia di faglie. Presenta superfici moderatamente persistenti, da piane-ondulate a scabre, con aperture modeste con riempimento assente. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza superiore a 5 m con una spaziatura compresa tra 300 ÷ 700 cm.

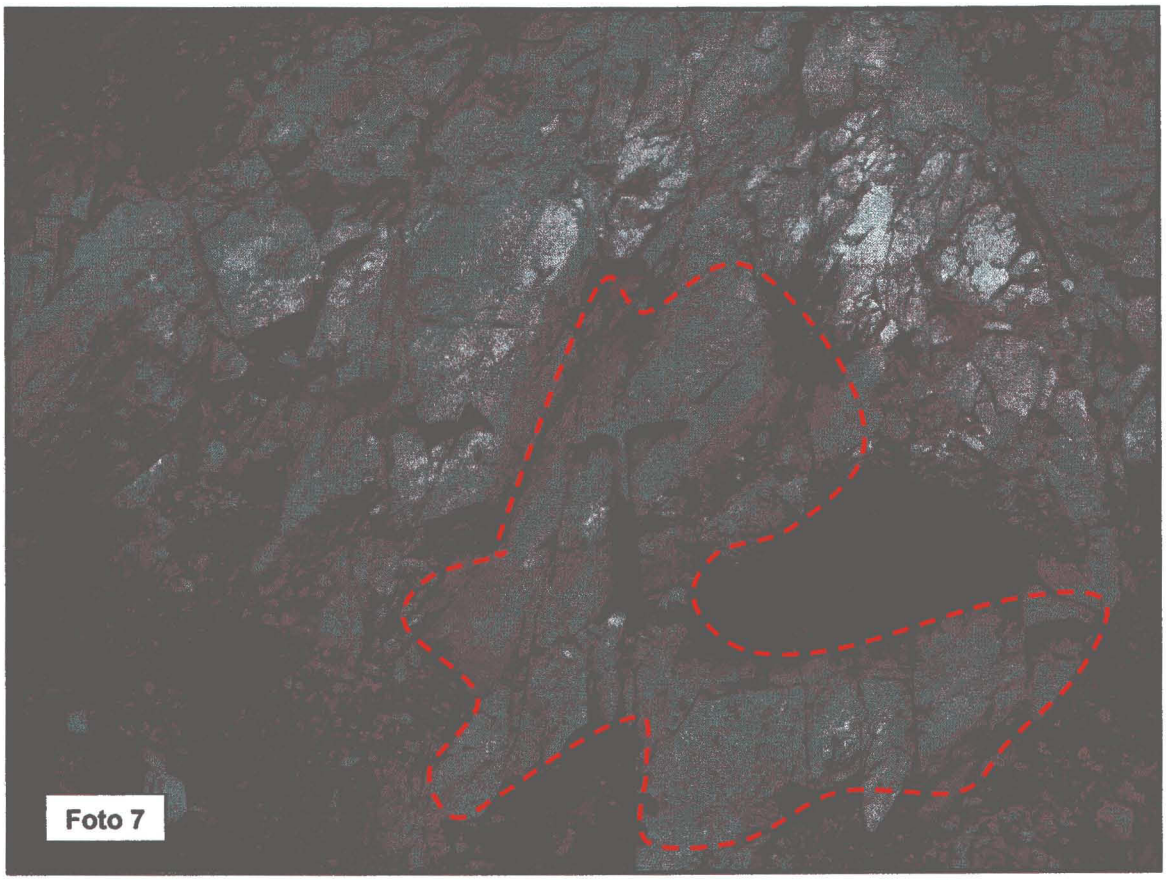


Foto 7

- **Famiglia di discontinuità 4 (243/59)**

  Sistema di frattura sub parallelo alla stratificazione (St), con direzione prevalentemente nord-nordovest sud-sudest, con inclinazione variabile ma compresa tra 40° e 70° verso ovest-sudovest (Foto 8). Presenta superfici da piane-ondulate a molto scabre, generalmente chiuse e asciutte. Le discontinuità maggiori hanno una lunghezza superiore a 5 m, con una spaziatura di norma compresa tra 100 ÷ 200 cm.

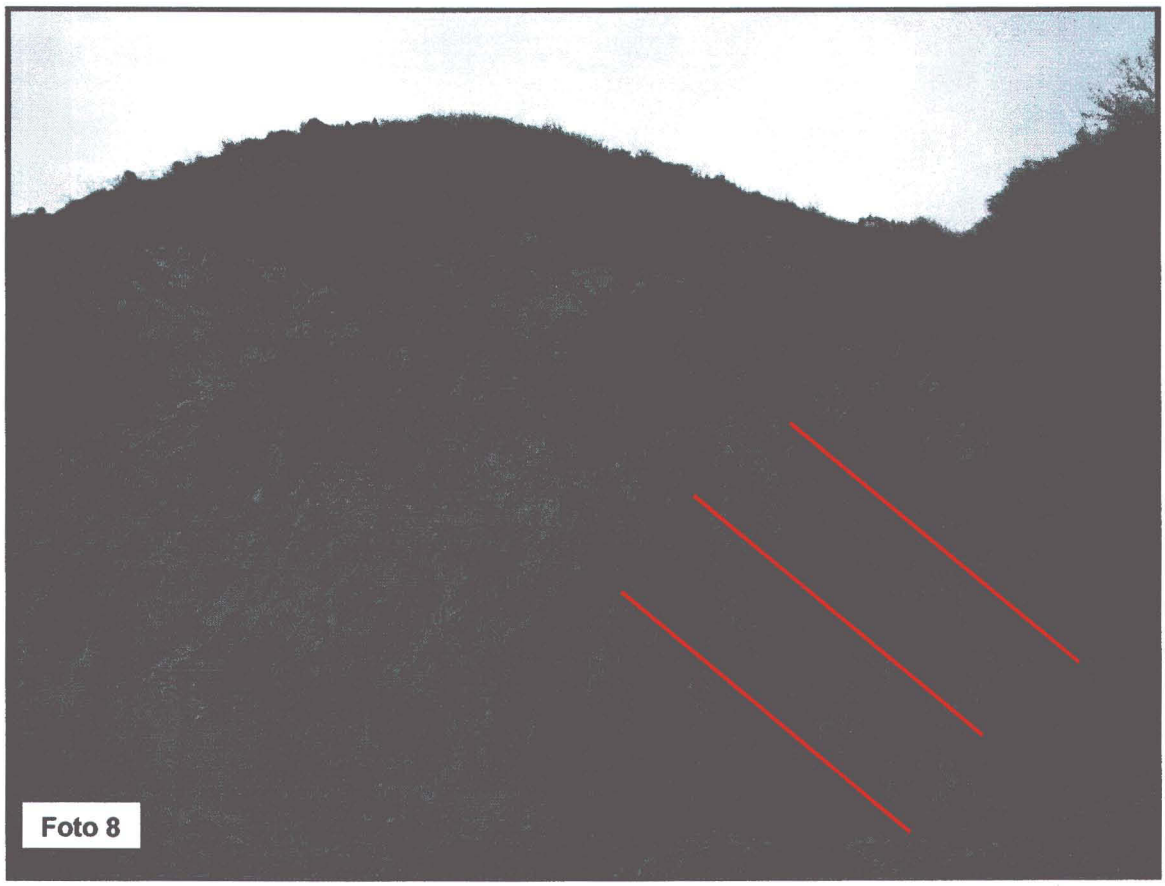


Foto 8

E' stata inoltre individuata 1 famiglia di discontinuità non associabile alle famiglie sopra esposte e definita "random".

5.3 Elaborazioni dei dati

Per l'elaborazione delle misure registrate in sito si sono eseguite delle proiezioni stereografiche.

Sul diagramma polare di Schmidt si sono riportate le giaciture delle discontinuità rilevate mediante proiezioni equiareali, sull'emisfero inferiore della sfera ideale di riferimento, per evidenziare le orientazioni preferenziali.

Attraverso la *clustering* analisi, infine, si sono trattati i dati fino all'individuazione dei set delle diverse discontinuità, come riportato in Figura 5.1, per la subarea a calcari dolomitici prevalenti e in Figura 5.2 per la subarea a quarziti prevalenti, calcolando per ogni famiglia così definita il centroide.

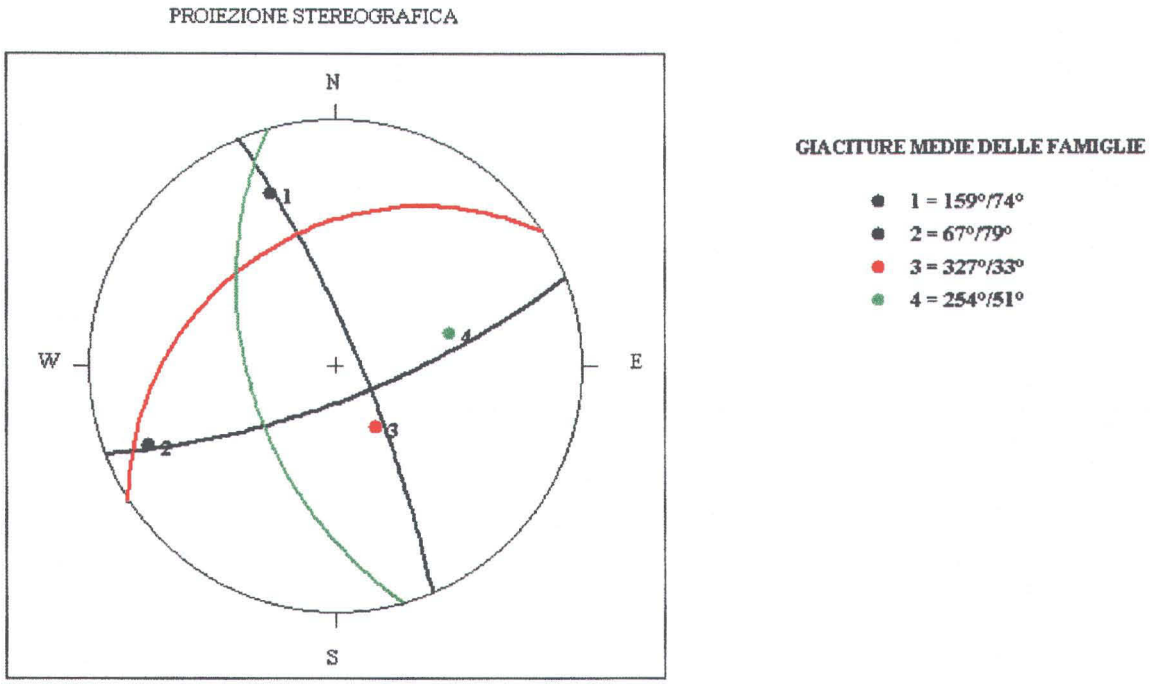


Fig. 5.1 - Proiezione stereografica della giacitura media delle famiglie di discontinuità rilevate all'interno della subarea a calcari dolomitici prevalenti.

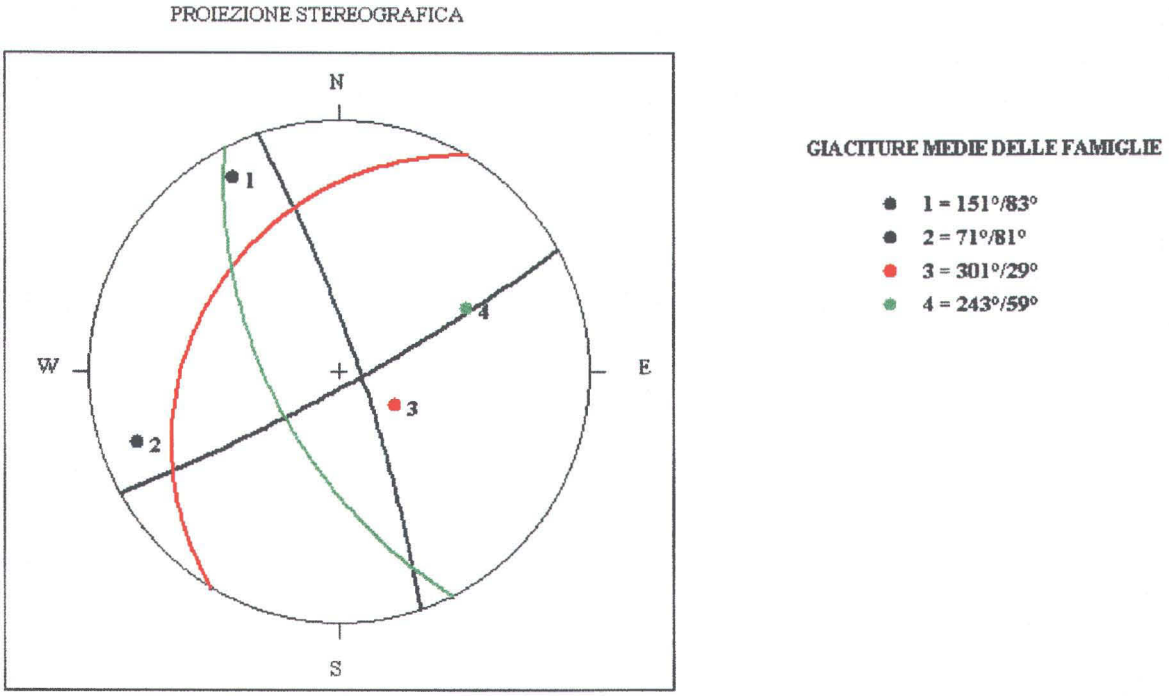


Fig. 5.2 - Proiezione stereografica della giacitura media delle famiglie di discontinuità rilevate all'interno della subarea a quarziti prevalenti.

Si rimanda all'Appendice A per una descrizione completa delle diverse discontinuità rilevate, ricordando che, per semplicità, nelle figure seguenti e nei tabulati di calcolo allegati si utilizzerà indistintamente il termine "*famiglia n*" e/o "*sistema n*" con "*n*" indicante il numero di famiglia e/o sistema di discontinuità corrispondente.

5.4 Test di Matheson

A partire dalle metodologie proposte da HOEK e BRAY (1981) e modificate da GOODMAN (1981), MATHESON (1983) ha proposto un metodo di valutazione, successivamente ripreso da HUDSON e HARRISON (1994) che consente di riconoscere rapidamente mediante la proiezione stereografica le possibili direzioni di movimento e le condizioni per cui esso si può verificare.

Tale metodo non deve essere inteso come una verifica della stabilità degli ammassi rocciosi, ma semplicemente come un approccio iniziale che stima la possibilità che si verifichi un fenomeno di rottura, definendo il cinematismo di distacco del blocco dalla parete rocciosa.

Semplificando si può avere:

Scivolamento planare

- Si deve avere parallelismo tra direzione di movimento e pendio entro ± 20°.
- L'inclinazione del piano deve essere minore dell'inclinazione del pendio.
- L'inclinazione del piano deve essere superiore all'angolo d'attrito del piano.

Scivolamento a cuneo

- L'inclinazione della retta di intersezione dei piani deve essere superiore all'angolo d'attrito.
- La retta di intersezione deve affiorare sul versante.

Ribaltamento di blocchi

- Si deve avere la presenza di due sistemi di discontinuità che immergono all'interno del versante e che formano i lati dei blocchi instabili.
- Si deve avere la presenza di un sistema di discontinuità che immerge verso l'esterno del versante e che costituisce la base dei blocchi instabili.

Tale metodologia, permette appunto di identificare le "discontinuità critiche", cioè le discontinuità che rappresentano potenziali piani di scivolamento, separandole da quelle che non influiscono direttamente sulla stabilità del pendio.

Nel caso in esame è stata effettuata una verifica sia per la superficie di inviluppo dei fronti, sia per le alzate dei singoli gradoni.

Le caratteristiche geometriche dei fronti, nella configurazione finale del progetto di coltivazione (Elaborato 13), sono di seguito schematizzate:

Fronte	Orientazione (°)	Inclinazione (°)	Altezza (m)	Litologia
Fronte 40	40	52	155	Dolomie
Gradone 40	40	73	15	Dolomie
Fronte 355	355	52	170	Dolomie
Gradone 355	355	73	15	Dolomie
Fronte 325	325	52	155	Dolomie
Gradone 325	325	73	15	Dolomie
Fronte 315	315	56	75	Quarzite
Gradone 315	315	79	15	Quarzite

Per rappresentare la giacitura media dei sistemi di discontinuità sono stati utilizzati i valori centrali della distribuzione delle misure che definiscono i massimi evidenziati nell'Appendice A e nel paragrafo precedente.

Di seguito si riportano le proiezioni stereografiche (proiezioni equiareali – emisfero inferiore) relative ai fronti e gradoni sopra menzionati, con evidenziati:

- i "grandi cerchi" rappresentanti l'orientazione delle discontinuità/famiglie rilevate;
- il "grande cerchio" rappresentante la direzione del pendio[2];
- il cerchio di attrito di base.

[2] Nelle figure seguenti F rappresenta la direzione e l'inclinazione del fronte rilevato, mentre Fs rappresenta la direzione e l'inclinazione del piede del gradone immediatamente soprastante.

5.4.1 FRONTE 40

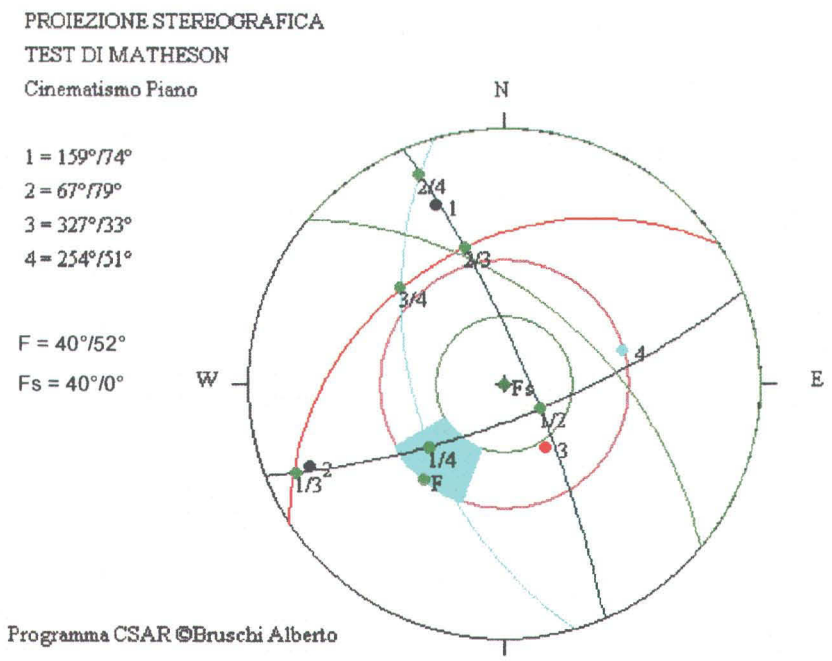


Fig. 5.3 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

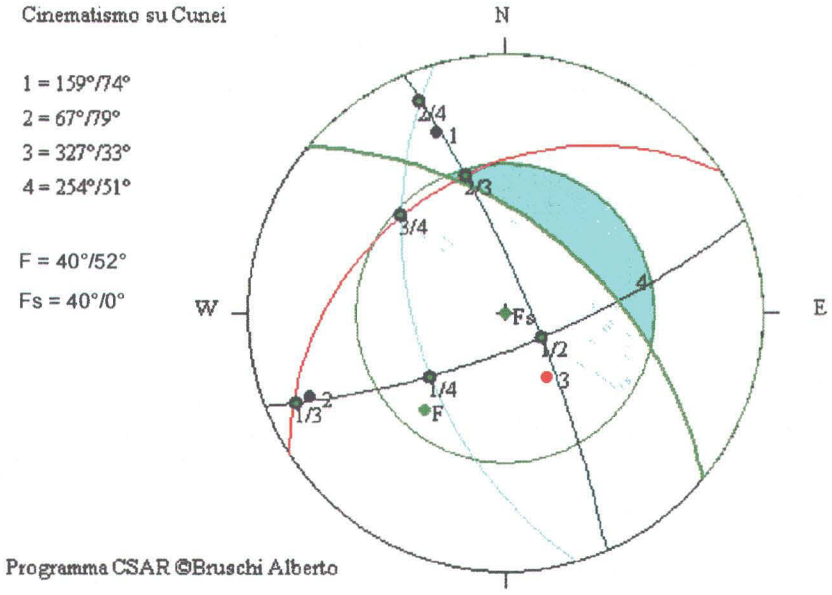


Fig. 5.4 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

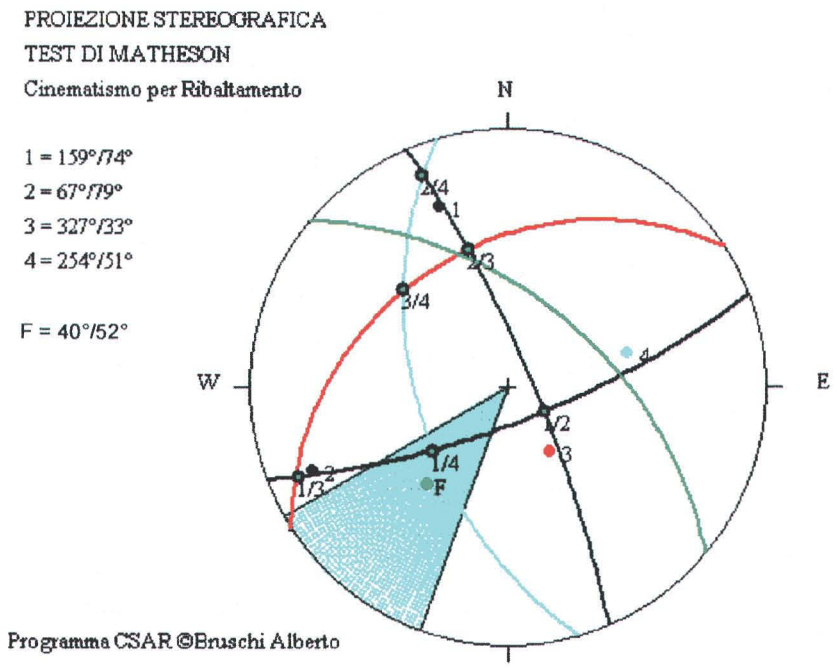


Fig. 5.5 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esiste 1 possibile cinematismo:

- 1 Cinematismo sul cuneo 2/3.

5.4.2 GRADONE 40

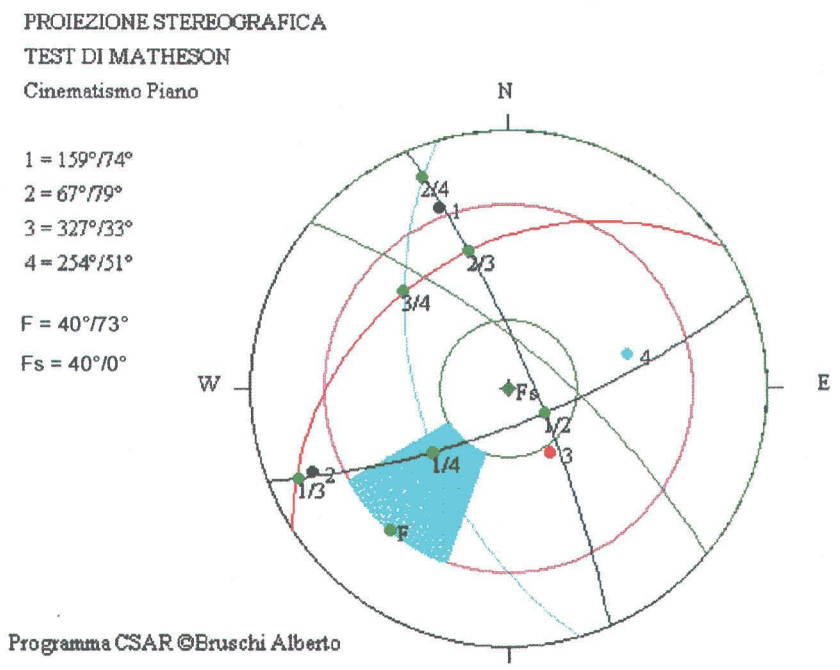


Fig. 5.6 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

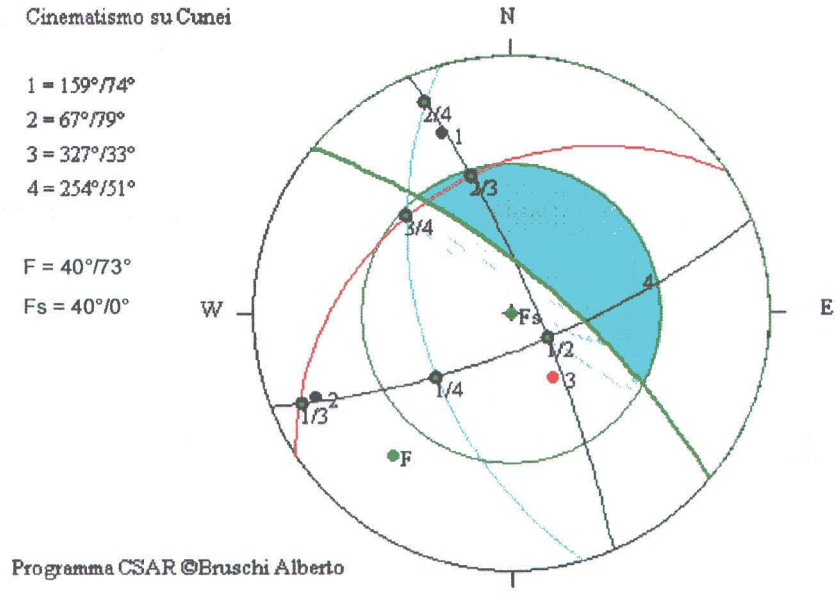


Fig. 5.7 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

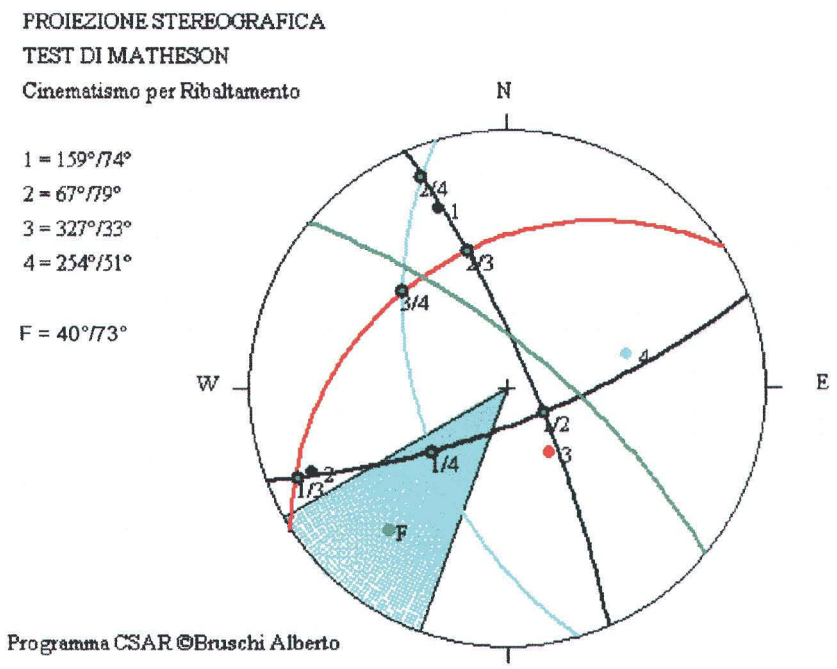


Fig. 5.8 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esiste 1 possibile cinematismo:

- 1 Cinematismo sul cuneo 2/3.

5.4.3 *FRONTE 355*

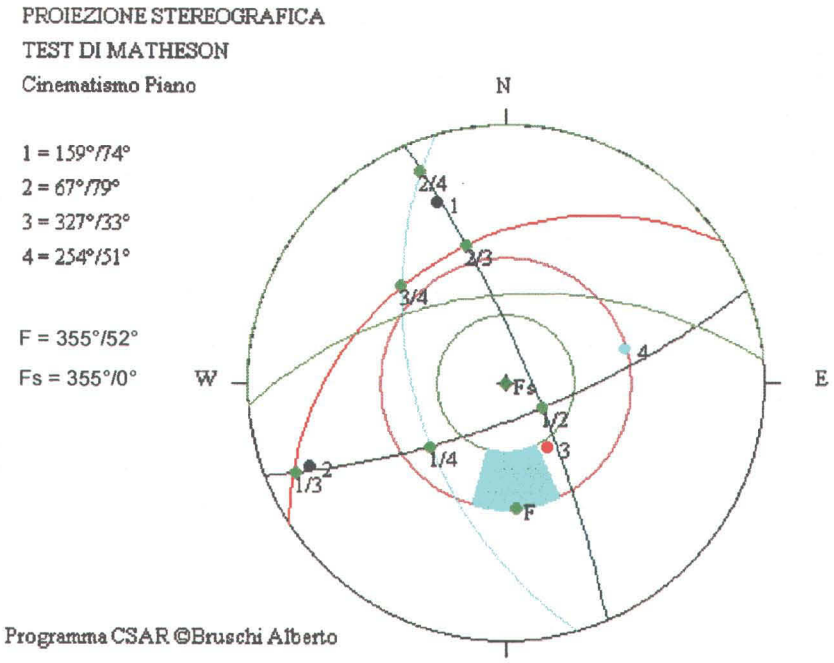


Fig. 5.9 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

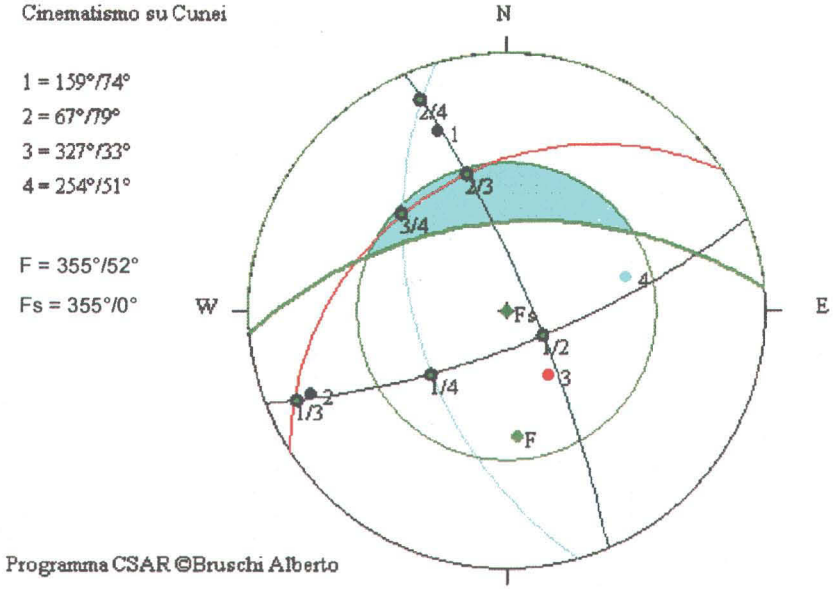


Fig. 5.10 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

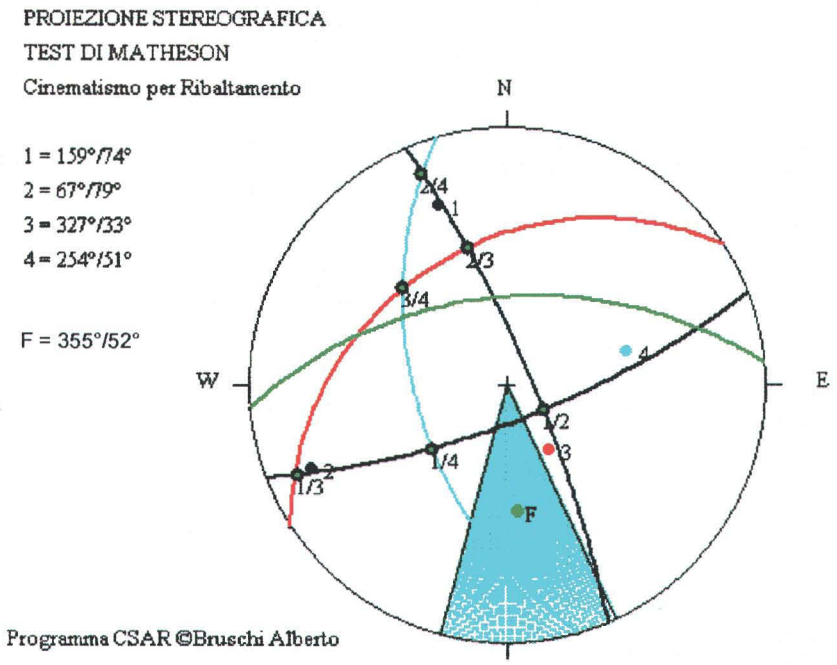


Fig. 5.11 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esistono 2 possibili cinematismi:

- 2 Cinematismi sui cunei 2/3 e 3/4.

5.4.4 GRADONE 355

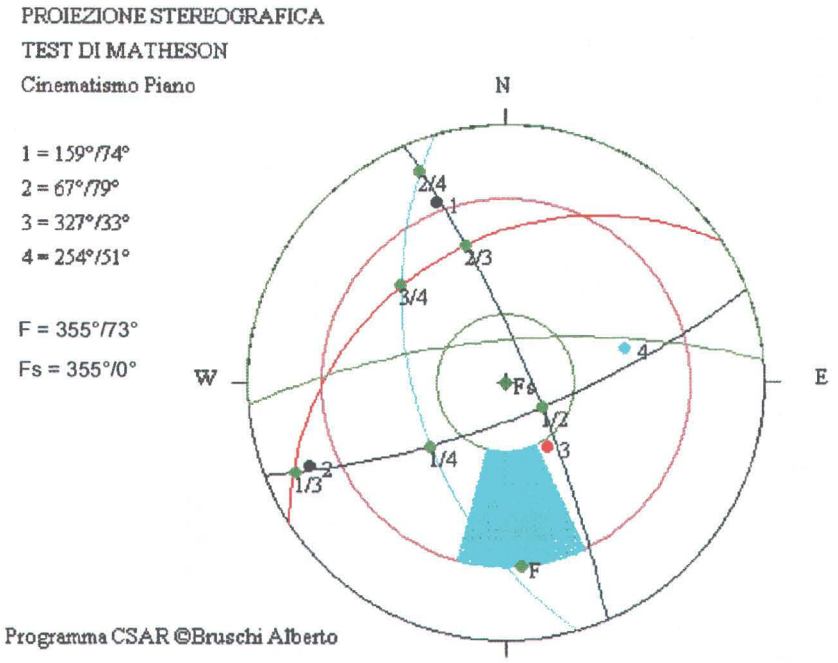


Fig. 5.12 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

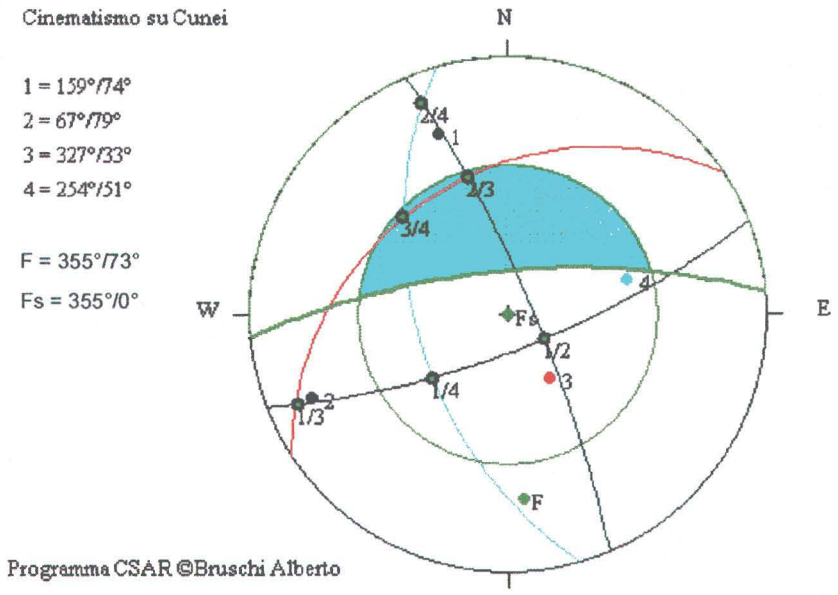


Fig. 5.13 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

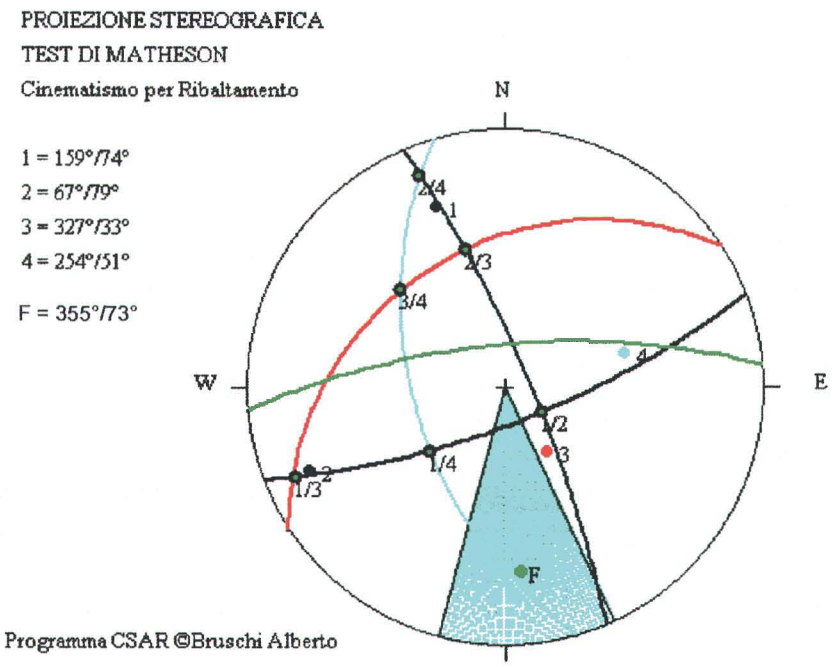


Fig. 5.14 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esistono 2 possibili cinematismi:

- 2 Cinematismi sui cunei 2/3 e 3/4.

5.4.5 FRONTE 325

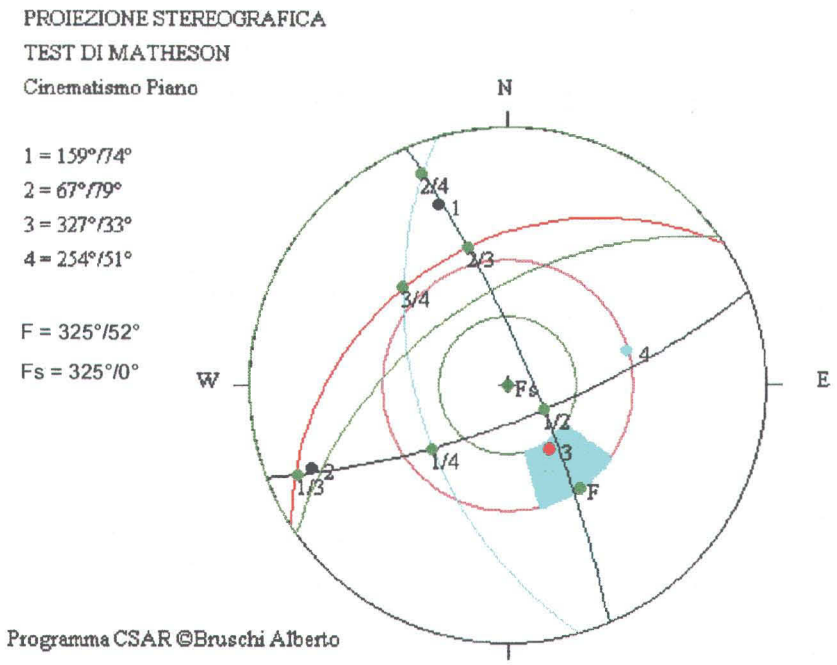


Fig. 5.15 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

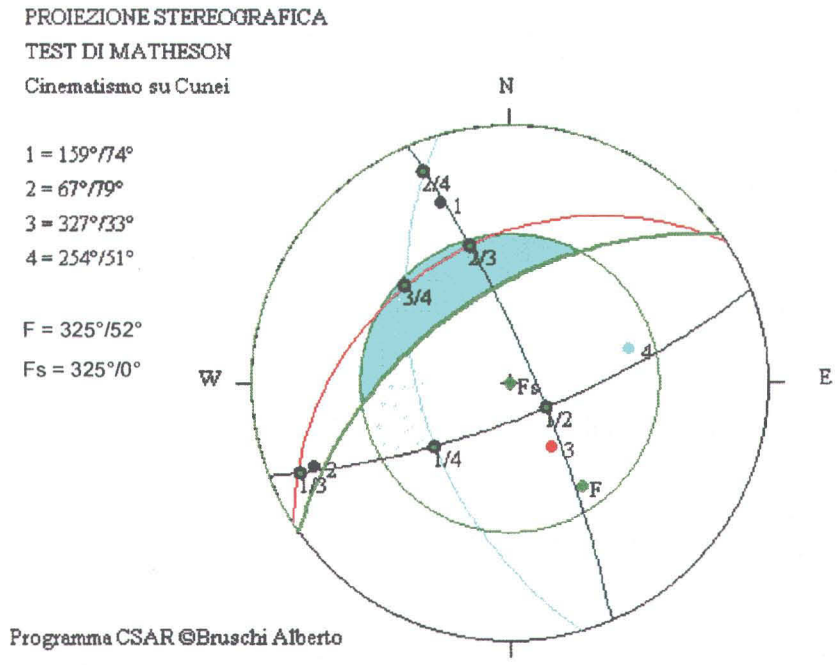


Fig. 5.16 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

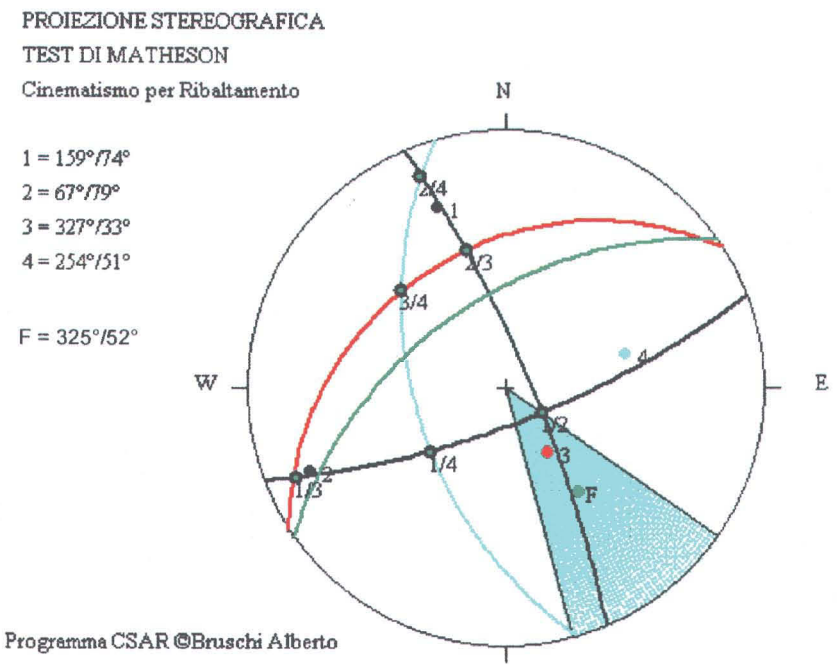


Fig. 5.17 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esistono 4 possibili cinematismi:

- 1 Cinematismo per scivolamento sul piano 3;
- 2 Cinematismi sui cunei 2/3 e 3/4;
- 1 Cinematismo per ribaltamento sul piano 3.

5.4.6 GRADONE 325

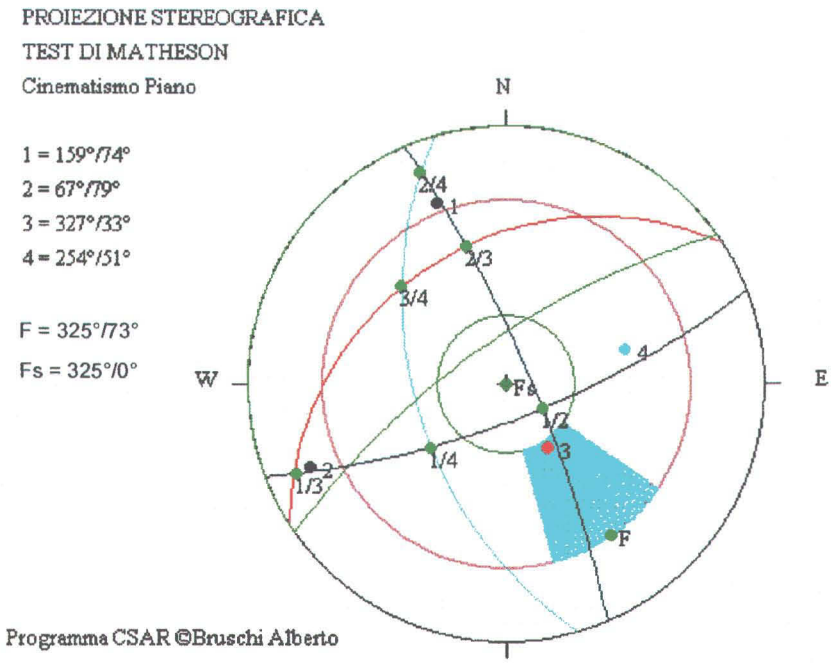


Fig. 5.18 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

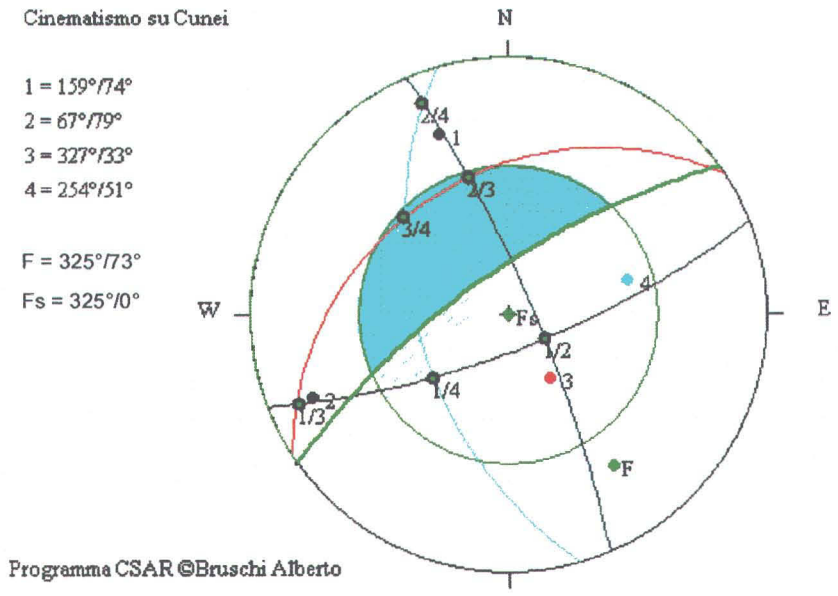


Fig. 5.19 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

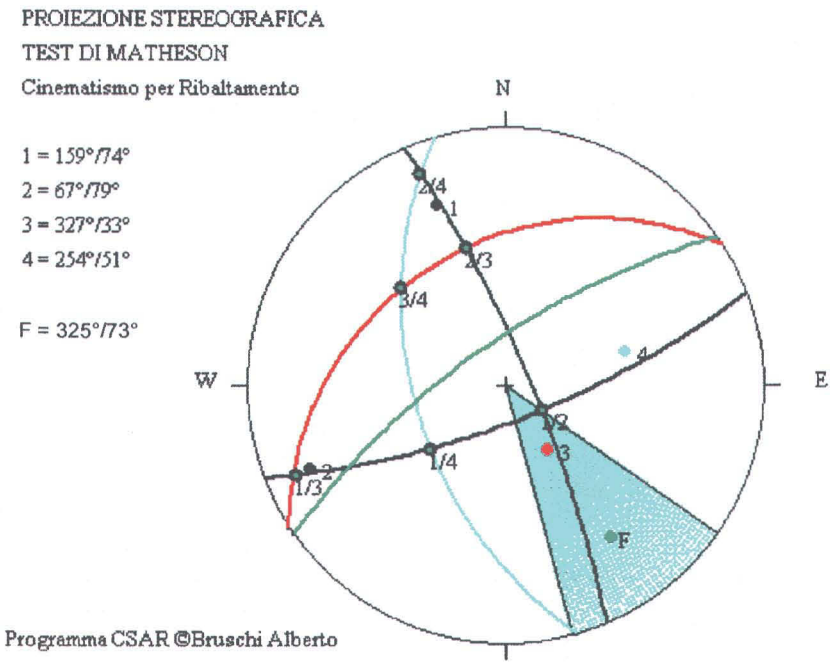


Fig. 5.20 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esistono 4 possibili cinematismi:

- 1 Cinematismo per scivolamento sul piano 3;
- 2 Cinematismi sui cunei 2/3 e 3/4;
- 1 Cinematismo per ribaltamento sul piano 3.

5.4.7 FRONTE 315

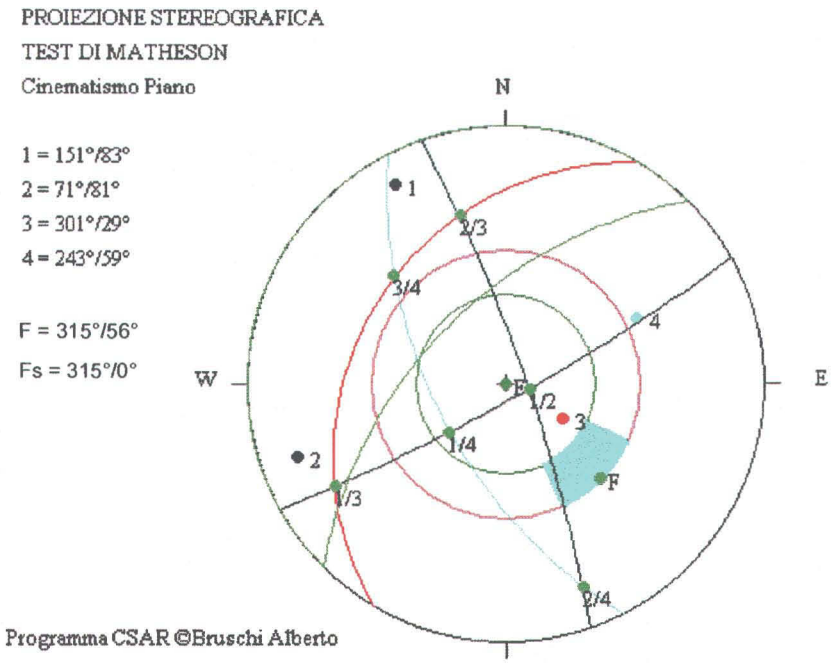


Fig. 5.21 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

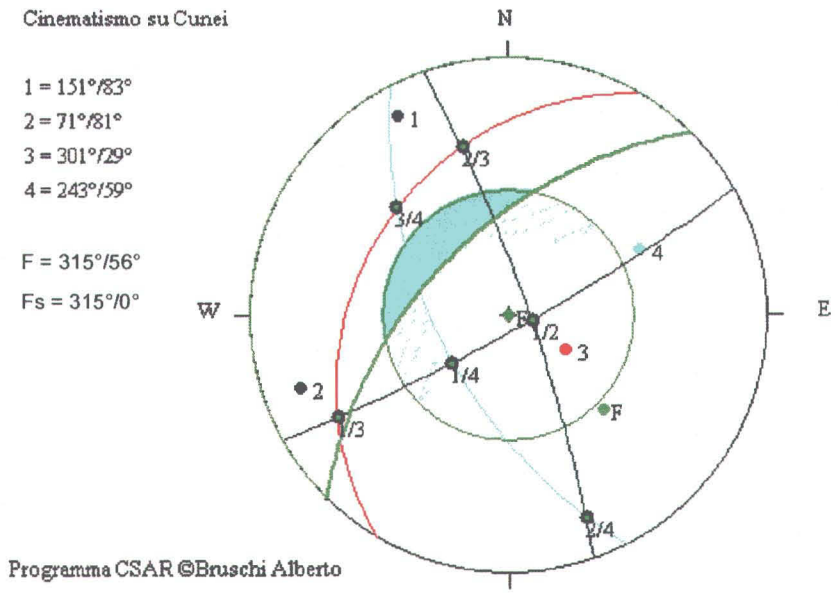


Fig. 5.22 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

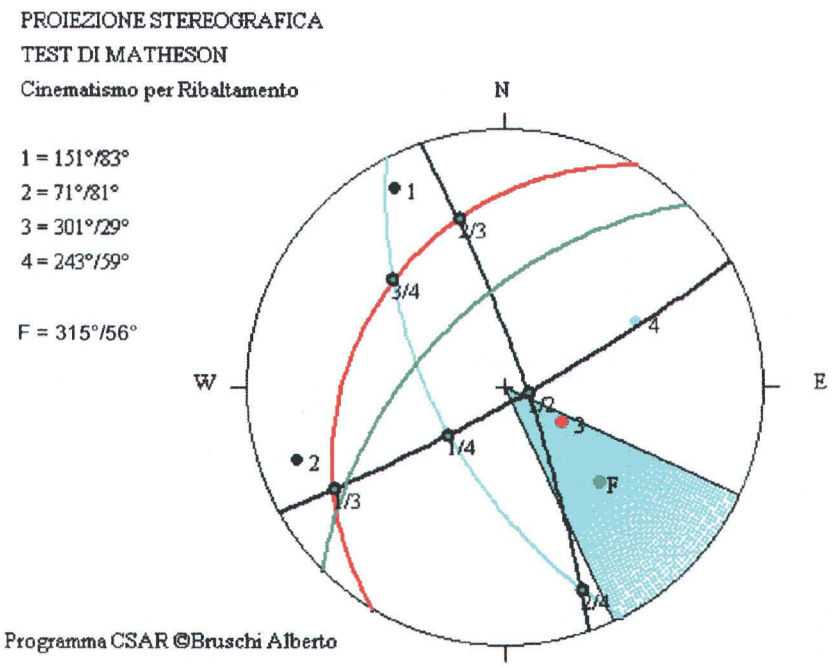


Fig. 5.23 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esiste 1 possibile cinematismo:

- 1 Cinematismo per ribaltamento sul piano 3.

5.4.8 GRADONE 315

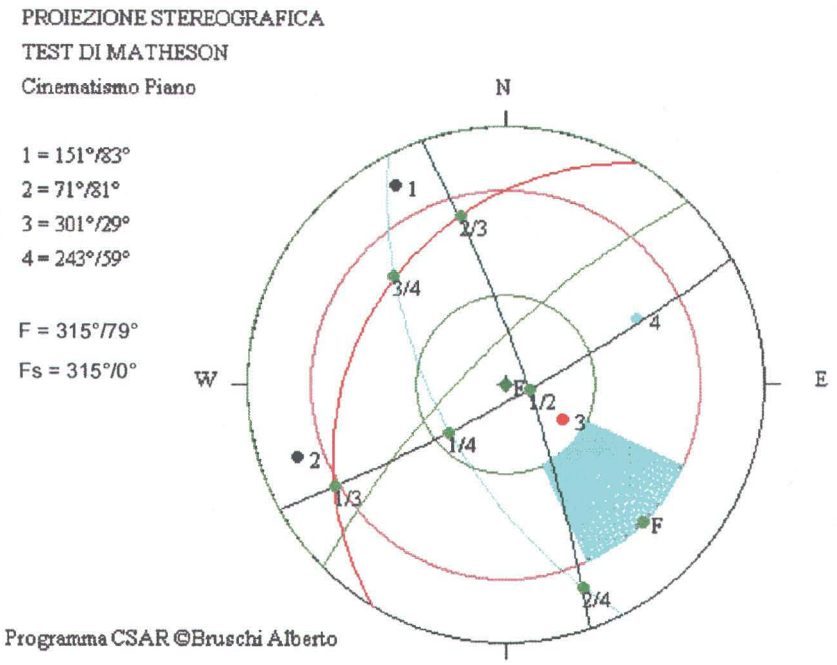


Fig. 5.24 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo Piano.

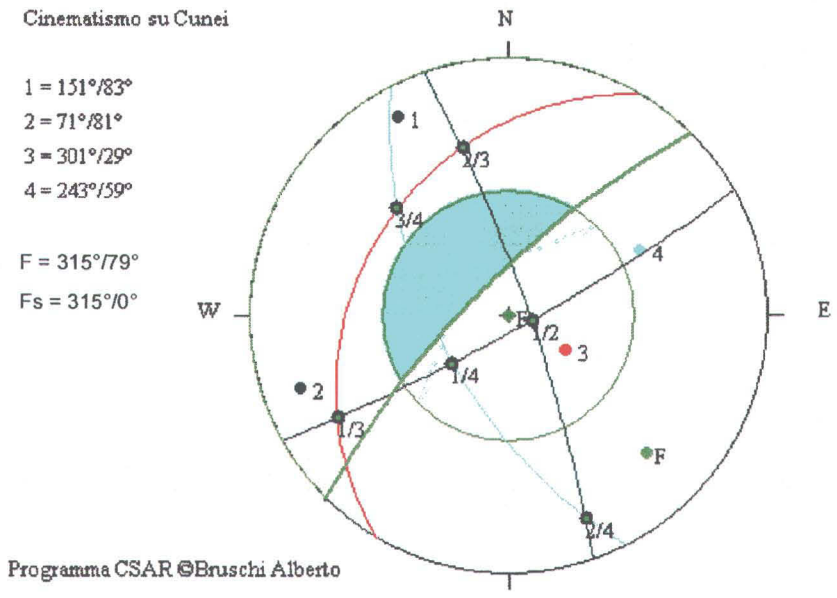


Fig. 5.25 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo su Cunei.

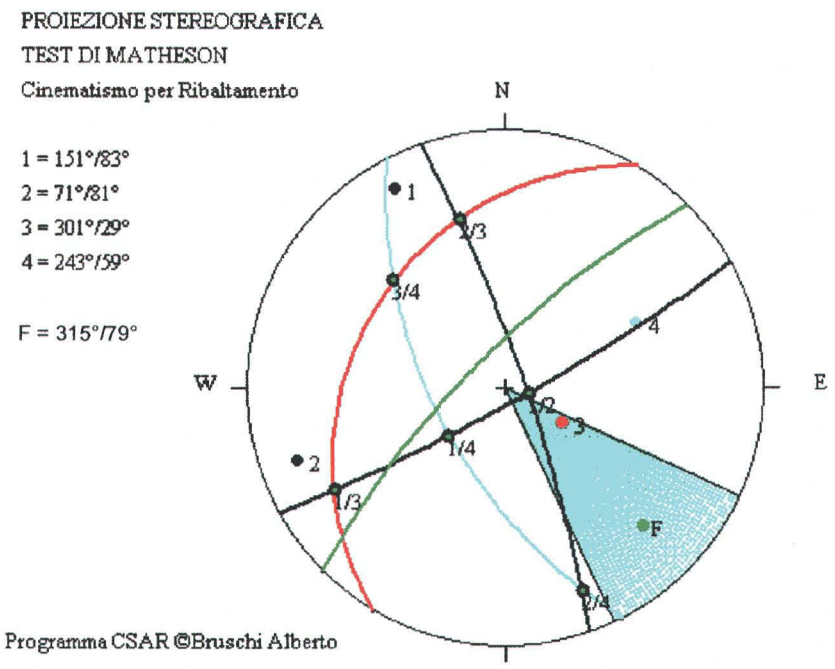


Fig. 5.26 - Proiezioni stereografica della giacitura media dei sistemi di discontinuità rilevati. Test di Matheson - Cinematismo per ribaltamento.

Esiste 1 possibile cinematismo:

- 1 Cinematismo per ribaltamento sul piano 3.

5.5 Metodo di calcolo dei parametri geomeccanici delle discontinuità

Per descrivere il comportamento meccanico a taglio delle discontinuità viene assunto il criterio di resistenza non-lineare di *BARTON-BANDIS* (1982, 1993) o *modello JRC*, definito analiticamente tramite la nota correlazione (Appendice B):

$$\varphi = \sigma_n \cdot \tan\left[JRC_n \cdot \log_{10}\left(\frac{JCS_n}{\sigma_n}\right) + \varphi_b + i_u \right]$$

dove:

σ_n Tensione normale media agente sulla discontinuità;

JRC_n *Joint Roughness Coefficient* (coefficiente di scabrezza);

JCS_n *Joint Compressive Strenght* (coefficiente di resistenza a compressione delle pareti);

ϕ_b angolo di attrito di base;

i_u angolo di ondulazione della discontinuità, valutato alla scala del sito.

Dalla precedente equazione si evince che il *modello JRC* correla la resistenza al taglio a differenti fattori:

- scabrezza delle pareti;
- resistenza a compressione delle pareti;
- angolo di attrito di base;
- ondulazione delle pareti su vasta scala.

I parametri che intervengono nell'equazione del *modello JRC* vengono definiti sulla base dell'elaborazione dei dati di rilievo.

I termini JRC_n e JCS_n si riferiscono, rispettivamente, al coefficiente di scabrezza e al coefficiente di resistenza a compressione delle pareti, valutati alla scala del sito. Essi sono determinati in base alle seguenti espressioni:

$$JRC_n = JRC_o \cdot \left(\frac{L_n}{L_o}\right)^{-0.02JRC_o}$$

$$JCS_n = JCS_o \cdot \left(\frac{L_n}{L_o}\right)^{-0.03JRC_o}$$

dove:

JRC_n coefficiente di scabrezza a grande scala;

JCS_n coefficiente di resistenza a compressione delle pareti a grande scala;

JRC_0 coefficiente di scabrezza a piccola scala;

JCS_0 coefficiente di resistenza a compressione delle pareti a piccola scala;

L_n dimensione caratteristica della discontinuità a grande scala;

L_0 dimensione caratteristica discontinuità a piccola scala.

Il termine JRC_0 è stato valutato in sito sulla base dei profili comparativi di rugosità, reperibili all'interno della norma ISRM 1978.

Il termine JCS_0, non disponendo di risultanze di prove di laboratorio, viene derivato, secondo quanto indicato nel seguito, dai risultati delle prove sclerometriche eseguite con martello di Schmidt di tipo L.

La resistenza a compressione JCS di una superficie in roccia è derivabile dalla carta di correlazione per il martello di Schmidt (MILLER, 1965), in funzione del valore dell'indice sclerometrico, della direzione di applicazione dell'impulso e della densità della roccia.

In letteratura tecnica, gli autori concordano nel suggerire di ricavare il valore di JCS (resistenza a compressione delle pareti della discontinuità) scalando cautelativamente il valore di σ_{co} (resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta), sino a un massimo di 4 volte, per tenere in conto il decadimento delle proprietà meccaniche degli strati corticali dell'ammasso conseguente ad azioni meccaniche, chimiche, fisiche, atmosferiche. Idealmente, saggiando un volume di roccia intatta mediante martello di Schimdt, e interpretando il valore di R attraverso il diagramma di Miller, è atteso che i valori di JCS e di σ_{co} coincidano.

È altresì vero che nella pratica progettuale, in assenza di prove di laboratorio di supporto, è prassi associare il valore di JCS ricavato da prove sclerometriche alla resistenza della roccia intatta σ_{co}, indipendentemente dalle condizioni strutturali dell'ammasso, operando pertanto una scelta conservativa.

Nel caso specifico, per l'esiguo numero di informazioni a disposizione, si opta per un approccio di tipo cautelativo, interpretando pertanto il parametro JCS come resistenza a compressione della roccia intatta, e scalandolo opportunamente per definire il livello di resistenza delle discontinuità JCS_0.

Il valore di R con cui si è ricavato il valore di JCS è un valore medio associato al singolo stendimento, ed è riferito, per ogni stendimento, alla superficie di discontinuità che è apparsa di volta in volta meno alterata.

Sulla base delle considerazioni sino ad ora svolte, si è proceduto secondo quanto indicato nel seguito:

- per le discontinuità caratterizzate da assenza di riempimento e alterazione viene associato a JCS_0 il 50% del valore di JCS derivato direttamente dalla carta di Miller;
- in presenza di riempimento e/o alterazione superficiale, viene assunto un valore di JCS_0 pari al 25% del valore di JCS ottenuto dalla carta di Miller.

Il termine L_n che compare nell'espressione di JRC_n e di JCS_n è stato assunto in funzione dei valori di persistenza propri di ogni famiglia, mentre il valore di L_0 viene posto pari a 10 cm, valore corrispondente alla larghezza del pettine di Barton, cui si riferiscono i profili di rugosità comparativi. Nel caso in esame sono stati adottati i seguenti valori del rapporto L_n/L_0:

- $L_n/L_0=50$ per le famiglie la cui persistenza è risultata $\leq$5 m;
- $L_n/L_0=100$ per le famiglie la cui persistenza è risultata $\leq$10 m;
- $L_n/L_0=200$ per le famiglie la cui persistenza è risultata >10 m.

L'angolo di attrito di base ϕ_b corrisponde, concettualmente, all'angolo di attrito derivato in laboratorio da prove di taglio diretto su superficie liscia, ottenuta per segagione del provino; non essendo disponibili simili indicazioni, si è fatto riferimento ai valori suggeriti in letteratura tecnica (BARTON, 1973).

Adottando il parametro $\phi_{b,alt}$ nell'equazione del criterio di BARTON-BANDIS si intende tenere in conto il decadimento della resistenza al taglio di base delle superfici rocciose che hanno esibito segni di alterazione superficiale (ossidazione).

Infine, il termine i_u, con cui si tiene in conto il grado di ondulazione della discontinuità a grande scala, è stato assunto cautelativamente pari a zero.

Nell'Appendice B vengono riportati, per ogni famiglia di discontinuità, i parametri utili alla definizione del *modello JRC*.

5.6 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Sulla base delle informazioni dedotte dal rilievo geologico-strutturale si è proceduto alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso (Appendice C).

Prima di procedere alla definizione dei parametri di resistenza e di deformabilità, si richiama l'attenzione sulle considerazioni che seguono.

Come già sottolineato, la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso si è basata esclusivamente sui risultati del rilievo geologico-strutturale condotto in superficie: rimane sottointeso, pertanto, che le informazioni derivate dal rilievo siano da ritenersi rappresentative delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso affiorante.

I dati raccolti in fase di rilievo sono stati utilizzati all'interno del metodo di classificazione dell'ammasso roccioso di BENIAWSKI (1989), al fine di ottenere il valore dell'indice di classificazione RMR (Rock Mass Rating) e dell'indice di classificazione Q (BARTON, 1974).

L'indice RMR, come noto, è definito come sommatoria di sei coefficienti numerici, il cui valore consegue alla valutazione di:

1. resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta (P_1);
2. indice di recupero percentuale modificato RQD (P_2);
3. spaziatura delle discontinuità (P_3);
4. alterazione delle discontinuità (P_4), quantificata mediante l'esame di:
   - apertura
   - riempimento
   - scabrezza

- alterazione delle superfici;

5. venute d'acqua (P_5);
6. giacitura delle discontinuità in relazione alla direzione di scavo (P_6).

Anche l'indice Q è definito sulla base di sei coefficienti numerici, la cui quantificazione tiene in conto:

1. indice di recupero percentuale modificato RQD;
2. numero delle famiglie di discontinuità (*joint set number* J_n);
3. scabrezza delle superfici delle discontinuità più sfavorevoli alla stabilità dello scavo (*joint roughness number* J_r);
4. grado di alterazione delle discontinuità ed eventuale presenza di materiale di riempimento (*joint alteration number* J_a);
5. eventuale presenza di acqua (*joint water reduction factor* J_w);
6. condizioni di sollecitazione (*stress reduction factor SRF*).

Il coefficiente Q è calcolato mediante la seguente espressione:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right) \cdot \left(\frac{J_r}{J_a}\right) \cdot \left(\frac{J_w}{SRF}\right)$$

Nell'Appendice C sono riportati, nel dettaglio, i parametri adottati nel calcolo degli indici di qualità sia per le dolomie, sia per le quarziti.

Per la valutazione della permeabilità dell'ammasso, si è ricorso, infine, alla cosiddetta "teoria della percolazione" formulata da SHANTE e KIRKPATRICK.

Da tale teoria, la permeabilità intrinseca dell'ammasso può essere calcolata dalla:

$$K = \frac{4\pi\nu A^3 R^2}{15 S^3}$$

dove:

A = apertura idraulica equivalente media dei sistemi di fratture

R = raggio medio delle discontinuità

S = spaziatura media dei sistemi di fratture

ν = frequenza di percolazione di una rete infinita

Dalla permeabilità intrinseca si passa alla permeabilità dell'ammasso con la:

$$k = \frac{K g \rho}{\xi}$$

con:

g = accelerazione di gravità

ρ = densità dell'acqua

ξ = viscosità dinamica dell'acqua

Il valore dell'apertura idraulica A_i di ogni famiglia "$_i$" viene ricavato dall'apertura meccanica E_i dalla nota relazione di BARTON-BANDIS:

$$A_i = \frac{E_i^2}{JRC_i^{2,5}}$$

dove JRC è il coefficiente di scabrezza, o Joint Roughness Coefficient, misurato, o stimato, della famiglia, e sia A_i che E_i sono espressi in □m.

Il valore di A_i tende comunque ad un valore massimo limite (BARTON-DE QUADROS) dato dalla:

$$A_i = \sqrt{\frac{100\ JRC^{3,5}}{26,4}}$$

Il valore di R, in considerazione del fatto che nella teoria le fratture vengono considerate di forma discoidale, esprime il contributo della lunghezza, o continuità dei giunti, secondo la:

$$R = \frac{2L}{\pi}$$

dove L è la lunghezza media delle famiglie.

Nell'Appendice C sono riportati, nel dettaglio, i parametri adottati nel calcolo degli indici di permeabilità sia per le dolomie, sia per le quarziti.

5.7 Verifiche di stabilità

Per i potenziali cinematismi, individuati per mezzo dell'analisi geometrica (cfr. § 5.4 - Test di Matheson) sono state eseguite le verifiche di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite utilizzando il software **CSAR** (BRUSCHI, 2004) che permette:

- di caratterizzare, in termini di proprietà fisiche e meccaniche, le discontinuità in un ammasso roccioso, consentendo nel contempo di individuare, sulla base dei mutui rapporti di giacitura delle discontinuità, i cinematismi di rottura, sia bidimensionali che tridimensionali, suscettibili di instaurarsi in un fronte roccioso;
- di procedere ad una classificazione geomeccanica dell'area di interesse e ad una zonizzazione della stessa in termini di rischio di stabilità;
- di analizzare le condizioni di stabilità di ammassi rocciosi sia naturali (versanti) che artificiali (fronti di scavo) utilizzando i metodi dell'equilibrio limite applicati ai più comuni cinematismi di rottura, sia piani che tridimensionali, riscontrabili nella pratica professionale;
- di analizzare le condizioni di stabilità di ammassi rocciosi e la loro risposta nei confronti dell'inserimento nel contesto geologico e geomeccanico di opere in sotterraneo.

Conoscendo:

- le caratteristiche geologiche, litologiche, fisiche, meccaniche del materiale "roccia";
- le caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale "ammasso roccioso", rilevabili da un rilievo geomeccanico, sia questo dettagliato o speditivo di superficie o, in assenza di tale rilievo ma con la conoscenza delle condizioni strutturali generali, utilizzando direttamente le informazioni necessarie per arrivare agli indici guida delle classificazioni base.

Poiché l'analisi di stabilità viene condotta con il metodo dell'equilibrio limite, è importante ricordare che il coefficiente di sicurezza che viene calcolato, a parità di condi-

zioni al contorno assunte, dipende dai parametri di resistenza al taglio adottati e quindi l'analisi eseguita è un'analisi di tipo deterministica.

In genere i valori di questi parametri sono noti con una certa aleatorietà.

A causa di tale aleatorietà, si è associata all'analisi deterministica anche l'analisi probabilistica che permette di ricavare, oltre ai valori medi del fattore di sicurezza, anche le probabilità che si verifichino fenomeni di instabilità.

E' utile tenere presente che l'analisi probabilistica, oltre a dare maggiori informazioni rispetto ad un'analisi deterministica, permette di definire quali sono i parametri che maggiormente influenzano la stabilità.

I parametri impiegati per il calcolo e riportati nell'Appendice B, sono i seguenti:

- JCS (Joint Compressive Strength o Resistenza a compressione) del/i giunto/i;
- JRC (Joint Roughness Coefficient o Coefficiente di scabrezza) del/i giunto/i);
- angolo d'attrito di base del/i giunto/i;
- peso di volume della roccia;

direttamente importati dalla caratterizzazione dell'ammasso.

I valori di JCS e di JRC sono già corretti per l'effetto scala.

All'ammasso roccioso sono state attribuite condizioni idrauliche drenate.

Le verifiche di stabilità sono state inoltre eseguite tenendo conto delle azioni sismiche considerando che l'area (Comune di Pallare), in relazione all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*), viene classificata come Zona 4.

La verifica è essere condotta con metodi convenzionali di tipo pseudo-statico quindi è stata aggiunta una forza pseudostatica suddivisa in due componenti, una orizzontale F_H ed una verticale F_V:

$$F_H = \pm 0{,}5\ a_g\ W$$

$$F_V = \pm 0{,}5\ F_H$$

esprimendo con W il peso della massa in scivolamento.

Tale metodo non permette, in molti casi, di stimare realisticamente gli effetti dinamici, in quanto il coefficiente sismico non può essere correlato a nessuna grandezza caratteristica del sisma (accelerazione massima, durata, andamento del sisma).

Tuttavia, non possedendo accelerogrammi di riferimento per la zona indagata, si accetta implicitamente l'ipotesi di una sovrastima degli effetti dell'evento dinamico, poiché si considera costante una forza agente in realtà per un breve periodo di tempo.

In prossimità dei piazzali e delle piste di accesso è stato infine applicato contemporaneamente un carico ripartito di 60 kN/m^2, per simulare il passaggio simultaneo dei mezzi di trasporto e di sbancamento.

5.8 Risultati dell'analisi

In sintesi, sono state riconosciute, attraverso il rilievo geologico-strutturale a la successiva analisi stereoscopica, e caratterizzate, attraverso il criterio di resistenza non-lineare di BARTON-BANDIS, e la successiva classificazione geomeccanica, 5 famiglie di discontinuità, nella subarea a dolomie prevalenti e 4 famiglie di discontinuità, nella subarea a quarziti prevalenti, denominate:

Subarea a dolomie prevalenti			
Famiglia	**Immersione (°)**	**Inclinazione (°)**	**Spaziatura (cm)**
1	159	74	35
2	67	79	25
3	327	33	700
4	254	51	150

Subarea a quarziti prevalenti			
Famiglia	**Immersione (°)**	**Inclinazione (°)**	**Spaziatura (cm)**
1	151	83	42
2	71	81	29
3	301	29	500
4	243	59	182

Successivamente, è stato eseguito il test di Matheson sia per la superficie di inviluppo dei fronti (ipotizzati essere impostati in roccia allo stato finale), sia per le alzate dei singoli gradoni, che permette di identificare le "discontinuità critiche", cioè le discontinuità che rappresentano potenziali piani di scivolamento, separandole da quelle che non influiscono direttamente sulla stabilità del pendio.

Le caratteristiche geometriche dei fronti, nella configurazione finale del progetto di coltivazione (Elaborato 14), sono di seguito schematizzate:

Fronte	**Orientazione (°)**	**Inclinazione (°)**	**Altezza (m)**	**Litologia**
Fronte 40	40	52	155	Dolomie
Gradone 40	40	73	15	Dolomie
Fronte 355	355	52	170	Dolomie
Gradone 355	355	73	15	Dolomie
Fronte 325	325	52	155	Dolomie
Gradone 325	325	73	15	Dolomie
Fronte 315	315	56	75	Quarzite
Gradone 315	315	79	15	Quarzite

Infine per ogni potenziale piano di scivolamento (cinematismo) individuato con il test di Matheson, sono state eseguite le verifiche di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite utilizzando il software **CSAR** (BRUSCHI, 2004). I risultati integrali di quest'analisi sono riportati nell'Appendice D.

Di seguito si sintetizza, per ogni possibile cinematismo, il relativo fattore di sicurezza:

Fronte 40		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Cuneo	2 / 3	**1,582**

Gradone 40		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Cuneo	2 / 3	**1,647**

Fronte 355		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Cuneo	2 / 3	**1,366**
Cuneo	3 / 4	**1,326**

Gradone 355		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Cuneo	2 / 3	**1,597**
Cuneo	3 / 4	**1,370**

Fronte 325		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Scivolamento	3	**1,326**
Cuneo	2 / 3	**1,318**
Cuneo	3 / 4	**1,341**
Ribaltamento	3	**3,031**

Gradone 325		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Scivolamento	3	**1,387**
Cuneo	2 / 3	**1,356**
Cuneo	3 / 4	**1,476**
Ribaltamento	3	**3,031**

Fronte 315		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Ribaltamento	3	**1,523**

Gradone 315		
Cinematismo	**Piano/i coinvolto/i**	**Fattore di sicurezza**
Ribaltamento	3	**1,523**

I risultati delle verifiche per ogni possibile instabilità e i fattori di sicurezza ottenuti evidenziano che:

- i possibili cinematismi interessanti i fronti e gradoni con orientazione differente, nella configurazione finale del progetto di coltivazione, sono riconducibili a scivolamenti planari e scivolamenti tridimensionali individuati da due superfici di discontinuità che si intersecano.
- I valori del fattore di sicurezza ottenuti dalle verifiche sono in tutti i casi superiori al valore di legge di 1.3.

Tali risultati indicano pertanto che sono assicurate le globali condizioni di stabilità, sia dei gradoni, sia dei fronti.

In conclusione è necessario sottolineare che il presente studio ha analizzato la stabilità globale dell'ammasso roccioso, sia a media che a grande scala, prescindendo dall'analisi delle possibili instabilità di piccoli blocchi, costituenti un fenomeno del tutto normale in un fronte impostato in roccia. Il controllo di tali situazioni puntuali, oltre ai possibili cinematismi di cui sopra, è affidato necessariamente alla Direzione di Ca-

va, che dovrà prevedere tutti gli opportuni interventi di disgaggio e pulizia del fronte in abbandono, per garantirne la stabilità nel tempo.

Inoltre, se nel corso dei lavori si dovessero riscontrare condizioni locali della roccia particolarmente sfavorevoli, o comunque molto diverse da quanto rilevato in superficie, andranno effettuate analisi puntuali ed in base ad esse, andranno verificati i profili di progetto, prevedendo, se necessario, gli adeguamenti opportuni.

Si ricorda infine che le verifiche sono state effettuate considerando un efficace sistema di drenaggio delle acque superficiali su tutto il fronte, condizione necessaria per il mantenimento dei fattori di sicurezza calcolati.

6 VERIFICA DI STABILTA' IN MATERIALE SCIOLTO

6.1 Caratterizzazione geotecnica

La maggior parte dell'area di cava è interessata da roccia affiorante o subaffiorante al di sotto di 0.5 ÷ 1 m di copertura in materiale sciolto.

Sotto il profilo geomeccanico le rocce del substrato affioranti (Quarziti di Ponte di Nava e Dolomie di San Pietro) presentano in generale discreta tenacità e compattezza nonostante il grado di fratturazione che localmente può diventare anche assai ingente con *block sizing* anche centimetrico.

La caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso è stata effettuata attraverso la correlazione proposta da BENIAWSKI (e di seguito evidenziata) tra il valore di RMRb (cfr. Cap. 5 - Appendice C), la coesione e l'angolo d'attrito.

Coesione **c** (kPa) = 5 RMRb

Angolo d'attrito ϕ = 0.5 RMRb + 5

Da quanto detto si ottiene:

Quarziti di Ponte di Nava

- Peso di volume γ = 27 kN/m³
- Angolo d'attrito ϕ = 43°
- Coesione c = 380 kPa

Dolomie di San Pietro

- Peso di volume γ = 26 kN/m³
- Angolo d'attrito ϕ = 41.5°
- Coesione c = 365 kPa

La caratterizzazione geotecnica del materiale di riporto, è stata desunta attraverso un'analisi basata sui principali caratteri fisici, quali granulometria e stato di

addensamento, i quali sono stati, successivamente, ridotti mediante opportuni fattori di sicurezza.

In tal senso il *fattore di sicurezza* è venuto effettivamente ad assumere il significato di fattore determinante nell'assegnazione dei valori.

Gli elementi, che comporranno questo riporto, sono a spigoli vivi e le loro dimensioni sono comprese tra sabbia, ghiaia e blocchi; normalmente gli elementi più grossolani si portano verso il piede dell'accumulo, mentre i più minuti rimangono nella porzione superiore.

Le caratteristiche geomeccaniche sono scarse in quanto agisce solamente la resistenza al taglio, in *condizioni drenate*, tra le superfici degli elementi che vengono a contatto tra loro. I valori di resistenza al taglio possono, però, mutare al variare della sollecitazione a causa di fenomeni quali:

- disposizione del materiale lungo il pendio;
- consolidazione monodimensionale subita in *situ*;
- presenza di discontinuità anche a livello di microstruttura aventi un orientamento preferenziale.

In relazione all'angolo di natural declivio, con cui si dispone il materiale nell'area di cava, e con riferimento ai valori presenti in letteratura (JAMIOLKOWSKI ,1976; HOEK & BRAY, 1977; SCESI & PAPINI, 1997); si avrà:

- Peso di volume γ = 18 kN/m³
- Angolo d'attrito ϕ = 42°
- Coesione c = 0 kPa

Sulla base di quanto sopra esposto viene introdotto, per il parametro ϕ, un fattore riduttivo pari a 1.20, come suggerito da MARSAN & ROMEO (1992) mentre per il parametro γ non sono stati introdotti valori correttivi.

I parametri cui fare riferimento diventano:

- Peso di volume γ = 18 kN/m³
- Angolo d'attrito ϕ = 35°
- Coesione c = 0 kPa

Questi parametri sono in buon accordo con quanto proposto da STACEY (2001) per *sabbie e ghiaie mediamente addensate*.

6.2 Verifiche di stabilità

6.2.1 Premessa

I cumuli finalizzati al ripristino ambientale saranno realizzati, con detrito di cava (materiale di riporto), mediante la creazione di due gradoni formati dalla sovrapposizione di strati successivi, con spessore non superiore a 0.50 m, opportunamente rullati e compattati, fino al raggiungimento della configurazione di progetto. I rilevati e le pedate dei gradoni saranno coperti, con uno strato di terreno vegetale, e successivamente inerbiti.

E' stata effettuata una verifica di stabilità lungo la sezione 5 (Appendice E / Elaborato 13) in quanto, questa sezione, è rappresentativa della subarea a dolomie.

Poiché la copertura, in materiale sciolto, del substrato roccioso presenta una potenza inferiore al metro, in corrispondenza dei fronti di scavo non è stata effettuata la verifica di stabilità.

Anche per i cumuli di terreno superficiale (necessario per la ricomposizione ambientale), accantonati sul piazzale inferiore di cava, i quali presenteranno un'altezza inferiore a 1 ÷ 1.5 m, non sono state effettuate verifiche di stabilità.

6.2.2 Metodologia

La verifica di stabilità è stata effettuata mediante il software **SLOPE 2009** (GEOSTRU, 2008), che utilizza il classico metodo delle strisce per la valutazione del fattore di sicurezza (Fs) di un pendio. Questo programma consente di affrontare i problemi di stabilità utilizzando la teoria dell'equilibrio limite, rendendo possibile la determinazione del fattore di sicurezza secondo il codice di calcolo, statisticamente rigoroso, di

SARMA (1973). Il metodo soddisfa rigorosamente l'equilibrio statico assumendo che la risultante delle forze fra i conci presenta un'inclinazione nota e costante.

Le verifiche di stabilità sono state inoltre eseguite tenendo conto delle azioni sismiche considerando che l'area (Comune di Pallare), in relazione all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 (*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*), viene classificata come Zona 4:

- la categoria sismica del suolo: Categoria B;
- il coefficiente di amplificazione topografica: pendio acclive isolato;
- magnitudo attesa con tempo di ritorno 475 anni (EC8): MCS = 6.4.

Tra gli elementi di calcolo è stato inoltre introdotto un carico idraulico con quota dell'altezza dell'acqua dal substrato roccioso, considerato impermeabile, pari, in sezione, almeno a ca. 1/3 del riporto.

6.3 Risultati dell'analisi

La verifica, i cui risultati complessivi sono riportati nell'Appendice E / Elaborato 13, ha evidenziato un Fattore di sicurezza (Fs) minimo pari a 1.46.

Questo risultato evidenzia il mantenimento del fattore di sicurezza superiore ai minimi di normativa.

7 VERIFICHE IDRAULICHE

7.1 Regimazione delle acque

L'assetto planimetrico attuale della cava è rappresentato da un'area depressa nella quale confluiscono le acque meteoriche, provenienti dai fronti, le quali, dopo opportuna decantazione del carico solido negli invasi a quota 438 m, 454 m e 464 m, sono restituite, per gli invasi a quota 438 m e 464 m, in punti diversi nel Torrente Viazza.

Questo corso d'acqua, esterno all'area di cava, non presenta situazioni dissestive in atto e da un'analisi condotta non si riscontrano tracce di eventi alluvionali, che abbiano interessato l'area di cava, come per altro confermato dalla cartografia dell'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'ambito del P.A.I..

Con la futura variante al piano di coltivazione approvato le condizioni morfometriche, dell'area di cava, sono destinate a modificarsi.

In tale contesto gli interventi proponibili per la regimazione delle acque devono avere essenzialmente la funzione di proteggere le superfici soggette a ruscellamento e di raccogliere e smaltire in modo controllato le acque meteoriche di pertinenza dell'area di cava e del bacino naturale sotteso.

La vicinanza della linea di spartiacque fa sì che, a monte dell'area di cava, non si abbia presenza di un bacino imbrifero tale da permettere la raccolta di ingenti quantitativi di acqua meteorica con successivo convogliamento sul sito estrattivo.

Inoltre, all'interno della cava, non sono state rilevate emergenze sorgentizie delle acque profonde.

Da quanto detto le sole acque, che possono essere raccolte in cava, e successivamente convogliate verso valle, sono solo quelle che provengono da precipitazione diretta e da ristrette fasce perimetrali.

Con la variante al piano di coltivazione approvato vengono significativamente a modificarsi le superfici del bacino di alimentazione delle acque di apporto meteorico, confluibili entro l'area di cava.

E' da considerare preliminarmente che con lo sviluppo della coltivazione per fette discendenti e la conseguente creazione di ampi ripiani e di successiva pronta risiste-

mazione del versante a monte, si determinano condizioni di rallentamento del flusso idrico di apporto meteorico e della sua azione erosiva.

Il sistema di regimazione delle acque previsto, basato su una rete di raccolta, sistemi di ritardo e di decantazione di tutte le acque nella zona di cava, si svilupperà gradualmente nella fase di coltivazione, iniziando con le opere di ripristino ambientale dai gradoni superiori sia per la porzione di cava a dolomie che per la porzione di cava a quarziti prevalenti.

Il sistema di regimazione acque prevederà (Elaborato 13):

- una rete di canalette, trapezie, da realizzare con scavo in roccia sulle pedate dei gradoni.
- Collettori e scaricatori ricavati sulle alzate in roccia al fine di raccogliere le acque dalle canalette dei gradoni e convogliarle verso la canaletta dei piazzali di base.
- Aree di raccolta acque.
- Due invasi (attualmente esistenti), con funzione di raccolta e decantazione, posti rispettivamente sul piazzale di quota 464 m e sul piazzale di quota 438 m. Le acque, chiarificate, di questi invasi saranno convogliate, in punti diversi, nel Torrente Viazza.
- Un'apposita canaletta di raccolta delle acque, dall'area di manovra dei macchinari, verso un dispositivo di disoleatura. Le acque così trattate confluiranno verso l'invaso del piazzale di quota 438 m.

In pratica nella fase intermedia di coltivazione si dovrà prevedere un quasi completo sviluppo della rete principale di convogliamento delle acque; le successive variazioni riguarderanno la rete scolante lungo i gradoni e piste residue superiori, che saranno gradualmente adeguate alla morfologia definitiva del fronte in abbandono.

7.1.1 Calcoli idrologici

In relazione ad un ottimale smaltimento delle acque meteoriche è stato effettuato il dimensionamento della rete drenante nell'evenienza di precipitazioni particolarmente intense (tempo di ritorno statistico adottato Tr = 200 anni).

Per le verifiche si è fatto riferimento ai parametri idrologici contenuti nell'appendice 3 del Progetto stralcio del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - elaborato a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Il documento fornisce i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200, 500 anni calcolati per celle di bacino di 2 km di lato.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h_t = \alpha t^n$$

in cui i parametri α e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato. Nel documento citato la stima delle curve di probabilità pluviometrica è stata elaborata con il metodo di GUMBEL sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate considerate.

Assumendo per il caso specifico un tempo di ritorno di 200 anni, dalle tabelle citate risultano, per la cella di territorio (BS146) in cui ricadente l'area estrattiva, i seguenti valori:

$\alpha = 62.29$ mm

$n = 0.425$.

Tali parametri sono stati introdotti nella relazione della curva di probabilità pluviometrica per il calcolo degli afflussi di pertinenza per ogni bacino considerato.

Il calcolo della portata al colmo per ogni bacino è stato eseguito applicando la Formula Razionale:

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_t S}{T_c}$$

in cui

Q_c portata al colmo (m^3/s)

S superficie bacino (Km^2)

c coefficiente di deflusso (adimensionale)

h_t massima precipitazione in mm al tempo t

T_c tempo di corrivazione (ore)

Il coefficiente di deflusso (c) dipende dalla natura del terreno e dalla relativa capacità di assorbire l'acqua in corso di ruscellamento; tenuto conto delle caratteristiche di media permeabilità del substrato, è stato assunto un valore medio c = 0.5.

Il tempo di corrivazione (T_c) è stato calcolato sulla base della formula di GIANDOTTI:

$$T_c = \frac{1.5L + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{(Hm - Ho)}}$$

in cui

T_c tempo di corrivazione (ore)

S superficie bacino (Km^2)

L lunghezza asta principale (Km)

Hm quota media del bacino s.l.m. (m)

Ho quota della sezione di chiusura del bacino s.l.m. (m)

7.1.2 Metodo di calcolo della capacità di smaltimento

In riferimento a quanto sopra esposto sono state definite le sezioni minime delle canalette, mediante una verifica con moto uniforme.

Portata $Q = AV$ dove A = area di deflusso (m^2)
V = velocità di deflusso (m/s)

Velocità di deflusso $V = c\sqrt{R_i p}$ dove *c* = coefficiente di attrito
Ri = raggio idraulico (m)
p = pendenza (%)

Coefficiente di attrito $c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + Ri}$ dove *m* = coefficiente di scabrosità (Kutter).

7.2 Risultati dell'analisi

7.2.1 Verifica delle canalette

Al fine di smaltire le acque superficiali si procederà alla regimazione delle acque mediante una rete di canalette poste:

- nell'area di cava;
- a lato delle piste di arroccamento;

come illustrato in planimetria (Elaborato 13).

Il sistema di smaltimento acque prevede, come soluzione tipologica, lo scavo di sezioni trapezie in roccia sia per le canalette, collocate sui gradoni e piazzali, che per gli scaricatori, nelle porzioni collocate lungo l'alzata dei gradoni. La parte degli scaricatori disposta sulla pedata dei gradoni sarà realizzata con una geometria a "corda molle" di lunghezza, pari a 4 m, e di profondità, nella porzione centrale, di 0.30 m.

Zona a Dolomie

La canaletta 1 (posizionata sul limite del Bacino 1) avrà il compito di intercettare le acque, provenienti dallo spartiacque e di convogliarle verso lo scaricatore in roccia, posizionato nella porzione centrale del fronte di cava, il quale intercetterà anche tutte le acque provenienti dalle canalette posizionate sui gradoni.

La canaletta del piazzale di quota 440 m, dovrà raccogliere le acque meteoriche direttamente affluenti nel Bacino 1, nel Bacino 3 e nel Bacino 4. Le acque così raccolte confluiranno verso l'invaso a quota 438 m e tutta l'acqua, dopo opportuna decantazione del carico solido, sarà restituita nella rete idrografica naturale costituita dal Torrente Viazza.

Le acque del Bacino 5 sono intercettate dalla canaletta 5, la quale, porterà le acque raccolte verso un disoleatore e da questi verso l'invaso a quota 438 m.

Zona a Quarziti

Lo scaricatore in roccia dovrà intercettare le acque provenienti dalle canalette posizionate sui gradoni e convogliarle verso la canalletta 2, collocata sul piazzale di quota 464 m. Le acque del Bacino 2, così raccolte, confluiranno verso l'invaso, posto a quota 464 m, e tutta l'acqua, dopo opportuna decantazione del carico solido, sarà restituita nella rete idrografica naturale confluente nel Torrente Viazza.

Eventuali differenze altimetriche, nello sviluppo del tracciato del sistema di regimentazione delle acque meteoriche, riscontrabili nelle planimetrie allegate discendono dalla vestizione grafica utilizzata. Allo scopo, in corso d'opera, il loro tracciato sarà opportunamente verificato rispetto all'assetto planoaltimetrico locale.

Saranno infine riprofilate le piste di arroccamento ed i piazzali in modo da garantire una loro continua pendenza verso monte, condizione necessaria per una corretta regimazione delle acque meteoriche. In corrispondenza delle piste di arroccamento e di servizio saranno presenti cunette stradali e tagliacqua trasversali.

Il metodo di coltivazione adottato, ovvero quello con arretramento progressivo del fronte a partire dall'alto, fino al raggiungimento dello stato finale, consentirà di realizzare la rete drenante sopra descritta man mano che gli scavi procederanno. In tal modo si otterrà una corretta regimazione delle acque superficiali, così da assicurare, già in fase di scavo, la protezione da fenomeni erosivi e di dissesto.

In base alle considerazioni sopra esposte saranno dimensionate, di seguito, le sezioni delle canalette.

I dati di calcolo ed i risultati delle verifiche sono riportati nell'Appendice F e nell'Elaborato 13.

In tabella 7.1 sono riassunti i dati fisici dei bacini ed il calcolo degli afflussi e portate al colmo, nella tabella 7.2 sono riportati i valori delle portate smaltibili per confronto con le portate al colmo mentre nella tabella 7.3 sono restituite la dimensioni delle opere.

Bacino	**S** (Km^2)	**T_c** (ore)	**Q_c** (m^3/s)
Bacino 1	0.0316	0.23	0.639
Bacino 2	0.0187	0.16	0.470
Bacino gradone tipo	0.0041	0.30	0.071
Bacino piazzale quota 440 m ($\sum$ Bacini 1 – 3 – 4)	0.1553	0.28	2.789

Bacino	**S** (Km^2)	**T_c** (ore)	**Q_c** (m^3/s)
Bacino 5	0.0062	0.70	0.064

Tab. 7.1 - Dati fisici dei bacini e calcolo di afflussi e portate al colmo.

Bacino	**Sezione**	**Q_c** (m^3/s)	**Q** (m^3/s)	**Sezione verificata**
Bacino 1	Canaletta 1	0.639	0.649	**Si**
Bacino 2	Canalette 2	0.470	0.484	**Si**
Bacino gradone tipo	Canaletta gradone tipo	0.071	0.080	**Si**
Bacino piazzale quota 440 m ($\sum$ Bacino 1 – 3 – 4)	Canaletta piazzale quota 440 m	2.789	2.816	**Si**
Bacino 5	Canalette 5	0.064	0.064	**Si**

Tab. 7.2 - Risultati verifiche idrauliche con raffronto tra portata di colmo (Qc) e portata smaltita dalla sezione (Q).

Sezione	**Tipologia**	**Dimensioni** m
Canaletta 1	Scavo di forma trapezia	0.30 • 0.75 • 0.90
Canalette 2	Scavo di forma trapezia	0.40 • 0.40 • 0.60
Canaletta gradone tipo	Scavo di forma trapezia	0.20 • 0.30 • 0.40
Canaletta piazzale quota 440 m	Scavo di forma trapezia	0.60 • 1.00 • 1.35
Canaletta 5	Scavo di forma trapezia	0.20 • 0.25 • 0.35

Tab. 7.3 – Tipologia e dimensioni delle opere.

Come è possibile osservare nella tabella 7.3 le opere in progetto hanno dimensioni tali da garantire lo smaltimento di portate caratterizzate da tempi di ritorno di 200 anni.

7.2.2 *Verifica degli invasi*

Nell'ambito della cava sono presenti, attualmente, degli invasi a quota 438 m, 454 m e 464 m.

Di questi invasi rimarranno, in fase di recupero finale, solo due invasi attivi, ovvero quello a quota 464 m e quota 438 m, mentre l'invaso posto a quota 454 m cesserà di esistere.

La configurazione geometrica di questi invasi è riconducibile, per esemplificazione, a quella di un tronco di piramide rovescia come riportato nella Fig. 7.1.

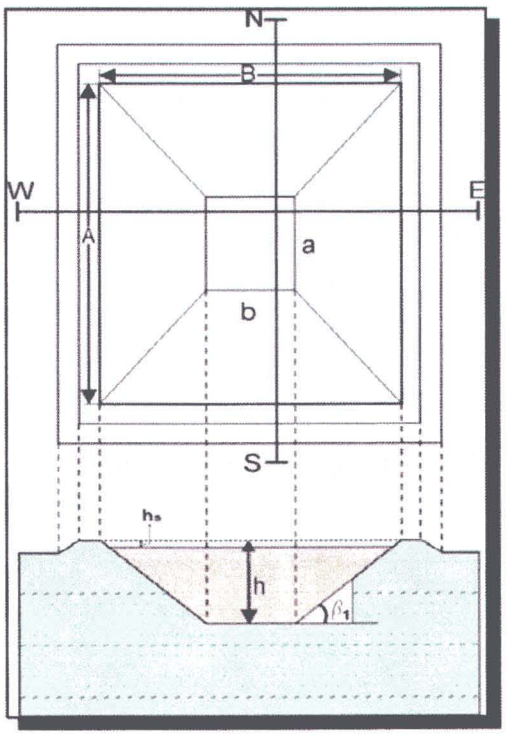


Fig. 7.1 – Schema invaso.

I parametri dimensionali presenti sono:

h = altezza dell'invaso dal piano di coronamento al fondo

hs = franco netto: differenza di quota tra il piano di coronamento e lo sfioro

β1 = angolo calcolato sul profilo E-W

β2 = angolo calcolato sul profilo N-S

A - B = lati dell'invaso al piano di coronamento

a - b = lati dell'invaso al fondo.

Per l'invaso posto sul piazzale a quota 464 m considerando un afflusso di 0.484 m^3/s si valuta un volume utile di circa 147 m^3.

Lo scarico di superficie, per l'invaso posto sul piazzale a quota 454 m, sarà costituito da un profilo tracimante ad asse per quanto possibile rettilineo, seguito da un collettore di scarico in roccia, rappresentato da una geometria a "corda molle" di lunghezza pari a 4 m e di profondità, nella porzione centrale, di 0.30 m.

Per l'invaso a quota 438 m considerando un afflusso di 2.789 m^3/s si valuta un volume utile di circa 1416 m^3.

I dati di calcolo ed i risultati delle verifiche sono riportati nell'Appendice F e nell'Elaborato 13.

In sintesi si evidenzia come le scelte progettuali siano state assunte in modo tale da salvaguardare l'assetto idrogeologico del sito in esame, al fine altresì di evitare qualsiasi coinvolgimento dell'area interessata dalla coltivazione in eventuali fenomeni di dissesto legati alla circolazione idrica superficiale. Pertanto, i criteri di progettazione seguiti consentono sia di escludere modifiche negative delle attuali condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio nel quale ricade il sito d'intervento, sia di salvaguardare la salubrità della zona circostante l'area in oggetto, dell'ambiente e del paesaggio.

APPENDICE A

Sommario del rilievo geologico strutturale

LITOLOGIA DELL'UNITA' DI RILIEVO

Litotipo dominante: Dolomia

Formazione: Dolomie di San Pietro

Peso di volume della roccia: 26,0 kN/mc

L'ammasso si presenta debolmente alterato.

RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

La resistenza della roccia intatta é stata ricavata da: Indice del Martello di Schmidt

Valore di R: 39,0

La resistenza a compressione monoassiale della roccia è pari a: 51,5 Mpa

La valutazione della roccia intatta, in termini di resistenza alla compressione, è mediocre

Condizioni idrogeologiche

La zona di rilevamento, dal punto di vista idrogeologico, é caratterizzabile come:
Acqua completamente assente

SOMMARIO PRINCIPALE DEL RILIEVO STRUTTURALE DI DETTAGLIO

Le famiglie presentano i seguenti valori medi:

Famiglia	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Spaziatura (cm)
1	159	74	35
2	67	79	25
3	327	33	700
4	254	51	150

Nell'area di rilievo sono presenti 2 famiglie random

Dalle spaziature medie, applicando le relazioni di Palstrom, si ha:

Jv	RQD
8.06	88

Il volume del blocco unitario medio è stimato (da Palstrom, 1995 - 2000) in 0,412 mc

CONDIZIONI DELLE SINGOLE DISCONTINUITA'

Famiglia 1

Continuità del giunto	da 10 a 20 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Leggermente scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Famiglia 2

Continuità del giunto	da 10 a 20 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Famiglia 3

Continuità del giunto	> 20 m
Apertura del giunto	da 1 a 5 mm
Scabrezza del giunto	Molto scabri
riempimento del giunto	Limoso o argilla s.c.
Valutazione sul giunto	Condizioni scadenti

Famiglia 4

Continuità del giunto	da 3 a 10 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Molto scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

LITOLOGIA DELL'UNITA' DI RILIEVO

Litotipo dominante: Quarzite

Formazione: Quarziti di Ponte di Nava

Peso di volume della roccia: 27,0 kN/mc

L'ammasso si presenta debolmente alterato.

RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

La resistenza della roccia intatta é stata ricavata da: Indice del Martello di Schmidt

Valore di R: 56,0

La resistenza a compressione monoassiale della roccia è pari a: 64,7 Mpa

La valutazione della roccia intatta, in termini di resistenza alla compressione, è mediocre

Condizioni idrogeologiche

La zona di rilevamento, dal punto di vista idrogeologico, é caratterizzabile come:
Acqua completamente assente

SOMMARIO PRINCIPALE DEL RILIEVO STRUTTURALE DI DETTAGLIO

Le famiglie presentano i seguenti valori medi:

Famiglia	Immersione (°)	Inclinazione (°)	Spaziatura (cm)
1	151	83	42
2	71	81	29
3	301	29	500
4	243	59	182

Nell'area di rilievo è presente 1 famiglia random

Dalle spaziature medie, applicando le relazioni di Palstrom, si ha:

Jv	RQD
6.77	93

Il volume del blocco unitario medio è stimato (da Palstrom, 1995 - 2000) in 0,453 mc

CONDIZIONI DELLE SINGOLE DISCONTINUITA'

Famiglia 1

Continuità del giunto	da 10 a 20 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Leggermente scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Famiglia 2

Continuità del giunto	da 10 a 20 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Famiglia 3

Continuità del giunto	da 3 a 10 m
Apertura del giunto	da 1 a 5 mm
Scabrezza del giunto	Scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

Famiglia 4

Continuità del giunto	da 3 a 10 m
Apertura del giunto	< 0,1 mm
Scabrezza del giunto	Scabri
riempimento del giunto	Assente
Valutazione sul giunto	Condizioni mediocri

APPENDICE B

Modello geomeccanico delle discontinuità

MODELLO GEOMECCANICO DELLE DISCONTINUITA'

Il modello costitutivo adottato del comportamento del giunto nell'ammasso roccioso è quello noto come modello 'JRC-JCS', sviluppato da Barton e Bandis e messo a punto da Barton e Choubey (1977).

Tale modello esprime la resistenza al taglio del giunto secondo la:

tau = sigma*tan(JRC*log(JCS/sigma)+phir)

con tau = resistenza al taglio,
sigma = tensione normale,
phir = angolo d'attrito residuo.

Nelle elaborazioni si è mantenuto un valore di tensione normalizzata pari a 100 kPa.

Il parametro JCS è calcolato dal valore della resistenza monoassiale corretto per lo stato di alterazione delle pareti del giunto secondo la relazione di Miller (1965).

I valori base sono quindi stati corretti, per tenere conto dell'effetto scala, secondo le relazioni di Barton e Bandis (1982).

L'angolo d'attrito di base è ricavato da un dato prefissato funzione della litologia della roccia (Barton, 1973)

L'angolo d'attrito residuo è ricavato dalla relazione di Barton e Chryssanthakis (1990).

L'angolo d'attrito di picco è valutato con le relazioni di Barton e Bandis (1990).

L'apertura idraulica equivalente della frattura viene valutata secondo la relazione di Bandis (1985).

La permeabilità della singola frattura è derivata dalla relazione di Barton e Bakhtar (1987)

FAMIGLIA 1

Parametro JCS di base	52,3 MPa
Parametro JCS corretto	25,1 MPa
Parametro JRC di base	9
Parametro JRC corretto	6
Angolo d'attrito di base	30,0°
Angolo d'attrito di picco	36,0°
Angolo d'attrito residuo	22,0°
Apertura idraulica equivalente	1,57 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,002000000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	22,1 mm

FAMIGLIA 2

Parametro JCS di base	52,3 MPa
Parametro JCS corretto	16,7 MPa
Parametro JRC di base	14
Parametro JRC corretto	7
Angolo d'attrito di base	30,0°
Angolo d'attrito di picco	38,0°
Angolo d'attrito residuo	22,0°
Apertura idraulica equivalente	4,04 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,013600000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	23,3 mm

FAMIGLIA 3

Parametro JCS di base	52,3 MPa
Parametro JCS corretto	10,1 MPa
Parametro JRC di base	18
Parametro JRC corretto	6
Angolo d'attrito di base	30,0°
Angolo d'attrito di picco	34,0°
Angolo d'attrito residuo	22,0°
Apertura idraulica equivalente	13,83 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,159400000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	27,7 mm

FAMIGLIA 4

Parametro JCS di base	52,3 MPa
Parametro JCS corretto	23,3 MPa
Parametro JRC di base	15
Parametro JRC corretto	9
Angolo d'attrito di base	30,0°
Angolo d'attrito di picco	43,0°
Angolo d'attrito residuo	22,0°
Apertura idraulica equivalente	1,56 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,002000000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	13,7 mm

MODELLO GEOMECCANICO DELLE DISCONTINUITA'

Il modello costitutivo adottato del comportamento del giunto nell'ammasso roccioso è quello noto come modello 'JRC-JCS', sviluppato da Barton e Bandis e messo a punto da Barton e Choubey (1977).

Tale modello esprime la resistenza al taglio del giunto secondo la:

tau = sigma*tan(JRC*log(JCS/sigma)+phir)

con tau = resistenza al taglio,
sigma = tensione normale,
phir = angolo d'attrito residuo.

Nelle elaborazioni si è mantenuto un valore di tensione normalizzata pari a 100 kPa.

Il parametro JCS è calcolato dal valore della resistenza monoassiale corretto per lo stato di alterazione delle pareti del giunto secondo la relazione di Miller (1965).

I valori base sono quindi stati corretti, per tenere conto dell'effetto scala, secondo le relazioni di Barton e Bandis (1982).

L'angolo d'attrito di base è ricavato da un dato prefissato funzione della litologia della roccia (Barton, 1973)

L'angolo d'attrito residuo è ricavato dalla relazione di Barton e Chryssanthakis (1990).

L'angolo d'attrito di picco è valutato con le relazioni di Barton e Bandis (1990).

L'apertura idraulica equivalente della frattura viene valutata secondo la relazione di Bandis (1985).

La permeabilità della singola frattura è derivata dalla relazione di Barton e Bakhtar (1987)

FAMIGLIA 1

Parametro JCS di base	65,7 MPa
Parametro JCS corretto	31,6 MPa
Parametro JRC di base	9
Parametro JRC corretto	6
Angolo d'attrito di base	38,0°
Angolo d'attrito di picco	44,0°
Angolo d'attrito residuo	29,0°
Apertura idraulica equivalente	1,56 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,002000000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	22,1 mm

FAMIGLIA 2

Parametro JCS di base	65,7 MPa
Parametro JCS corretto	22,8 MPa
Parametro JRC di base	13
Parametro JRC corretto	6
Angolo d'attrito di base	38,0°
Angolo d'attrito di picco	43,0°
Angolo d'attrito residuo	29,0°
Apertura idraulica equivalente	3,57 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,010600000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	22,1 mm

FAMIGLIA 3

Parametro JCS di base	65,7 MPa
Parametro JCS corretto	30,9 MPa
Parametro JRC di base	14
Parametro JRC corretto	8
Angolo d'attrito di base	38,0°
Angolo d'attrito di picco	49,0°
Angolo d'attrito residuo	29,0°
Apertura idraulica equivalente	1,44 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,001700000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	13,1 mm

FAMIGLIA 4

Parametro JCS di base	65,7 MPa
Parametro JCS corretto	32,6 MPa
Parametro JRC di base	13
Parametro JRC corretto	8
Angolo d'attrito di base	38,0°
Angolo d'attrito di picco	49,0°
Angolo d'attrito residuo	29,0°
Apertura idraulica equivalente	1,25 mm.
Permeabilità per la sigma normalizzata	0,001200000 cm/s
Spostamento per il superamento della resistenza di picco	13,1 mm

APPENDICE C

Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI [RMR], 1989

Parametro	Valore misurato	Coefficiente numerico
Co (MPa)	51.53	5
RQD (%)	88	17
Spaziatura (m)	2.28	20
Condizioni dei giunti		16
Venute d'acqua	Nessuna	15

Risultati:

RMR di base	73
Correzione giacitura [Ic]	N/A
RMR corretto	73
Classe ammasso roccioso	CLASSE II
Qualità ammasso roccioso	**BUONA**

CLASSIFICAZIONE Q [Barton 1974]

Parametro RQD	88
Parametro Jn	15
Parametro Jr	3
Parametro Ja	6
Parametro Jw	1
Parametro SRF	5.06

Il valore di Jr si riferisce al valore assoluto inferiore calcolato per ogni famiglia di discontinuità in quanto, in accordo con Barton, si fa sempre riferimento alle condizioni dell'ammasso più sfavorevoli per la stabilità.

Il valore di Ja si riferisce al valore assoluto superiore calcolato per ogni famiglia di discontinuità in quanto, in accordo con Barton, si fa sempre riferimento alle condizioni dell'ammasso più sfavorevoli per la stabilità.

Il valore di SRF è stato calcolato secondo la procedura iterativa proposta da Kirsten (1988), funzione della resistenza della roccia intatta e dello stato tensionale al contorno.

Risultati:

RQD/Jn	5.867
Jr/Ja	0.5
Jw/SRF	0.1975
Q	0.579
Classe ammasso roccioso	CLASSE VII
Qualità ammasso roccioso	**MOLTO SCADENTE**

DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' DELL'AMMASSO

Teoria della percolazione

Dati dal rilievo strutturale

Famiglia	Continuità (m)	Spaziatura (cm)	Apertura (mm)	JRC
1	15	35	0.05	6
2	15	25	0.05	7
3	21	700	3	6
4	6	150	0.05	9

Valori di calcolo

Famiglia	Apertura idraulica equivalente (micron)	Apertura idraulica limite (micron)
1	0	91
2	0	197
3	65	306
4	0	223

Parametri indicativi dell'ammasso

Raggio medio (cm)	Apertura media (cm)	Spaziatura media (cm)	K (cm/sec)
907.2	**0.0016**	**227.5**	**2.59E-08**

CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI [RMR], 1989

Parametro	Valore misurato	Coefficiente numerico
Co (MPa)	64.7	6
RQD (%)	93	18
Spaziatura (m)	1.88	19
Condizioni dei giunti		18
Venute d'acqua	Nessuna	15

Risultati:

RMR di base	76
Correzione giacitura [Ic]	N/A
RMR corretto	76
Classe ammasso roccioso	CLASSE II
Qualità ammasso roccioso	**BUONA**

CLASSIFICAZIONE Q [Barton 1974]

Parametro RQD	93
Parametro Jn	15
Parametro Jr	3
Parametro Ja	4
Parametro Jw	1
Parametro SRF	1.46

Il valore di Jr si riferisce al valore assoluto inferiore calcolato per ogni famiglia di discontinuità in quanto, in accordo con Barton, si fa sempre riferimento alle condizioni dell'ammasso più sfavorevoli per la stabilità.

Il valore di Ja si riferisce al valore assoluto superiore calcolato per ogni famiglia di discontinuità in quanto, in accordo con Barton, si fa sempre riferimento alle condizioni dell'ammasso più sfavorevoli per la stabilità.

Il valore di SRF è stato calcolato secondo la procedura iterativa proposta da Kirsten (1988), funzione della resistenza della roccia intatta e dello stato tensionale al contorno.

Risultati:

RQD/Jn	6.2
Jr/Ja	0.75
Jw/SRF	0.6829
Q	3.175
Classe ammasso roccioso	CLASSE VI
Qualità ammasso roccioso	**SCADENTE**

DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' DELL'AMMASSO

Teoria della percolazione

Dati dal rilievo strutturale

Famiglia	Continuità (m)	Spaziatura (cm)	Apertura (mm)	JRC
1	15	42	0.05	6
2	15	29	0.05	6
3	6	500	3	8
4	6	182	0.05	8

Valori di calcolo

Famiglia	Apertura idraulica equivalente (micron)	Apertura idraulica limite (micron)
1	0	91
2	0	173
3	123	197
4	0	173

Parametri indicativi dell'ammasso

Raggio medio (cm)	Apertura media (cm)	Spaziatura media (cm)	K (cm/sec)
668.5	**0.0031**	**188.25**	**1.628E-07**

APPENDICE D

Verifiche di stabilità dei fronti di scavo in roccia

FRONTE 40
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 2+3 (Famiglie 2+3)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
155	40	52	40	0	67	79	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	16,7	7	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
155	2767,9	2368,3	0	412579	51914	338460	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 343,9
Inclinazione (°): 31,9

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 50,65
nel Piano B (°): 41,10

Coefficiente di Sicurezza = 1,582

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

GRADONE 40
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 2+3 (Famiglie 2+3)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15	40	73	40	0	67	79	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	16,7	7	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
15	248,76	212,85	0	24160	3040,6	19821	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 343,9
Inclinazione (°): 31,9

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 51,95
nel Piano B (°): 42,21

Coefficiente di Sicurezza = 1,647

FRONTE 355
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 2+3 (Famiglie 2+3)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
170	355	52	355	0	67	79	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	16,7	7	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
170	11085	40473	0	25430	3E+06	2E+07	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 163,9
Inclinazione (°): 31,9

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 42,35
nel Piano B (°): 37,76

Coefficiente di Sicurezza = 1,366

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

FRONTE 355
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 3+4 (Famiglie 3+4)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
170	355	52	355	0	254	51	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	23,3	9	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
170	6826,5	20367	0	6058,8	0	5E+06	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 133,3
Inclinazione (°): 32,2

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 70,00
nel Piano B (°): 39,63

Coefficiente di Sicurezza = 1,326

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

GRADONE 355
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 2+3 (Famiglie 2+3)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15	355	73	355	0	67	79	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	16,7	7	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
15	264,66	966,34	0	11670	14606	95659	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 163,9
Inclinazione (°): 31,9

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 47,37
nel Piano B (°): 42,05

Coefficiente di Sicurezza = 1,597

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

GRADONE 355
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 3+4 (Famiglie 3+4)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15	355	73	355	0	254	51	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	23,3	9	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
15	219,9	656,08	0	5061,3	0	42722	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 133,3
Inclinazione (°): 32,2

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 70,00
nel Piano B (°): 43,14

Coefficiente di Sicurezza = 1,370

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

FRONTE 325
ANALISI DELLO SCIVOLAMENTO SU UN GIUNTO SINGOLO
Piano di scivolamento 3 (Famiglia 3)

ANALISI DETERMINISTICA

GEOMETRIA DEL PROBLEMA

HF	In_F	In_Fs	In_P
155	52	0	33

HF = Altezza del fronte (m)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
In_P = Inclinazione del piano di scivolamento (°)

Non si è imposta la presenza di frattura di trazione

Si inoltre imposta la presenza di un carico esterno pari a 60 kN

PARAMETRI GEOMECCANICI

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS	JRC	phi_b
26	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS = Parametro JCS del giunto (MPa)
JRC = Parametro JRC del giunto (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

RISULTATI

L	W	f	U	V	I	N	T	S
266,2	20734	37,2	0	0	0	171015	117239	0,025

L = Lunghezza del piano di distacco (m)
W = Peso del blocco (kN)
f = Angolo d'attrito mobilitato (°)
U = Spinta idraulica nel piano di scivolamento (kN)
V = Spinta idraulica nella frattura di trazione (kN)
I = Spinta idraulica dovuta all'invaso (kN)
N = Forze resistenti (kN)
T = Forze instabilizzanti (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

COEFFICIENTE DI SICUREZZA = 1,326

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,025

FRONTE 325
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 2+3 (Famiglie 2+3)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
155	325	52	325	0	67	79	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	16,7	7	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
155	8115,9	409976	0	20941	0	2E+08	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 163,9
Inclinazione (°): 31,9

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 70,00
nel Piano B (°): 38,22

Coefficiente di Sicurezza = 1,318

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

FRONTE 325
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 3+4 (Famiglie 3+4)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
155	325	52	325	0	254	51	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	23,3	9	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
155	11027	426284	0	22744	3E+07	2E+08	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 133,3
Inclinazione (°): 32,2

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 38,33
nel Piano B (°): 38,47

Coefficiente di Sicurezza = 1,341

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

FRONTE 325
RIBALTAMENTO DI UN BLOCCO SINGOLO
Piano di scivolamento 4 (Famiglia 4)

H	B	W	V	a	N	T	Mr	Ms	*Fs*
7	1,5	10,712	0,412	33	8,984	5,834	6,738	20,42	**3,031**

H: altezza del blocco (m)
B: larghezza del blocco (m)
W: peso del blocco (kN)
V: volume del blocco (mc)
a: inclinazione del piano basale (°)
N: componente normale del peso sul piano (kN)
T: componente tangenziale del peso sul piano (kN)
Mr: momento ribaltante (kNm)
Ms: momento stabilizzante (kNm)
Fs: coefficiente di sicurezza al ribaltamento

GRADONE 325
ANALISI DELLO SCIVOLAMENTO SU UN GIUNTO SINGOLO
Piano di scivolamento 3 (Famiglia 3)

ANALISI DETERMINISTICA

GEOMETRIA DEL PROBLEMA

HF	In_F	In_Fs	In_P
15	73	0	33

HF = Altezza del fronte (m)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
In_P = Inclinazione del piano di scivolamento (°)

Non si è imposta la presenza di frattura di trazione

Si inoltre imposta la presenza di un carico esterno pari a 60 kN

PARAMETRI GEOMECCANICI

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS	JRC	phi_b
26	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS = Parametro JCS del giunto (MPa)
JRC = Parametro JRC del giunto (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

RISULTATI

L	W	f	U	V	I	N	T	S
36,7	621,79	41,2	0	0	0	5078,9	3483,6	0,025

L = Lunghezza del piano di distacco (m)
W = Peso del blocco (kN)
f = Angolo d'attrito mobilitato (°)
U = Spinta idraulica nel piano di scivolamento (kN)
V = Spinta idraulica nella frattura di trazione (kN)
I = Spinta idraulica dovuta all'invaso (kN)
N = Forze resistenti (kN)
T = Forze instabilizzanti (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

COEFFICIENTE DI SICUREZZA = 1,387

Il coefficiente sismico applicato è pari a 0,025

GRADONE 325
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 2+3 (Famiglie 2+3)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15	325	73	325	0	67	79	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	16,7	7	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
15	245,42	12398	0	13884	0	1E+06	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 163,9
Inclinazione (°): 31,9

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 70,00
nel Piano B (°): 42,17

Coefficiente di Sicurezza = 1,356

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

GRADONE 325
ANALISI TRIDIMENSIONALE DELLO SCIVOLAMENTO DI UN CUNEO DI ROCCIA
Cuneo di scivolamento 3+4 (Famiglie 3+4)

Geometria e Giaciture

HF	Im_F	In_F	Im_Fs	In_Fs	Im_A	In_A	Im_B	In_B
15	325	73	325	0	254	51	327	33

HF = Altezza del fronte (m)
Im_F = Immersione del fronte (°)
In_F = Inclinazione del fronte (°)
Im_Fs = Immersione fronte superiore (°)
In_Fs = Inclinazione fronte superiore (°)
Im_A = Immersione del piano A (°)
In_A = Inclinazione del piano A (°)
Im_B = Immersione del piano B (°)
In_B = Inclinazione del piano B (°)

Il cuneo di roccia non è in aggetto

Parametri geomeccanici

Criterio di rottura di Barton

gamma	JCS_A	JRC_A	JCS_B	JRC_B	phi_b
26	23,3	9	10,1	6	30

gamma = Peso di volume della roccia (kN/mc)
JCS_A = Parametro JCS del piano A (MPa)
JRC_A = Parametro JRC del piano A (-)
JCS_B = Parametro JCS del piano B (MPa)
JRC_B = Parametro JRC del piano B (-)
phi_b = Angolo d'attrito di base (°)

Risultati della analisi

H	Area A	Area B	Area T	W	N_A	N_B	Q	S
15	328,72	12708	0	1465,5	198343	1E+06	1	0,025

H = Altezza del cuneo (m)
Area A = Area del piano A (mq)
Area B = Area del piano B (mq)
Area T = Area della frattura di trazione (mq)
W = Peso del cuneo (kN)
N_A = Reazione sul piano A (kN)
N_B = Reazione sul piano B (kN)
Q = Carico esterno applicato (kN)
S = Coefficiente sismico applicato

Retta d'intersezione dei piani

Direzione (°): 133,3
Inclinazione (°): 32,2

Pressioni idrauliche

U_A	U_B	U_T
0	0	0

U_A = sul piano A (kPa)
U_B = sul piano B (kPa)
U_T = sulla frattura di trazione (kPa)

Criterio di rottura di Barton

Angoli d'attrito di picco mobilitati secondo il criterio di Barton:

nel Piano A (°): 44,28
nel Piano B (°): 42,45

Coefficiente di Sicurezza = 1,476

Analisi valida per le condizioni idrauliche sotto riportate:

Circolazione idrica assente

GRADONE 325
RIBALTAMENTO DI UN BLOCCO SINGOLO
Piano di scivolamento 4 (Famiglia 4)

H	B	W	V	a	N	T	Mr	Ms	*Fs*
7	1,5	10,712	0,412	33	8,984	5,834	6,738	20,42	**3,031**

H: altezza del blocco (m)
B: larghezza del blocco (m)
W: peso del blocco (kN)
V: volume del blocco (mc)
a: inclinazione del piano basale (°)
N: componente normale del peso sul piano (kN)
T: componente tangenziale del peso sul piano (kN)
Mr: momento ribaltante (kNm)
Ms: momento stabilizzante (kNm)
Fs: coefficiente di sicurezza al ribaltamento

FRONTE 315
RIBALTAMENTO DI UN BLOCCO SINGOLO
Piano di scivolamento 3 (Famiglia 3)

H	B	W	V	a	N	T	Mr	Ms	*Fs*
5	1.82	12.231	0.453	29	10.697	5.93	9.735	14.824	**1.523**

H: altezza del blocco (m)
B: larghezza del blocco (m)
W: peso del blocco (kN)
V: volume del blocco (mc)
a: inclinazione del piano basale (°)
N: componente normale del peso sul piano (kN)
T: componente tangenziale del peso sul piano (kN)
Mr: momento ribaltante (kNm)
Ms: momento stabilizzante (kNm)
Fs: coefficiente di sicurezza al ribaltamento

GRADONE 315
RIBALTAMENTO DI UN BLOCCO SINGOLO
Piano di scivolamento 3 (Famiglia 3)

H	B	W	V	a	N	T	Mr	Ms	*Fs*
5	1.82	12.231	0.453	29	10.697	5.93	9.735	14.824	**1.523**

H: altezza del blocco (m)
B: larghezza del blocco (m)
W: peso del blocco (kN)
V: volume del blocco (mc)
a: inclinazione del piano basale (°)
N: componente normale del peso sul piano (kN)
T: componente tangenziale del peso sul piano (kN)
Mr: momento ribaltante (kNm)
Ms: momento stabilizzante (kNm)
Fs: coefficiente di sicurezza al ribaltamento

APPENDICE E

Verifiche di stabilità in materiale sciolto

RELAZIONE DI CALCOLO

Metodo di SARMA (1973)

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica *Kc*) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.
Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n* strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos a_i + T_i \sin a_i = W_i - DX_i$$

$$T_i \cos a_i - N_i \sin a_i = KW_i + DE_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$SDE_i = 0$$
$$SDX_i = 0$$

dove *Ei* e *Xi* rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico *i*.
L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$*\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi_i' - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$**\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi_i' - \alpha'\right) + \left(x_i' - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di *K* (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato

fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione *K* corrispondente al fattore di sicurezza F = 1 , ossia l'*accelerazione critica*.
Si ha pertanto:

K = Kc *accelerazione critica* se F = 1
F = Fs *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se K = 0

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne *Xi* ed *Ei* tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.
E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze *Xi*:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove *Qi* è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla *i*-esima faccia del concio *i*, e *l* rappresenta un'incognita.
La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di *Kc*, l e *F*, che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Valutazione dell'azione sismica
La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata 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 vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Essendo:
- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- W: peso concio
- K_X: Coefficiente sismico orizzontale
- K_Y: Coefficiente sismico verticale

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

Analisi di stabilità dei pendii con SARMA

==========

Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	124.31 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	453.72 m
Ascissa vertice destro superiore xs	136.98 m
Ordinata vertice destro superiore ys	461.69 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	3.0
Numero di celle lungo y	4.0

==========

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	440.0
2	128.0	440.0
3	137.5	447.0
4	141.75	447.0
5	152.0	454.0
6	153.95	460.0
7	161.55	460.0

Falda

Nr.	X m	y m
1	0.0	411.39
2	128.0	440.0
3	134.53	441.46
4	138.41	443.3
5	140.66	445.34
6	144.54	446.98
7	148.22	448.61
8	150.27	450.66
9	152.0	454.0
10	161.55	472.43

Vertici Dolomie di San Pietro

N	X m	y m
1	0.0	440.0
2	139.2	440.0
3	141.4	445.0
4	149.0	445.0

N	X m	y m
5	153.95	460.0
6	161.55	460.0

Stratigrafia
c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo

Litologia	c (kN/m²)	Fi (°)	G (kN/m³)	Gs (kN/m³)
Riporto	0	35	18	20
Dolomie di San Pietro	365	41.5	26	

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T4
Periodo di riferimento: 35 anni

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30[anni]
ag: 0,019 g
Fo: 2,593
Tc*: 0,158[s]

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1.46
Ascissa centro superficie	128.53 m
Ordinata centro superficie	457.71 m
Raggio superficie	15.88 m

B: Larghezza del concio;
Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio;
Li: Lunghezza della base del concio;
Wi: Peso del concio ;
Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre;
Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento;
Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento;
Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio;
Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali .

Analisi dei conci. Superficie...xc = 124.31 yc = 453.723 Rc = 14.289 Fs=1.94

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.62	-12.85	1.66	8.77
2	1.62	-6.28	1.63	20.22
3	1.62	0.23	1.62	23.8

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
4	1.62	6.73	1.63	19.67
5	1.62	13.35	1.66	7.65
6	1.62	20.13	1.72	17.31
7	1.62	27.22	1.82	31.4
8	1.62	34.84	1.97	37.84
9	1.62	43.24	2.22	34.53
10	1.62	53.11	2.69	17.08

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.14	6.57	0.0	0.0	9.88	4.49	0.0
2	0.61	18.31	0.14	6.57	20.92	9.51	0.0
3	0.65	28.99	0.61	18.31	23.72	10.78	0.0
4	0.33	35.38	0.65	28.99	19.1	8.68	0.0
5	0.04	36.93	0.33	35.38	7.37	3.35	0.0
6	0.18	37.26	0.04	36.93	16.0	6.22	0.0
7	0.45	34.0	0.18	37.26	29.18	11.33	0.0
8	0.48	24.84	0.45	34.0	36.27	14.09	0.0
9	0.29	10.81	0.48	24.84	34.91	13.56	0.0
10	0.0	0.0	0.29	10.81	19.07	7.41	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 126.422 yc = 454.719 Rc = 14.688 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.07	9.04	1.09	6.18
2	1.07	13.28	1.1	17.37
3	1.07	17.64	1.13	26.91
4	1.07	22.11	1.16	34.71
5	1.07	26.7	1.2	40.59
6	1.07	31.49	1.26	44.34
7	1.07	36.55	1.34	45.64
8	1.07	41.98	1.44	43.99
9	0.73	46.9	1.07	26.99
10	1.42	53.62	2.39	26.65

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.16	3.09	0.0	0.0	6.02	0.23	0.0
2	1.08	10.59	0.16	3.09	16.64	0.63	0.0
3	2.15	20.1	1.08	10.59	26.53	1.01	0.0
4	2.97	29.37	2.15	20.1	35.59	1.36	0.0
5	3.35	36.34	2.97	29.37	43.51	1.66	0.0
6	3.29	39.22	3.35	36.34	49.98	1.92	0.0
7	2.85	36.55	3.29	39.22	54.58	2.1	0.0
8	2.16	27.42	2.85	36.55	56.62	2.19	0.0
9	1.5	17.53	2.16	27.42	37.7	1.47	0.0
10	0.0	0.0	1.5	17.53	43.42	1.7	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 128.534 yc = 453.723 Rc = 12.00 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.79	11.72	0.81	3.08
2	0.79	15.6	0.82	8.62
3	0.79	19.57	0.84	13.34
4	0.79	23.63	0.86	17.17
5	0.79	27.83	0.89	20.04

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
6	0.79	32.16	0.93	21.83
7	0.79	36.79	0.99	22.41
8	0.79	41.63	1.06	21.54
9	0.61	46.25	0.88	14.79
10	0.97	52.12	1.59	11.74

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.07	1.41	0.0	0.0	3.03	0.11	0.0
2	0.48	4.81	0.07	1.41	8.37	0.32	0.0
3	0.98	9.11	0.48	4.81	13.31	0.51	0.0
4	1.37	13.25	0.98	9.11	17.78	0.68	0.0
5	1.56	16.31	1.37	13.25	21.65	0.83	0.0
6	1.55	17.5	1.56	16.31	24.74	0.95	0.0
7	1.36	16.16	1.55	17.5	26.84	1.03	0.0
8	1.05	12.01	1.36	16.16	27.56	1.07	0.0
9	0.72	6.99	1.05	12.01	20.4	0.79	0.0
10	0.0	0.0	0.72	6.99	18.65	0.73	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 130.646 yc = 454.719 Rc = 16.032 Fs=2.24

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	2.16	-19.26	2.29	23.68
2	2.16	-11.21	2.2	56.68
3	2.16	-3.38	2.17	121.0
4	2.16	4.36	2.17	182.0
5	2.16	12.19	2.21	226.38
6	2.39	20.74	2.56	280.98
7	1.93	29.26	2.22	228.46
8	2.16	38.16	2.75	206.95
9	2.16	48.97	3.29	151.8
10	2.16	63.59	4.86	71.82

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-2.25	22.33	0.0	0.0	31.84	12.53	0.0
2	-10.7	64.14	-2.25	22.33	72.02	28.34	0.0
3	-43.15	135.24	-10.7	64.14	157.37	61.94	0.0
4	-75.45	201.24	-43.15	135.24	208.65	82.12	0.0
5	-86.28	240.04	-75.45	201.24	223.68	88.03	0.0
6	-77.49	243.58	-86.28	240.04	253.3	99.69	0.0
7	-48.9	189.78	-77.49	243.58	150.94	50.78	56.99
8	-21.9	135.87	-48.9	189.78	174.8	68.8	0.0
9	-7.35	64.46	-21.9	135.87	143.96	56.66	0.0
10	0.0	0.0	-7.35	64.46	86.4	29.07	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 132.758 yc = 453.723 Rc = 9.711 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.63	6.1	0.63	2.3
2	0.63	9.89	0.64	6.54
3	0.63	13.71	0.65	10.29
4	0.63	17.52	0.66	13.55
5	0.63	21.49	0.68	16.27
6	0.88	26.33	0.98	26.16
7	0.38	30.47	0.44	11.26

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
8	0.63	34.12	0.76	14.97
9	0.63	38.7	0.81	9.74
10	0.63	43.57	0.87	3.53

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.15	0.87	0.0	0.0	2.15	0.08	0.0
2	1.03	3.0	0.15	0.87	5.68	0.22	0.0
3	2.17	5.7	1.03	3.0	9.26	0.35	0.0
4	3.21	8.3	2.17	5.7	12.84	0.49	0.0
5	3.92	10.13	3.21	8.3	16.28	0.62	0.0
6	4.26	10.35	3.92	10.13	27.86	1.07	0.0
7	3.51	9.03	4.26	10.35	13.39	0.51	0.0
8	1.97	5.64	3.51	9.03	19.06	0.73	0.0
9	0.7	2.04	1.97	5.64	13.37	0.52	0.0
10	0.0	0.0	0.7	2.04	5.48	0.21	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 134.87 yc = 454.719 Rc = 9.312 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.47	4.57	0.47	1.34
2	0.47	7.35	0.48	3.89
3	0.47	10.33	0.48	6.23
4	0.47	13.25	0.49	8.35
5	0.26	15.6	0.27	5.32
6	0.69	18.61	0.73	13.71
7	0.47	22.54	0.51	7.55
8	0.47	25.59	0.52	5.76
9	0.47	28.9	0.54	3.69
10	0.47	32.26	0.56	1.31

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.05	0.33	0.0	0.0	1.29	0.05	0.0
2	0.4	1.12	0.05	0.33	3.54	0.13	0.0
3	0.92	2.08	0.4	1.12	5.74	0.22	0.0
4	1.46	2.95	0.92	2.08	7.89	0.3	0.0
5	1.84	3.29	1.46	2.95	5.04	0.19	0.0
6	1.48	3.13	1.84	3.29	14.51	0.55	0.0
7	0.81	2.3	1.48	3.13	8.65	0.33	0.0
8	0.41	1.34	0.81	2.3	6.6	0.25	0.0
9	0.15	0.45	0.41	1.34	4.35	0.17	0.0
10	0.0	0.0	0.15	0.45	1.65	0.06	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 136.982 yc = 453.723 Rc = 8.12 Fs=4.14

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.58	-6.86	0.58	2.65
2	0.58	-2.66	0.58	7.62
3	0.6	1.55	0.6	12.74
4	0.56	5.66	0.56	13.6
5	0.58	9.65	0.59	13.39
6	0.58	13.82	0.6	12.13
7	0.58	18.17	0.61	10.39
8	0.58	22.44	0.63	8.15
9	0.58	27.03	0.65	5.35

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
10	0.58	31.68	0.68	1.95

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-0.09	0.85	0.0	0.0	2.82	0.51	0.0
2	-0.65	2.73	-0.09	0.85	8.25	1.5	0.0
3	-1.43	4.82	-0.65	2.73	13.46	2.45	0.0
4	-1.62	5.94	-1.43	4.82	13.62	2.48	0.0
5	-1.23	6.09	-1.62	5.94	12.78	2.33	0.0
6	-0.85	5.37	-1.23	6.09	11.58	2.11	0.0
7	-0.52	3.98	-0.85	5.37	9.99	1.82	0.0
8	-0.27	2.28	-0.52	3.98	7.94	1.45	0.0
9	-0.09	0.73	-0.27	2.28	5.32	0.97	0.0
10	0.0	0.0	-0.09	0.73	1.96	0.36	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 124.31 yc = 455.716 Rc = 16.629 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.96	-15.58	2.03	15.57
2	1.96	-8.65	1.98	36.96
3	1.96	-1.86	1.96	46.12
4	1.96	4.92	1.97	43.45
5	1.96	11.76	2.0	28.84
6	1.96	18.79	2.07	44.6
7	1.96	26.11	2.18	66.68
8	1.96	33.94	2.36	77.66
9	1.96	42.62	2.66	74.3
10	1.96	52.79	3.24	49.95

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	2.08	11.22	0.0	0.0	14.32	0.63	0.0
2	9.53	33.03	2.08	11.22	30.21	1.32	0.0
3	11.4	56.6	9.53	33.03	44.39	1.96	0.0
4	7.54	73.81	11.4	56.6	47.16	2.09	0.0
5	2.43	81.15	7.54	73.81	34.1	1.52	0.0
6	6.02	88.72	2.43	81.15	42.17	1.88	0.0
7	9.04	89.56	6.02	88.72	68.0	2.6	0.68
8	8.93	75.88	9.04	89.56	89.62	3.45	0.0
9	5.88	43.83	8.93	75.88	98.87	3.83	0.0
10	0.0	0.0	5.88	43.83	84.69	3.32	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 126.422 yc = 456.712 Rc = 15.485 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.81	16.28	0.85	2.73
2	0.81	19.47	0.86	7.66
3	0.81	22.64	0.88	11.85
4	0.81	25.96	0.9	15.25
5	0.81	29.37	0.93	17.78
6	0.81	32.87	0.97	19.37
7	0.81	36.58	1.01	19.9
8	0.81	40.38	1.07	19.22
9	0.64	44.03	0.89	13.77
10	0.98	48.4	1.48	10.27

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.06	1.03	0.0	0.0	2.73	0.1	0.0
2	0.41	3.53	0.06	1.03	7.58	0.29	0.0
3	0.85	6.67	0.41	3.53	12.02	0.46	0.0
4	1.22	9.67	0.85	6.67	16.01	0.61	0.0
5	1.45	11.83	1.22	9.67	19.4	0.74	0.0
6	1.49	12.59	1.45	11.83	22.03	0.85	0.0
7	1.36	11.52	1.49	12.59	23.73	0.91	0.0
8	1.1	8.5	1.36	11.52	24.16	0.93	0.0
9	0.79	4.79	1.1	8.5	18.36	0.71	0.0
10	0.0	0.0	0.79	4.79	15.46	0.6	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 128.534 yc = 455.716 Rc = 15.086 Fs=1.51

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.2	3.55	1.2	8.99
2	1.2	8.1	1.21	25.43
3	1.2	12.71	1.23	39.74
4	1.2	17.46	1.26	51.84
5	1.2	22.31	1.3	61.56
6	1.2	27.33	1.35	68.67
7	1.45	33.17	1.73	88.25
8	0.95	38.77	1.22	52.2
9	1.2	44.28	1.67	45.36
10	1.2	51.08	1.91	17.05

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-0.88	4.19	0.0	0.0	9.59	4.79	0.0
2	-5.85	14.31	-0.88	4.19	28.67	14.31	0.0
3	-11.8	25.54	-5.85	14.31	42.11	21.01	0.0
4	-16.46	34.54	-11.8	25.54	51.19	25.55	0.0
5	-18.93	39.26	-16.46	34.54	57.45	28.67	0.0
6	-19.11	38.28	-18.93	39.26	61.61	30.75	0.0
7	-17.05	28.22	-19.11	38.28	77.64	38.75	0.0
8	-11.13	18.17	-17.05	28.22	42.37	21.14	0.0
9	-4.33	5.81	-11.13	18.17	36.23	18.08	0.0
10	0.0	0.0	-4.33	5.81	12.52	6.25	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 130.646 yc = 456.712 Rc = 13.742 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.82	8.0	0.83	3.72
2	0.82	11.44	0.84	10.62
3	0.82	15.02	0.85	16.74
4	0.82	18.54	0.87	22.05
5	0.82	22.25	0.89	26.5
6	0.82	25.99	0.92	30.03
7	0.42	28.92	0.48	16.43
8	1.22	32.94	1.46	40.22
9	0.82	38.2	1.05	16.22
10	0.82	42.68	1.12	5.84

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.22	1.33	0.0	0.0	3.5	0.13	0.0
2	1.54	4.62	0.22	1.33	9.36	0.35	0.0
3	3.29	8.81	1.54	4.62	15.24	0.58	0.0
4	4.93	12.87	3.29	8.81	21.05	0.8	0.0
5	6.09	15.75	4.93	12.87	26.63	1.02	0.0
6	6.69	16.6	6.09	15.75	31.69	1.21	0.0
7	6.74	15.96	6.69	16.6	18.03	0.69	0.0
8	4.08	9.28	6.74	15.96	48.93	1.88	0.0
9	1.19	3.16	4.08	9.28	23.07	0.89	0.0
10	0.0	0.0	1.19	3.16	8.99	0.35	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 132.758 yc = 455.716 Rc = 12.00 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.8	3.32	0.8	3.96
2	0.8	7.1	0.8	11.33
3	0.8	10.94	0.81	17.93
4	0.8	14.89	0.82	23.72
5	0.8	18.81	0.84	28.67
6	0.47	22.07	0.51	19.01
7	1.12	26.24	1.25	41.29
8	0.8	31.47	0.93	21.82
9	0.8	36.05	0.98	14.21
10	0.8	40.88	1.05	5.15

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.24	1.42	0.0	0.0	3.71	0.14	0.0
2	1.66	4.81	0.24	1.42	9.9	0.37	0.0
3	3.55	9.06	1.66	4.81	16.12	0.61	0.0
4	5.28	13.04	3.55	9.06	22.35	0.85	0.0
5	6.54	15.72	5.28	13.04	28.3	1.08	0.0
6	7.1	16.28	6.54	15.72	19.37	0.74	0.0
7	5.03	12.83	7.1	16.28	46.77	1.79	0.0
8	2.24	7.57	5.03	12.83	27.7	1.06	0.0
9	0.79	2.68	2.24	7.57	18.44	0.71	0.0
10	0.0	0.0	0.79	2.68	7.42	0.29	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 134.87 yc = 456.712 Rc = 12.00 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.84	-0.15	0.84	4.86
2	0.84	3.8	0.85	13.92
3	0.84	7.93	0.85	22.07
4	0.56	11.3	0.57	18.6
5	1.13	15.47	1.17	37.76
6	0.84	20.4	0.9	23.35
7	0.84	24.8	0.93	18.0
8	0.84	29.33	0.97	11.45
9	0.84	34.06	1.02	3.52
10	0.84	39.12	1.09	1.08

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.17	1.42	0.0	0.0	4.7	0.18	0.0
2	1.16	4.53	0.17	1.42	12.9	0.49	0.0
3	2.47	7.98	1.16	4.53	20.77	0.79	0.0
4	3.48	9.83	2.47	7.98	17.68	0.67	0.0
5	2.94	10.39	3.48	9.83	39.01	1.48	0.0
6	1.64	8.28	2.94	10.39	25.65	0.98	0.0
7	0.81	5.1	1.64	8.28	20.11	0.77	0.0
8	0.27	1.95	0.81	5.1	13.24	0.51	0.0
9	0.02	0.54	0.27	1.95	4.35	0.17	0.0
10	0.0	0.0	0.02	0.54	1.35	0.05	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 136.982 yc = 455.716 Rc = 10.457 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.01	-6.38	1.01	7.93
2	1.18	-0.37	1.18	27.71
3	0.83	5.15	0.84	25.48
4	1.01	10.2	1.02	28.51
5	1.01	15.89	1.05	24.3
6	1.01	21.71	1.08	18.11
7	1.01	27.81	1.14	10.99
8	1.01	34.25	1.22	12.5
9	1.01	41.23	1.34	10.89
10	1.01	49.14	1.54	5.09

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-0.68	3.16	0.0	0.0	8.73	0.33	0.0
2	-4.84	11.14	-0.68	3.16	31.88	1.2	0.0
3	-6.57	15.69	-4.84	11.14	27.16	1.03	0.0
4	-4.59	18.52	-6.57	15.69	26.63	1.01	0.0
5	-2.63	18.68	-4.59	18.52	22.78	0.87	0.0
6	-1.14	17.0	-2.63	18.68	17.42	0.66	0.0
7	-0.33	14.71	-1.14	17.0	11.1	0.43	0.0
8	-0.33	9.91	-0.33	14.71	14.45	0.56	0.0
9	-0.19	3.91	-0.33	9.91	13.48	0.52	0.0
10	0.0	0.0	-0.19	3.91	6.94	0.27	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 126.422 yc = 458.705 Rc = 16.282 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.43	26.47	0.48	0.41
2	0.43	28.12	0.49	1.14
3	0.43	29.87	0.49	1.74
4	0.43	31.6	0.5	2.21
5	0.43	33.42	0.51	2.54
6	0.43	35.21	0.52	2.72
7	0.43	37.11	0.54	2.74
8	0.43	39.0	0.55	2.59
9	0.43	40.99	0.57	2.26
10	0.43	42.94	0.59	1.56

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.0	0.08	0.0	0.0	0.44	0.02	0.0
2	0.02	0.29	0.0	0.08	1.23	0.05	0.0
3	0.04	0.53	0.02	0.29	1.91	0.07	0.0
4	0.06	0.76	0.04	0.53	2.47	0.09	0.0
5	0.07	0.91	0.06	0.76	2.9	0.11	0.0
6	0.07	0.95	0.07	0.91	3.17	0.12	0.0
7	0.07	0.86	0.07	0.95	3.28	0.13	0.0
8	0.06	0.64	0.07	0.86	3.17	0.12	0.0
9	0.04	0.33	0.06	0.64	2.84	0.11	0.0
10	0.0	0.0	0.04	0.33	2.06	0.08	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 128.534 yc = 457.709 Rc = 15.883 Fs=1.46

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.96	9.52	0.97	4.84
2	0.96	13.02	0.98	13.75
3	0.96	16.6	1.0	21.58
4	0.96	20.26	1.02	28.27
5	0.96	23.98	1.05	33.74
6	0.96	27.86	1.09	37.9
7	1.07	32.08	1.26	45.49
8	0.85	36.26	1.05	32.05
9	0.96	40.44	1.26	23.98
10	0.96	45.12	1.36	8.68

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-0.28	1.64	0.0	0.0	4.78	2.47	0.0
2	-1.96	5.57	-0.28	1.64	14.15	7.3	0.0
3	-4.14	10.06	-1.96	5.57	21.49	11.09	0.0
4	-6.1	13.79	-4.14	10.06	27.06	13.97	0.0
5	-7.44	15.82	-6.1	13.79	31.22	16.12	0.0
6	-7.98	15.44	-7.44	15.82	34.17	17.63	0.0
7	-7.75	11.66	-7.98	15.44	40.36	20.83	0.0
8	-5.22	7.0	-7.75	11.66	26.56	13.71	0.0
9	-1.94	2.17	-5.22	7.0	18.9	9.75	0.0
10	0.0	0.0	-1.94	2.17	6.28	3.24	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 130.646 yc = 458.705 Rc = 16.282 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.11	4.29	1.11	7.54
2	1.11	8.22	1.12	21.49
3	1.11	12.19	1.14	33.88
4	1.11	16.25	1.16	44.63
5	1.11	20.35	1.19	53.67
6	0.64	23.68	0.7	34.08
7	1.59	28.05	1.8	76.23
8	1.11	33.57	1.33	37.34
9	1.11	38.41	1.42	21.21
10	1.11	43.6	1.54	3.48

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.45	2.71	0.0	0.0	7.07	0.27	0.0
2	3.14	9.17	0.45	2.71	18.81	0.71	0.0
3	6.62	17.16	3.14	9.17	30.64	1.16	0.0
4	9.7	24.42	6.62	17.16	42.44	1.61	0.0
5	11.8	28.88	9.7	24.42	53.63	2.04	0.0
6	12.61	29.41	11.8	28.88	35.27	1.35	0.0
7	8.48	21.34	12.61	29.41	87.85	3.36	0.0
8	3.31	10.81	8.48	21.34	48.8	1.88	0.0
9	0.88	2.34	3.31	10.81	28.61	1.1	0.0
10	0.0	0.0	0.88	2.34	5.65	0.22	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 132.758 yc = 457.709 Rc = 13.942 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.86	3.28	0.86	4.59
2	0.86	6.76	0.86	13.17
3	0.86	10.33	0.87	20.92
4	0.86	13.97	0.88	27.82
5	0.95	17.82	1.0	38.03
6	0.76	21.54	0.82	30.86
7	0.86	25.21	0.95	29.45
8	0.86	29.13	0.98	22.68
9	0.86	33.29	1.03	14.67
10	0.86	37.56	1.08	5.28

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.24	1.45	0.0	0.0	4.34	0.16	0.0
2	1.74	4.89	0.24	1.45	11.66	0.44	0.0
3	3.78	9.16	1.74	4.89	18.95	0.72	0.0
4	5.75	13.08	3.78	9.16	26.2	1.0	0.0
5	7.36	15.68	5.75	13.08	37.43	1.42	0.0
6	6.56	15.05	7.36	15.68	33.15	1.26	0.0
7	4.02	11.58	6.56	15.05	34.25	1.31	0.0
8	2.03	6.89	4.02	11.58	27.21	1.04	0.0
9	0.72	2.38	2.03	6.89	18.3	0.7	0.0
10	0.0	0.0	0.72	2.38	7.19	0.28	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 134.87 yc = 458.705 Rc = 14.141 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.16	-0.28	1.16	9.31
2	1.16	4.44	1.17	26.43
3	0.96	8.75	0.97	33.02
4	1.37	13.58	1.41	50.49
5	1.16	18.95	1.23	35.05
6	1.16	24.04	1.28	25.45
7	1.16	29.31	1.34	13.72
8	1.16	34.88	1.42	15.1
9	1.16	40.91	1.54	12.81
10	1.16	47.51	1.72	5.8

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-0.29	3.13	0.0	0.0	9.6	0.36	0.0
2	-1.92	9.77	-0.29	3.13	27.99	1.06	0.0
3	-3.73	15.44	-1.92	9.77	34.88	1.32	0.0
4	-3.45	20.06	-3.73	15.44	50.82	1.93	0.0
5	-1.85	20.22	-3.45	20.06	34.55	1.32	0.0
6	-0.79	17.93	-1.85	20.22	25.92	0.99	0.0
7	-0.18	15.28	-0.79	17.93	14.48	0.56	0.0
8	-0.18	10.16	-0.18	15.28	17.56	0.68	0.0
9	-0.1	3.91	-0.18	10.16	15.9	0.61	0.0
10	0.0	0.0	-0.1	3.91	7.85	0.31	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 136.982 yc = 457.709 Rc = 12.00 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.04	-3.02	1.04	7.9
2	0.64	0.94	0.64	12.09
3	1.44	5.94	1.45	31.9
4	1.04	11.96	1.06	19.33
5	1.04	17.08	1.09	14.29
6	1.04	22.38	1.13	7.3
7	1.04	27.86	1.18	8.87
8	1.04	33.67	1.25	10.6
9	1.04	39.88	1.36	9.37
10	1.04	46.77	1.52	4.36

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-1.12	2.78	0.0	0.0	9.07	0.34	0.0
2	-6.04	6.24	-1.12	2.78	16.99	0.64	0.0
3	-6.69	11.9	-6.04	6.24	32.5	1.23	0.0
4	-3.69	13.71	-6.69	11.9	16.45	0.62	0.0
5	-1.63	13.89	-3.69	13.71	12.53	0.48	0.0
6	-0.34	13.44	-1.63	13.89	6.33	0.24	0.0
7	-0.4	11.36	-0.34	13.44	9.75	0.37	0.0
8	-0.45	7.53	-0.4	11.36	12.24	0.47	0.0
9	-0.28	2.86	-0.45	7.53	11.33	0.44	0.0
10	0.0	0.0	-0.28	2.86	5.55	0.22	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 124.31 yc = 459.701 Rc = 19.021 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.83	19.32	0.88	2.46
2	0.83	21.99	0.89	6.91
3	0.83	24.69	0.91	10.68
4	0.83	27.47	0.93	13.73
5	0.83	30.33	0.96	16.02
6	0.83	33.27	0.99	17.46
7	0.83	36.32	1.03	17.99
8	0.83	39.49	1.07	17.48
9	0.69	42.49	0.93	13.29
10	0.97	46.02	1.39	9.07

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.05	0.79	0.0	0.0	2.5	0.1	0.0
2	0.34	2.72	0.05	0.79	6.94	0.26	0.0
3	0.73	5.14	0.34	2.72	10.98	0.42	0.0
4	1.08	7.43	0.73	5.14	14.57	0.56	0.0
5	1.3	9.07	1.08	7.43	17.59	0.67	0.0
6	1.37	9.63	1.3	9.07	19.91	0.77	0.0
7	1.29	8.81	1.37	9.63	21.35	0.82	0.0
8	1.08	6.51	1.29	8.81	21.7	0.84	0.0
9	0.81	3.56	1.08	6.51	17.3	0.67	0.0
10	0.0	0.0	0.81	3.56	13.29	0.52	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 126.422 yc = 460.698 Rc = 19.898 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.15	10.24	1.17	6.76
2	1.15	13.63	1.18	19.2
3	1.15	17.05	1.2	30.15
4	1.15	20.54	1.22	39.54
5	1.15	24.1	1.26	47.26
6	1.15	27.79	1.3	53.19
7	1.23	31.75	1.45	61.54
8	1.06	35.71	1.31	47.03
9	1.15	39.74	1.49	33.23
10	1.15	44.2	1.6	11.98

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.38	2.47	0.0	0.0	6.41	0.24	0.0
2	2.65	8.6	0.38	2.47	17.13	0.65	0.0
3	5.66	16.45	2.65	8.6	27.8	1.06	0.0
4	8.41	24.07	5.66	16.45	38.3	1.46	0.0
5	10.35	29.64	8.41	24.07	48.18	1.84	0.0
6	11.25	31.51	10.35	29.64	57.05	2.19	0.0
7	11.08	27.88	11.25	31.51	69.62	2.67	0.0
8	7.46	18.6	11.08	27.88	59.45	2.29	0.0
9	2.73	6.83	7.46	18.6	46.71	1.8	0.0
10	0.0	0.0	2.73	6.83	19.23	0.75	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 128.534 yc = 459.701 Rc = 16.681 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.65	16.26	0.67	1.72
2	0.65	18.6	0.68	4.9
3	0.65	20.94	0.69	7.73
4	0.65	23.36	0.7	10.21
5	0.65	25.82	0.72	12.32
6	0.65	28.26	0.73	14.02
7	0.74	31.04	0.86	17.59
8	0.55	33.64	0.66	11.79
9	0.65	36.17	0.8	8.91
10	0.65	39.03	0.83	3.13

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.07	0.45	0.0	0.0	1.68	0.06	0.0
2	0.55	1.59	0.07	0.45	4.56	0.17	0.0
3	1.23	3.06	0.55	1.59	7.35	0.28	0.0
4	1.94	4.51	1.23	3.06	10.05	0.38	0.0
5	2.55	5.59	1.94	4.51	12.59	0.48	0.0
6	2.99	6.03	2.55	5.59	14.87	0.57	0.0
7	3.2	5.39	2.99	6.03	19.47	0.75	0.0
8	2.32	3.69	3.2	5.39	14.56	0.56	0.0
9	0.88	1.35	2.32	3.69	12.21	0.47	0.0
10	0.0	0.0	0.88	1.35	4.89	0.19	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 130.646 yc = 460.698 Rc = 19.898 Fs=1.69

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.91	-1.53	1.91	25.86
2	1.91	3.99	1.91	73.05
3	1.91	9.52	1.94	114.45
4	2.61	16.23	2.72	212.34
5	1.21	22.02	1.31	105.8
6	1.91	27.0	2.14	144.47
7	1.91	33.39	2.29	114.88
8	1.91	40.29	2.5	96.39
9	1.91	48.01	2.86	73.86
10	1.91	57.22	3.53	33.51

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-4.67	14.6	0.0	0.0	30.91	13.78	0.0
2	-29.92	50.04	-4.67	14.6	94.63	42.2	0.98
3	-58.24	84.98	-29.92	50.04	130.28	58.09	4.81
4	-80.62	110.17	-58.24	84.98	201.45	89.82	17.56
5	-72.35	109.21	-80.62	110.17	80.04	35.69	11.57
6	-43.3	91.92	-72.35	109.21	83.02	37.02	31.05
7	-19.9	82.56	-43.3	91.92	81.53	42.53	0.0
8	-11.35	48.71	-19.9	82.56	69.51	30.99	25.41
9	-5.36	18.41	-11.35	48.71	67.69	30.18	0.35
10	0.0	0.0	-5.36	18.41	30.72	13.7	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 132.758 yc = 459.701 Rc = 16.681 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.44	0.27	1.44	14.04
2	1.44	5.22	1.44	39.69
3	1.44	10.2	1.46	62.08
4	1.07	14.63	1.1	58.61
5	1.81	19.82	1.92	97.43
6	1.44	25.87	1.6	60.09
7	1.44	31.5	1.69	40.13
8	1.44	37.53	1.81	34.35
9	1.44	44.08	2.0	27.74
10	1.44	51.48	2.31	12.33

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-0.13	5.62	0.0	0.0	14.16	0.53	0.0
2	-0.83	18.04	-0.13	5.62	40.31	1.52	0.0
3	-1.67	31.98	-0.83	18.04	63.14	2.39	0.0
4	-2.23	40.49	-1.67	31.98	60.09	2.28	0.0
5	-1.74	45.63	-2.23	40.49	100.55	3.83	0.0
6	-0.81	41.9	-1.74	45.63	62.56	2.39	1.23
7	-0.28	34.48	-0.81	41.9	41.76	1.6	3.44
8	-0.17	23.27	-0.28	34.48	41.02	1.58	0.0
9	-0.08	9.25	-0.17	23.27	36.11	1.4	0.0
10	0.0	0.0	-0.08	9.25	18.11	0.71	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 134.87 yc = 460.698 Rc = 15.098 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.56	3.92	0.56	1.91
2	0.56	6.06	0.56	5.57
3	0.76	8.59	0.76	12.96
4	0.36	10.69	0.37	7.42
5	0.56	12.56	0.57	10.48
6	0.56	14.69	0.58	9.12
7	0.56	16.9	0.58	7.52
8	0.56	19.13	0.59	5.69
9	0.56	21.44	0.6	3.61
10	0.56	23.73	0.61	1.28

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.04	0.31	0.0	0.0	1.86	0.07	0.0
2	0.34	1.01	0.04	0.31	5.26	0.2	0.0
3	0.92	2.08	0.34	1.01	12.39	0.47	0.0
4	1.2	2.42	0.92	2.08	7.18	0.27	0.0
5	0.93	2.47	1.2	2.42	10.84	0.41	0.0
6	0.64	2.15	0.93	2.47	9.55	0.36	0.0
7	0.4	1.57	0.64	2.15	7.95	0.3	0.0
8	0.21	0.88	0.4	1.57	6.08	0.23	0.0
9	0.08	0.28	0.21	0.88	3.92	0.15	0.0
10	0.0	0.0	0.08	0.28	1.44	0.05	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 136.982 yc = 459.701 Rc = 14.34 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.37	-3.61	1.37	13.9
2	0.74	0.59	0.74	18.1
3	2.0	6.09	2.01	56.17
4	1.37	12.94	1.4	31.45
5	1.37	18.61	1.44	21.93
6	1.37	24.53	1.5	28.4
7	1.37	30.7	1.59	33.82
8	1.37	37.33	1.72	34.14
9	1.37	44.63	1.92	27.98
10	1.37	53.0	2.28	12.7

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-3.07	6.82	0.0	0.0	17.08	0.64	0.0
2	-15.38	14.54	-3.07	6.82	30.39	1.15	0.0
3	-16.04	30.88	-15.38	14.54	56.74	2.15	0.0
4	-8.11	37.5	-16.04	30.88	23.76	0.9	0.0
5	-3.11	40.28	-8.11	37.5	17.46	0.66	0.0
6	-4.06	38.59	-3.11	40.28	31.29	1.2	0.0
7	-4.47	32.45	-4.06	38.59	38.25	1.47	0.0
8	-3.5	21.81	-4.47	32.45	39.64	1.53	0.0
9	-1.8	8.39	-3.5	21.81	34.6	1.34	0.0
10	0.0	0.0	-1.8	8.39	16.6	0.65	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 124.31 yc = 461.694 Rc = 20.894 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.89	17.8	0.94	3.05
2	0.89	20.41	0.95	8.62
3	0.89	23.05	0.97	13.45
4	0.89	25.74	0.99	17.5
5	0.89	28.45	1.01	20.72
6	0.89	31.28	1.04	23.04
7	0.89	34.2	1.08	24.38
8	1.01	37.41	1.27	27.86
9	0.77	40.54	1.02	16.54
10	0.89	43.64	1.23	7.01

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.11	0.94	0.0	0.0	3.03	0.12	0.0
2	0.75	3.28	0.11	0.94	8.3	0.32	0.0
3	1.64	6.26	0.75	3.28	13.27	0.51	0.0
4	2.48	9.14	1.64	6.26	17.91	0.68	0.0
5	3.11	11.28	2.48	9.14	22.04	0.84	0.0
6	3.42	12.09	3.11	11.28	25.53	0.98	0.0
7	3.41	11.15	3.42	12.09	28.18	1.08	0.0
8	3.07	7.69	3.41	11.15	33.74	1.3	0.0
9	1.63	3.35	3.07	7.69	22.34	0.86	0.0
10	0.0	0.0	1.63	3.35	11.2	0.43	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 128.534 yc = 461.694 Rc = 18.494 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	0.66	15.42	0.69	1.87
2	0.66	17.62	0.7	5.35
3	0.66	19.77	0.7	8.51
4	0.66	21.96	0.72	11.32
5	0.66	24.22	0.73	13.78
6	0.66	26.49	0.74	15.87
7	0.39	28.3	0.44	10.13
8	0.94	30.68	1.09	20.45
9	0.66	33.62	0.8	8.48
10	0.66	36.15	0.82	2.97

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	0.08	0.43	0.0	0.0	1.82	0.07	0.0
2	0.59	1.53	0.08	0.43	4.97	0.19	0.0
3	1.37	2.95	0.59	1.53	8.02	0.31	0.0
4	2.22	4.35	1.37	2.95	10.99	0.42	0.0
5	2.99	5.39	2.22	4.35	13.84	0.53	0.0
6	3.6	5.79	2.99	5.39	16.48	0.63	0.0
7	3.95	5.67	3.6	5.79	10.71	0.41	0.0
8	2.52	3.33	3.95	5.67	24.44	0.94	0.0
9	0.77	1.09	2.52	3.33	11.75	0.45	0.0
10	0.0	0.0	0.77	1.09	4.4	0.17	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 132.758 yc = 461.694 Rc = 18.494 Fs=1.93

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.57	1.15	1.57	16.4
2	1.57	6.06	1.58	46.35
3	2.01	11.68	2.05	96.81
4	1.13	16.69	1.18	61.71
5	1.57	21.14	1.68	72.36
6	1.57	26.47	1.76	53.88
7	1.57	32.06	1.85	44.03
8	1.57	38.03	1.99	42.87
9	1.57	44.53	2.2	34.32
10	1.57	51.9	2.55	15.17

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-2.5	6.95	0.0	0.0	18.76	7.33	0.0
2	-16.42	23.4	-2.5	6.95	58.2	22.72	0.0
3	-34.79	42.97	-16.42	23.4	108.83	42.49	0.0
4	-35.9	48.07	-34.79	42.97	58.71	22.92	0.0
5	-21.35	48.25	-35.9	48.07	53.86	21.03	0.0
6	-9.28	42.53	-21.35	48.25	34.61	13.51	5.99
7	-4.98	34.25	-9.28	42.53	36.05	14.08	2.38
8	-3.77	21.75	-4.98	34.25	40.51	15.82	0.0
9	-1.91	7.84	-3.77	21.75	32.9	12.84	0.0
10	0.0	0.0	-1.91	7.84	14.35	5.6	0.0

Analisi dei conci. Superficie...xc = 136.982 yc = 461.694 Rc = 15.453 Fs=19.99

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)
1	1.02	0.01	1.02	7.04
2	1.47	4.67	1.48	18.8
3	1.25	9.74	1.26	12.03
4	1.25	14.5	1.29	6.03
5	1.25	19.32	1.32	2.77
6	1.25	24.31	1.37	10.69
7	1.25	29.5	1.43	15.61
8	1.25	35.0	1.52	17.1
9	1.25	40.84	1.65	14.45
10	1.25	47.34	1.84	6.53

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (kN)	Ei (kN)	Xi-1 (kN)	Ei-1 (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)	Ui (kN)
1	-3.16	3.16	0.0	0.0	10.19	0.38	0.0
2	-8.94	9.41	-3.16	3.16	24.52	0.93	0.0
3	-4.16	12.88	-8.94	9.41	7.27	0.28	0.0
4	-0.86	14.48	-4.16	12.88	2.77	0.11	0.0
5	-0.15	14.88	-0.86	14.48	2.13	0.08	0.0
6	-1.78	14.04	-0.15	14.88	13.12	0.5	0.0
7	-3.07	11.41	-1.78	14.04	18.69	0.72	0.0
8	-2.95	7.16	-3.07	11.41	19.78	0.76	0.0
9	-1.69	2.3	-2.95	7.16	16.46	0.64	0.0
10	0.0	0.0	-1.69	2.3	6.66	0.26	0.0

APPENDICE F

Verifiche idrauliche

STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione : Cava Veriusa

Punto di sezione: Quota 599 m

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S	⇨ ***0.0316***	[Km^2] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione
L	⇨ ***0.16***	[Km] Lunghezza asta principale	[ore]
Hm	⇨ ***626***	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{(Hm - Ho)}}$ ⇨ ***0.23***
Ho	⇨ ***599***	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA

Curva di probabilità pluviometrica $h_{(t)} = at^n$

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione
a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr
n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr
Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
BS146	**441000**	**4909000**	**44.42**	**0.43**	**56.89**	**0.427**	**62.29**	**0.425**

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)
20	**23.56**
100	**30.30**
200	**33.28**

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] ***0.23***
Tr = tempo di ritorno

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

dove

Q_c			portata al colmo
c	⇨	***0.5***	coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$			massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇨	***0.0316***	[Km^2] Superficie Bacino
T_c	⇨	***0.23***	[ore] Tempo di corrivazione

RISULTATI

Tr		Q_c *[mc/sec]*
20	⇨	**0.452**
100	⇨	**0.582**
200	⇨	**0.639**

Tr = tempo di ritorno [anni]

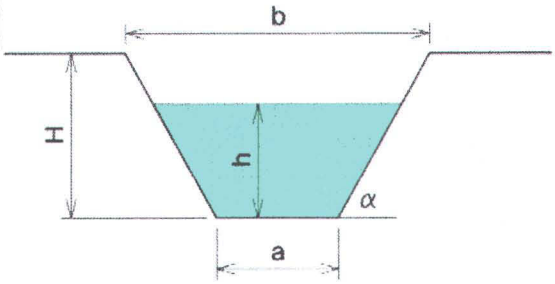
CALCOLO CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE

Decrizione: Canaletta tipo 1

CARATTERISTICHE SEZIONE

DATI NOTI (da inserire)

H	⇨	***0.30***	ALTEZZA [m]
a	⇨	***0.75***	[m]
b	⇨	***0.90***	[m]
h	⇨	***0.30***	[m]
p	⇨	***2%***	Pendenza
m	⇨	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter



DATI RISULTANTI

Inclinazione scarpata	α	⇨	**76.0**
Contorno bagnato	$Pb = a + 2h / \operatorname{sen}\alpha$	⇨	**1.368** [m]
Area di deflusso	$A = h[a + h \quad tg(90 - \alpha)]$	⇨	**0.2475** [m^2]
Raggio idraulico	$Ri = \frac{A}{Pb}$	⇨	**0.181** [m]

CAPACITA' DI SMALTIMENTO per un'altezza d'acqua h = *0.30 m*

FORMULE (moto uniforme)

Portata	$Q = AV$	dove	A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c\sqrt{R_i \; p}$	dove	c = coefficiente di attrito Ri = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$	dove	*m* = Coeff. Di scabrosità di Kutter

RISULTATI

c	⇨	**43.61**	
V	⇨	**2.62**	**[m/sec]**
Q	⇨	**0.649**	**[m^3/sec]**

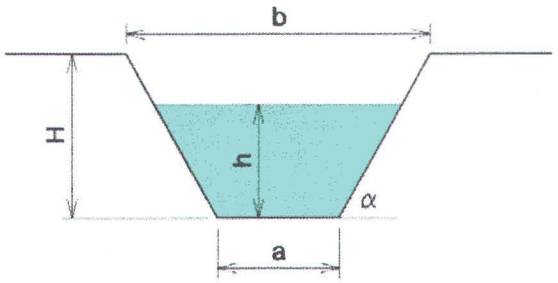
CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE
per varie altezze d'acqua

CARATTERISTICHE SEZIONE

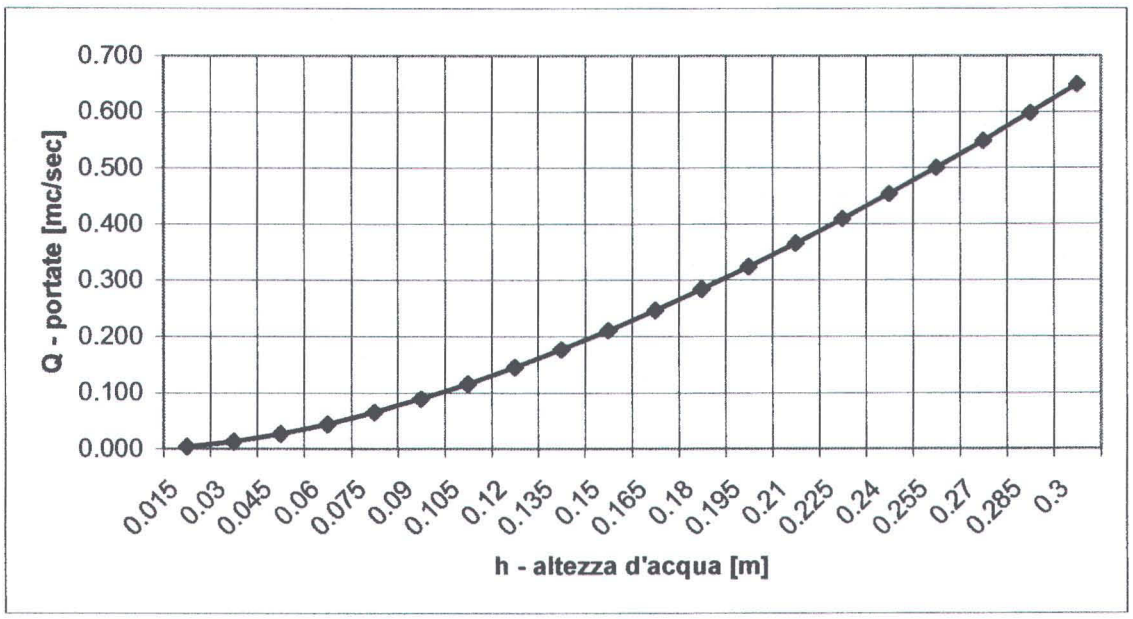
H	***0.30***	ALTEZZA [m]
a	***0.75***	[m]
b	***0.90***	[m]

p	**2%**	Pendenza
m	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m^3/sec]
0.02	0.003
0.03	0.013
0.05	0.026
0.06	0.044
0.08	0.065
0.09	0.089
0.11	0.116
0.12	0.145
0.14	0.177
0.15	0.211
0.17	0.247
0.18	0.285
0.20	0.325
0.21	0.366
0.23	0.409
0.24	0.454
0.26	0.501
0.27	0.549
0.29	0.598
0.30	0.649



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente



STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione: Cava Veriusa

Punto di sezione: Quota 464 m

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S	⇨ 0.0187	[Km²] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione
L	⇨ 0.25	[Km] Lunghezza asta principale	[ore]
Hm	⇨ 518	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{(Hm - Ho)}}$ ⇨ 0.16
Ho	⇨ 464	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA

Curva di probabilità pluviometrica $h_{(t)} = at^n$

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione
a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr
n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr
Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
BS146	441000	4909000	44.42	0.43	56.89	0.427	62.29	0.425

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)
20	20.03
100	25.79
200	28.35

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] 0.16
Tr = tempo di ritorno

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

dove

Q_c			portata al colmo
c	⇨	0.5	coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$			massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇨	0.0187	[Km²] Superficie Bacino
T_c	⇨	0.16	[ore] Tempo di corrivazione

RISULTATI

Tr		Q_c [mc/sec]
20	⇨	0.332
100	⇨	0.427
200	⇨	0.470

Tr = tempo di ritorno [anni]

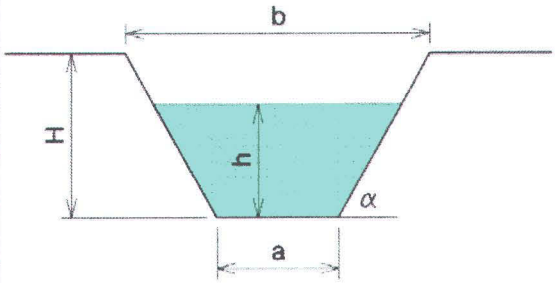
CALCOLO CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE

Decrizione: Canaletta tipo 2

CARATTERISTICHE SEZIONE

DATI NOTI (da inserire)

H	⇨	**0.40**	ALTEZZA [m]
a	⇨	**0.40**	[m]
b	⇨	**0.60**	[m]
h	⇨	**0.40**	[m]
p	⇨	**2%**	Pendenza
m	⇨	**0.55**	Coeff. di scabrosità di Kutter



DATI RISULTANTI

Inclinazione scarpata	α	⇨	**76.0**
Contorno bagnato	$Pb = a + 2h / \operatorname{sen}\alpha$	⇨	**1.225** [m]
Area di deflusso	$A = h[a + h \ \ tg(90 - \alpha)]$	⇨	**0.2000** [m^2]
Raggio idraulico	$Ri = \frac{A}{Pb}$	⇨	**0.163** [m]

CAPACITA' DI SMALTIMENTO per un'altezza d'acqua h = 0.40 m

FORMULE (moto uniforme)

Portata	$Q = AV$	dove	A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c\sqrt{R_i \ p}$	dove	c = coefficiente di attrito Ri = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$	dove	*m* = Coeff. Di scabrosità di Kutter

RISULTATI

c	⇨	**42.36**	
V	⇨	**2.42**	**[m/sec]**
Q	⇨	**0.484**	**[m^3/sec]**

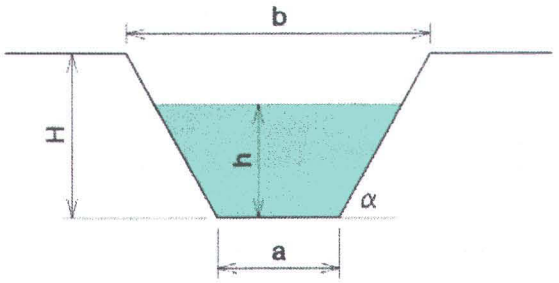
CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE
per varie altezze d'acqua

CARATTERISTICHE SEZIONE

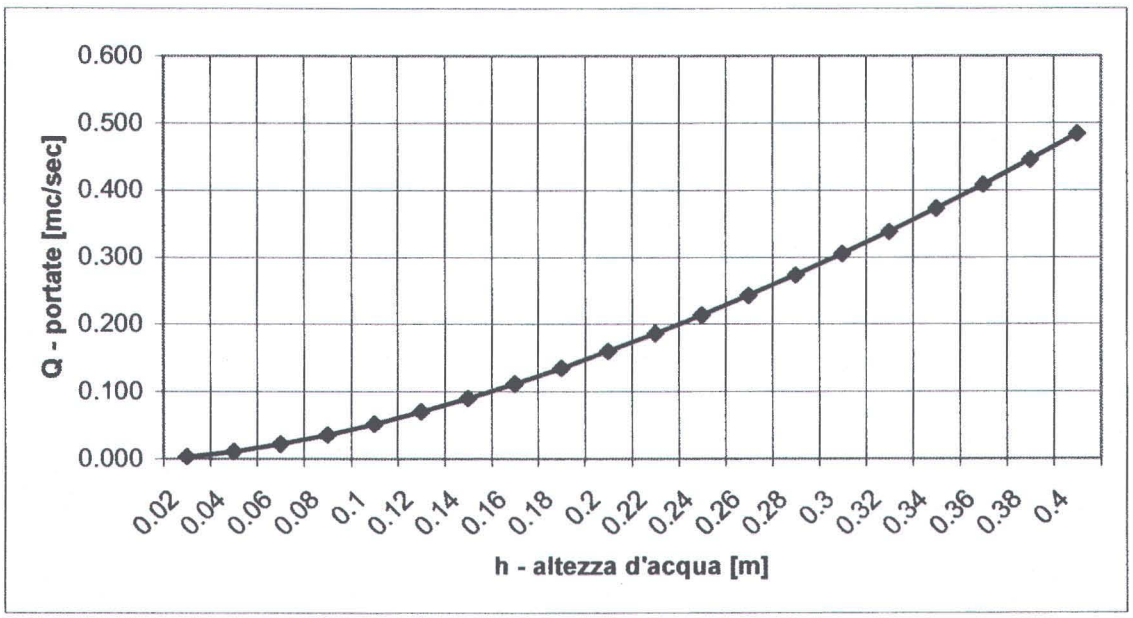
H	***0.40***	ALTEZZA [m]
a	***0.40***	[m]
b	***0.60***	[m]

p	**2%**	Pendenza
m	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m^3/sec]
0.02	0.003
0.04	0.011
0.06	0.022
0.08	0.036
0.10	0.052
0.12	0.070
0.14	0.090
0.16	0.112
0.18	0.135
0.20	0.160
0.22	0.186
0.24	0.214
0.26	0.243
0.28	0.273
0.30	0.305
0.32	0.338
0.34	0.373
0.36	0.409
0.38	0.446
0.40	0.484



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente



STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione: Cava Veriusa

Punto di sezione: Quota 438 m

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S	⇨ ***0.1553***	[Km^2] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione
L	⇨ ***0.5***	[Km] Lunghezza asta principale	[ore]
Hm	⇨ ***545***	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{(Hm - Ho)}}$ ⇨ ***0.28***
Ho	⇨ ***438***	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA

Curva di probabilità pluviometrica $h_{(t)} = at^n$

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione
a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr
n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr
Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
BS146	**441000**	**4909000**	**44.42**	**0.43**	**56.89**	**0.427**	**62.29**	**0.425**

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)
20	**25.74**
100	**33.09**
200	**36.32**

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] ***0.28***
Tr = tempo di ritorno

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

dove

Q_c			portata al colmo
c	⇨	***0.5***	coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$			massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇨	***0.1553***	[Km^2] Superficie Bacino
T_c	⇨	***0.28***	[ore] Tempo di corrivazione

RISULTATI

Tr		Q_c *[mc/sec]*
20	⇨	**1.977**
100	⇨	**2.541**
200	⇨	**2.789**

Tr = tempo di ritorno [anni]

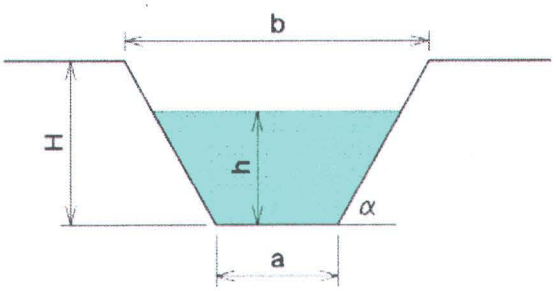
CALCOLO CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE

Decrizione: Canaletta piazzale quota 440 m

CARATTERISTICHE SEZIONE

DATI NOTI (da inserire)

H	⇨	***0.60***	ALTEZZA [m]
a	⇨	***1.00***	[m]
b	⇨	***1.35***	[m]
h	⇨	***0.60***	[m]
p	⇨	***2%***	Pendenza
m	⇨	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter



DATI RISULTANTI

Inclinazione scarpata	α	⇨	**73.7**
Contorno bagnato	$Pb = a + 2h/\operatorname{sen}\alpha$	⇨	**2.250** [m]
Area di deflusso	$A = h[a + h \ \ tg(90-\alpha)]$	⇨	**0.7050** [m^2]
Raggio idraulico	$Ri = \frac{A}{Pb}$	⇨	**0.313** [m]

CAPACITA' DI SMALTIMENTO per un'altezza d'acqua h = *0.60 m*

FORMULE (moto uniforme)

Portata	$Q = AV$	dove	A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c\sqrt{R_i \ p}$	dove	c = coefficiente di attrito Ri = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$	dove	*m* = Coeff. Di scabrosità di Kutter

RISULTATI

c	⇨	**50.44**	
V	⇨	**3.99**	**[m/sec]**
Q	⇨	**2.815**	**[m^3/sec]**

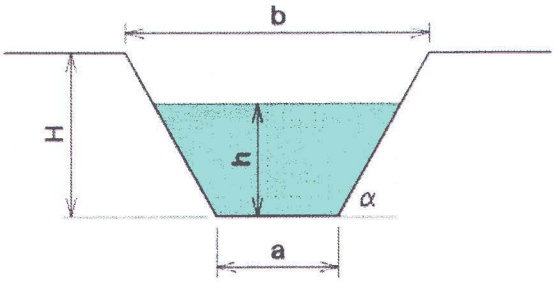
CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE
per varie altezze d'acqua

CARATTERISTICHE SEZIONE

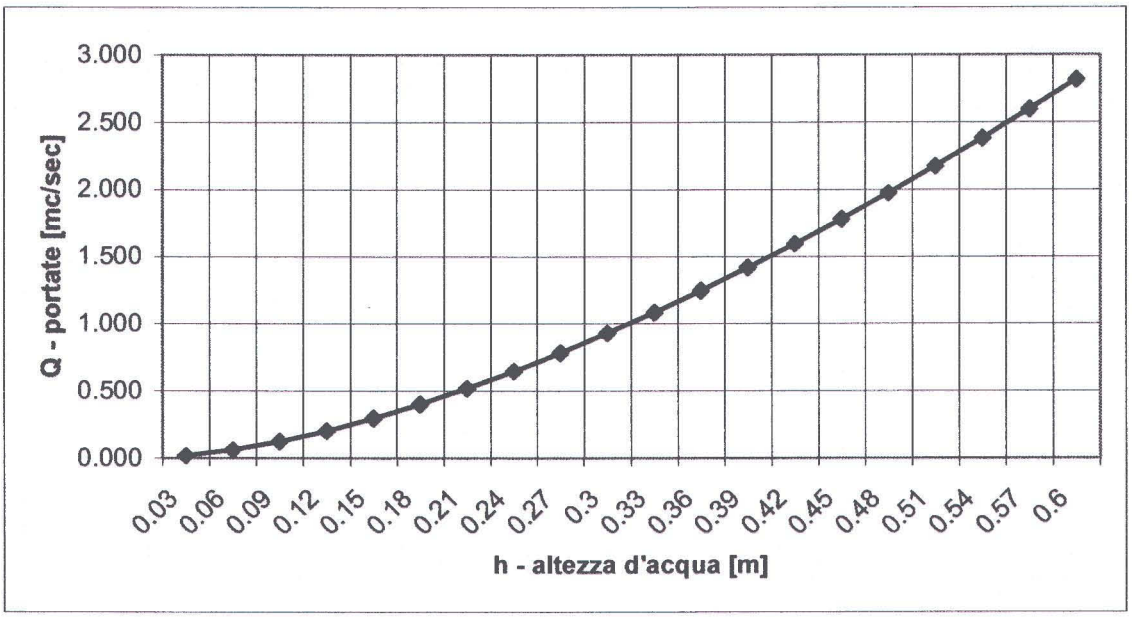
H	***0.60***	ALTEZZA [m]
a	***1.00***	[m]
b	***1.35***	[m]

p	**2%**	Pendenza
m	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m^3/sec]
0.03	0.017
0.06	0.060
0.09	0.123
0.12	0.202
0.15	0.295
0.18	0.401
0.21	0.518
0.24	0.645
0.27	0.782
0.30	0.928
0.33	1.083
0.36	1.245
0.39	1.416
0.42	1.594
0.45	1.780
0.48	1.973
0.51	2.173
0.54	2.380
0.57	2.594
0.60	2.815



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente



STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione: Cava Veriusa

Punto di sezione: Quota 475 m

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S	⇨ ***0.0041***	[Km^2] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione
L	⇨ ***0.225***	[Km] Lunghezza asta principale	[ore]
Hm	⇨ ***481***	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{(Hm - Ho)}}$ ⇨ ***0.30***
Ho	⇨ ***475***	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA

Curva di probabilità pluviometrica $h_{(t)} = at^n$

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione
a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr
n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr
Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
BS146	**441000**	**4909000**	**44.42**	**0.43**	**56.89**	**0.427**	**62.29**	**0.425**

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)
20	**26.58**
100	**34.16**
200	**37.50**

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] ***0.30***
Tr = tempo di ritorno

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

dove

Q_c			portata al colmo
c	⇨	***0.5***	coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$			massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇨	***0.0041***	[Km^2] Superficie Bacino
T_c	⇨	***0.30***	[ore] Tempo di corrivazione

RISULTATI

Tr		Q_c *[mc/sec]*
20	⇨	**0.050**
100	⇨	**0.064**
200	⇨	**0.071**

Tr = tempo di ritorno [anni]

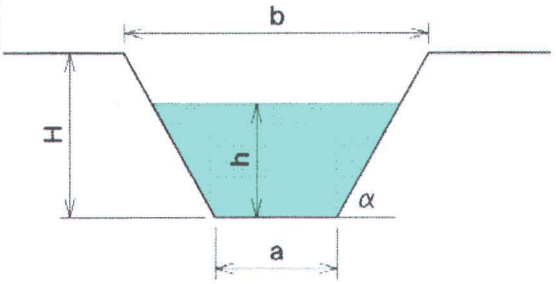
CALCOLO CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE

Decrizione: Canaletta gradone tipo

CARATTERISTICHE SEZIONE

DATI NOTI (da inserire)

H	⇨	***0.20***	ALTEZZA [m]
a	⇨	***0.30***	[m]
b	⇨	***0.40***	[m]
h	⇨	***0.20***	[m]
p	⇨	**1%**	Pendenza
m	⇨	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter



DATI RISULTANTI

Inclinazione scarpata	α	⇨	**76.0**
Contorno bagnato	$Pb = a + 2h/\operatorname{sen}\alpha$	⇨	**0.712** [m]
Area di deflusso	$A = h[a + h \ \ tg(90-\alpha)]$	⇨	**0.0700** [m^2]
Raggio idraulico	$Ri = \frac{A}{Pb}$	⇨	**0.098** [m]

CAPACITA' DI SMALTIMENTO per un'altezza d'acqua h = *0.20 m*

FORMULE (moto uniforme)

Portata	$Q = AV$	dove	A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c\sqrt{R_i \ p}$	dove	c = coefficiente di attrito Ri = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$	dove	*m* = Coeff. Di scabrosità di Kutter

RISULTATI

c	⇨	**36.30**	
V	⇨	**1.14**	**[m/sec]**
Q	⇨	**0.080**	**[m^3/sec]**

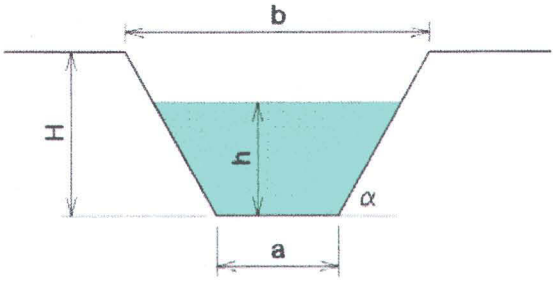
CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE
per varie altezze d'acqua

CARATTERISTICHE SEZIONE

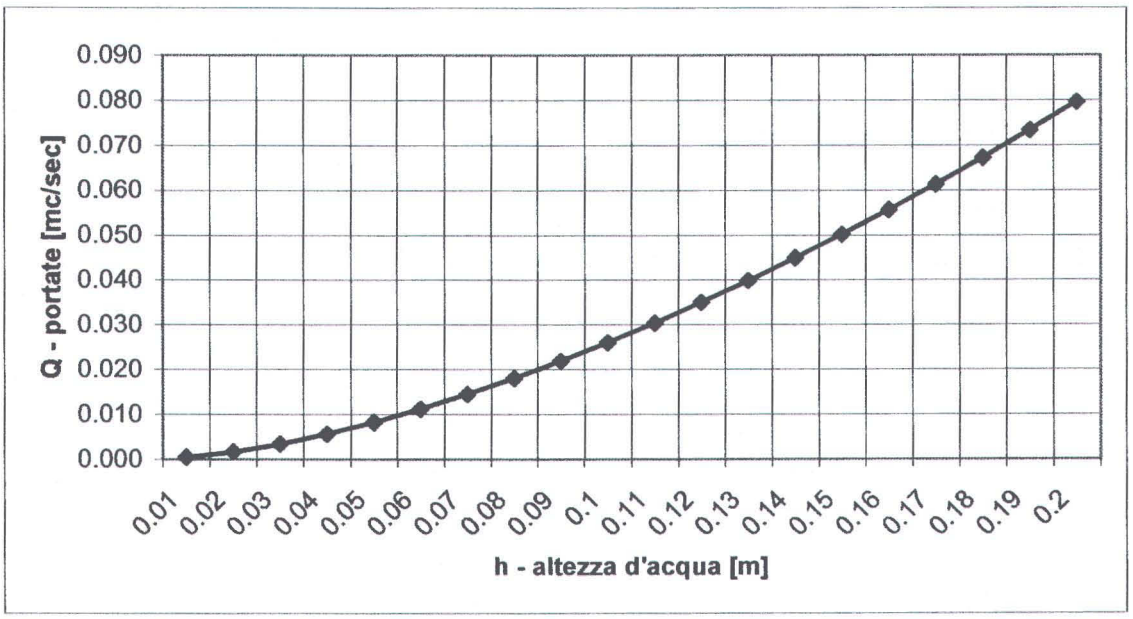
H	***0.20***	ALTEZZA [m]
a	***0.30***	[m]
b	***0.40***	[m]

p	**1%**	Pendenza
m	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m^3/sec]
0.01	0.000
0.02	0.002
0.03	0.003
0.04	0.006
0.05	0.008
0.06	0.011
0.07	0.014
0.08	0.018
0.09	0.022
0.10	0.026
0.11	0.030
0.12	0.035
0.13	0.040
0.14	0.045
0.15	0.050
0.16	0.056
0.17	0.061
0.18	0.067
0.19	0.073
0.20	0.080



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente



STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

Descrizione: Cava Veriusa

Punto di sezione: Quota 438 m

TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO			DATI RISULTANTI
S	⇨ ***0.0062***	[Km^2] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione
L	⇨ ***0.34***	[Km] Lunghezza asta principale	[ore]
Hm	⇨ ***440***	[m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	$Tc = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5L}{0{,}8\sqrt{(Hm - Ho)}}$ ⇨ ***0.73***
Ho	⇨ ***438***	[m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE

FORMULA

Curva di probabilità pluviometrica $h_{(t)} = at^n$

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione
a = fattore della curva relativo ad un determitato Tr
n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr
Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)

DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE
(Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)

Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200
BS146	**441000**	**4909000**	**44.42**	**0.43**	**56.89**	**0.427**	**62.29**	**0.425**

MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE

Tr	h(t)
20	**38.78**
100	**49.71**
200	**54.47**

$h_{(t)}$ = massima precipitazione in mm al tempo t
t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] ***0.73***
Tr = tempo di ritorno

PORTATE DI MASSIMA PIENA

FORMULA del METODO RAZIONALE

$$Q_c = 0.278 \frac{c h_{(t)} S}{T_c}$$

dove

Q_c			portata al colmo
c	⇨	***0.5***	coefficiente di deflusso
$h_{(t)}$			massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.)
S	⇨	***0.0062***	[Km^2] Superficie Bacino
T_c	⇨	***0.73***	[ore] Tempo di corrivazione

RISULTATI

Tr		Q_c *[mc/sec]*
20	⇨	**0.046**
100	⇨	**0.059**
200	⇨	**0.064**

Tr = tempo di ritorno [anni]

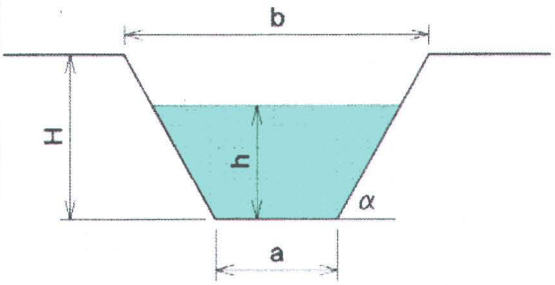
CALCOLO CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE

Decrizione: Canaletta tipo 5

CARATTERISTICHE SEZIONE

DATI NOTI (da inserire)

H	⇨	***0.20***	ALTEZZA [m]
a	⇨	***0.25***	[m]
b	⇨	***0.35***	[m]
h	⇨	***0.20***	[m]
p	⇨	**1%**	Pendenza
m	⇨	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter



DATI RISULTANTI

Inclinazione scarpata	α	⇨	**76.0**
Contorno bagnato	$Pb = a + 2h/\operatorname{sen}\alpha$	⇨	**0.662** [m]
Area di deflusso	$A = h[a + h \ \ tg(90-\alpha)]$	⇨	**0.0600** [m^2]
Raggio idraulico	$Ri = \frac{A}{Pb}$	⇨	**0.091** [m]

CAPACITA' DI SMALTIMENTO per un'altezza d'acqua h = 0.20 m

FORMULE (moto uniforme)

Portata	$Q = AV$	dove	A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c\sqrt{R_i \ p}$	dove	c = coefficiente di attrito Ri = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100\sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$	dove	*m* = Coeff. Di scabrosità di Kutter

RISULTATI

c	⇨	**35.37**	
V	⇨	**1.06**	**[m/sec]**
Q	⇨	**0.064**	**[m^3/sec]**

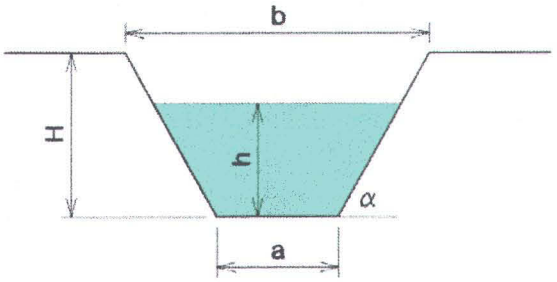
CAPACITA' DI SMALITIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA TRAPEZOIDALE
per varie altezze d'acqua

CARATTERISTICHE SEZIONE

H	***0.20***	ALTEZZA [m]
a	***0.25***	[m]
b	***0.35***	[m]

p	**1%**	Pendenza
m	***0.55***	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m^3/sec]
0.01	0.000
0.02	0.001
0.03	0.003
0.04	0.004
0.05	0.007
0.06	0.009
0.07	0.012
0.08	0.014
0.09	0.018
0.10	0.021
0.11	0.024
0.12	0.028
0.13	0.032
0.14	0.036
0.15	0.040
0.16	0.045
0.17	0.049
0.18	0.054
0.19	0.059
0.20	0.064



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente

