

# PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO DI REGOLAZIONE SUL BACINO DI CAMPOLATTARO (BN)

MARZO 2011



COMMITTENTE



**R.E.C. S.r.l.**

Via Uberti 37-20129 Milano

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

Mandataria :



**ETATEC** S.R.L.  
SOCIETA' DI INGEGNERIA

20133 MILANO - via Bassini, 23 - tel.(02) 26681264

fax (02) 26681553 - E-Mail: ETATEC@ETATEC.IT

AZIENDA CON SISTEMA DI QUALITA' CERTIFICATO UNI EN ISO 9001:2008

**SINCERT**

SICIV - SC 06-647/EA 34

Mandante :

**CeAS**

CENTRO DI ANALISI STRUTTURALE S.R.L.  
AZIENDA CON SISTEMA QUALITA'

SERVIZI DI INGEGNERIA CIVILE  
CIVIL ENGINEERING SERVICES

SISTEMA QUALITÀ  
UNI EN ISO 9001 : 2008  
CERTIFICATO K031 RILASCIATO  
DA



PROGETTISTA: Prof. Ing. Alessandro Paoletti

PROGETTISTA: Dott. Ing. Giovanni Canetta

ASPETTI GEOLOGICI ED IDROGEOLOGICI:

Dott. Geol. Umberto Guerra

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Revisione	Data	Descrizione					Redazione	Verifica	Approvazione
A	31/03/2011	EMISSIONE PER VALUTAZIONE D'IMPATTO AMBIENTALE					Guerra	Canetta	Guerra
B									
C									
CODICE COMMESSA		TIPOLOGIA COMMESSA	TIPOLOGIA ELABORATO	FASE PROGETTAZIONE	PARTE DI IMPIANTO	PROGRESSIVO ELABORATO	SCALA:		
L004		GU	R	D	A	060	—		

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	3
2.	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA.....	3
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE .....	3
2.2	INDAGINI SVOLTE .....	3
3.	LITOSTRATIGRAFIA .....	3
3.1	SUBSTRATO ROCCIOSO .....	3
3.1.1	Unità tettonica del Sannio.....	3
3.1.2	Unità tettonica di Frigento .....	3
3.1.3	Unità della Valle del Tammaro.....	3
3.1.4	Unità sinorogeniche .....	3
3.2	DEPOSITI QUATERNARI.....	3
3.2.1	Depositi alluvionali.....	3
3.2.2	Depositi di versante .....	3
3.2.3	Depositi eluvio-colluviali .....	3
3.2.4	Depositi di riempimento di bacini in tramontani .....	3
4.	CARATTERIZZAZIONE TETTONICO-STRUTTURALE.....	3
4.1	INQUADRAMENTO GENERALE.....	3
4.2	SITUAZIONI LOCALI .....	3
4.2.1	Alto strutturale di Campolattaro .....	3
4.2.2	Calcari brecciati e fratturati nel sondaggio S02.....	3
4.2.3	Cave Ciarli .....	3
4.2.4	Bacino di Lagospino .....	3
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA.....	3
5.1	CARATTERISTICHE GENERALI.....	3
5.2	ASPETTI LEGATI ALLA DINAMICA MORFOLOGICA .....	3
5.2.1	Forme e processi legati alla dinamica di versante .....	3
5.2.2	Forme e processi legati alla dinamica delle acque.....	3
5.3	CARSISMO .....	3
6.	CARATTERIZZAZIONE SISMOTETTONICA .....	3
6.1	INQUADRAMENTO GENERALE.....	3
6.2	INDICAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	3
7.	CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA .....	3
7.1	PREMESSA .....	3
7.2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	3
7.3	STIMA DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO .....	3
7.3.1	Introduzione .....	3

7.3.2	Metodo empirico considerato per la stima di permeabilità in ammassi rocciosi carbonatici.....	3
7.3.3	Stima della permeabilità da prove Lugeon .....	3
7.3.4	Stima della permeabilità da prove di edometriche.....	3
7.4	MONITORAGGIO DELLE SORGENTI.....	3
7.5	MODELLO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....	3
7.6	ANALISI PREVISIONALE DEGLI AFFLUSSI IDRICI IN GALLERIA .....	3
7.6.1	Introduzione .....	3
7.6.2	Metodo considerato.....	3
8.	ULTERIORI APPROFONDIMENTI GEOLOGICI E CONSIDERAZIONI FINALI	3
8.1	CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA BACINO DI LAGOSPINO E RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA.....	3
8.1.1	Sismica a rifrazione .....	3
8.1.2	Profilo ReMi .....	3
8.1.3	Tecnica dei rapporti spettrali HVSR.....	3
8.1.4	Rilievi di tomografia elettrica .....	3
8.1.5	Indagini gravimetriche .....	3
8.1.6	Implementazione del modello geologico .....	3
8.2	CONSIDERAZIONI INERENTI L'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL BACINO DI LAGOSPINO	3
8.3	CONSIDERAZIONI INERENTI LA CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE LUNGO IL PROFILO DELLE GALLERIE .....	3
8.4	ANALISI GEOMECCANICA .....	3
8.4.1	Giacitura.....	3
8.4.2	Spaziatura.....	3
8.4.3	Persistenza .....	3
8.4.4	Scabrezza .....	3
8.4.5	Apertura .....	3
8.4.6	Riempimento.....	3
8.4.7	Alterazione.....	3
8.4.8	JCS ....	3
8.4.9	Densità della roccia.....	3
8.4.10	Densità di fatturazione .....	3
8.4.11	RQD ..	3
8.4.12	Classificazione RMR e GSI.....	3
8.5	PROPRIETÀ INDICE DEI MATERIALI INTERESSATI .....	3
8.6	STIMA DEI PARAMETRI GEOMECCANICI PER GLI SCAVI DELLA CENTRALE IN CAVERNA	3
8.7	AVANZAMENTO DEGLI SCAVI.....	3
9.	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI.....	3
9.1	CONCLUSIONI.....	3
9.2	RACCOMANDAZIONI.....	3

10. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE CONSULTATA.....	3
11. ALLEGATO 01: SCHEDE DI RILEVAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE....	3

## **APPENDICE**

1. Rapporto tecnico sondaggi geognostici
2. Rapporto tecnico prove di laboratorio geotecnico
3. Rapporto tecnico indagine geofisica
4. Rapporto tecnico indagini prove penetrometriche
5. Rapporto tecnico CNR-IGAG: Valutazione della pericolosità legata a potenziali fenomeni di fagliazione superficiale nell'area della conca di Monte Alto
6. Rapporto tecnico CNR-IDPA: Inquadramento geologico e aspetti sismologici dell'area dell'invaso di Campolattaro
7. Schede di monitoraggio sorgenti
8. Analisi chimico fisiche sorgenti

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Immagine tratta da Google Earth con indicazione delle opere in progetto.....	3
Figura 2 – Schema strutturale della penisola italiana con evidenziata la suddivisione fra le catene Nord e Sud appenninica (da Patacca & Scandone, 2007). .....	3
Figura 3 – Schema geologico dell’area di interesse e relativa legenda (estratto dalla Carta Geologica 1:50.000 progetto CARG – Foglio 419, San Giorgio la Molara).....	3
Figura 4 – Profilo tettonico schematico relativo dell’area (desunto da Pescatore et alii, 2008). Il simbolo dei calcari (sigla US) identifica l’Unità del Sannio, la sigla UF simboleggia l’Unità del Fortore. In grigio, geometricamente inserite tra queste due unità, si possono identificare l’U. di Frigento e l’U. della Valle del Tammaro.....	3
Figura 5 – Schema tettonico semplificato relativo all’area in esame. ....	3
Figura 6 – Planimetria di inquadramento tettonico dell’area di indagine: in verde viene indicata l’U. del Sannio, il giallo indica l’U. di Frigento e in arancio l’U. della Valle del Tammaro; le linee rosse costituiscono le faglie principali e le linee indaco rappresentano i sovrascorrimenti. ....	3
Figura 7 – Particolare di uno specchio di faglia in cui sono visibili le strie di movimento.....	3
Figura 8 – Mappa dell’anomalia di Bouguer definita dalle indagini geofisiche per il bacino di Lagospino e interpretazione delle strutture tettoniche (linee rosse). ....	3
Figura 9 – Il rilievo sullo sfondo è il Toppo Mondolfo, la cui ossatura è costituita da calcari in strati massicci e bancate suborizzontali.....	3
Figura 10 – Piano di Moia. In primo piano, il pianoro risulta impostato su substrato marnoso di colorazione rosata, sullo sfondo si riconoscono gli affioramenti biancastri del calcare. ....	3
Figura 11 – Aspetto tipico dei versanti nei pressi del bacino artificiale di Campolattaro.....	3
Figura 12 – Aspetto tipico dei calcari carsificati.....	3
Figura 13 – Estratto cartografico del Catasto delle grotte della Campania (Federazione Speleologica Campana); il punto identificativo blu indica la posizione dell’inghiottitoio di Lagospino. ....	3
Figura 14 – Scheda di censimento dell’inghiottitoio di Lagospino.....	3
Figura 15 – Spettri di risposta elastici per periodi di ritorno $T_r$ di riferimento (le linee continue rappresentano gli spettri di Normativa, le linee tratteggiate si riferiscono a agli spettri di progetto S1-INGV da cui sono derivati).....	3
Figura 16 – Schema riassuntivo relativo ai complessi idrogeologici .....	3
Figura 17 - Grafico di correlazione quota-concentrazione cloruri .....	3
Figura 18 – Grafico di correlazione quota-conducibilità per le sorgenti monitorate.....	3
Figura 19 – Grafico di correlazione tra la conducibilità e la durezza totale.....	3
Figura 20 – Grafico di correlazione tra la portata misurata delle sorgenti monitorate (linea spezzata) e le precipitazioni mensili (linea smussata rossa). ....	3
Figura 21 – Immagine tardo autunnale del bacino di Lagospino (dicembre 2010).....	3
Figura 22 – Schematizzazione dell’epicarso (Klimchouch, 2004).....	3
Figura 23 – Modello schematico di un sistema costituito da “serbatoi in serie” (modificato da Celico et alii, 2006). ....	3
Figura 24 – Sezione idrogeologica schematica che illustra i modelli proposti .....	3
Figura 25 – Sezione idrogeologica schematica nei pressi delle Cave di Ciarli (il colore verde scuro si riferisce a litotipi calcarei permeabili per fessurazione; il colore verde chiaro si riferisce a marne e argilliti sostanzialmente impermeabili). ....	3
Figura 26 - Colonna stratigrafica interpretativa desunta dai parametri significativi medi relativi al profilo di sismica a rifrazione P01 .....	3
Figura 27 - Colonna stratigrafica interpretativa desunta dai parametri significativi medi relativi al profilo di sismica a rifrazione P02 .....	3
Figura 28 - Profilo di velocità delle onde di taglio desunte dall’indagine Re.Mi lungo il profilo sismico R01 .....	3

Figura 29 – Sezione geofisica e magnetotellurica lungo il tracciato principale dell'impianto desunta dalle indagini di tomografia elettrica.....	3
Figura 30 – Rappresentazione stereografica delle discontinuità riconosciute in affioramento nei calcari.....	3
Figura 31 – Determinazione del GSI per rocce flyschoidi.....	3
Figura 32 – Parametri di $\sigma_{ci}$ e $m_i$ suggeriti dagli autori per ammassi rocciosi flyschoidi.....	3
Figura 33 – Caratterizzazione geomeccanica particolareggiata relativa alla porzione di ammasso roccioso interessata dagli scavi della centrale di produzione.....	3
Figura 34 – Caratterizzazione geomeccanica particolareggiata relativa alla porzione di ammasso roccioso interessata dagli scavi del pozzo piezometrico di valle.....	3

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ e $T_c^*$ per i periodi di riferimento. ....	3
Tabella 2 – Stima della permeabilità dell’ammasso roccioso considerato (ammasso roccioso in cui si evidenziano chiari indizi di carsismo).....	3
Tabella 3 – Stima della permeabilità dell’ammasso roccioso considerato (ammasso roccioso in cui non si evidenziano significativi indizi di carsismo).....	3
Tabella 4 – Stima della permeabilità dell’ammasso roccioso alla stazione di misura S.06.....	3
Tabella 5 – Valori di permeabilità desunti da prove Lugeon nel sondaggio S2.....	3
Tabella 6 – Valori di permeabilità desunti nei restanti fori di sondaggio. ....	3
Tabella 7 – Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate (mese di settembre 2010). ....	3
Tabella 8 - Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate (mese di ottobre 2010). ....	3
Tabella 9 - Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate (mese di novembre 2010).....	3
Tabella 10 - Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate e per le acque del bacino di Campolattaro (mese di dicembre 2010). ....	3
Tabella 11 – Valori di portata delle sorgenti monitorate nel periodo settembre-dicembre 2010. ....	3
Tabella 12 – Sintesi dei risultati delle indagini di sismica a rifrazione.....	3
Tabella 13 – Valori indice del deposito del bacino di Lagospino .....	3
Tabella 14 – Sintesi dei dati di spazatura desunti dai rilievi geomeccanici .....	3
Tabella 15 – Sintesi dei dati di persistenza desunti dai rilievi geomeccanici.....	3
Tabella 16 – Sintesi dei dati di scabrezza desunti dai rilievi geomeccanici.....	3
Tabella 17 – Sintesi dei dati di scabrezza desunti dai rilievi geomeccanici.....	3
Tabella 18 – Legenda relativa alle sigle utilizzate .....	3
Tabella 19 – Parametri indici definiti per i calcari appartenenti al Flysch Rosso (FYR2).....	3
Tabella 20 – Parametri definiti per la formazione del Flysch Rosso (FYR). I valori, particolarmente cautelativi, sono indicativi di litologie prevalentemente argillose e marnose; qualora la presenza di calcari fosse preponderante, si ricade nel caso descritto nella tabella precedente. ....	3
Tabella 21 – Parametri definiti per le formazioni flyscoidi silicoclastiche. ....	3
Tabella 22 – Parametri definiti per le zone di faglia. ....	3

**INDICE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA E TECNICA DI RICHIAMATA**

- L004-GU-D-D-A-004-0-Tavola geologica
- L004-GU-D-D-A-005-0-Tavola idrogeologica
- L004-GU-D-D-B-501-0-Carta geomorfologica Bacino di Monte Alto
- L004-GU-D-D-B-502-0-Planimetria con indicazione delle indagini svolte e sezioni geologiche interpretative
- L004-GU-D-D-E-601-0-Profilo geomeccanico: Galleria di presa fino alla camera a valvole
- L004-GU-D-D-F-602-0-Profilo geomeccanico: Galleria di scarico di fondo
- L004-GU-D-D-H-603-0-Profilo geomeccanico: Galleria condotta forzata da camera a valvola a pozzo piezometrico
- L004-GU-D-D-I-604-0-Profilo geomeccanico: Centrale in caverna
- L004-GU-D-D-J-605-0-Profilo geomeccanico: Pozzo piezometrico di Valle
- L004-GU-D-D-K-606-0-Profilo geomeccanico: Galleria di restituzione
- L004-GU-D-D-M-607-0-Profilo geomeccanico: Galleria di accesso alla camera valvola a farfalla
- L004-GU-D-D-N-608-0-Profilo geomeccanico: Galleria di accesso alla centrale in caverna
- L004-GU-D-D-O-609-0-Profilo geomeccanico: Galleria di finestra intermedia
- L004-GU-D-D-P-503-0-Sezione geologica: Opera di presa di Campolattaro
- L004-GU-D-D-P-504-0-Carta geomorfologica area opera di presa a Campolattaro
- L004-GU-D-D-R-610-0-Profilo geomeccanico: Galleria di accesso al pozzo piezometrico di valle



## RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

### 1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta per incarico di REC s.r.l. con sede in Milano (società del gruppo Repower S.p.A.) nell'ambito del progetto di un impianto idroelettrico sotterraneo, ubicato sulla sponda destra del Fiume Tammaro.

Lo scopo dello studio è di valutare in via preliminare le condizioni geologiche, idrogeologiche e geomeccaniche del massiccio entro cui si prevede di realizzare le opere, per evidenziare gli aspetti di principale interesse dal punto di vista della fattibilità dell'opera.

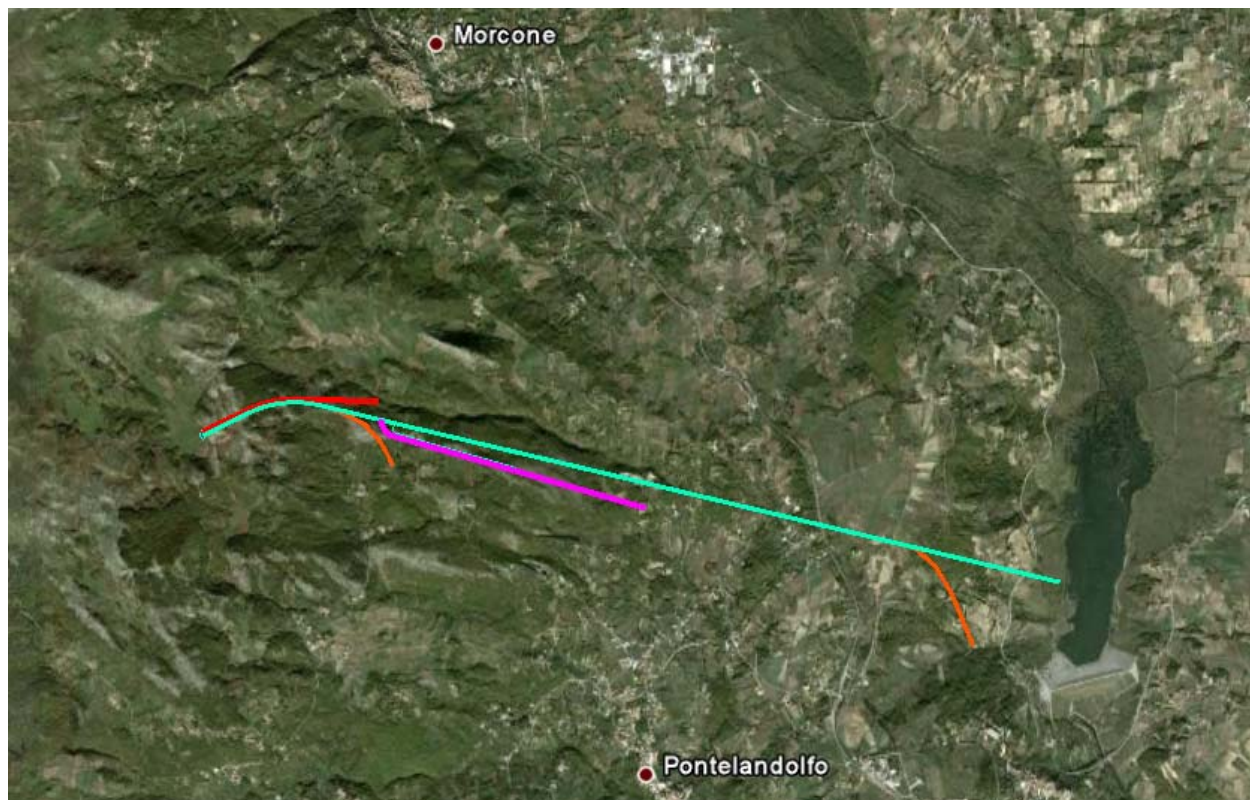
Lo studio si è articolato attraverso l'acquisizione e l'analisi preliminare di dati bibliografici, l'analisi di immagini aeree e l'esecuzione di rilievi e sopralluoghi di terreno, oltre alla realizzazione di una campagna di indagini geofisiche, geognostiche e di prove di laboratorio.

I risultati hanno condotto alla realizzazione, in accordo con le specifiche contrattuali, di carte geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e strutturali e di alcune sezioni interpretative, eseguite lungo la condotta forzata, nella zona del bacino di Lagospino e nelle gallerie di accesso.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di pompaggio e generazione tra i bacini di Campolattaro (BN) e Lagospino (Comune di Morcone – BN). In particolare si prevede l'utilizzo dell'esistente invaso di Campolattaro (BN) come bacino inferiore ed il suo collegamento, tramite un sistema costituito da gallerie e condotte forzate in pressione, con un nuovo bacino superiore individuato nell'area di Monte Alto in una depressione naturale (Lagospino), permettendo così lo sfruttamento del potenziale idraulico presente tra i due bacini.

L'ipotesi progettuale prevede che l'acqua venga prelevata dal lago e pompata al serbatoio di monte nelle fasi di minore richiesta di potenza (generalmente di notte), secondo uno schema ampiamente utilizzato nei moderni impianti idroelettrici di questo tipo.

L'area di studio è situata nel territorio comunale di Campolattaro, Pontelandolfo e Morcone (provincia di Benevento), in orografica destra del Fiume Tammaro.



**Figura 1 – Immagine tratta da Google Earth con indicazione delle opere in progetto.**

Il presente elaborato è stato redatto nel rispetto delle seguenti normative:

- D.M. 11 Marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

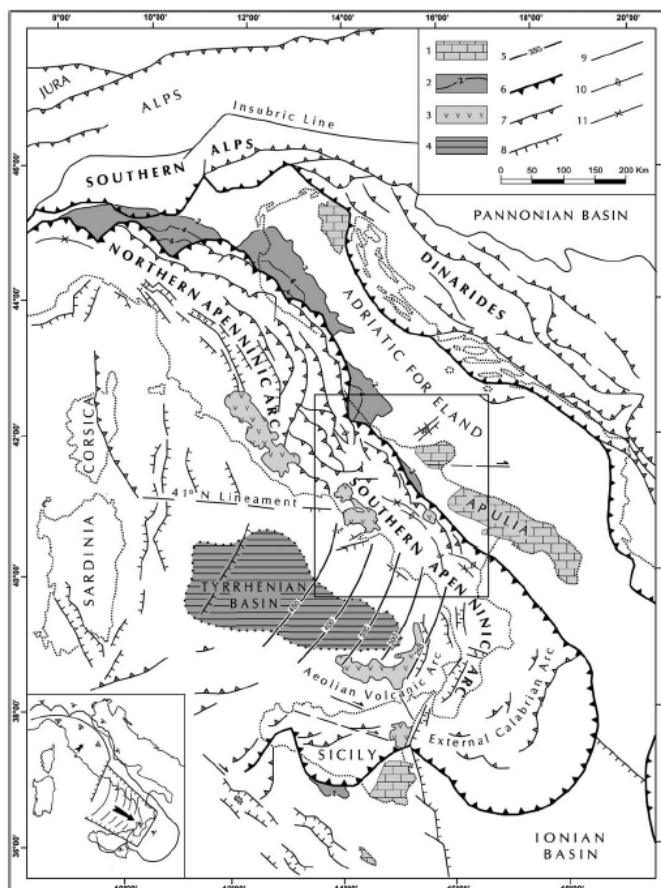
## 2. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area in esame è situata all'interno della catena montuosa dell'Appennino Meridionale, ossia di quella parte di Appennino che si estende dal Sud dell'Abruzzo sino alla Sicilia e alle Magrebidi.

In questa regione generalmente si distinguono quattro domini tettonici (bacino tirrenico, catena dell'Appennino meridionale s.s., bacino di avampaese dell'Appennino meridionale, avampaese adriatico-apulo); nello specifico (vedasi figure seguenti), l'area in esame si situa all'interno del dominio rappresentato dalla catena dell'Appennino Meridionale s.s., costituita da un "duplex" di falde carbonatiche, in letteratura attribuite alla Piattaforma Apula Interna, al di sopra delle quali sono sovrascorse in epoca relativamente recente (Terziario), serie di falde alloctone formate da unità bacinali e di piattaforma.

Le unità carbonatiche sepolte facenti parte del "duplex" sono principalmente costituite da facies di piattaforma e subordinate facies di acque profonde; localmente sono presenti successioni terrigene plioceniche in contatto stratigrafico con le sottostanti unità carbonatiche.



**Figura 2 – Schema strutturale della penisola italiana con evidenziata la suddivisione fra le catene Nord e Sud appenninica (da Patacca & Scandone, 2007).**

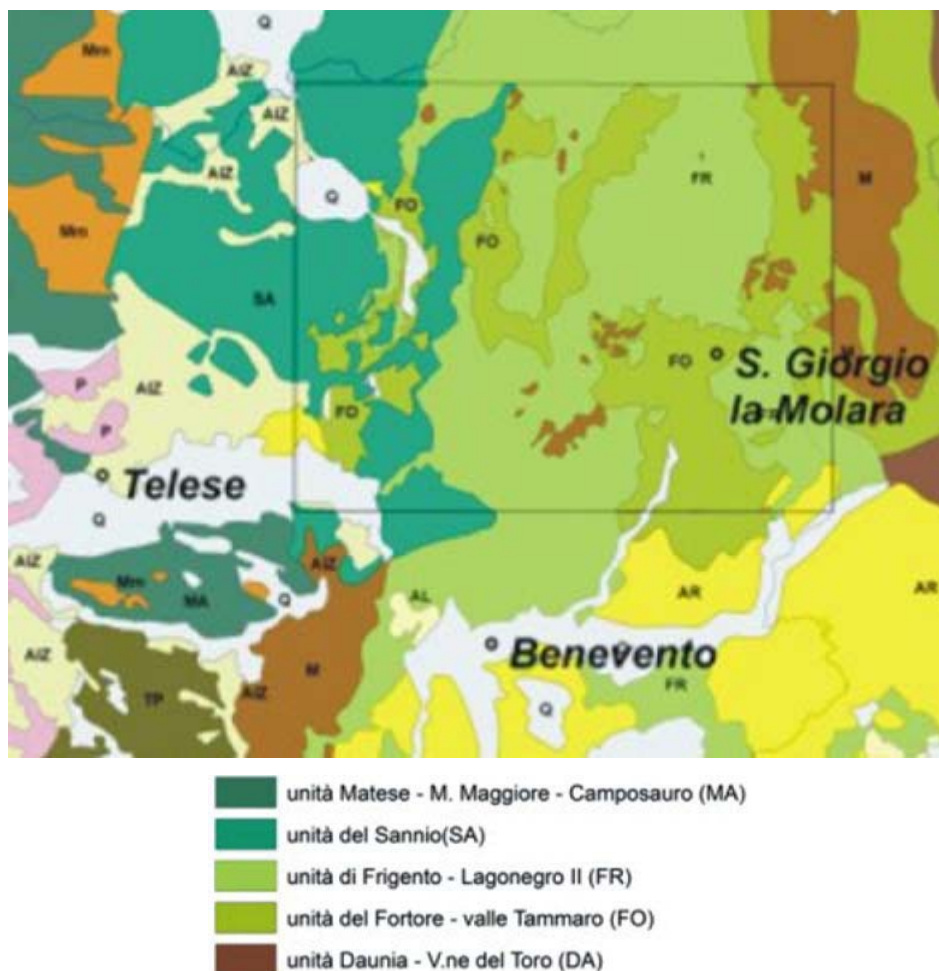
Nel settore sannitico si riconoscono in affioramento quattro unità tettoniche appartenenti al dominio dell'Appennino meridionale; tali unità derivano dalla deformazione e strutturazione di coperture sedimentarie bacinali pelagiche di età meso-cenozoica e successioni neogeniche silico-clastiche sinorogeniche.

Le unità tettoniche risultano disposte al margine della catena secondo una fascia ad andamento appenninico; secondo le interpretazioni più recenti, partendo da Ovest verso le aree più esterne, è possibile riconoscere le seguenti unità:

- l'Unità del Sannio;
- Unità di Frigento;
- l'Unità del Fortore;
- l'Unità della Valle del Tammaro.

Sul predetto edificio tettonico, testimonianza di un'articolata evoluzione del *foreland basin*

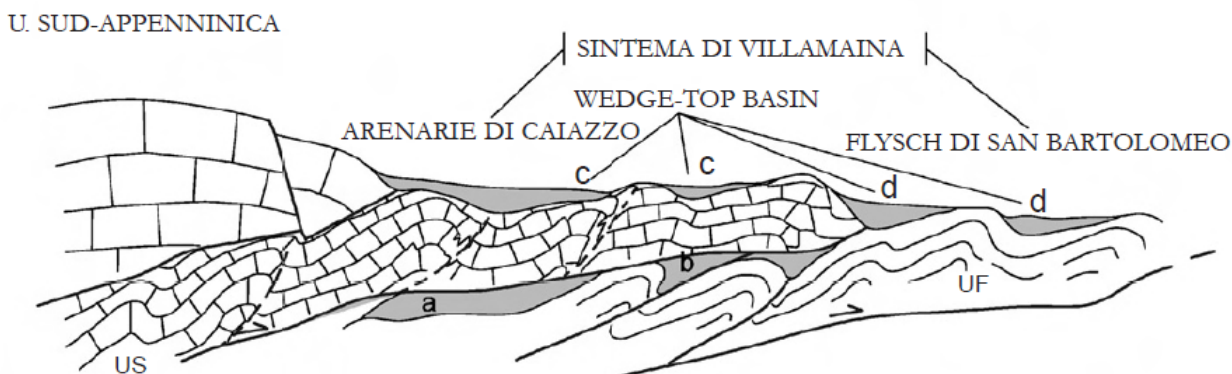
system sud-appenninico, poggiano in discordanza depositi sinorogenici, prevalentemente silico-clastici, di età compresa tra il Serravalliano ed il Messiniano e successioni saltuari successioni plioceniche (vedasi figura seguente).



**Figura 3 – Schema geologico dell’area di interesse e relativa legenda (estratto dalla Carta Geologica 1:50.000 progetto CARG – Foglio 419, San Giorgio la Molara).**

I rapporti tettonici che intercorrono tra le varie unità vedono la presenza di una struttura embricata est-vergente con pieghe associate a faglie inverse entro sovrascorrimenti di livello regionale; tali strutture sono ulteriormente complicate dalla presenza di strutture fragili e duttili generatesi in epoche precedenti e successive rispetto la strutturazione dell’Unità del Sannio sull’Unità del Fortore (vedasi schema tettonico seguente).

## SUPERSINTEMA DELL'IRPINIA



**Figura 4 – Profilo tettonico schematico relativo dell'area (desunto da Pescatore et alii, 2008). Il simbolo dei calcari (sigla US) identifica l'Unità del Sannio, la sigla UF simboleggia l'Unità del Fortore. In grigio, geometricamente inserite tra queste due unità, si possono identificare l'U. di Frigento e l'U. della Valle del Tammaro.**

Nello specifico, l'Unità del Sannio, ritenuta da alcuni autori la porzione superiore dell'U. di Frigento (Di Nocera et alii, 2002), viene riferita al margine settentrionale interno del bacino lagonegrese-molisano; essa risulta formata dal basso verso l'alto dalla formazione del Flysch Rosso, dal Flysch Numidico e da una successione arenacea post-numidica.

L'Unità di Frigento nell'area in esame risulta costituita essenzialmente da termini silicoclastici appartenenti alla Formazione di Fragneto Monforte mentre l'Unità della Valle del Tammaro vede la presenza di una successione carbonatico-marnosa meso-cenozoica e, a tetto, da formazioni prevalentemente silico-clastiche mioceniche.

Infine l'Unità del Fortore risulta formata da unità litostratigrafiche di bacino pelagico meso-cenozoico (Argille Varicolori, Formazione di Corleto Perticara) e da successioni mioceniche arenitico-marnoso-pelitiche.

## 2.2 INDAGINI SVOLTE

La campagna di indagini svolta ha permesso di caratterizzare in maniera esaustiva il territorio in esame, consentendo di sviluppare il modello geologico di riferimento per il progetto.

Di seguito si riporta sinteticamente l'elenco delle attività svolte, rimandando alle singole relazioni specialistiche allegate per i dettagli e i relativi approfondimenti (vedasi appendice).

1. Fotointerpretazione Morfostrutturale estesa al tratto di Appennino in cui si situano le opere in esame. Lo studio redatto dal dr. Chiesa (C.N.R. – I.D.P.A., vedasi appendice), si basa su immagini scelte sia tra quelle satellitari che da fotogrammi per restituzione fotogrammetrica, utilizzando in particolar modo i fotogrammi in b/n in scala nominale 1:75.000 acquistati dalla Compagnia Generale Riprese Aeree di Parma (Volo Italia del 1996).
2. Campagna di indagine geofisica effettuata dalla Geoinvest s.r.l. (vedasi appendice), estesa all'area del bacino di Monte Calvello (ipotesi preliminare di sviluppo del serbatoio di monte dell'impianto, abbandonata), area del bacino di Monte Alto e al collegamento Monte Alto-bacino di Campolattaro (tracciato della condotta forzata, finestra di accesso e accesso alla centrale). In estrema sintesi l'indagine geofisica è consistita in:
  - a. n. 4 profili continui di tomografia elettrica eseguiti nell'area del bacino di Monte Calvello:
    - i. L01, costituito da 84 elettrodi equispaziati di 6 m;
    - ii. L02, costituito da 84 elettrodi equispaziati di 5 m;
    - iii. L03, L04 e L05 costituiti da 70 elettrodi equispaziati di 5 m;
    - iv. rilievo gravimetrico di dettaglio relativo all'area del bacino di Monte Calvello secondo una griglia regolare 12x12 m (487 stazioni);
  - b. n. 6 profili continui di tomografia elettrica eseguiti nell'area del bacino di Lagospino:
    - i. L04, costituito da 112 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 1110 m;
    - ii. L05, costituito da 35 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 340 m;

- iii. L08, costituito da 28 elettrodi equispaziati di 6 m per una lunghezza totale di 162 m;
  - iv. L09, costituito da 42 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 410 m;
  - v. L11, costituito da 67 elettrodi equispaziati di 5 m per una lunghezza totale di 335 m;
  - vi. L12, costituito da 83 elettrodi equispaziati di 5 m per una lunghezza totale di 415 m.
- c. n. 2 profili di sismica a rifrazione (P01 e P02) costituiti entrambi da stendimenti a 24 geofoni equispaziati di 5 metri realizzati nella piana del bacino di Monte Alto.
- d. n. 1 profilo (R01) di prospezione mediante tecnica Refraction Microtremor (RE-MI) il cui tracciato coincide con P01 del punto precedente.
- e. n. 8 stazioni di prospezione geofisica tipo “Nakamura” (rilievo microtremori mediante “Tecnica dei rapporti spettrali HVSR”) eseguiti nella piana del bacino di Lagospino;
- f. n. 1 rilievo gravimetrico dell’intera area del bacino di Monte Alto secondo una griglia di misura regolare di 12,5x12,5 m (1094 stazioni);
- g. n. 8 profili continui di tomografia elettrica eseguiti lungo lo sviluppo del tracciato delle gallerie di presa e restituzione delle acque o in prossimità di esse:
- i. L01, costituito da 109 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1188 m;
  - ii. L02, costituito da 315 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 3454 m;
  - iii. L03, costituito da 126 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1375 m;
  - iv. L10, costituito da 56 elettrodi equispaziati di 10 m per una lunghezza totale di 550 m (area Spaccamontagna);
  - v. L13, costituito da 91 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1001 m;
  - vi. L14, costituito da 126 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1386 m;



- vii. L15, costituito da 161 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1771 m;
  - viii. L16, costituito da 91 elettrodi equispaziati di 11 m per una lunghezza totale di 1001 m lungo il tracciato della finestra di accesso al bacino di Campolattaro;
  - h. n. 1 profilo continuo di prospezione magnetotellurica, costituito da 20 stazioni per una lunghezza totale di ca. 1000 m ed una profondità di indagine di ca. 800 m.
  - i. n. 1 rilievo magnetotellurico in alta frequenza lungo il tracciato della galleria di derivazione in prossimità della zona di realizzazione della centrale e del pozzo piezometrico di valle ;
  - j. ulteriori indagini di tomografia elettrica di dettaglio relative all'area del Bacino di Lagospino volte alla determinazione di geometria e profondità di condotti carsici.
3. campagna di indagini geognostiche effettuata dalla CSI srl consistita in:
- a. n. 5 sondaggi geognostici a distruzione di nucleo e/o a carotaggio continuo:
    - i. S01, profondità raggiunta di 290 m dal p.c., effettuato in loc. Cave Ciarli, attrezzato con piezometro a tubo aperto fino alla profondità di 175 m dal p.c. (tratto fenestrato 87 m – 175 m dal p.c.);
    - ii. S02, profondità raggiunta di 90 m dal p.c., effettuato in loc. Spaccamontagna;
    - iii. S04, profondità raggiunta di 75 m dal p.c., effettuato in prossimità del bacino di Campolattaro, lungo la strada circunlaquale, attrezzato con piezometro a tubo aperto fino alla profondità di 75 m (tratto fenestrato 59 m – 74 m dal p.c.);
    - iv. S05, profondità raggiunta di 200 m dal p.c., effettuato lungo il tracciato della galleria di restituzione nei pressi della direttrice della finestra di accesso alla galleria di restituzione, attrezzato con piezometro a tubo aperto fino alla profondità di 200 m (tratto fenestrato 100 m – 200 m da p.c.);
    - v. S06, da profondità 112 m dal p.c. alla profondità 510 m dal p.c., in loc. Spaccamontagna, attrezzato con piezometro a tubo aperto fino alla profondità di 85 m (tratto fenestrato 70 m 85 m dal p.c.);

- b. prelievo di 51 campioni sia indisturbati che rimaneggiati (vedasi apposita relazione in appendice) da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio;
- c. esecuzione di prove in foro:
  - i. n. 3 prove pressiometriche Menard effettuate nel sondaggio S04 a differenti profondità;
  - ii. rilievi geofisici in foro mediante sonda acustica (S1 e S5);
  - iii. n. 9 prove di permeabilità tipo Lugeon effettuate nei sondaggio S01, S02, S04, S05, S06 per differenti spezzoni di sondaggio;
  - iv. controllo presenza metano con rilevatore alla profondità 10 m – 85 m dal p.c. in sondaggio S04.
- 4. rilievo geologico e geomorfologico dedicato alle aree del bacino di Lagospino, dell'intorno dell'opera di restituzione a Campolattaro-finestra di accesso e di tutti gli accessi anche temporanei che verranno realizzati;
- 5. individuazione di n. 10 stazioni di rilievo geologico-strutturale secondo quanto riportato nell'allegato “schede rilievo geomeccanico” in fondo al testo;
- 6. prove in situ e di laboratorio su campioni prelevati dai sondaggi (vedasi appendice):
  - a. n. 20 analisi granulometriche su campioni prelevati nei sondaggi;
  - b. n. 1 prova edometrica effettuata su provino argillitico prelevato dal sondaggio S04;
  - c. n. 8 prove di trazione indiretta (prova brasiliana) su campioni prelevati nei sondaggi S1, S5, S6;
  - d. n. 9 prove di taglio diretto effettuate su campioni prelevati nei sondaggi;
  - e. n. 3 prove di taglio su giunti di roccia su campioni prelevati dai sondaggi S1, S2, S5;
  - f. n. 4 prove di resistenza a compressione non confinata su campioni di argilla e/o limo prelevati nel sondaggio S5;
  - g. n. 4 prove di resistenza a compressione non drenata su campioni di argilla e/o limo prelevati nei sondaggi S1, S5;
  - h. n. 16 prove di resistenza a compressione uniassiale su campioni prelevati nei sondaggi;
  - i. n. 8 indagini penetrometriche dinamiche effettuate con penetrometro medio nei depositi superficiali del bacino di Lagospino.
  - j. Prove sclerometriche (martello di Schmidt);

- k. Rilievo profili di scabrezza dei giunti (pettine di Burton);
  - l. Analisi chimico fisiche su campioni prelevati dai sondaggi;
7. Campagna mensile di monitoraggio delle sorgenti costituita da censimento delle sorgenti perenni nell'area ed individuazione di quelle aventi carattere stagionale, determinazione dei valori di portata e analisi chimico-fisiche relative alle sole sorgenti perenni (vedasi schede di monitoraggio sorgenti in appendice).
8. Indagini compiute dall'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria del CNR relative alla valutazione della pericolosità legata a potenziali fenomeni di fagliazione superficiale nell'area del Bacino di Lagospino (vedasi apposito report in appendice).

### 3. LITOSTRATIGRAFIA

La tavola geologica allegata alla presente documentazione costituisce la sintesi delle informazioni ricavate per il territorio in esame (vedasi in particolare le colonne stratigrafiche in essa riportate).

La ricostruzione litostratigrafica dell'area in esame considera, quale elemento prioritario e fondante, le più recenti interpretazioni tettono-stratigrafiche risultanti dai rilievi geologici di dettaglio (scala 10:10.000) effettuati per il Progetto CARG nel territorio (Foglio n. 419 "San Giorgio La Molara") ed il sondaggio effettuato dall'AGIP nel 1990 in comune di Cerreto Sannita, ca. 4 Km ad Ovest del Bacino di Lagospino (sondaggio 'Morcone 1'). La campagna di indagini svolta ha poi permesso di integrare tali informazioni, nella maggior parte dei casi convalidando l'assetto geologico per quanto riguarda la porzione di territorio "coperta" dal foglio CARG.

Per quanto riguarda le aree esterne al foglio n. 419, zona ovest dell'area di indagine, oltre il meridiano passante per Toppo Mondolfo (ca. q. 802 m s.l.m.) e Fontana dell'Orso (ca. q. 632 m s.l.m.), si è fatto affidamento, in prima analisi e per la geologia di base, al vecchio foglio n. 173 della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

Stabilita una correlazione tra le informazioni contenute nel vecchio elaborato geologico con gli ultimi dati definiti dal foglio CARG (si noti che il foglio CARG "San Giorgio La Molara" in scala 1:50.000 è ricompreso completamente all'interno del foglio "Benevento" in scala 1:100.000) è stato poi possibile definire un modello geologico uniforme su tutta l'area d'indagine secondo una nomenclatura e una ricostruzione litostratigrafica comune e omogenea.

Il modello geologico prevede l'esistenza di una serie di successioni stratigrafiche, delimitate a tetto e a letto da superfici di sovrascorrimento di importanza regionale; le successioni, intese come unità tettono-stratigrafiche, sono generalmente distinte in preorogeniche o sinorogeniche in relazione all'età presunta di deposizione.

Le Unità del Sannio, di Frigento e del Fortore rappresentano in linea di massima successioni preorogeniche; altre successioni, prevalentemente terrigene, sono ascrivibili a fasi sinorogeniche mioceniche o plioceniche.

I due capitoli che seguono riportano le principali informazioni relative alle successioni

tettono-stratigrafiche individuate nell'area di indagine e riportate nella carta geologica allegata, a cui si rimanda per la definizione dello schema cronostratigrafico e delle sezioni stratigrafiche.

### 3.1 SUBSTRATO ROCCIOSO

#### 3.1.1 Unità tettonica del Sannio

##### 3.1.1.1 *Flysch Rosso (FYR)*

Il Flysch Rosso è una formazione cretaceo-miocenica costituita da successioni calcareo clastiche e pelitiche di scarpata-bacino; generalmente esso poggia in continuità di sedimentazione sui termini mesozoici della “successione calcareo-silico-marnosa” del Bacino Lagonegrese-Molisano.

Secondo quanto emerge dagli studi più recenti relativi al rilevamento per il foglio CARG, il Flysch Rosso viene suddiviso in due membri ed una litofacies: membro diasprigno (FYR1), membro calcareo (FYR2) e litofacies calcareo-clastica (FYRa). Nell'area in questione sono spesso riconoscibili sia il membro diasprigno che quello calcareo (cartografati con separati simboli); laddove i caratteri litologici e/o le ampie coperture quaternarie non hanno permesso l'attribuzione ad uno piuttosto che all'altra sottounità, si è optato per un simbolo unificato (FYR).

Il Flysch Rosso, caratterizzato dall'alternanza di calcari clastici e marne rosse e verdastri in strati e banchi, è indicativo di un ambiente deposizionali di scarpata-bacino pelagico interessato da eventi torbiditici; il bacino paleogeografico di appartenenza è il Bacino Lagonegrese-Molisano.

Gli strati calcarei sono costituiti da calcareniti grigio-verdastre con macroforaminiferi, calcilutiti grigiastre e biancastre in strati massivi, con stratificazione irregolare e diffuse fratture verticali; sono presenti pure calcari cristallini saccaroidi biancastri e grigio avana con vene spatiche, calcareniti gradate intercalate a calcilutiti parzialmente silicizzate in strati sottili e medi e livelli sottili argilloso-marnosi grigiastri.

Il limite inferiore non è esposto nell'area di studio, lo spessore è stimato in ca. 400 m; si stima un'età compresa tra il Cretacico superiore ed il Miocene inferiore.

### 3.1.1.2 *Flysch Rosso - Membro diasprigno (FYR1)*

Il “membro diasprigno” (FYR<sub>1</sub>), appare formato da argilliti grigio scuro, verdi e rosse a cui si intercalano sottili strati calcarei con liste e noduli di selce scura, straterelli di diaspri di colore variabile dal grigio al giallastro e lamine di *black shales* a livelli di marne silicizzate. Le marne possono presentare marcata laminazione da piano-parallela e ondulata. La base non risulta visibile in affioramento; ad ogni modo nella parte bassa dell’unità è individuabile un livello biancastro, poco potente, costituito da marne silicizzate, diaspri e lamine di *black shales*.

La parte alta, invece, assume via via tonalità rossastra e vi è da segnalare la presenza di un livello ricco in Radioalari, *black shales* e argilliti (passaggio Cenomaniano-Turoniano).

La sottounità è stata attribuita nella zona al Cretacico superiore (Valanginiano? Albiano – Turoniano); lo spessore ricostruito sulla base dei dati di superficie è di ca. 50 m; tuttavia, in letteratura sono state riconosciute anche esposizioni di ca. 200 m.

### 3.1.1.3 *Flysch Rosso – Membro calcareo (FYR2)*

Il membro calcareo è costituito da calcari grigiastri e biancastri, in strati e banchi massivi, con stratificazione irregolare. Si riconoscono *rudstone* in matrice di *packstone* e *grainstone* biolitoclastici, con stiloliti a stratificazione ondulata lenticolare tipo *flaser*, calcari cristallini saccaroidi biancastri e grigio avana con vene spatiche e subordinati calciruditi a frammenti di Rudiste con stratificazione irregolare, *packstone-grainstone* grigio-avana ad intraclasti e peloidi, talvolta con macroforaminiferi (nummuliti e lepidocycline), frammenti di scogliera intercalazioni calcarenitiche fini grigio-azzurgnole e localmente calcari marnosi grigio scuri molto compatti. I banchi calcarei massivi e le breccie calcaree mostrano amalgamazione erosiva interna e poggiano a luoghi con basi erosive su calcareniti e calcilutiti gradate intercalate a calcilutiti con strati sottili e medi parzialmente silicizzate.

Nella parte alta della sottounità si notano intercalazioni di marne argillose ed argilliti rossastre, inoltre sono stati osservati calcareniti con Alveoline e Nummuliti.

Lo spessore del membro, databile al Cretacico superiore-Burdigaliano Superiore secondo il contenuto fossilifero, è stimato in ca. 200 m.

### 3.1.1.4 *Flysch Numidico*

Il Flysch Numidico è costituito da quarzoareniti grigiastre o giallastre, organizzate in strati e banchi talora gradati, a cemento siliceo; quale caratteristica peculiare della formazione in esame, i clasti di quarzo, a grana variabile da fine a grossolana, risultano sempre arrotondati e

smerigliati. Si riconoscono a più riprese sottili intercalazioni di argille siltose e marnose verdastre e rossastre; alla base sono presenti calcareniti laminate, marne siltose e calcari parzialmente silicizzati. Verso l'alto compaiono intercalazioni di strati sottili di arenarie quarzo-feldspatiche grigiastre.

La formazione, interpretabile come un insieme di depositi bacinali terrigeni da flussi gravitativi ed emipelagiti, presenta un limite inferiore concordante sul Flysch Rosso; si stima uno spessore di ca. 200 m ed è databile al Burdigaliano superiore – Langhiano superiore.

### **3.1.2 Unità tettonica di Frigento**

#### *3.1.2.1 Formazione di Fragneto Monforte (UFM)*

Questa formazione costituisce il tetto dell'unità tettonica in esame; essa è costituita da arenarie quarzose e quarzoso-litiche-feldspatiche giallastre a grana media e fine in strati e banchi massivi, e quarzosiltiti in strati sottili, alternate ad argille ed argille marnoso-siltose verdastre e grigie.

Si tratta di depositi bacinali terrigeni che derivano da flussi torbidity distali e da emipelagiti; il limite inferiore è concordante e graduale con il Flysch Numidico. Si stimano spessori di ca. 150 m e i sedimenti sono databili al Langhiano superiore – Serrvalliano.

### **3.1.3 Unità della Valle del Tammaro**

#### *3.1.3.1 Formazione di Corleto Perticara (CPA)*

Calcolutiti bianche e giallognole in strati medi e spessi; marne calcaree di colore rosso, grigio e verde chiaro in strati sottili e medi, talvolta in banchi. Calcareniti fini di colore marrone chiaro, laminate, in strati sottili e medi; intercalazione di argille ed argille marnose laminate di colore verde, grigio-scuro e marrone, in strati medi e spessi, marne argillose laminate e marne calcaree silicizzate. Verso l'alto si intercalano, sequenze arenaceo-argillose. Spessore stimato pari a ca. 1.000 m; età Cretacico superiore - Miocene inferiore.

#### *3.1.3.2 Formazione di San Giorgio la Molara (GGM)*

Si tratta di una successione bacinale di avanfossa torbidity composta sia da sedimenti silico-clastici che da sedimenti calci-clastici ed emipelagici. L'unità poggia con contatto stratigrafico graduale sulla Formazione di Corleto Perticara e sul Gruppo delle Argille Variegate.

La successione viene suddivisa in quattro membri di cui alcuni parzialmente eteropici; lo

spessore stimato è di ca. 550 m e copre un'intervallo compreso tra il Burdigaliano superiore ed il Tortonianiano medio.

### *3.1.3.3 Formazione di San Giorgio la Molara – Membro arenaceo-calcareo-pelitico (GGM5)*

Il membro arenaceo-calcareo-pelitico (GGM5) è costituito da areniti a grana medio-fine, micacee e litiche, siltiti grigiastre, arenarie calcaree, calcari manrosi in strati sottili, argilliti e marne argillose nerastre; subordinate arenarie a grana media in banchi massivi. Si stimano spessori indicativi pari a 70 - 100 m. Eta: Serravalliano sup. - Tortonianiano med.

### *3.1.3.4 Formazione di San Giorgio la Molara – Membro arenaceo-pelitico (GGM2)*

Si tratta di areniti a grana medio-fine di color grigio avana con intervalli Tbc di Bouma e sottili interstrati pelitici. Arenarie granulari e microconglomerati in strati medi e spessi, talora amalgamati, massivi o con laminazione a grossa scala. Nella porzione inferiore è possibile riconoscere una litofacies calcareo-bioclastica formata da paraconglomerati a stratificazione indistinta (GGM2a). Spessore indicativo pari a ca. 180 m; età Langhiano sup. – Serravalliano.

## **3.1.4 Unità sinorogeniche**

### *3.1.4.1 Arenarie di Chiazzo (AIZ)*

Si tratta di arenarie litiche, siltiti e argille, marne e calcareniti arenacee con bioclasti. Si riconoscono livelli di brecciole calcaree e olistoliti carbonatici; nella parte alta della successione è possibile individuare livelli microconglomeratici. Lo spessore indicativo è di ca. 50 - 100 m; l'età attribuita è del Messiniano.

## **3.2 DEPOSITI QUATERNARI**

I principali depositi quaternari post-orogenici sono riconoscibili in aree depresse o lungo le principali vallate appenniniche; nella carta geologica allegata (vedasi tav. L004-GUD-DA-004) sono stati individuati esclusivamente quei depositi che per copertura, spessore e distribuzione risultano significativi ai fini della corretta definizione del modello geologico. Le coperture eluvio-colluviali, le coltri di alterazione, i depositi detritici in genere vengono invece segnalati nelle carte geomorfologiche allegate.



### 3.2.1 Depositi alluvionali

Distinti nella carta geologica allegata in alluvioni recenti (A11) e alluvioni recenti-attuali (A12), si tratta di depositi alluvionali generati dalla dinamica deposizionali fluviale e/o di conoide, costituiti da ghiaie e sabbie prevalenti, sovente malgradate, talvolta con presenza di strutture sedimentarie tipiche (embrickazione dei ciottoli, tasche erosive, acc...).

Nello specifico, per i depositi A11 si tratta di sedimenti depositi alluvionali e depositi di conoide incisi e sospesi, di spessore indicativo stimato pari a 0 – 3 m ed età Pleistocene med. p.p. – Olocene.

I depositi A12 sono costituiti da ghiaie, sabbie e sabbie limose alluvionali. Si tratta in genere di depositi terrazzati, incisi o sospesi e ghiaie di conoide; si stimano spessori indicativi di 0 - 5 m; l'età è ascrivibile dubitativamente al Pleistocene inf. p.p.? - med. p.p.?

### 3.2.2 Depositi di versante

I depositi di versante sono dovuti alla dinamica gravitativi e al deterioramento delle proprietà geomeccaniche superficiali dei versanti; essi sono costituiti da massi e blocchi angolosi, quasi sempre monogenici, organizzati in corpi deposizionali (conoide di deiezione, fasce ai piedi dei versanti principali qualora coalescenti, ecc...).

Nell'area in esame tali depositi in genere non sono molto estesi e si riconoscono esclusivamente alla base o alle pendici dei principali rilievi calcarei secondo spessori poco sviluppati (1-3 m massimo). Nella carta geologica allegata non vengono considerati tali depositi mentre nella carta geomorfologica Bacino di Monte Alto (vedasi tav. L004-GUD-DB-501) in scala 1:2.000 è stata distinta una fascia detritica alla base della dorsale M. Alto-Toppo Mangialardo, lato bacino.

### 3.2.3 Depositi eluvio-colluviali

I depositi eluvio-colluviali risultano distribuiti in maniera più o meno uniforme sui versanti, sviluppandosi in particolar modo in corrispondenza di substrati argillitico-marnosi. In genere sono costituiti da massi e blocchi in scarsa matrice sabbioso-argillosa (eluvio) o da depositi limoso-sabbiosi con inglobati elementi lapidei anche di grosse dimensioni (colluvio); gli spessori ridotti non permettono un'efficace distinzione dal sottostante substrato roccioso; pertanto nella carta geologica non sono stati considerati.

### 3.2.4 Depositi di riempimento di bacini in tramontani

Si tratta di depositi prevalentemente limosi, limoso sabbiosi e limoso argillosi da debolmente a molto consistenti, in cui è possibile rinvenire la presenza di inclusi lapidei lungo il perimetro del bacino; nell'interno si riconoscono talvolta inclusi lenticolari prevalentemente sabbiosi e/o conglomeratici e tasche erosive (specialmente alla base) o suoli residuali. Le indagini svolte hanno permesso una caratterizzazione dei depositi da un punto di vista geofisico e geotecnico (Bacino di Lagospino, vedasi capitolo 8.1); ulteriori indagini da realizzarsi nella progettazione esecutiva permetteranno di ricostruire la successione litostratigrafica interna al deposito in maniera diretta; ad ogni modo si stimano spessori indicativi per il Bacino di Lagospino pari a ca. 0-40 m ed età Pliocene sup.? – Olocene.

## 4. CARATTERIZZAZIONE TETTONICO-STRUTTURALE

### 4.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'assetto strutturale dell'area sannita è caratterizzato da un'embricazione est-vergente costituita da falde tettoniche piegate e sovrascorse di estensione regionale.

Si possono evidenziare due momenti tettonici distinti:

1. Fase di deformazione, rappresentata dalla deformazione precoce o embrionale delle successioni sedimentarie bacinali in direzione settentrionale a partire dal Serravalliano sup.-Tortoniano inf. secondo un campo di stress transpressivo destro.
2. Fase di strutturazione successiva, costituita dallo sradicamento ed affastellamento in direzione orientale per gli effetti di transpressioni a componente di movimento destre (Messiniano inf.).

L'effetto più evidente di questa tettonica si riconosce nei raddoppi delle successioni stratigrafiche bacinali (sovrapposizione tettonica dei terreni dell'Unità del Sannio sulle Unità del Frigento e della Valle del Tammaro). I *thrust* presentano geometrie sub-orizzontali (*flat*) e sono riconoscibili nei pressi del bacino di Campolattaro, dove risulta evidente la presenza di terreno più vecchi su formazioni relativamente più giovani.

Il settore del bacino di Campolattaro costituisce una finestra tettonica in cui si riconosce un alto strutturale; i processi sub-aerei di inversione del rilievo sono riusciti nel tempo a determinare un basso morfologico.

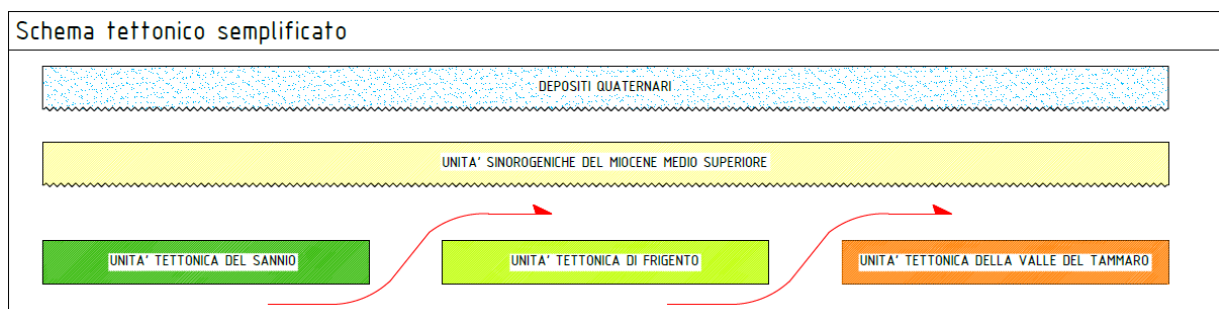
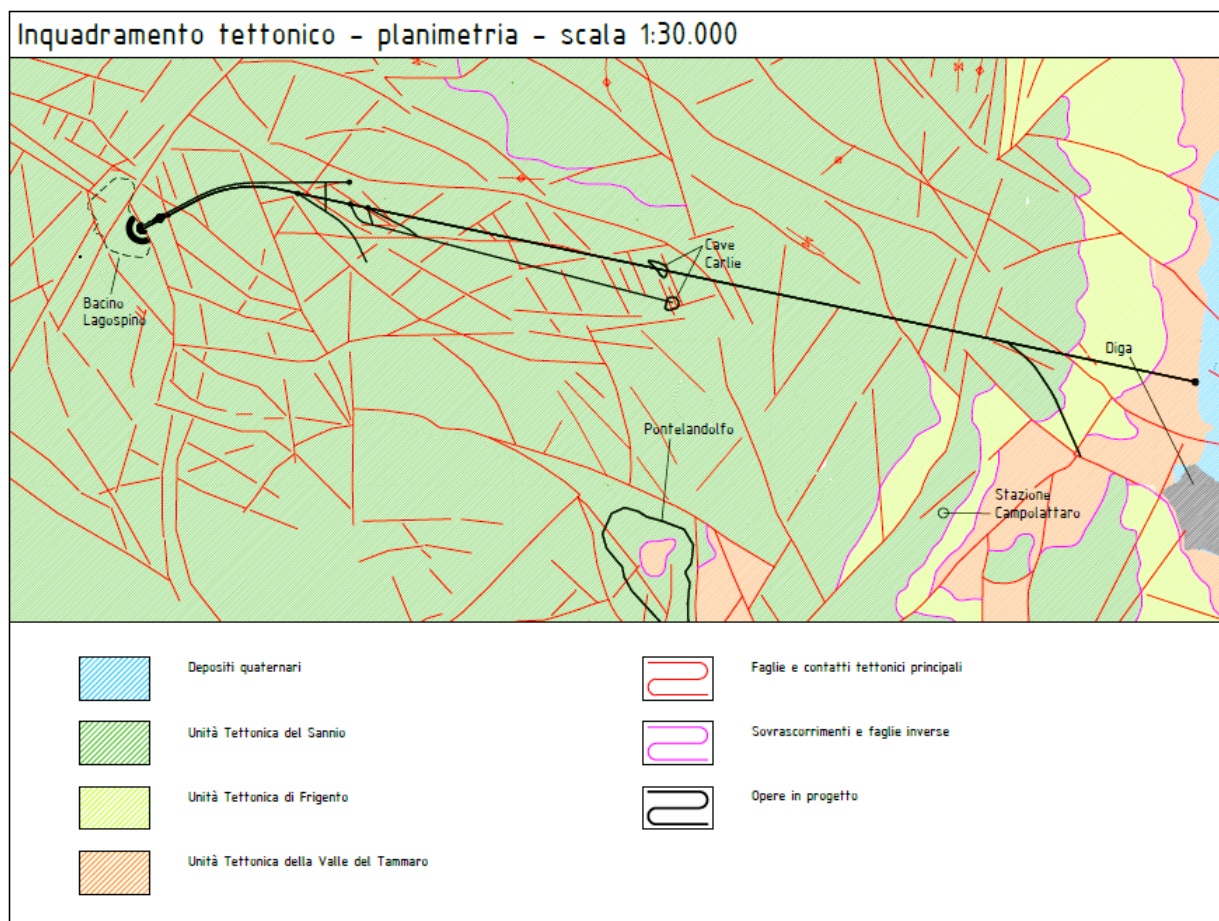


Figura 5 – Schema tettonico semplificato relativo all'area in esame.



**Figura 6 – Planimetria di inquadramento tettonico dell’area di indagine: in verde viene indicata l’U. del Sannio, il giallo indica l’U. di Frigento e in arancio l’U. della Valle del Tammaro; le linee rosse costituiscono le faglie principali e le linee indaco rappresentano i sovrascorrimenti.**

Oltre ai sovrascorrimenti principali, sono stati riconosciuti alcune situazioni locali definite da accavallamenti minori all’interno delle medesime unità tettoniche; come ad esempio nella porzione a Nord-Ovest di Cave Ciarli, dove si riconoscono duplicazioni tettoniche della successione costituita da calcari e facies marnoso-argillose del Flysch Rosso. Tale motivo strutturale risulta rintracciabile pure in profondità lungo l’asse delle gallerie in progetto; secondo quanto evidenziato dai sondaggi (vedasi in particolar modo la colonna stratigrafica relativa al sondaggio S2/S6).

Lo stile deformativo prevede la presenza di strutture estese alla scala ettometrica rappresentate dall’associazione di pieghe asimmetriche con vergenza adriatica e con piani meccanici di taglio inverso che portano la porzione di successione rovesciata (qualora conservata) sul fianco esterno delle pieghe. Le strutture inglobano poi pieghe minori (pieghe

parassite) e ulteriori disgiunzioni (taglio inverso, *box fold*).

L'assetto tettonico appare ulteriormente complicato dalla presenza di faglie ad alto angolo generatesi durante e dopo gli episodi compressivi predetti. Esaminando la distribuzione spaziale e le relazioni tra i lineamenti riconosciuti, si osserva che questi possono essere sostanzialmente raggruppati in tre famiglie con differente orientazione, come di seguito elencato:

1. NW-SE, con alcuni lineamenti che arrivano a NNW-SSE nella parte meridionale dell'area. Formano la famiglia più importante nell'area. Nella zona nord occidentale questi lineamenti isolano blocchi che si abbassano verso sud ovest formando una struttura a scala (*step faulting*), mentre nelle parti centro settentrionali si osserva un abbassamento verso nord est. Tra i due settori si ha un ampio altopiano nel quadrante nord occidentale. In questo quadrante alcune di queste faglie hanno il trend N-S e presentano curvature, in combinazione con gli altri lineamenti formano ristretti argini rilevati e alcuni bacini depressi. Il lineamento NW-SE, sembra essere non solo il più importante ma anche il più vecchio. Esso è tagliato sia dai lineamenti E-W (nella parte centrale all'altezza della diga) che da quello NNE – SSW.
2. E-W con piccole oscillazioni verso ESE- WSW e ENE-WNW. Questo sistema di lineamenti che spesso taglia quello NW-SE è tagliato dal sistema NNE– SSW, quindi sembra cronologicamente intermedio tra i due; ha generalmente forte persistenza e attraversa l'area in cinque fasce. Essendo abbastanza vecchi, anche questi lineamenti affiorano meglio nel settore occidentale della carta dove sono presenti le rocce più competenti e di età più antica. Spesso le faglie di questo sistema hanno una componente di rigetto verticale. Il sistema E-W è abbastanza continuo e soprattutto tronca i blocchi preesistenti del sistema NW-SE; per questo motivo molte frane si originano in corrispondenza di questi lineamenti.
3. NNE – SSW, con variazioni verso NE – SW. Questo sistema di lineamenti presenta una certa variabilità nell'orientazione fino a ottenere una direzione quasi N-S; spesso i lineamenti formano degli sciami molto persistenti e sono diffusi in tutta l'area. Esistono varie zone, nell'area di studio, che sono particolarmente interessate da questi sciami. I lineamenti di questa famiglia tagliano sia quelli NW–SE che quelli E-W e sono abbondanti dove affiorano le rocce più giovani, quindi questo sistema risulta il più recente. L'interazione con il sistema NW-SE, ha prodotto la formazione di

numerosi blocchi romboidali facilmente riconoscibili nella zona di Campolattaro; nei pressi del solco vallivo del F. Tammaro il sistema prende orientazioni più meridiane (N-S).

## **4.2 SITUAZIONI LOCALI**

Il rilievo di terreno e le indagini in corso hanno posto l'attenzione a particolari situazioni tettoniche e/o hanno messo in evidenza la presenza di ulteriori lineamenti tettonici significativi per l'indagine in corso; di seguito se ne riporta una breve descrizione.

### **4.2.1 Alto strutturale di Campolattaro**

Le indagini geofisiche evidenziano la presenza di una struttura tettonica ad alto angolo, dubitativamente interpretabile come faglia transpressiva con componente inversa, che tende ad accentuare la struttura antiforale a scala sub-regionale relativa all'alto strutturale di Campolattaro. In mancanza di ulteriori conferme (la struttura non è rintracciabile in affioramento) si ipotizza una faglia –un fascio di faglie– ad andamento ca. N-S e inclinazione prossima alla verticale, il cui tracciato appare riconoscibile lungo il versante destro del Tammaro ca. a quota 500 m s.l.m.. La faglia porta in contatto secondo una struttura verticale il Flysch Rosso a Ovest (qui piegato e sovrascorso su sé stesso) con i terreni prevalentemente terrigeni a Est.

### **4.2.2 Calcari brecciati e fratturati nel sondaggio S02**

In prossimità dei sondaggi S02 e S06 è possibile riconoscere la presenza in affioramento di una faglia nei calcari la cui prosecuzione in profondità viene intercettata dai sondaggi stessi (per la descrizione completa della struttura vedasi la scheda di rilievo geomeccanico ST.08 allegata). Tale struttura determina un locale deterioramento delle proprietà geomeccaniche della roccia e una diminuzione notevole dell'indice RQD, riconosciuta anche nel sondaggio, oltre ad una significativa diminuzione del valore di permeabilità dell'ammasso roccioso.

### **4.2.3 Cave Ciarli**

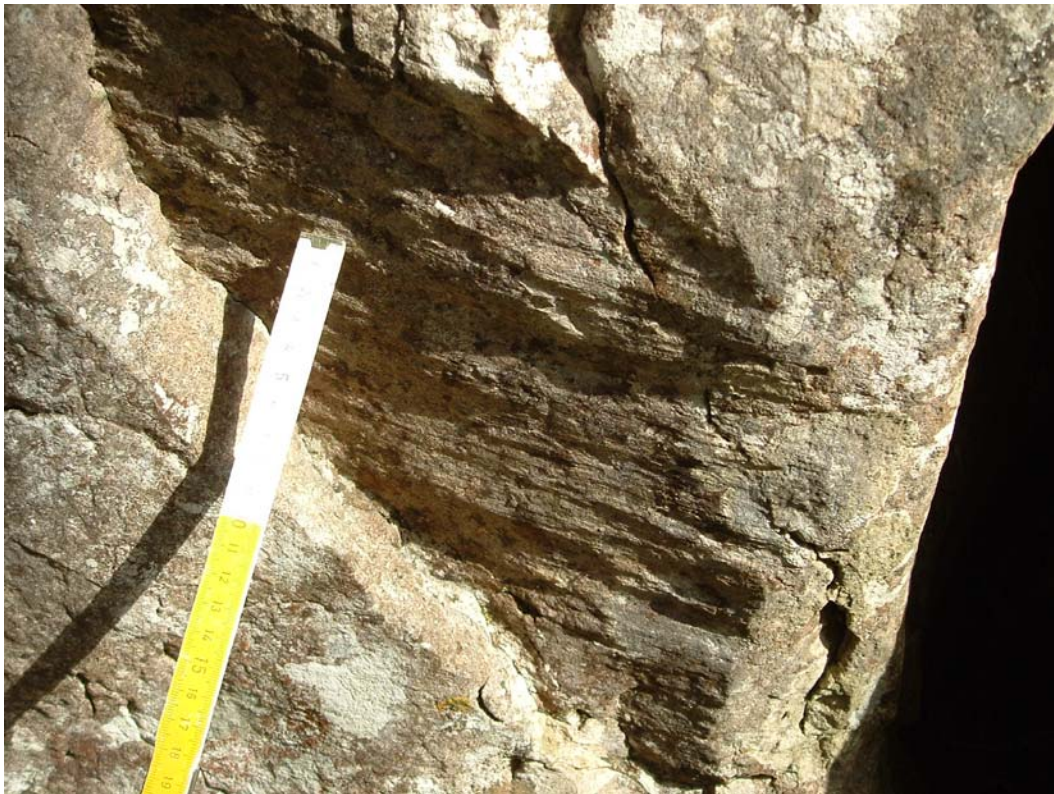
Le cave Ciarli sono state oggetto di rilievo geomeccanico allo scopo di caratterizzare l'ammasso roccioso; le operazioni hanno permesso il riconoscimento di diverse strutture tettoniche circa verticali riunite secondo un fascio con direzione (NO-SE). In particolare,

secondo anche quanto riportato nella scheda di rilievo geomeccanico ST.07, la prima cava che si incontra salendo per la strada comunale da Pontelandolfo risulta interessata da almeno tre strutture a differenti livelli che determinano la locale distruzione della struttura originaria dell'ammasso roccioso.

#### 4.2.4 Bacino di Lagospino

Il bacino di Lagospino, così come tutte le depressioni della zona, è impostato in corrispondenza di due faglie riconoscibili lungo il perimetro orientale.

La prima struttura presenta andamento NE-SW ed è individuabile anche in affioramento nei pressi della grotta di Lagospino (descritta nel capitolo seguente). Lì si individua, infatti, una parete rocciosa subverticale recante i segni di alcune strie di movimento le quali denotano una geodinamica trascorrente prevalente.

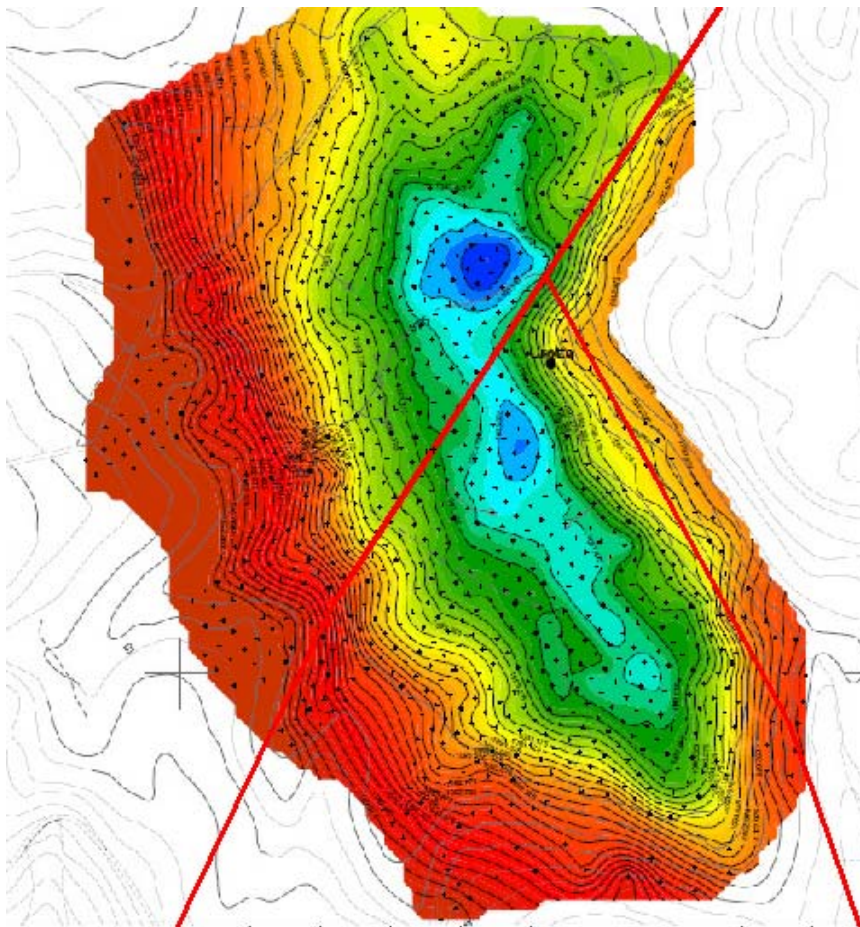


**Figura 7 – Particolare di uno specchio di faglia in cui sono visibili le strie di movimento.**

La seconda struttura, troncata dalla precedente, presenta andamento NW-SE e determina lo sviluppo del crinale Est del che contorna il bacino.

Le indagini geofisiche effettuate nel bacino di Lagospino concordano nell'evidenziare tali strutture, si viene a determinare pertanto un quadro morfologico in cui la depressione sembra essersi sviluppata proprio in corrispondenza dei lineamenti predetti.

Tali strutture sono considerate inattive (vedasi quanto riportato nell'allegato 6 in fondo al testo relativo allo studio IGAG - CNR), sia per la mancanza di evidenze morfologiche che in seguito ad analisi storica effettuata sul territorio.



**Figura 8 – Mappa dell’anomalia di Bouguer definita dalle indagini geofisiche per il bacino di Lagospino e interpretazione delle strutture tettoniche (linee rosse).**



## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

### 5.1 CARATTERISTICHE GENERALI

Le caratteristiche morfologiche principali sono tipiche di queste valli dell'Appennino centrale. Gli elementi morfologici sono costituiti dalle dorsali montuose presenti a Ovest (Toppo Mondolfo, Toppo Mangialardo) cui si contrappone l'ampio solco fluviale scavato dal F. Tammaro ad Est.

I lineamenti predetti seguono ed insistono lungo le principali linee tettoniche riconosciute nell'area, distribuite secondo direzione N-S (direzione principale su cui si è impostato questo tratto di valle) o antitetica, in direzione NO-SE, determinando i gomiti fluviali riconoscibili a monte dell'area di interesse.

La parte rimanente del reticolo fluviale principale si imposta anch'esso sul fitto sistema di faglie riconosciute nell'edificio calcareo, determinando un drenaggio sostanzialmente Est-vergente nell'area specifica; i due principali corsi d'acqua (il Rio Secco ed il Vallone Lenticello) si sviluppano in direzione circa Ovest-Est rispettivamente a Nord e a Sud del tracciato principale delle opere; le valli dapprima appaiono molto incise (nei calcari) poi, a quote minori verso Est, viepiù aperte (nei flysch prevalentemente terrigeni).

Ad Ovest, lungo le aree di pertinenza del Bacino di Lagospino e del Piano di Moia, il reticolo idrologico risulta decisamente poco sviluppato e senza sbocco superficiale (il bacino di Lagospino deve essere considerato endoreico) a causa dell'elevata fessurazione nelle porzioni superficiali dell'edificio calcareo con contestuale sviluppo di fenomeni carsici nei primi 20–30 metri dell'ammasso roccioso. Tutta la dorsale di Monte Alto, in parte il Piano di Moia e anche il Bacino di Lagospino costituiscono un insieme di depressioni carsiche a forma di doline o inghiottitoi.

In genere i calcari costituiscono le porzioni più elevate delle dorsali montuose; il Monte Forgioso ed il Toppo Mondolfo, essendo composti prevalentemente da calcari a matrice massiva, meno fratturati rispetto altri affioramenti riconosciuti in zone limitrofe, costituiscono rilievi morfologici che spiccano nel contesto morfologico generale (vedasi foto seguente).

La morfologia del territorio appare fortemente condizionata dallo sviluppo dei lineamenti

tettonici e dai fenomeni carsici, questi ultimi interessanti in particolar modo la porzione superficiale dell'edificio lapideo (secondo quanto verrà descritto nei capitoli seguenti, la zona maggiormente soggetta a carsismo, si sviluppa nei primi 10-20 m dal piano campagna).



**Figura 9 – Il rilievo sullo sfondo è il Toppo Mondolfo, la cui ossatura è costituita da calcari in strati massicci e bancate suborizzontali.**

All'interno della dorsale calcarea, la presenza di litotipi francamente marnosi (intervalli e livelli marnosi e argillitico-marnosi rossastri in FYR, FYR1 e subordinatamente in FYR2) denotano locali e spesso improvvise modifiche nell'assetto del territorio. Il contrasto morfologico tra versanti puramente calcarei e declivi dolci (impostati su substrato marnoso) appare evidente, così come pure la presenza di estesi pianori coltivati contornati da dorsali calcaree incolte (vedasi figura seguente).



**Figura 10 – Piano di Moia. In primo piano, il pianoro risulta impostato su substrato marnoso di colorazione rosata, sullo sfondo si riconoscono gli affioramenti biancastri del calcare.**

L'estesa porzione di territorio posizionata ad Est del meridiano passante per Cave Ciarli risulta impostata quasi esclusivamente in terreni prevalentemente marnoso-argillitici o marnoso-argillitici-arenacei, dunque facilmente erodibili. Sebbene da un punto di vista tettonico l'area sia da considerare un alto strutturale, l'azione morfologica agisce determinando forme del terreno in genere negative secondo morfologie dolci (inversione del rilievo).

In particolar modo nei pressi dell'incisione del Tammaro, le condizioni morfologiche e litostratigrafiche determinano locali fenomeni di dissesto ed erosione, che possono portare a vista il substrato roccioso, altrimenti celato dal terreno vegetale (vedasi figura seguente).



**Figura 11 – Aspetto tipico dei versanti nei pressi del bacino artificiale di Campolattaro.**

## **5.2 ASPETTI LEGATI ALLA DINAMICA MORFOLOGICA**

### **5.2.1 Forme e processi legati alla dinamica di versante**

Il territorio studiato è caratterizzato da un'energia del rilievo da bassa a medio-alta, in funzione dei litotipi costituenti il substrato roccioso secondo quanto accennato nei paragrafi precedenti; tuttavia, i litotipi ed i terreni affioranti nell'area, presentano complessivamente caratteristiche geomeccaniche e geotecniche tali da limitare la diffusione di fenomeni di instabilità di versante in situazioni particolari.

All'interno dell'area in esame i fenomeni di dissesto attivi direttamente connessi con l'azione della forza di gravità sono arealmente limitati e poco frequenti. Con riferimento alle tavole geomorfologiche allegate alla presente documentazione (vedasi tav. L004-GU-D-DB-501 “Carta geomorfologica Bacino di Monte Alto” e tav. L004-GU-D-DP-504 “Carta geomorfologica area opera di presa a Campolattaro”) sono stati perimetrati i principali dissesti

riconosciuti nel territorio avvalendoci di informazioni di carattere storico e bibliografico, osservazioni di terreno, fotointerpretazione. Le carte geomorfologiche predette riportano la perimetrazione di tali fenomeni, distinguendo, dove possibile, lo stato di attività secondo quanto definito da Varnes (1978); per quanto riguarda la dinamica e lo sviluppo dei dissesti, sul territorio sono stati riconosciuti le seguenti tipologie di frane:

- Scorrimento rotazionale e traslazionale – Si tratta di fenomeni che implicano il movimento di materiale detritico e terreno (come nel nostro caso) lungo superfici di scivolamento che possono avere geometria “a cucchiaio” o planari. Il movimento traslazionale si realizza in corrispondenza di orizzonti di debolezza strutturale quali superfici di stratificazione, cambiamenti litologici e superfici di contatto tra strati con diverse proprietà geomeccaniche (es. contatto substrato roccioso/copertura quaternaria). Le frane per scivolamento rotazionale si verificano per rottura progressiva e inducono il movimento del materiale intorno ad un punto di rotazione posto al di sopra del centro di gravità della massa. In questa categoria vengono anche comprese le frane di scivolamento (prevalentemente traslazionale) che coinvolgono il primo strato superficiale di terreno (*soil slip*). Nell’area in esame sono state riconosciute alcune piccole nicchie di frana sui versanti, specialmente in prossimità dell’invaso di Campolattaro; tali fenomeni risultano puntuali e circoscritti, interessando esclusivamente lo strato più superficiale di terreno. Spesso il materiale mobilizzato dalla frana evolve in una vera e propria colata di fango (*mud flow, earth flow*) come per altro riconosciuto lungo la circunlaquale. Ad ogni modo, non sono state riconosciuti dissesti in grado di interessare ed interagire con le opere in progetto.
- Frana complessa – Si tratta di movimenti gravitativi composti, in cui l’origine e la tipologia di movimento non sono ascrivibili ad in solo processo di versante. Nell’area in esame si individua, quale zona soggette a movimenti di questo tipo, i versanti prospicienti l’invaso di Campolattaro. Le caratteristiche geotecniche dei terreni e del sottostante substrato roccioso, generalmente mediocri o non buone, la pendenza più elevata rispetto le porzioni di territorio a Ovest e lo scorrimento superficiale o subsuperficiale delle acque di ruscellamento, sono tutti fattori predisponenti per l’innesco di tali fenomeni. Per quanto riguarda le opere in progetto, in particolar modo l’opera di presa a Campolattaro, la galleria di accesso

intermedio e il pozzo paratoia sulla galleria di restituzione, sono posizionate al di fuori delle aree in frana perimetrate; in ragione di quanto è stato detto è possibile escludere in via preliminare possibili interazioni con i dissesti segnalati (vedasi in particolar modo tav. L004-GU-D-DP-504). Le indagini eseguite, considerati anche i risultati dei sondaggi, hanno infatti escluso la presenza di superfici di scorrimento o di plasticizzazione profonde lungo il tracciato delle opere. Ad ogni modo, considerata la generale predisposizione di questa parte di territorio allo sviluppo di fenomeni di dissesto, durante l'esecuzione dei lavori di scavo si potrà monitorare la stabilità del versante tramite misure topografiche e misure inclinometriche.

- **Crollo** – Il distacco dei blocchi lapidei è dovuto ad un rapporto particolarmente sfavorevole fra superfici di discontinuità e morfologia. Il fenomeno viene agevolato inoltre dall'azione erosiva dei vari agenti operanti (acque meteoriche e di ruscellamento, cicli gelo-disgelo, ecc. A seguito di fenomeni di crollo dalle pareti rocciose, si creano alla base di queste le falde o coni di detrito, caratterizzate in genere da elevati angoli di attrito e buone condizioni di stabilità complessiva. Nel territorio in esame, si evidenziano modesti fenomeni di instabilità esclusivamente lungo i fronti calcarei delle cave in stato di abbandono.

### 5.2.2 Forme e processi legati alla dinamica delle acque

L'azione delle acque superficiali all'interno della regione idrologica considerata appare evidente; di seguito si descriveranno le forme ed i processi individuati:

- **Erosione di fondo e spondale** – L'erosione di fondo è un fenomeno ascrivibile allo stadio evolutivo giovanile del bacino idrografico ed all'incessante opera di modellazione del profilo di fondo e della sezione d'alveo. L'attività erosiva si traduce nella creazione di numerosissime incisioni fluviali comportanti una destabilizzazione delle sponde fluviali a causa dell'elevata acclività del fianco interno, con conseguenze estese ai versanti soprastanti (scalzamento e riduzione della resistenza al piede). Le aree maggiormente interessate dal fenomeno sono quelle dove maggiore è l'energia del rilievo e dove le condizioni geotecniche della copertura detritica o geomeccaniche dell'ammasso roccioso sono predisponenti. In maniera analoga, i corsi d'acqua possono anche dare luogo a erosioni di sponda (od erosioni al piede) in corrispondenza di versanti caratterizzati da elevata pendenza e dove le condizioni geotecniche della copertura o geomeccaniche

dell'ammasso roccioso siano ideali; si generano così scarpate di origine fluviale. E' questo il caso maggiormente diffuso nel reticolo idrografico di interesse; tali fenomeni, non molto sviluppati a dir la verità, sono riconoscibili specialmente lungo i rii ed i torrentelli nei pressi del bacino di Campolattaro.

- Dilavamento diffuso – Le acque meteoriche di precipitazioni intense e continue possono scorrere lungo i versanti occupandone la quasi totalità della superficie. Tali fenomeni erosivi si riscontrano generalmente in corrispondenza dei versanti più esposti e meno protetti dalla vegetazione boschiva; come ad esempio lungo i campi arati, dando luogo talvolta a veri e propri solchi erosivi e colate di fango.

### 5.3 CARSISMO

Un diffuso carsismo caratterizza l'area occidentale nella porzione superficiale dell'edificio tettonico, determinando morfologie e forme erosive caratteristiche. Alla mesoscala sono osservabili, sulla superficie di quasi tutti gli affioramenti naturali, diffusi fenomeni di dissoluzione carsica, come ad es. strutture a *karren* (o “campi carreggiati”) e superfici di strato o di giunto erose e levigate, lungo cui si originano piccoli condotti carsici di dimensioni centimetriche o decimetriche (vedasi foto seguente).

A scala più ampia, lungo le dorsali calcaree, sono spesso visibili forme caratteristiche rappresentate da depressioni localizzate, più o meno estese, che possono essere riferite a sprofondamenti e/o fenomeni di dissoluzione (doline ed inghiottitoi); in parte tali forme del terreno sono da considerarsi fossili.



**Figura 12 – Aspetto tipico dei calcari carsificati**

Numerose cavità e condotti naturali spesso poco profondi o di piccole dimensioni, sono



censiti al Catasto Grotte della Federazione Speleologica Campana; tra queste l'unica di interesse è l'inghiottitoio di Lagospino (Cp 1247), la cui ubicazione viene riportata nella tavola L004-GU-D-DB-501 e nella figura seguente.



Figura 13 – Estratto cartografico del Catasto delle grotte della Campania (Federazione Speleologica Campana); il punto identificativo blu indica la posizione dell'inghiottitoio di Lagospino.

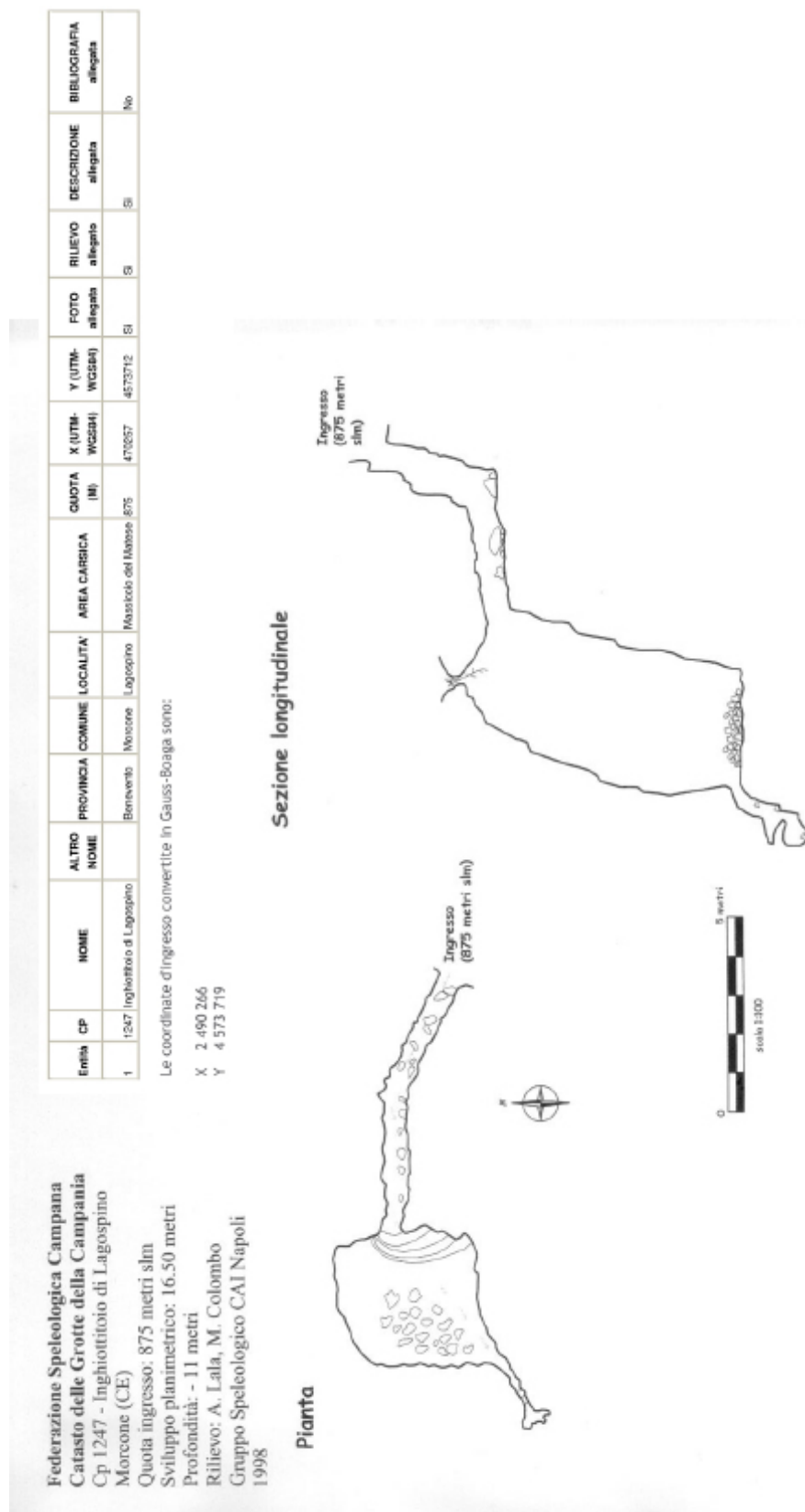


Figura 14 – Scheda di censimento dell'inghiottitoio di Lagospino

Lo sviluppo planoaltimetrico della cavità censite portano a ritenere il fenomeno del carsismo molto sviluppato esclusivamente nella porzione superficiale dell'ammasso carbonatico (nei primi 10-20 m circa dalla superficie topografica, la cosiddetta zona vadosa).

La tematica è stata oggetto di ulteriore approfondimento mediante l'esecuzione di indagini geoelettriche di dettaglio volte alla determinazione di condotti carsici nella zona dell'opera di presa di Monte Alto. I risultati di tali indagini (vedasi elaborati allegati in appendice) confermano quanto già preliminarmente ipotizzato; si evince cioè la presenza di una porzione di ammasso roccioso carbonatico soggetta a fenomeni di dissoluzione esclusivamente nei primi 10 m ca. di profondità per il sito di indagine. Oltre all'inghiottitoio di Lagospino precedentemente descritto, il rilievo ha infatti evidenziato la presenza di un'ulteriore cavità principale più altre minori, individuabili al di sotto dei depositi quaternari limo-sabbiosi (lato est del bacino; vedasi tomografie geoelettriche di dettaglio allegate e tavola L004-GUD-DB-501 per l'individuazione planimetrica), le cui evidenze si riscontrano pure in superficie (depressione morfologica), poco distante dalla zona prevista per la realizzazione dell'opera di presa. La struttura, sviluppatasi in corrispondenza del lineamento tettonico descritto nel capitolo 4.2.4, presenta profondità di pochi metri dal p.c., allineamento NNO-SSE e sviluppo lineare di una decina di metri. Anche in questo caso la struttura carsica si chiude nei primi 10 – 20 m dal p.c.

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMOTETTONICA

### 6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Gli studi effettuati dal dr. Chiesa (CNR – IRPI) e dai dott. P. Galli, B. Ghiaccio e P. Messina (IGAG – CNR), riportati integralmente in appendice, descrivono una caratterizzazione sismotettonica completa e minuziosa dell'area in esame a cui si rimanga per tutti gli approfondimenti; in questa sede si richiamano in maniera sintetica di dati significativi che emergono.

La zona investigata si trova in una delle aree caratterizzate da più alti valori del potenziale sismogenetico dell'intero territorio nazionale. Considerando la zonazione sismotettonica del territorio italiano ZS9, impiegata per il calcolo delle più recenti mappe di pericolosità sismica (Gruppo di Lavoro, 2004; Meletti et al., 2008), Pontelandolfo si situa all'interno della zona sismogenetica 927 caratterizzata dall'occorrenza di numerosi terremoti distruttivi (la magnitudo massima indicata corrisponde a 7.06) ed un meccanismo di rottura prevalente di tipo normale.

L'assetto sismotettonico in prossimità di Pontelandolfo è fortemente condizionato dall'evento del 1688 (terremoto del Sannio, Cerreto Sannita) e, in particolar modo, dalla posizione della struttura tettonica generatrice di tale evento.

Le più recenti ipotesi sull'ubicazione della faglia responsabile dell'evento del 1688 presuppongono l'esistenza di un sistema di faglie lungo il Calore; tale ipotesi è avvalorata sia dalla presenza di strutture distensive compatibili con una distensione NO-SE nella parte superiore del Calore, sia dall'esistenza di un sistema di faglie distensive di Boiano.

Secondo questa teoria, il sistema di faglie del Calore dovrebbe possedere caratteristiche analoghe al sistema di Boiano, posto più a nord. Il sistema di Boiano è caratterizzato da una famiglia di strutture con immersione NE (a cui appartiene la faglia principale), da un sistema di discontinuità antitetico (con immersione a SO) e da faglie disposte in direzione E-O che fungono da collegamento tra i due sistemi coniugati. La stretta vicinanza tra il sistema di faglie di Boiano (generatrice dell'evento 1805) e quello del Calore potrebbe lasciar presumere una loro possibile interazione (Scholz, 2002).

In estrema sintesi il quadro sismotettonico nel suo complesso si compone di strutture

tettoniche distensive con trend appenninico, quelle con il maggior potenziale sismogenetico, e da strutture distensive secondarie ad andamento E-O lungo cui, in alcuni casi, si sviluppano sciami sismici con eventi principali di magnitudo medio-bassa. L'elevata frammentazione non esclude localmente la presenza di sistemi di discontinuità locali con andamenti diversi.

La località indagata è in prossimità ad alcune delle principali strutture distensive e in particolare nelle vicinanze delle faglie presumibilmente responsabili della generazione di due tra gli eventi tra i più distruttivi registrati in epoca storica nell'area del Sannio e del Matese: l'evento del 1456 e quello del 1688; tuttavia tali strutture (faglia delle Acquae Iuliae - Galli e Naso, 2009; sistema di faglie del nord Matese – Galli e Galadini, 2003) e risultano ben distanti dal Bacino di Monte Alto.

Per concludere, le indagini di campagna integrato allo studio delle foto aeree e delle indagini geofisiche effettuate (vedasi report IGAG-CNR) permettono di escludere che l'area di futuro invaso sia interessata da fenomeni di fagliazione di superficie.

## **6.2 INDICAZIONI SULLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

Impiegando la pericolosità sismica contenuta nell'allegato A delle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 – Suppl. Ordinario n. 30), e riferendoci ai valori dei nodi della griglia di riferimento più vicini al sito in esame (31206, 31209, 30987, 30986), si ottiene un insieme di informazioni sulla pericolosità sismica di base riassunti nella tabella sottostante.

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.062	2.431	0.280
50	0.083	2.372	0.296
72	0.101	2.344	0.314
101	0.121	2.338	0.324
140	0.144	2.327	0.334
201	0.174	2.317	0.344
475	0.266	2.304	0.372
975	0.364	2.321	0.392
2475	0.503	2.455	0.433

**Tabella 1 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  per i periodi di riferimento.**

Considerando le informazioni di pericolosità sismica ottenute nel corso del progetto S1 DPC-INGV riferite al nodo più vicino, lo spettro di risposta elastico che se ne ricava è rappresentato nella figura sottostante. Come si può notare lo spettro mostra un picco di accelerazione spettrale approssimativamente per periodi intorno a 0.2s.

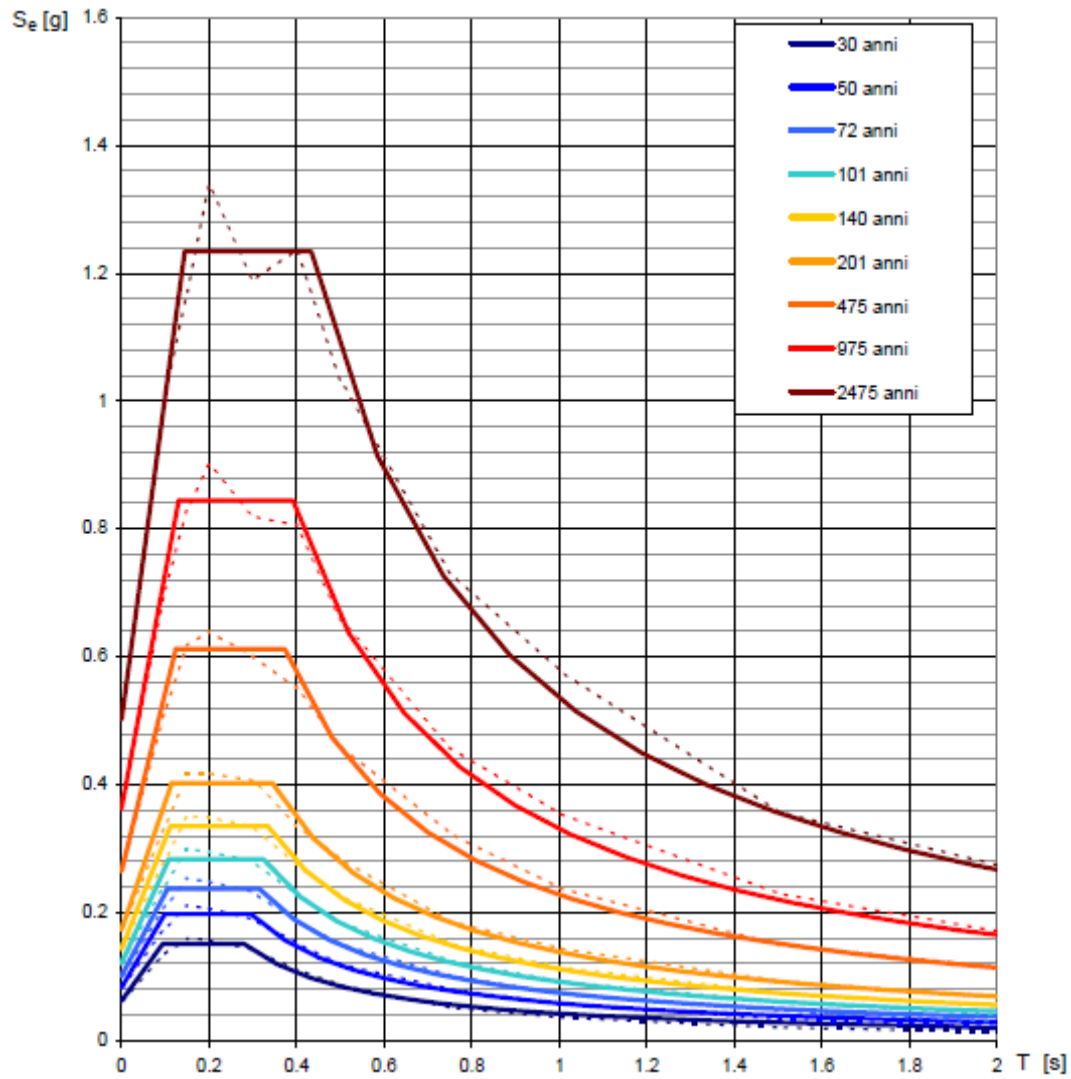


Figura 15 – Spettri di risposta elastici per periodi di ritorno  $T_r$  di riferimento (le linee continue rappresentano gli spettri di Normativa, le linee tratteggiate si riferiscono a agli spettri di progetto S1-INGV da cui sono derivati).

## 7. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

### 7.1 PREMESSA

La conoscenza della conducibilità idraulica negli ammassi rocciosi risulta di fondamentale importanza nello studio per la previsione di venute d'acqua in opere in sotterraneo.

La conducibilità idraulica degli ammassi rocciosi è un parametro che presenta un campo di variabilità estremamente ampio; il dato si può determinare con misure dirette secondo tecniche complesse e costose, oppure stimare per via indiretta, mediante relazioni empiriche e confronto con casi riportati in letteratura.

Le stime di permeabilità dell'ammasso roccioso possono essere di tipo qualitativo, secondo metodi che ben si applicano a su aree di dimensioni significative e basate sulle caratteristiche geologiche delle formazioni interessate; oppure possono essere quantitative o semi-quantitative, impostate su criteri empirici conosciuti in letteratura, spesso applicabili ad ambiti ristretti di cui si conoscono bene le condizioni al contorno.

In considerazione di queste premesse, lo studio idrogeologico proposto nella presente relazione si sviluppa secondo due livelli differenti di approfondimento:

- il primo livello si riferisce alla stima delle proprietà idrogeologiche generali relative agli ammassi rocciosi riconosciuti nell'area di indagine e porta alla definizione principalmente secondo metodi qualitativi della carta idrogeologica allegata alla presente documentazione (vedasi cap. 7.2);
- il secondo livello, applicabile unicamente alla zona di realizzazione delle opere, si riferisce alla stima per tratte omogenee della permeabilità intrinseca degli ammassi rocciosi attraversati dagli scavi (vedasi cap. 7.3) e, di conseguenza, alla valutazione delle portate attese in galleria.



## 7.2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nella tavola Idrogeologica allegata alla presente documentazione (vedasi tav. L004-GU-D-DA-005) sono riportati i principali lineamenti idrogeologici per il territorio in esame.

Se si escludono i depositi quaternari che in genere risultano poco significativi per la tematica in questione, il substrato roccioso risulta costituito da più successioni litostratigrafiche appartenenti a falde tettoniche differenti, secondo quanto già espresso nei capitoli precedenti.

Da un punto di vista idrogeologico tali successioni vengono raggruppate a secondo delle caratteristiche di permeabilità dei materiali che le compongono in complessi idrogeologici differenti aventi caratteristiche di permeabilità proprie.

Sulla base della ricostruzione geologica proposta si è definito il modello idrogeologico basato sui seguenti complessi idrogeologici:

1. **COMPLESSO DEI DEPOSITI DETRITICI** - Depositi continentali prevalentemente detritici, poligenici, costituiti da elementi lapidei eterometrici, a spigoli vivi o semiarrotondati, in matrice terrosa rossastra bruna, residuale; depositi limosi, argillosi o sabbiosi delle depressioni morfologiche. Contengono falde a superficie libera di spessore, estensione ed importanza variabile (nella zona solitamente modesto). Presentano permeabilità per porosità variabile in funzione della granulometria del materiale, in genere da medie ad elevate in corrispondenza di sedimenti sabbiosi e ghiaiosi (falde detritiche, sedimenti grossolani, ecc...), medio-basse in corrispondenza di materiali limoso-sabbiosi e/o limoso-argillosi (depositi francamente lacustri e/o residuali). Olocene med. - Attuale.
2. **COMPLESSO DEI DEPOSITI ALLUVIONALI** - Depositi alluvionali recenti sciolti, costituiti da sabbie ghiaiose-ciottolose a spigoli arrotondati e semiarrotondati, in matrice limoargillosa a luoghi prevalente. I depositi alluvionali ospitano solitamente acquiferi a superficie libera, raramente e localmente in pressione. Si stimano valori di permeabilità media per porosità. Pleistocene – Attuale.
3. **COMPLESSO ARENACEO** - Arenarie arcoseo-litiche, siltiti e argille, marne e

calcareniti arenacee; locali livelli microconglomeratici. Permeabilità medio-bassa principalmente per fratturazione. Messiniano.

4. **COMPLESSO ARENCEO-PELITICO-CALCAREO** - Arenarie a grana media e fine in strati a banchi massivi, siltiti in banchi sottili, alternate ad argille ed argille marnoso-siltose; calcari marnosi in strati sottili. Il complesso, ascrivibile alle formazioni di Fragneto Monforte, di San Giorgio e dal Flysch Numidico, risulta costituita da permeabilità bassa, medio-bassa per fratturazione in corrispondenza delle porzioni maggiormente competenti. Burdigaliano sup. – Tortonianiano med.
5. **COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO-PELITICO** - Calcari detritici, calcareniti, calcilutiti parzialmente silicizzate e brecciole calcaree di colorazione grigio-biancastra, talora verdastra, intercalate a marne, marne argillose o argille grigiastre, talvolta rossastre. Il complesso, ascrivibile alla formazione del Flysch Rosso e alla Formazione di Corleto Perticara, presenta permeabilità generalmente bassa o nulla ad opera delle porzioni maggiormente argillose. Cretaceo sup. - Miocene inf.
6. **COMPLESSO CALCAREO E CALCAREO-MARNOSO** - Calcari grigiastri e biancastri in strati e banchi massivi, calcareniti fini azzurrognole e subordinati calcari marnosi grigio scuro; locali calcilutiti parzialmente silicizzate, localmente (ad es. nella parte alta dell'unità) si notano intercalazioni di marne argillose e argille rossastre. Il complesso, ascrivibile al membro calcareo del Flysch Rosso, può essere sede di acquiferi significativi, con portate massime di qualche l/s. Permeabilità per fratturazione e per carsismo; la permeabilità tende a diminuire con l'aumento della frazione argillosa. Cretaceo sup. - Burdigaliano sup.
7. **COMPLESSO DIASPRIGNO-CALCAREO-ARGILLITICO** - Argilliti grigio scuro, verdi e rosse, calcari in strati sottili con liste e noduli di selce, diaspri e livelli di marne silicizzate. Il complesso coincide con il membro diasprigno del Flysch Rosso; esso presenta permeabilità generalmente bassa o nulla e può costituire un importante ruolo nella circolazione idrica sotterranea, svolgendo il ruolo di acquiclude dei calcari presenti a tetto della successione stratigrafica. Cretaceo superiore.

P E R M E A B I L I T A'					NOTE				DESCRIZIONE DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI
grado					tipo				
E	A	M	B	BB	P	M	Fr	C	
									<p><b>COMPLESSO DEI DEPOSITI DETRITICI</b> Depositi continentali prevalentemente detritici, poligenici, costituiti da elementi lapidei eterometrici, e spigoli vivi o semiarrotondati, in matrice ferruginea rossastra bruna, residuale; depositi limosi, argillosi o sabbiosi delle depressioni morfologiche. Contengono falde a superficie libera di spessore, estensione ed importanza variabile (nella zona solitamente modesta). OLOCENE MED. - ATTUALE</p>
									<p><b>COMPLESSO DEI DEPOSITI ALLUVIONALI</b> Depositi alluvionali recenti sciolti, costituiti da sabbie ghiaiose-ciottolose e spigoli arrotondati e semiarrotondati, in matrice limoargillosa e luoghi prevalente. I depositi alluvionali ospitano solitamente acquiferi a superficie libera, raramente e localmente in pressione. PLEISTOCENE - ATTUALE</p>
									<p><b>COMPLESSO ARENACEO</b> Arenarie arcuoso-litiche, siltiti e argille, marne e calcareniti arenacee; locali livelli microconglomeratici. Permeabilità medio-bassa principalmente per fratturazione. MESSINIANO</p>
									<p><b>COMPLESSO ARENCEO-PELITICO-CALCAREO</b> Arenarie e grana media e fine in strati e banchi massivi, siltiti in banchi sottili, alternate ad argille marnoso-siltose; calcari marnosi in strati sottili. Il complesso, scrivibile alle formazioni di Fragneto Manfredi, di San Giorgio e del Flysch Numidico, risulta costituita da permeabilità bassa, medio-bassa per fratturazione in corrispondenza delle porzioni maggiormente competenti. BURDIGALIANO SUP. - TORTONIANO MED.</p>
									<p><b>COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO-PELITICO</b> Calcari detritici, calcareniti, calcilutiti parzialmente silticizzate e breccie calcaree di colorazione grigio-biancastra, falda verdestre, intercalate a marne, marne argillose o argille grigie, talvolta rossastre. Il complesso, scrivibile alle formazioni del Flysch Russo e alla Formazione di Carlucci Particera, presenta permeabilità generalmente bassa o nulla nelle porzioni i maggiormente argillose. CRETACEO SUP. - MIocene INF.</p>
									<p><b>COMPLESSO CALCAREO E CALCAREO-MARNOSO</b> Calcari grigiastri e biancastri in strati e banchi massivi, calcareniti fini eszurrignole e subordinati calcari marnosi grigio scuro; locali calcilutiti parzialmente silticizzate, nella parte alta dell'unità si notano intercalazioni di marne argillose e argille rossastre. Il complesso, scrivibile al membro calcareo del Flysch Russo, può essere sede di acquiferi significativi, con portate massime di qualche l/s. Permeabilità per fratturazione e per carsismo; la permeabilità tende a diminuire con l'aumentare della frazione argillosa al tetto della formazione. CRETACEO SUP. - BURDIGALIANO SUP.</p>
									<p><b>COMPLESSO DIASPRIGNO-CALCAREO-ARGILLITICO</b> Argilliti grigio scuro, verdi e rosse, calcari in strati sottili con lische e noduli di selce, diaspri e livelli di marne silticizzate. Il complesso coincide con il membro diasprigno del Flysch Russo; esso presenta permeabilità generalmente bassa o nulla e può costituire un importante ruolo nella circolazione idrica sotterranea, svolgendo il ruolo di acquiclude dei calcari presenti a tetto della successione stratigrafica. CRETACEO SUPERIORE</p>

Figura 16 – Schema riassuntivo relativo ai complessi idrogeologici

I complessi idrogeologici proposti nel presente lavoro si differenziano sensibilmente rispetto quelli definiti a scala maggiore nelle carte di inquadramento idrogeologico disponibili (Carta Idrogeologica della Provincia di Benevento, 2003; Carta dei Complessi Idrogeologici della Regione Campania, 2007); si è tentato infatti di rendere significative le particolarità e le differenziazioni che si sono presentate alla scala di riferimento scelta (scala 1:10.000) e in considerazione dei nuovi dati litostratigrafici integrati per l'area in esame.

Ad ogni modo, per semplicità di lettura, le schede relative al monitoraggio delle sorgenti allegare alla presente documentazione (vedasi appendice) riportano la nomenclatura relative alla Carta Idrogeologica di Benevento.

Infine, tra le altre informazioni contenute nella carta idrogeologica allegata (vedasi tav. L004-GU-DD-A005) sono anche riportati i principali lineamenti tettonici riconosciuti nell'area di interesse, l'ubicazione delle sorgenti e dei pozzi censiti, i principali contatti stratigrafici tra le varie formazioni geologiche e le direzioni di flusso sotterraneo ipotizzate; viene inoltre messo in risalto il reticolo idrico superficiale.

## 7.3 STIMA DELLA CONDUCIBILITÀ IDRAULICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

### 7.3.1 Introduzione

In genere non appare possibile prevedere accuratamente le venute d'acqua durante lo scavo di una galleria, in quanto tutti gli elementi necessari per tale previsione, di fatto, non possono essere noti preventivamente. Tuttavia nei casi in cui l'area di studio risulti limitata, come nel caso in esame, è possibile giungere ad una stima della conducibilità idraulica degli ammassi rocciosi sulla base di rilievi geomeccanici di dettaglio su di affioramenti individuati in superficie e/o su misure dirette effettuate in fori di sondaggio (prove Lugeon).

Nelle rocce, infatti, la circolazione idrica sotterranea avviene principalmente attraverso le numerose discontinuità primarie (stratificazione principalmente) e secondarie (fratture, faglie, cavità dovute al carsismo) presenti negli ammassi rocciosi.

Diversi autori ritengono che il comportamento idraulico di un ammasso dipende innanzi tutto dalle caratteristiche delle discontinuità, per cui l'esatta conoscenza della loro distribuzione e dei loro parametri caratteristici è fondamentale per individuare le grandezze che descrivono le modalità di scorrimento del fluido.

La definizione della conducibilità idraulica all'interno di un ammasso roccioso fratturato risulta complessa anche a causa dell'elevato numero di parametri che lo influenzano (ad es. giacitura, persistenza, spaziatura, apertura, forma e rugosità della discontinuità) e dalla variabilità degli stessi nello spazio.

In questo lavoro vengono quindi presi in considerazione metodi di stima della conducibilità idraulica che siano basati su parametri effettivamente rilevabili in sito o, in alternativa, considerando i risultati di prove Lugeon effettuate nei sondaggi eseguiti.

Infine, poiché ai fini della previsione delle portate drenate in galleria si considerano significativi esclusivamente gli ammassi rocciosi riferibili al membro calcareo della formazione del Flysch Rosso (vedasi a tal proposito le considerazioni generali espresse nel capitolo precedente), si tralascia di applicare il metodo ad altre formazioni geologiche.

### 7.3.2 Metodo empirico considerato per la stima di permeabilità in ammassi rocciosi carbonatici

Nel metodo proposto si considera la matrice rocciosa praticamente impermeabile, pertanto il flusso idrico avviene unicamente attraverso le discontinuità; si ipotizza poi che la distribuzione delle discontinuità nell'ammasso roccioso sia statisticamente omogenea e che la lunghezza delle discontinuità sia infinitamente estesa nell'ambito del volume di roccia considerato.

Poiché le ipotesi sopra indicate sono verificate nel caso in questione, appare possibile applicare la relazione che ipotizza la presenza di un ammasso roccioso caratterizzato da tre set di discontinuità circa ortogonali tra loro, secondo quanto documentato in molti lavori (Snow, 1969; Kiraly, 1969; Louis, 1974 Wittke, 1990). In questi studi, partendo dall'equazione di Navier-Stokes, che esprime la velocità media di un flusso in una singola fessura, ed assumendo un modello fisico semplificato dell'ammasso roccioso, sono indicate soluzioni per determinare la conducibilità idraulica del mezzo sulla base della conoscenza della geometria del reticolo di fessure (Snow, 1968):

$$K_i = \frac{g * a_i^3}{12 * \nu * d_i}$$

dove:

- $K_i$  rappresenta la conducibilità idraulica riferita al set di discontinuità  $i$ -esimo;
- $G$  è l'accelerazione di gravità;
- $a_i$  rappresenta l'apertura delle discontinuità riferita al set di discontinuità  $i$ -esimo;
- $\nu$  è la viscosità cinematica del fluido;
- $d_i$  è la spaziatura media delle discontinuità delle diverse famiglie di fratture.

Nel caso in questione, considerato che sono presenti più sistemi di discontinuità, il tensore conducibilità idraulica dell'ammasso roccioso deriva dalla sovrapposizione dei tensori dei diversi sistemi di fratture individuato; il calcolo diviene particolarmente semplice quando i sistemi di discontinuità sono tra loro ortogonali.

$$K = K1 + K2 + K3 = \begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix}$$

Semplificando quelle che sono le reali condizioni di flusso all'interno dell'ammasso roccioso, ipotizzando una distribuzione circa omogenea del reticolo di discontinuità in cui la frequenza di fratturazione diviene elevata e l'apertura risulta circa costante, appare possibile trattare il mezzo fratturato come un poroso equivalente, in cui il parametro caratteristico del volume roccioso di riferimento può essere considerata la permeabilità equivalente ( $k_e$ ) data dalla seguente formula:

$$K_e = \sqrt[3]{K_x, K_y, K_z}$$

Tali semplificazioni possono essere applicate al caso in questione definendo "porzioni" di ammasso roccioso con caratteristiche geomeccaniche sostanzialmente omogenee; in questo senso, sulla base dei rilievi geologico-strutturali effettuati (vedasi capitolo 8.2) ed in funzione delle formule appena espresse, si sono considerate le stazioni di misura geomeccaniche S.01-S.05 indicative di un ammasso roccioso in cui si manifestano evidenti segni superficiale di carsismo (il cd. epicarso) mentre si considerano le stazioni S.06-S.09 indicative di un ammasso roccioso non o poco carsificato, sebbene la stazione S.06 sia da considerare un caso singolo poiché indicativa di condizioni tettoniche disturbate.

Le tabelle seguenti traducono i concetti teorici espressi in termini quantitativi; le famiglie di giunti sono identificate secondo quanto definito nello studio geomeccanico precedente ( $K_s$  = stratificazione; K1 e K2 famiglie di giunti sostanzialmente verticali).

<b>Ammasso roccioso carbonatico con evidenti segni di carsismo</b>		
	spaziatura [m]	apertura [mm]
media	0.82	19
ks	0.59	16
k1	0.80	20
k2	1.07	20
permeabilità ks [m/s]	5.35E+00	
permeabilità k1 [m/s]	8.06E+00	
permeabilità k2 [m/s]	6.06E+00	
<b>permeabilità ke [m/s]</b>	<b>6.39E+00</b>	

**Tabella 2 – Stima della permeabilità dell’ammasso roccioso considerato (ammasso roccioso in cui si evidenziano chiari indizi di carsismo)**

<b>Ammasso roccioso carbonatico in cui non si evidenziano indizi di carsismo</b>		
	spaziatura [m]	apertura [mm]
media	0.38	1
ks	0.30	1
k1	0.35	2
k2	0.50	1
permeabilità ks [m/s]	2.70E-03	
permeabilità k1 [m/s]	1.85E-02	
permeabilità k2 [m/s]	1.62E-03	
<b>permeabilità ke [m/s]</b>	<b>4.32E-03</b>	

**Tabella 3 – Stima della permeabilità dell’ammasso roccioso considerato (ammasso roccioso in cui non si evidenziano significativi indizi di carsismo)**

<b>Stazione di misura S.06 - Cava Ciarli</b>		
	spaziatura [m]	apertura [mm]
media	53.00	10
<b>permeabilità ke [m/s]</b>	<b>1.53E-02</b>	

**Tabella 4 – Stima della permeabilità dell’ammasso roccioso alla stazione di misura S.06**

Per concludere, l’ammasso roccioso considerato (formazione del Flysch Rosso – membro calcareo) presenta in superficie valori di permeabilità media compresi tra  $4.32 \times 10^{-3}$  m/s e 6.39 m/s.

I valori descrivono un significativo aumento di permeabilità in funzione del valore di apertura delle fratture, cioè nelle porzioni più superficiali dell’ammasso roccioso: si considera infatti che i fenomeni di dissoluzione operato dalle acque di infiltrazione nelle rocce carbonatiche provoca un significativo aumento dello “spazio” idraulico nelle fratture e di conseguenza

l'aumento di permeabilità.

Per quanto riguarda il valore di permeabilità relativo alla stazione di misura S.06 lo si ritiene indicativo di condizioni mediamente tettonizzate appartenenti alla cosiddetta “*damage zone*” relativa ad una zona di faglia-fascia cataclastica riconosciuta nel sito di indagine (Caine et alii, 1996; Celico & Petrella, 2008).

### 7.3.3 Stima della permeabilità da prove Lugeon

Nel sondaggio S.02 eseguito sono state effettuate n. 2 prove Lugeon; la prima indagine ha riguardato la profondità da 80 m a 90 m dal piano campagna, la seconda da 70 m a 90 m dal piano campagna.

Di seguito si riportano i valori di permeabilità desunta dalle prove:

	Profondità	Permeabilità k [m/s]	Valore Lugeon	Indicazioni litologiche
Prova 1	80 m – 90 m	$6,2 \times 10^{-8}$	0,62	Roccia calcarea completamente brecciata per disturbo tettonico
Prova 2	70 m – 90 m	$1,07 \times 10^{-7}$	1,07	Roccia calcarea completamente brecciata per disturbo tettonico

**Tabella 5 – Valori di permeabilità desunti da prove Lugeon nel sondaggio S2.**

L'interpretazione litostratigrafica del sondaggio porta a considerare l'esistenza di una faglia o comunque di un sistema tettonico articolato che interseca il sondaggio in esame più o meno a partire da ca. 58 m di profondità dal piano campagna, tale sistema tettonico risulta per altro visibile in affioramento poco più a sud lungo l'intaglio stradale. In accordo con tale ipotesi, i valori di permeabilità desunti nelle prove Lugeon sarebbero coerenti con condizioni tipiche di “*core zone*”, le quali favoriscono il ruolo tampone delle discontinuità tettoniche rispetto la propagazione dei fluidi (a tal proposito vedasi quanto riportato da Celico & Petrella nel lavoro del 2008).

Ulteriori prove sono state eseguite negli altri sondaggi, dalle quali si evince come la permeabilità degli ammassi rocciosi in profondità sia generalmente bassa; di seguito si riporta



la sintesi delle informazioni:

	<b>Profondità</b>	<b>Permeabilità k [m/s]</b>	<b>Indicazioni litologiche</b>
S1	275 m – 290 m	$7,5 \times 10^{-8}$	Argilliti prevalenti con locali livelli calcarei
S4 – prova 1	65 m – 75 m	$4,8 \times 10^{-8}$	Argillite marnosa
S4 – prova 2	50 m – 75 m	$4,8 \times 10^{-8}$	
S5	180 m – 200 m	$6,5 \times 10^{-8}$	Arenarie con livelli di argilliti e calcareniti
S6 – prova 1	503 m – 510 m	$2,1 \times 10^{-7}$	Calcare fratturato con rimpimenti di argille; noduli di selce
S6 – prova 2	490 m – 510 m	$1,7 \times 10^{-7}$	
S6 – prova 3	480 m – 510 m	$2,6 \times 10^{-7}$	

**Tabella 6 – Valori di permeabilità desunti nei restanti fori di sondaggio.**

### 7.3.4 Stima della permeabilità da prove di edometriche

Il campione “S4 CII” prelevato a ca. 43 m di profondità dal p.c. nel sondaggio S04, è stato sottoposto a prova di compressione edometrica.

Secondo tale indagine è possibile stimare il valore di permeabilità del materiale tramite la formula di Terzaghi (1923) che nel caso specifico restituisce un valore di  $k=6.9 \cdot 10^{-9}$  m/s, risultato in linea con le attese per i terreni considerati (argille e argilliti a bassa plasticità).

## 7.4 MONITORAGGIO DELLE SORGENTI

A partire dal mese di settembre 2010 sono state censite tutte le sorgenti e i pozzi nell’area in esame, secondo quanto indicato nella carta idrogeologica allegata.

Per alcune sorgenti ritenute significative è stata realizzata una scheda identificativa (allegata alla presente documentazione) e sono state effettuate misure mensili di portata, temperatura delle acque e temperatura dell’aria. In aggiunta per le sorgenti più prossime alle opere in progetto sono state eseguite le analisi chimico-fisiche allegate alla presente documentazione.

Le tabelle della pagina seguente riportano la sintesi dei dati desunti per le sorgenti oggetto di monitoraggio; si rimanda agli appositi elaborati in appendice per la lettura particolareggiata dei valori.

Settembre											
n.	sorgente	Quota [m s.l.m.]	pH [U/pH]	cond. [S/cm]	fluoruri [mg/l]	cloruri [mg/l]	nitrati [mg/l]	solfati [mg/l]	ossidabilità [mg/l]	ferro [g/l]	Durezza tot. [°F]
4	Fontana Sauca La Serra	980	8.27	419	0.25	10.3	6.3	5.6	1.20	10.0	22.0
6	Fontana Baci	865	7.71	576	0.23	7.5	4.6	4.5	1.92	7.0	29.2
7	Fontana Schiavoni	815	7.91	509	0.27	13.6	6.2	8.5	1.20	15.0	25.8
8	Fontana Di Ammeri-Rufuio	777	7.97	427	0.22	6.8	2.2	3.5	1.12	7.0	21.4
12	Fontana Mondolfo I	750	7.57	509	0.30	8.5	5.2	4.8	1.44	146.8	26.4
13	Fontana Mondolfo II	675									
14	Fontana Ciccotello	605	8.43	620	0.35	28.3	11.6	9.8	1.20	36.0	32.2
16	Fontana della Lupa	550	7.84	691	0.46	12.9	2.6	16.6	1.36	4.0	35.4
29	La Grotta	960									
30	Fontana Ceraso	940	7.94	489	0.12	5.4	1.0	8.8	1.60	159.6	14.8
31	Fontana del Monte	890	7.95	371	0.10	5.6	0.2	3.0	1.36	55.8	16.8
32	Fontana Sant'Elmo	750	7.78	372	0.11	5.1	1.5	4.0	1.52	151.0	20.4
33	Fontana dell'Olmo	648	7.81	790	0.44	12.0	2.4	15.3	1.44	12.0	39.4
34	Fontana Libbrone	585	8.12	659	0.32	13.1	2.2	4.9	1.12	7.0	33.4
36	Fontana Resicco I	520	8.95	817	0.15	2.7	17.0	13.9	1.36	125.2	23.8
37	Fontana Resicco II	522									
38	Fontana S. Martino	550	8.50	610	0.31	22.9	12.0	9.8	1.12	72.1	17.8
39	Fontana Santa Maria	546	7.61	607	0.26	11.6	3.2	1.7	1.12	18.0	28.8
40	Fontana Lombardara	540	8.56	805	0.22	24.8	1.4	15.4	1.44	0.0	22.4
53	Fontana Cristina	720	7.73	580	0.25	12.5	9.7	6.4	1.46	5.0	26.8
54	Fontana vecchia	740	7.66	457	0.16	9.3	6.2	7.8	1.36	0.0	22.4
57	Fontana Monaci	580	8.89	561	0.13	8.9	7.3	11.1	1.28	7.2	26.2
58	Fontana Fontanella	565	9.44	470	0.11	7.6	1.2	5.4	1.28	200.0	23.4
59	Fontana Sorgenza	504	8.74	518	0.25	10.6	4.7	10.5	0.96	0.0	25.8
media		690.71	8.16	565	0.24	11.4	5.2	8.2	1.33	49.46	25.5

**Tabella 7 – Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate (mese di settembre 2010).**

Ottobre											
n.	sorgente	Quota [m s.l.m.]	pH [U/pH]	cond. [S/cm]	fluoruri [mg/l]	cloruri [mg/l]	nitrati [mg/l]	solfati [mg/l]	ossidabilità [mg/l]	ferro [g/l]	Durezza tot. [°F]
4	Fontana Sauca La Serra	980	8.23	458	0.10	5.6	0.6	4.7	0.72	0.0	24.6
6	Fontana Baci	865	7.78	353	0.14	3.9	2.2	3.0	0.88	0.0	20.0
7	Fontana Schiavoni	815	8.00	474	0.11	6.7	4.1	4.1	0.96	0.0	25.0
8	Fontana Di Ammeri-Rufuio	777	7.79	461	0.13	6.0	9.1	4.1	1.12	0.0	23.4
12	Fontana Mondolfo I	750	7.65	520	0.15	7.1	5.9	3.4	1.04	0.0	27.0
13	Fontana Mondolfo II	675	8.14	540	0.13	6.4	5.2	3.9	0.96	11.0	27.2
14	Fontana Ciccotello	605	7.87	608	0.17	9.7	2.0	5.9	0.72	0.0	31.2
16	Fontana della Lupa	550	7.82	511	0.10	13.5	10.3	12.0	1.28	0.0	25.0
29	La Grotta di Lagospino	960									
30	Fontana Ceraso	940	8.10	437	0.10	4.4	0.9	3.0	0.72	0.0	24.2
31	Fontana del Monte	890	8.04	374	0.01	6.2	1.0	3.4	0.80	0.0	19.8
32	Fontana Sant'Elmo	750	8.37	379	0.11	5.1	2.4	3.5	0.88	0.0	19.6
33	Fontana dell'Olmo	648	7.50	789	0.28	10.5	0.7	15.0	0.64	0.0	41.6
34	Fontana Libbrone	585	8.07	644	0.32	10.5	9.5	11.0	1.20	0.0	34.4
36	Fontana Resicco I	520	7.70	824	0.10	30.4	19.6	18.1	1.20	0.0	40.8
37	Fontana Resicco II	522									
38	Fontana S. Martino	550	8.10	620	0.33	19.6	11.3	8.2	1.28	0.0	29.8
39	Fontana Santa Maria	546	8.04	883	0.11	57.0	1.7	21.3	0.80	0.0	40.8
40	Fontana Lombardara	540	7.80	767	0.23	28.9	8.8	19.4	1.04	0.0	35.8
53	Fontana Cristina	720	7.52	587	0.16	11.0	4.9	6.9	0.88	0.0	28.8
54	Fontana vecchia	740	7.98	490	0.14	8.6	8.5	7.2	1.12	0.0	24.6
57	Fontana Monaci	580	7.26	560	0.12	7.9	6.7	10.6	1.04	0.0	25.4
58	Fontana Fontanella	565	8.17	478		6.8	2.3	4.8	0.96	0.0	26.8
59	Fontana Sorgenza	504	8.00	555	0.23	12.0	11.9	11.9	1.28	0.0	28.0
media			7.91	560	0.16	12.6	5.9	8.4	0.98	0.51	28.4

**Tabella 8 - Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate (mese di ottobre 2010).**

Novembre											
n.	sorgente	Quota [m s.l.m.]	pH [U/pH]	cond. [S/cm]	fluoruri [mg/l]	cloruri [mg/l]	nitrati [mg/l]	solfati [mg/l]	ossidabilità [mg/l]	ferro [g/l]	Durezza a tot. [°F]
4	Fontana Sauca La Serra	980	8.32	351	0.20	4.2	2.2	2.7	0.56	11.0	19.2
6	Fontana Baci	865	9.01	355	0.19	5.1	5.0	3.6	0.96	4.0	18.8
7	Fontana Schiavoni	815	8.47	430	0.18	5.3	1.1	2.9	0.56	6.0	24.6
8	Fontana Di Ammeri-Rufuio	777									
12	Fontana Mondolfo I	750	7.66	523	0.20	8.0	2.7	3.0	0.72	1.3	28.8
13	Fontana Mondolfo II	675	7.93	475	0.21	6.4	2.6	2.7	0.72	145.0	25.4
14	Fontana Ciccotello	605	8.35	320	0.19	4.8	0.5	2.6	0.72	76.0	17.2
16	Fontana della Lupa	550	7.50	491	0.13	17.4	12.9	15.8	0.96	20.0	24.4
29	La Grotta	960	7.57	316	0.15	5.3	3.4	3.2	0.72	55.0	19.2
30	Fontana Ceraso	940	7.68	367	0.12	6.6	0.5	3.5	0.56	95.0	22.8
31	Fontana del Monte	890	7.41	412	0.01	8.0	0.7	5.1	0.48	23.0	22.4
32	Fontana Sant'Elmo	750	7.57	285	0.11	4.1	1.7	2.2	0.64	352.0	15.8
33	Fontana dell'Olmo	648	7.57	703	0.35	9.3	80.1	25.8	1.20	31.0	24.8
34	Fontana Libbrone	585	7.74	472	0.52	8.1	11.0	11.8	1.04	18.0	24.8
36	Fontana Resicco I	520	7.41	727	0.21	27.6	17.6	19.3	0.96	45.0	31.2
37	Fontana Resicco II	522	7.45	760	0.18	18.4	15.7	15.9	0.96	5.0	38.0
38	Fontana S. Martino	550	7.04	597	0.40	27.8	13.2	11.1	1.04	24.0	29.4
39	Fontana Santa Maria	546	7.98	557	0.43	12.3	8.8	15.2	0.88	38.0	29.0
40	Fontana Lombardara	540	7.26	606	0.38	22.3	8.4	13.8	0.88	37.0	29.4
53	Fontana Cristina	720	7.24	604	0.18	10.2	2.2	5.9	0.64	22.0	33.0
54	Fontana vecchia	740	7.51	563	0.16	14.7	16.4	14.7	0.96	24.0	27.2
57	Fontana Monaci	580	7.72	538	0.18	10.7	12.2	13.9	1.12	31.0	24.4
58	Fontana Fontanella	565	7.29	461	0.16	8.3	4.5	7.5	0.64	28.0	24.6
59	Fontana Sorgenza	504	7.50	592	0.35	14.9	13.6	20.6	1.04	30.0	30.4
media			7.70	500	0.23	11.3	10.3	9.7	0.82	48.75	25.4

**Tabella 9 - Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate (mese di novembre 2010).**

Dicembre											
n.	sorgente	Quota [m s.l.m.]	pH [U/pH]	cond. [S/cm]	fluoruri [mg/l]	cloruri [mg/l]	nitrati [mg/l]	solfati [mg/l]	ossidabilità [mg/l]	ferro [g/l]	Durezza a tot. [°F]
4	Fontana Sauca La Serra	980	6.96	357	0.15	4.5	2.7	3.1	0.64	12.0	19.4
6	Fontana Baci	865	6.92	348	0.15	4.2	1.7	2.7	0.64	18.0	18.6
7	Fontana Schiavoni	815	6.51	436	0.11	4.8	0.8	2.6	0.56	12.0	23.0
8	Fontana Di Ammeri-Rufuio	777									
12	Fontana Mondolfo I	750	6.61	546	0.18	8.4	3.5	4.1	0.96	19.0	28.0
13	Fontana Mondolfo II	675	6.53	545	0.17	7.6	2.9	3.4	0.72	26.0	22.0
14	Fontana Ciccotello	605	6.74	562	0.20	10.3	4.0	5.9	0.88	23.0	17.6
16	Fontana della Lupa	550	6.73	502	0.01	10.6	7.5	30.5	0.72	1.0	24.0
29	La Grotta	960	8.57	294	0.13	4.4	2.5	2.9	1.04	0.0	16.4
30	Fontana Ceraso	940	8.38	331	0.13	5.8	0.4	3.2	0.64	0.0	18.4
31	Fontana del Monte	890	7.70	422	0.10	6.2	1.0	4.5	0.48	3.0	22.4
32	Fontana Sant'Elmo	750	6.64	312	0.11	4.4	1.5	2.9	0.72	36.0	17.4
33	Fontana dell'Olmo	648	6.51	574	0.25	21.7	8.6	8.7	0.80	17.0	28.4
34	Fontana Libbrone	585									
36	Fontana Resicco I	520	6.96	770	0.13	26.0	18.4	14.3	0.96	11.0	32.2
37	Fontana Resicco II	522	6.89	768	0.19	16.1	9.2	11.9	0.80	13.0	36.0
38	Fontana S. Martino	550	7.88	589	0.20	18.0	6.9	6.9	0.72	1.0	28.2
39	Fontana Santa Maria	546	6.98	643	0.24	14.1	3.8	12.6	0.72	15.0	34.4
40	Fontana Lombardara	540	7.82	731	0.21	18.1	4.4	10.5	0.56	6.0	37.0
53	Fontana Cristina	720	7.78	617	0.19	8.7	1.3	4.8	0.72	0.0	26.0
54	Fontana vecchia	740	6.93	605	0.16	15.2	12.6	15.2	1.12	0.0	30.2
57	Fontana Monaci	580	6.57	576	0.13	7.4	7.7	9.4	0.80	6.0	28.6
58	Fontana Fontanella	565	6.81	464	0.01	5.8	4.4	6.8	0.64	9.0	27.4
59	Fontana Sorgenza	504	6.88	582	0.23	9.4	7.6	11.9	0.80	13.0	30.2
media			7.10	526	0.15	10.5	5.2	8.1	0.76	10.96	25.7
	Diga di Campolattaro	352	6.64	399	0.10	7.6	3.8	9.1	0.96	43.0	19.4

**Tabella 10 - Analisi chimico-fisiche effettuate per le sorgenti monitorate e per le acque del bacino di Campolattaro (mese di dicembre 2010).**

		Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
n.	sorgente	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]	Q [l/s]
4	Fontana Savuca La Serra	0.10	0.20	0.50	0.60
6	Fontana Baci	0.50	1.50	3.50	4.50
7	Fontana Schiavoni	2.00	3.00	5.50	5.50
8	Acqua di Ammeri-Refuio	3.00	7.00		
12	Fontana Mondolfo	3.50	6.50	8.50	7.50
13	Fontana Mondolfo II		0.08	2.00	2.10
14	Fontana Ciccotello	1.00	1.50	4.00	4.00
16	Fontana della Lupa	0.25	1.20	4.00	5.00
29	La Grotta			300.00	150.00
30	Fontana Ceraso	0.01	0.10	1.00	1.00
31	Fontana del Monte	0.20	0.30	0.50	0.90
32	Fontana Sant'Elmo				
33	Fontana dell'Olmo	0.01	0.05	0.10	0.08
34	Fontana Libbrone	0.02	0.15	1.50	1.70
36	Fontana Resicco I	0.12	0.25	0.30	0.25
37	Fontana Resicco II	0.00	0.00	0.20	0.10
38	Fontana S. Martino	0.25	2.00	3.50	3.80
39	Fontana Santa Maria	0.20	0.35	3.00	3.10
40	Fontana Lombardara	0.25	0.25	1.35	1.00
53	Fontana Cristina	0.20	0.25	2.50	3.00
54	Fontana vecchia	0.33	0.35	1.30	2.50
57	Fontana Monaci	0.15	0.12	0.20	0.25
58	Fontana Fontanella	0.25	0.35	1.00	1.50
59	Fontana Sorgenza	1.20	2.50	3.50	3.00
media		0.6	1.3	15.8	9.2
Precipitazioni [mm]		56.3	95.9	253.4	110.5

**Tabella 11 – Valori di portata delle sorgenti monitorate nel periodo settembre-dicembre 2010.**

Dai valori del monitoraggio sorgenti è possibile fare le seguenti considerazioni:

- Tutte le analisi confermano che relativamente ai soli parametri analizzati, le acque rispettano i requisiti del D.Lgs. 2 febbraio 2001, n. 31 per le acque destinate al consumo umano.
- I valori di conducibilità, durezza totale e ioni solfati indicano un grado di mineralizzazione medio (da poco dure a dure).
- I valori di pH risultano di poco superiori alla media, tipiche di acque che scorrono nei calcari.
- Le acque mediamente possono essere considerate oligominerali.
- Il tenore in cloruri indica una circolazione generalmente breve e veloce nell'ammasso roccioso, specialmente per le sorgenti a quote più elevate; si denota poi una lineare negativa tra la quota delle sorgenti e la concentrazione dello ione, con esclusione di alcuni valori anomali (Fontana Lombardara, Fontana S. Maria, Fontana Ciccietello per qualche misura). Alti valori di concentrazione del cloruro sono infatti caratteristici di falde profonde, se non dovuti ad inquinamento.

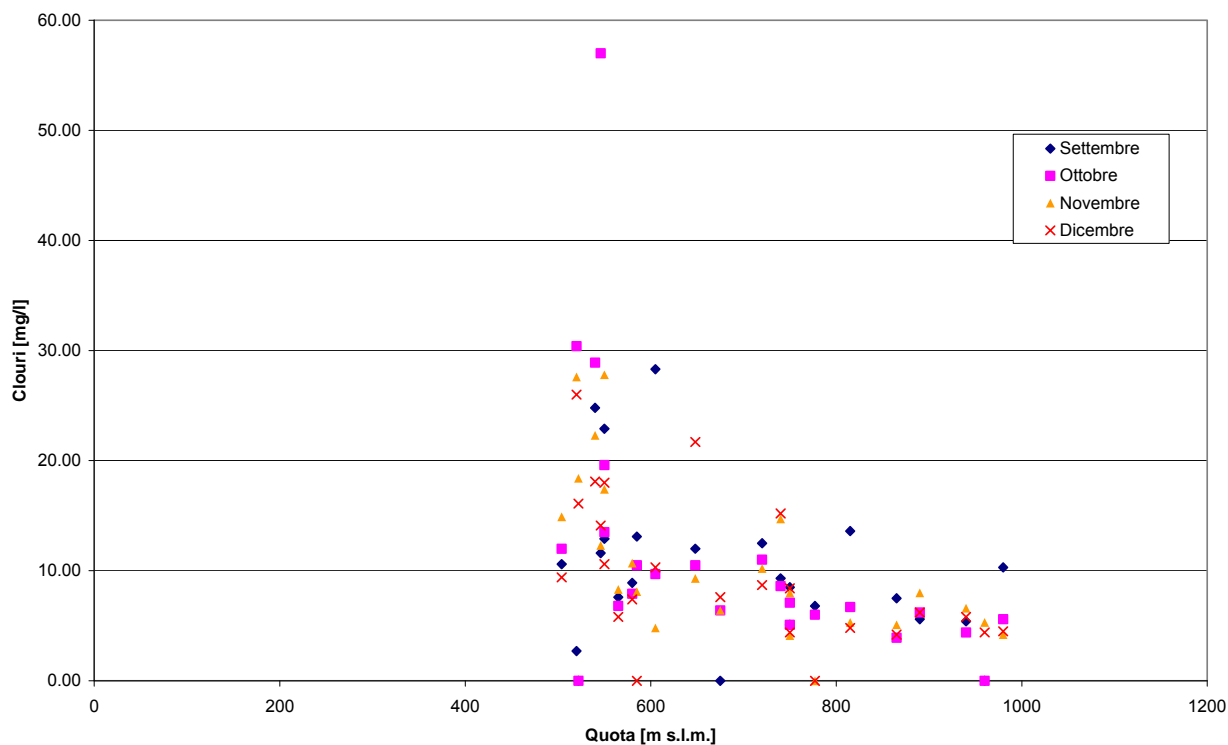
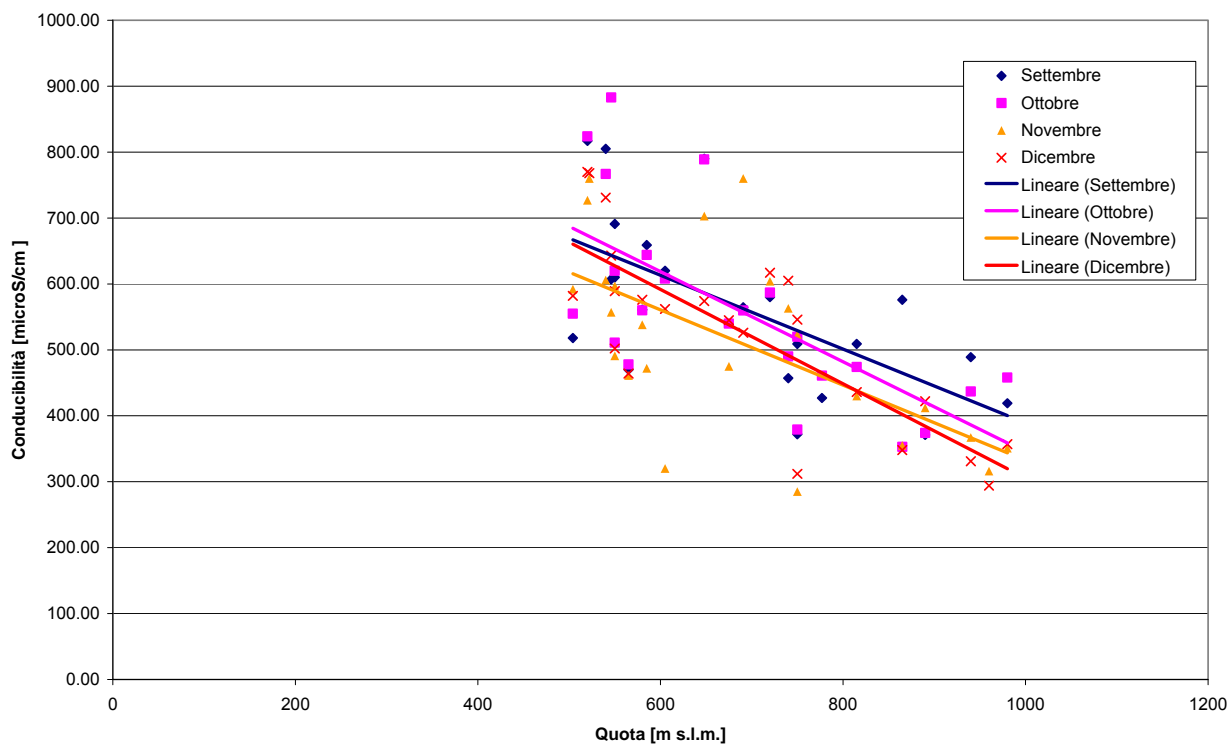


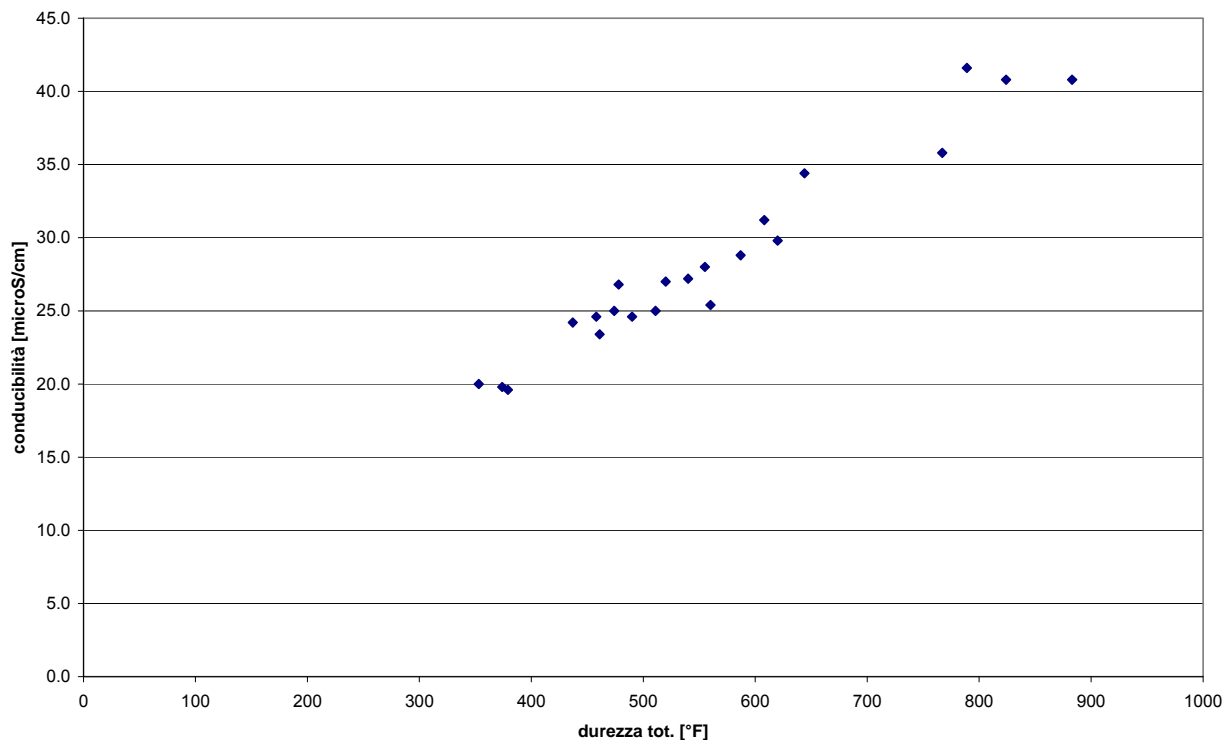
Figura 17 - Grafico di correlazione quota-concentrazione cloruri

- Appare evidente una correlazione tra la quota delle sorgenti e la conducibilità delle acque prelevate (vedasi figura seguente), determinato in genere dal maggior percorso dei condotti idrici per le sorgenti a quote più basse e dal contestuale arricchimento in sostanze disciolte. Ciò conferma inoltre che il bacino principale di alimentazione delle falde idriche risulta essere il massiccio carbonatico, pure per le sorgenti più prossime al bacino del Tammaro. Nel grafico sottostante la maggior conducibilità viene raggiunta dalla Fontana S. Maria.



**Figura 18 – Grafico di correlazione quota-conducibilità per le sorgenti monitorate**

- Discorsi analoghi possono essere fatti anche considerando la durezza totale o la concentrazione di ioni solfati; la correlazione tra questi valori e la conducibilità appare infatti ben verificata (vedasi ad esempio la figura seguente relativa al mese di ottobre 2010).

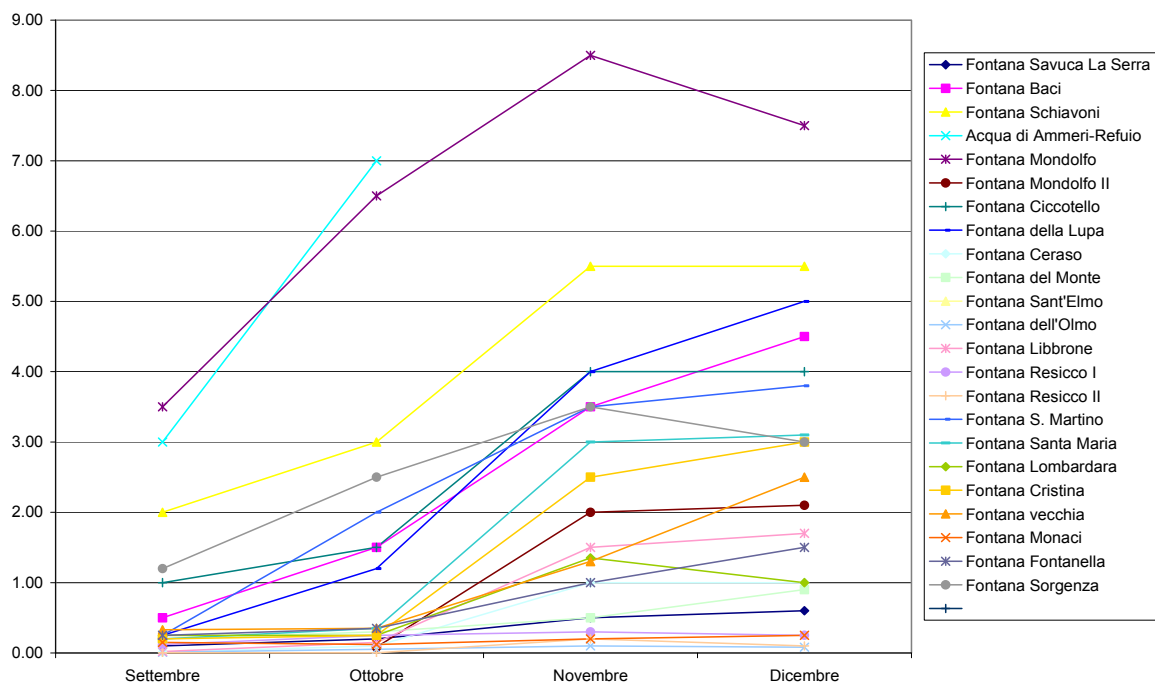


**Figura 19 – Grafico di correlazione tra la conducibilità e la durezza totale.**

- Per quanto riguarda le portate monitorate, si evidenziano valori di portata generalmente bassi, a testimonianza di un elevato frazionamento del reticolo idrico locale, a settembre in media inferiore al litro al secondo (periodo secco), ad ottobre su valori pari a 1.3 l/s di media (periodo di ricarica della falda), a novembre su valori in genere compresi tra 1-5 l/s (periodo piovoso) con punte di 300 l/s (sorgente la Grotta, q. 965; ubicata ai Piani di Moia, da non confondersi con la cavità ipogea censita dal Gruppo Speleologico della Campania denominata in questo lavoro “inghiottitotio di Lagospino”). A dicembre la media dei valori di portata è di poco inferiore rispetto quelli misurati nel mese precedente.
- Se si confrontano i dati di portata nei mesi considerati (settembre-dicembre) si denota una stretta correlazione con l’occorrenza delle precipitazioni; si evidenzia infatti una repentina fase di ricarica delle falde nei mesi di ottobre-novembre seguito da un intervallo (dicembre) in cui le portate tendono a mantenersi elevate se non addirittura in ulteriore aumento (vedasi grafico seguente). Il mese di



settembre si riferisce invece al periodo tardo-estivo, in cui le falde raggiungono presumibilmente il minimo di disponibilità idrica.



**Figura 20 – Grafico di correlazione tra la portata misurata delle sorgenti monitorate (linea spezzata) e le precipitazioni mensili (linea smussata rossa).**

- Nel periodo di novembre, per poi proseguire nei mesi seguenti, il bacino di Lagospino tende a invasarsi a causa proprio dell'elevato apporto idrico proveniente da monte, tra cui si sottolinea l'importante apporto derivante dai Piani di Moia dalla sorgente la Grotta. Le acque che fuoriescono dalla grotta si riversano nel bacino sottostante (bacino di Lagospino) scorrendo prevalentemente in superficie; raggiunto il bacino, costituito da sedimenti quaternari poco permeabili, l'acqua viene lentamente assorbita dai terreni quaternari; si determina quindi l'invasamento stagionale della conca (vedasi foto seguente).



**Figura 21 – Immagine tardo autunnale del bacino di Lagospino (dicembre 2010).**

- La sorgente n. 32 (Fontana Sant’Elmo) risulta alimentata per tutto l’anno da un deflusso di base dovuto alla circolazione idrica all’interno dell’ammasso roccioso (vedasi schede monitoraggio sorgenti allegate). In occasione di periodi particolarmente piovosi, come ad esempio nel periodo ottobre-novembre 2010, il circuito idrico predetto viene arricchito pure dalle acque di infiltrazione provenienti dal bacino di Lagospino, le quali, percolando attraverso il sistema di fratture dell’ammasso roccioso e aiutate dalle discontinuità tettoniche già richiamate, comportano il temporaneo intorbidimento delle acque della sorgente.

## 7.5 MODELLO IDROGEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Nell'area di indagine la permeabilità intrinseca degli ammassi rocciosi risulta solitamente bassa o nulla per tutti quei termini che contengono una significativa quantità di materiale argilloso o marnoso (Flysch Rosso in facies argillitico-carbonatico-marnosa, flysch terrigeni cenozoici in generale); tali formazioni, in considerazione anche di una provata bibliografia a riguardo, sono state considerate sostanzialmente *acquiclude e/o acquitard* e non sono stati oggetto di ulteriori approfondimenti.

Discorso a parte deve essere fatto invece per i calcari cretaceo-miocenici appartenenti al membro calcareo del Flysch Rosso); l'unità, costituita essenzialmente da litotipi carbonatici più o meno fratturati, sono riconosciuti sede dei più importanti acquiferi della zona e soggetti in superficie a fenomeni di dissoluzione di tipo carsico; per tale unità si sono approfondite le tematiche inerenti l'idrogeologia.

Il modello idrogeologico proposto considera quindi la presenza di unità francamente calcaree potenzialmente acquifere in contatto sia per faglia che per contatto stratigrafico con depositi prevalentemente cenozoici in facies di flysch ritenuti impermeabili.

Nello specifico, la porzione più superficiale delle rocce carbonatiche fratturate e carsificate presenta valori di conducibilità idraulica generalmente elevata (epicarso); la zona sottostante appare in genere solo fratturata. Secondo alcuni autori (Mangin, 1975 and 1994; Gunn, 1981; Williams, 1983 and 1985; Klimchouk, 2000; Perrin, 2003; Perrin et al., 2003) la zona epicarsica (vedasi figura seguente) si sviluppa nella porzione più superficiale degli acquiferi carbonatici, con spessori variabili di 10-20 m (Klimchouk, 2004).

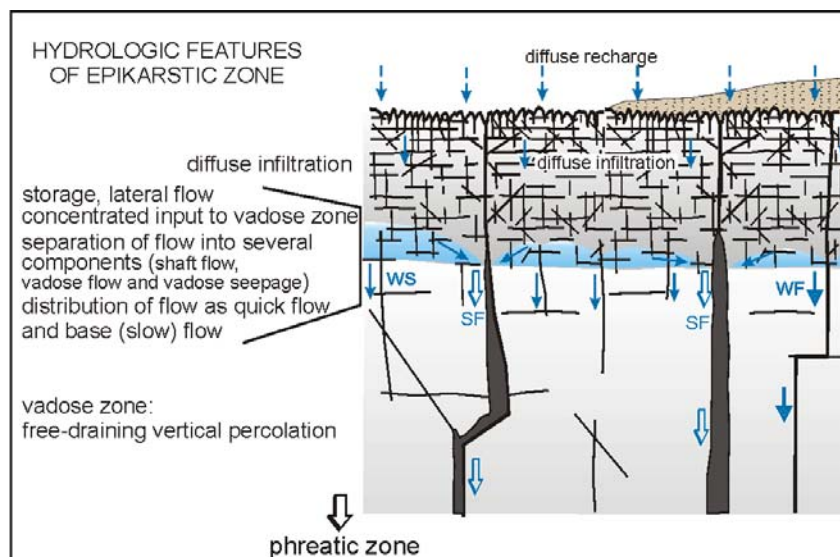


Figura 22 – Schematizzazione dell’epicarso (Klimchouch, 2004)

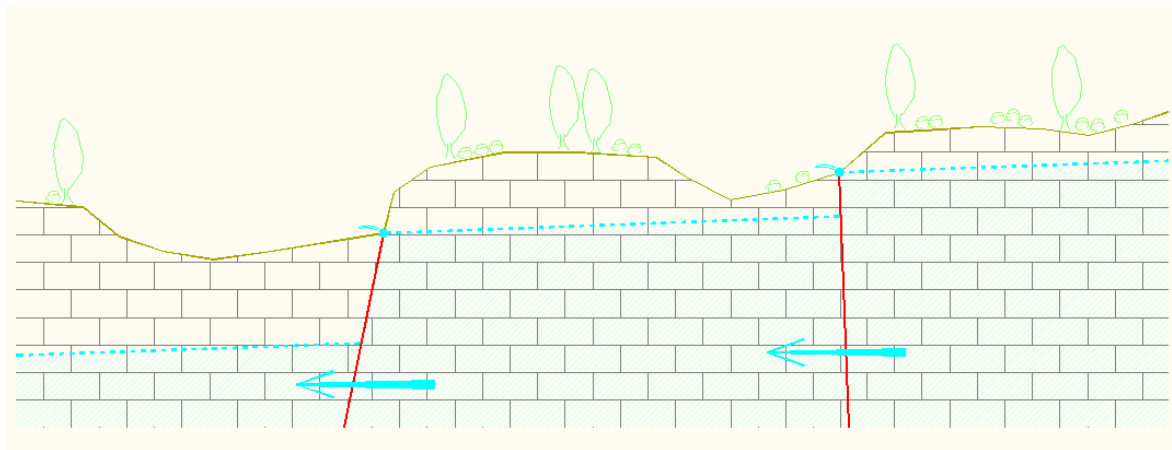
Nelle zone carbonatiche in cui si evidenzia la presenza di un epicarso sviluppato denotano le seguenti caratteristiche:

- valori di conducibilità idraulica elevata che diminuiscono con la profondità;
- una rete idrografica di superficie non o poco sviluppata;
- formazione di falde sospese all’interno dell’epicarso, causata dall’azione di tamponamento temporaneo svolta dalla zona fratturata sottostante;
- connessione idrogeologica tra epicarso e componente satura del substrato carbonatico sottostante secondo direttrici di flusso prevalentemente verticali lungo fessure beanti.

I valori del coefficiente di permeabilità ottenuti dal rilievo strutturale riguardanti la porzione di ammasso roccioso più superficiale variano nell’intervallo compreso tra  $4.32 \times 10^{-3}$  m/s e 6.39 m/s. Secondo studi eseguiti nel Massiccio del Matese (Florio M, 2007) tali valori si possono riferire all’epicarso mentre non possono essere attribuiti al substrato fratturato; a quest’ultimo appare più appropriato associare valori di conducibilità idraulica pari a ca.  $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  m/s.

Per quanto riguarda la struttura degli acquiferi carbonatici, occorre considerare che le dorsali carsiche della zona (M. Alto-M. Forgioso, Toppo Mondolfo, Toppo Mangialardo, Piano di Moia) sono confinati in profondità e ai lati N-E-S dalla presenza di ammassi rocciosi sostanzialmente impermeabili (Flysch Rosso, flysch cenozoici), oltre che da strutture

tettoniche non o poco trasmissive (faglie); appare quindi plausibile assumere quale modello idrogeologico di riferimento per l'area in esame, un sistema costituito da “serbatoi in serie” secondo quanto descritto da Celico (2006) come per il Massiccio del Matese.

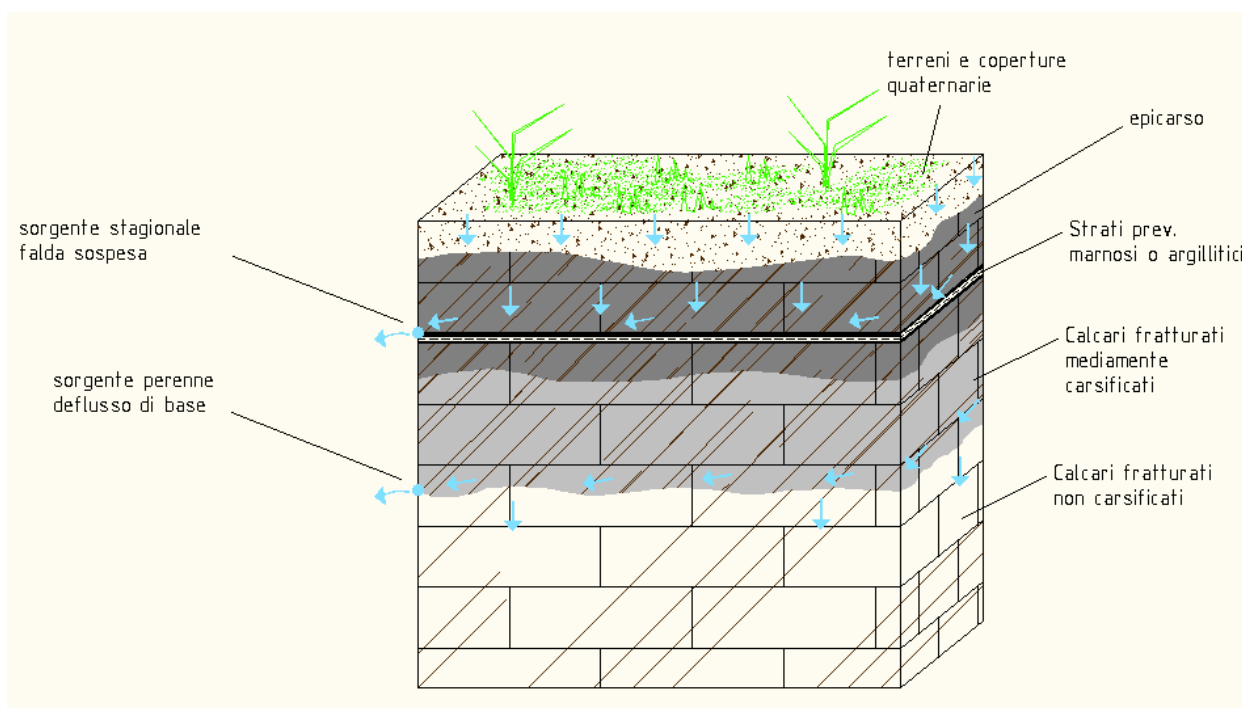


**Figura 23 – Modello schematico di un sistema costituito da “serbatoi in serie” (modificato da Celico et alii, 2006).**

Le faglie, in generale, appaiono costituite da un nucleo centrale sostanzialmente impermeabile che agisce da *acquiclude* e da una fascia esterna più permeabile, poco sviluppata, che può consentire il drenaggio delle acque di circolazione. In tal senso appare plausibile indicare che l'orientazione delle strutture tettoniche in riferimento alla direzione di deflusso sotterraneo comporta un ostacolo se perpendicolari, un dreno se posizionati in direzione sub-parallela.

Il modello proposto, fatti i dovuti rapporti di scala tra il massiccio del Matese e l'area in esame (decisamente più ridotta), risponde bene ad alcune caratteristiche proposte nello studio del Celico (presenza epicarso di spessore ridotto, infiltrazione efficace attraverso l'epicarso, percolazione verso la falda in rete), tuttavia per altre caratteristiche occorre fare riferimento ad altri modelli sviluppati su condizioni litostratigrafiche maggiormente simili a quelle in esame. Lo studio proposto per l'area test di Monte Campo in Molise (Allocca et alii, 2006) propone una spiegazione riguardo la scomposizione verticale dell'idrodinamica sotterranea, ossia dalla formazione di una circolazione idrica sotterranea sospesa rispetto quella considerata basale. Il modello di circolazione idrogeologica non può più essere definita solamente dalla contrapposizione tra epicarso e zona di saturazione dovuta dal differente grado di carsismo, occorre considerare anche la presenza all'interno delle successioni carbonatiche di transizione e bacinali, come quelle in esame, di livelli marnosi e argillitici anche di spessore significativo

(qualche metro), la cui geometria talvolta tabulare ed il forte contrasto di permeabilità con le rocce francamente calcaree a tetto e a letto, determinano un importante motivo di frazionamento verticale dei deflussi idrici sotterranei. Lo stato di fatturazione più o meno elevato dei calcari nell'epicarso può quindi generare la presenza di falde sospese aventi regime per lo più stagionale. Anche in questo caso, come per il modello descritto in precedenza, l'assetto tettonico può condizionare il deflusso ipogeo.



**Figura 24 – Sezione idrogeologica schematica che illustra i modelli proposti**

Sulla base della distribuzione areale delle sorgenti e dei diversi elementi litostratigrafici e strutturali, è possibile identificare una per lo meno locale scomposizione verticale dell'idrodinamica sotterranea, formata da una circolazione idrica a falde sospese interconnesse superficiali e da una circolazione più profonda secondo quanto individuato nel sondaggio S01 nel quale si riconosce la presenza di acqua su due livelli differenti; il primo ca. a quota 558 m s.l.m., il secondo ca. a q. 497 m s.l.m.

In genere il deflusso superficiale, stagionale o perenne, presenta portate piccole e basse mineralizzazioni, testimoniando percorsi idrogeologici brevi individuabili soprattutto a quote elevate.

Il deflusso profondo invece, appare costituito da tempi di percolazioni e stazionamento nell'ammasso calcareo maggiori.

Il modello tridimensionale rappresentativo dell'assetto stratigrafico e geologico-strutturale dell'area in esame e la relativa modellazione numerica della permeabilità degli ammassi rocciosi

Sulla base di queste considerazioni è stato possibile implementare i dati del modello tridimensionale rappresentativo dell'assetto stratigrafico e geologico-strutturale dell'area in esame e la modellazione numerica relativa alla permeabilità degli ammassi rocciosi; il modello numerico tridimensionale prescelto per la simulazione del modello di circolazione idrica sotterranea si basa sul codice MODFLOW<sup>®</sup> (Modular three-dimensional finite-difference ground-water model) elaborato dalla U.S. Geological Survey – Office of Ground Water (Mc Donald & Harbaugh, 1984; Mc Donald et al., 2000).

MODFLOW<sup>®</sup> è un codice di calcolo tridimensionale che utilizza un modello matematico in grado di simulare la dinamica delle acque sotterranee in sistemi acquiferi complessi, confinati e/o non confinati, secondo condizioni al contorno note o comunque simulate (ricariche da aree limitrofe, pozzi, sorgenti, ecc...). Le grandezze idrogeologiche principali (permeabilità e trasmissività) possono essere definite per ogni acquifero individuato, determinando anche le caratteristiche intrinseche di anisotropia ed eterogeneità per ogni porzione di ammasso roccioso individuato. Il modello di flusso idrodinamico consegue la soluzione dell'equazione di flusso tramite il metodo delle differenze finite.

La regione di indagine viene quindi suddivisa in blocchi nei quali le proprietà medie idrogeologiche e litostratigrafiche possono essere considerate uniformi; per ogni blocco (cella) viene elaborata una equazione di flusso. La soluzione del modello avviene per iterazioni successive.

La procedura di calibrazione del modello numerico, attualmente in fase di implementazione, si rende necessaria per la ricerca dei valori dei parametri idrodinamici e delle condizioni al contorno attraverso i quali si simula il comportamento idraulico dell'acquifero. In particolare il metodo richiede il monitoraggio di portata delle sorgenti (attualmente in corso) e la contestuale determinazione delle precipitazioni atmosferiche per un periodo significativo (ciclo stagionale completo).

## **7.6 ANALISI PREVISIONALE DEGLI AFFLUSSI IDRICI IN GALLERIA**

### **7.6.1 Introduzione**

In via previsionale non appare possibile prevedere accuratamente le venute d'acqua durante lo scavo di una galleria, in quanto tutti gli elementi necessari per tale stima, di fatto, non possono essere noti preventivamente.

Tuttavia, in sede di progetto si è eseguita una stima delle possibili portate drenate dalla galleria durante gli scavi e in fase di esercizio, adottando metodi semplificati di tipo semi-empirico per le necessarie elaborazioni progettuali del caso.

### **7.6.2 Metodo considerato**

Considerato l'assetto tettonico e litostratigrafico definito per la zona in esame, oltre alle caratteristiche idrodinamiche descritte in precedente, la sorgente che aveva le maggiori probabilità di poter essere impattata nelle operazioni di realizzazione opere è la Fontana Acqua del Conte (ca. q. 520 m s.l.m., vedasi carta idrogeologica allegata), posizionata nei pressi delle Cave Ciarli. La falda idrica che alimenta tale sorgente è stata individuata nel sondaggio S01 dove sono stati individuati due livelli piezometrici: il primo ca. a quota 558 m s.l.m., il secondo ca. a q. 497 m s.l.m. Escludendo il secondo che costituisce il deflusso profondo (non intercettato), la falda risulta confinata verso il basso dalla presenza di marne e argilliti appartenenti al Fysch Rosso e ai lati Est e Ovest da faglie (vedasi figura seguente).



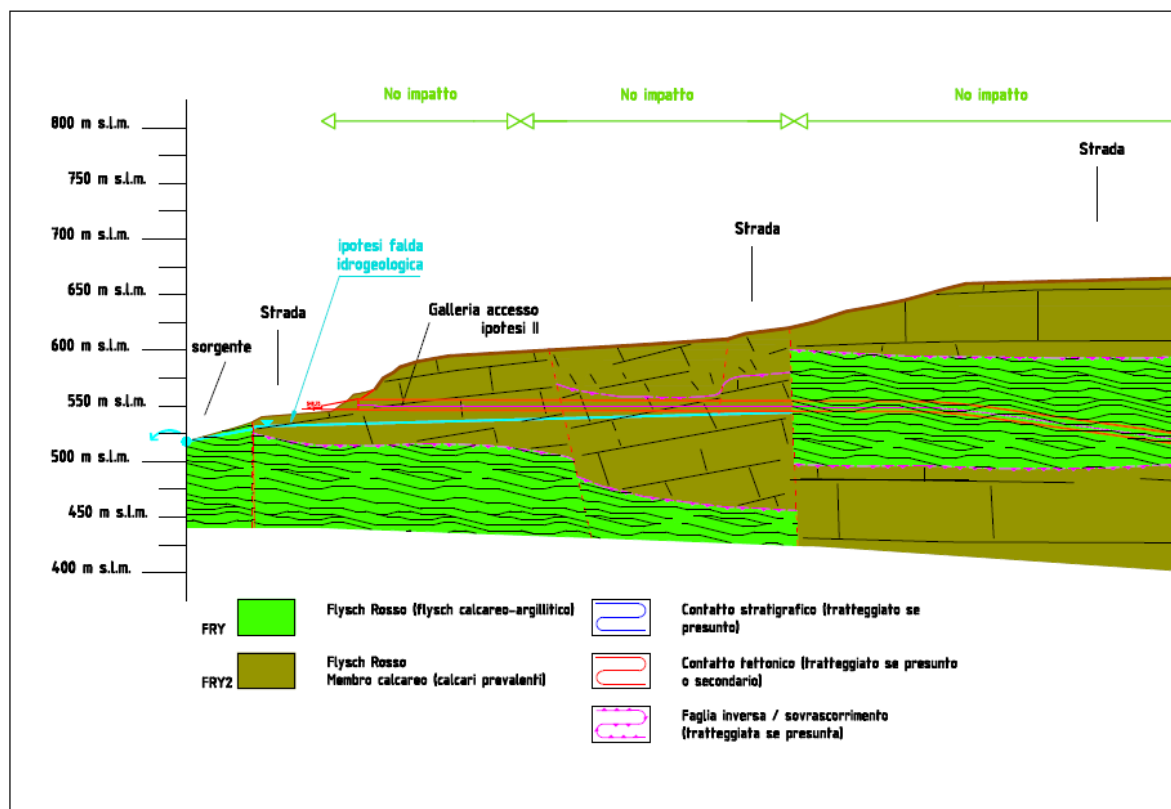


Figura 25 – Sezione idrogeologica schematica nei pressi delle Cave di Ciarli (il colore verde scuro si riferisce a litotipi calcarei permeabili per fessurazione; il colore verde chiaro si riferisce a marne e argilliti sostanzialmente impermeabili).

Individuata la situazione di possibile impatto dovuto allo scavo della galleria di accesso alla centrale di produzione sulla base delle ricostruzioni eseguite mediante sondaggi e piezometri, si è adottata una soluzione progettuale che prevede il primo tratto di scavo praticamente orizzontale (vedasi figura precedente), permettendo di by-passare l'acquifero ad una quota più elevata rispetto la piezometrica individuata.

In termini assoluti si prevede pertanto che la risorsa idrica non venga intercettata durante gli scavi della galleria di accesso alla centrale.

Per quanto riguarda il resto dell'impianto, non sono state individuate altre situazioni critiche; si potranno comunque avere infiltrazioni d'acqua limitate a piccoli stillicidi o, comunque, poco significative, soprattutto nelle porzioni più superficiali dell'ammasso roccioso (scavi prossimi al bacino di Lagospino).

Gli elementi conoscitivi acquisiti non permettono di escludere a priori, tuttavia, la possibile intercettazione durante gli scavi di falde fossili e sacche d'acqua confinate presenti anche a notevoli profondità. La tematica sarà comunque oggetto di ulteriori approfondimenti, prevedendosi fin d'ora il monitoraggio del livello piezometrico all'interno dei sondaggi; i dati acquisiti serviranno poi da ulteriore elemento di calibrazione per il modello idrogeologico tridimensionale.

## 8. ULTERIORI APPROFONDIMENTI GEOLOGICI E CONSIDERAZIONI FINALI

### 8.1 CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA BACINO DI LAGOSPINO E RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA

L'area del Bacino di M. Alto è stata oggetto di un rilievo sismico finalizzato alla definizione dello stato di addensamento dei materiali costituenti la copertura (vedasi relazione geofisica in appendice).

L'acquisizione dei dati è proceduta secondo le modalità già espresse nel capitolo 2.2; di seguito si riportano le interpretazioni.

#### 8.1.1 Sismica a rifrazione

L'indagine eseguita fornisce la caratterizzazione in termini di velocità sismiche dei materiali che costituiscono il sottosuolo dell'area indagata; in definitiva è possibile ricostruire una sequenza stratigrafica costituita da 4 unità come indicate nella tabella seguente:

Unità sismiche individuate	Profondità dal p.c. [m]	Vp [Km/s]	Vs [Km/s]	Interpretazione stratigrafica
Unità areata superficiale	2 – 3	0,3 – 0,4	0,15	Terreno vegetale
Unità di copertura con scarso grado di compattazione	5 – 10	0,6 – 0,8	0,30	Deposito limoso, limoso-argilloso con limitata frazione sabbiosa ed inclusi lapidei sciolti; poco addensato
Unità intermedia moderatamente consistente	18 – 27	1,3 – 1,5	0,42 – 0,45	Deposito limoso, limoso-argilloso con limitata frazione sabbiosa ed inclusi lapidei sciolti; addensato
Unità di fondo	>18 . 27	2,0 – 2,8	0,7 – 1,2	Roccia da poco ad alterata

**Tabella 12 – Sintesi dei risultati delle indagini di sismica a rifrazione**

Nello specifico, è possibile estrapolare i parametri significativi delle unità individuate alle diverse profondità in corrispondenza dei due profili:

PROFILO P01		Vp [Km/s]	Vs [Km/s]	Vp/Vs	dens [t/m <sup>3</sup> ]	Poisson
0 m						
- 2 m	Terreno vegetale					
- 4 m						
- 6 m	Limi, limi argillosi e limi sabbiosi poco addensati	1,00	0,30	3,33	1,7	0,451
- 8 m						
- 10 m						
- 12 m						
- 14 m						
- 16 m	Limi, limi argillosi e limi sabbiosi addensati	1,30	0,42	3,10	1,80	0,442
- 18 m						
- 20 m						
- 22 m						
- 24 m						
- 26 m	Roccia fratturata e alterata	2,10	0,70	3,00	2,30	0,438
- 28 m						
- 30 m						

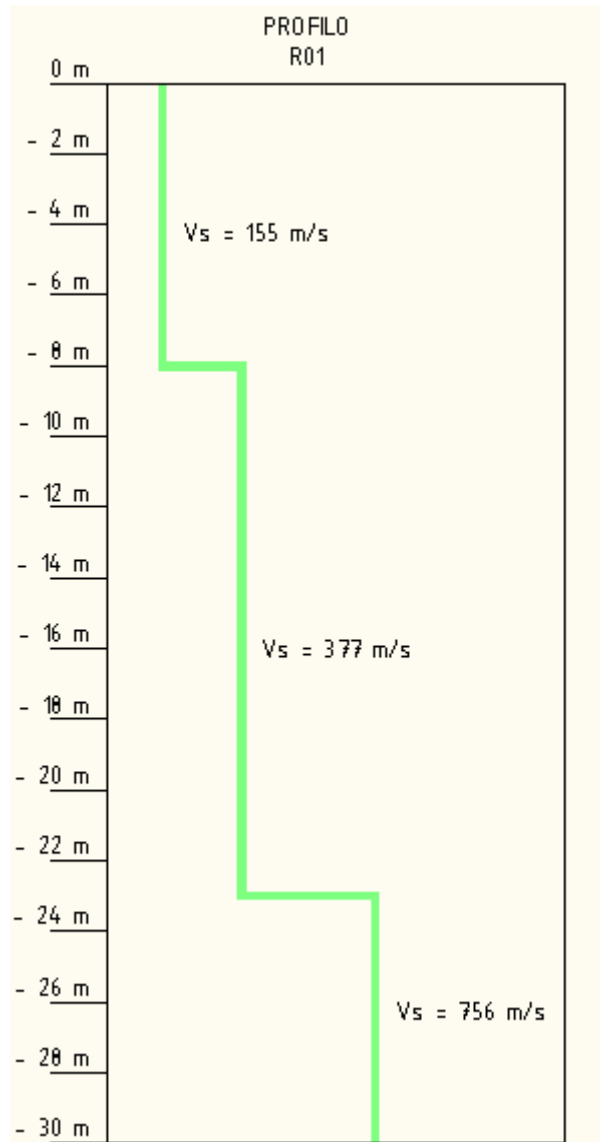
**Figura 26 - Colonna stratigrafica interpretativa desunta dai parametri significativi medi relativi al profilo di sismica a rifrazione P01**

PROFILO P02		Vp [Km/s]	Vs [Km/s]	Vp/Vs	dens [t/m <sup>3</sup> ]	Poisson
0 m						
- 2 m	Terreno vegetale					
- 4 m						
- 6 m	Limi, limi argillosi e limi sabbiosi poco addensati	1,00	0,30	3,33	1,7	0,451
- 8 m						
- 10 m						
- 12 m	Limi, limi argillosi e limi sabbiosi addensati	1,40	0,45	3,11	1,85	0,442
- 14 m						
- 16 m						
- 18 m						
- 20 m						
- 22 m	Roccia compatta	2,70	1,30	2,08	2,50	0,349
- 24 m						
- 26 m						
- 28 m						
- 30 m						

Figura 27 - Colonna stratigrafica interpretativa desunta dai parametri significativi medi relativi al profilo di sismica a rifrazione P02

### 8.1.2 Profilo ReMi

Il diagramma relativo alla prova Re.Mi mostra la successione di tre unità, come indicato di seguito:



**Figura 28 - Profilo di velocità delle onde di taglio desunte dall'indagine Re.Mi lungo il profilo sismico R01**

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, secondo quanto richiesto per la stima delle azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati da normativa, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,30}$  di propagazione delle onde di taglio; tale valore è definita dall'espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

Il parametro medio ricavato nel caso specifico è  $V_{s,30} = 295 \text{ m/s}$  verosimilmente indicativo di terreni sedimentari correlabili con la **categoria di sottosuolo C** ai sensi della normativa vigente.

### 8.1.3 Tecnica dei rapporti spettrali HVSR

Sono state eseguite una serie di misure mediante finalizzata alla misura diretta delle frequenze di vibrazione del terreno. In totale sono state acquisite 8 stazioni posizionate prevalentemente nell'area nord del bacino, in prossimità dei profili sismici precedentemente descritti.

L'analisi spettrale dei segnali acquisiti, ha consentito la ricostruzione degli spettri HVSR i quali segnalano un picco in corrispondenza della frequenza 2,8 Hz. Tale segnale è indicativo di una superficie di separazione tra strati sismici differenti posizionata, secondo quanto definito tramite la sismica a rifrazione, a 28 m di profondità. Se si considera che la risposta sismica locale lega il valore della frequenza ( $f_0$ ) alla velocità media  $V_s$  tramite la formula  $f_0 = V_s / 4H$ , dove  $H$  è la profondità, si ottiene una velocità media  $V_s$  pari a 313 m/s.

### 8.1.4 Rilievi di tomografia elettrica

Nell'area sono stati realizzati n. 6 profili, come indicato nel Rapporto tecnico per l'indagine geofisica effettuata (vedasi appendice), di questi le sezioni L04 e L09, lunghe rispettivamente 1110 m e 410 m, rappresentano insieme una sezione che taglia longitudinalmente il bacino in esame.

In tali sezione si evidenziano le seguenti indicazioni:

- presenza di una copertura conduttiva, verosimilmente rappresentata da materiale argilloso, sovrapposta al substrato calcareo;
- spessori massimi relativi alla copertura quaternaria di 25-30 m non uniformi lungo la sezione;
- locali variazioni di litologia nel deposito quaternario dovute, presumibilmente, ad apporti maggiormente detritici dei versanti;

- possibile presenza di faglie in prossimità dei versanti;
- evidenza di materiale detritico e roccia fratturata lungo il tratto nord-ovest della sezione.

Per quanto riguarda le sezioni geofisiche L05-L08, posizionate rispettivamente nei pressi del perimetro nord-est del bacino e all'imbocco dello stesso poco oltre, si evidenzia la presenza di una discontinuità tettonica in prossimità del versante e un ipotetico aumento di spessore relativo ai depositi quaternari.

### 8.1.5 Indagini gravimetriche

La carta dell'anomalia di Bouger calcolata con densità di 2.1 g/mc rappresenta il risultato finale del rilievo geofisico (vedasi relazione geofisica in appendice allegata per ulteriori approfondimenti).

L'elemento conoscitivo più importante desunta dall'indagine riguarda la determinazione di un settore allineato lungo una direttrice N-S (SE) definito a elementi a minor densità relativa imputabili a maggior accumuli di litologie limoso-argillose e/o a un potenziale disturbo strutturale; poi, in modo puntiforme, si localizzano dei settori con un ulteriore decadimento della densità relativa conseguente a locali fenomeni di intensa fratturazione.

Interessante notare come le indagini geoelettriche e l'indagine gravimetrica diano risultati a prima vista in parziale disaccordo: nelle prime il centro deposizionale del bacino sembra occupare una posizione baricentrica, nel secondo appare spostato lungo il margine orientale, nei pressi della struttura tettonica già descritta. In mancanza di indagini dirette nel sito (es. sondaggio a carotaggio continuo) appare possibile formulare diverse ipotesi riguardo la parziale discrepanza; l'ipotesi che in questa sede si propone prevede la presenza di uno strato più o meno potente di argilliti all'interno della successione carbonatica; tali argilliti sarebbero prossime alla superficie topografica lungo il margine occidentale del bacino (si segnala la presenza in affioramento di marne a argilliti rossastre in prossimità della strada sterrata che corre intorno al bacino lungo il lato Sud-Ovest).

Secondo questa ipotesi, infatti, il substrato potrebbe distinguersi male da un punto di vista geoelettrico dai soprastanti depositi limosi, condividendo valori di resistività apparente simili; la gravimetria, basata in ultima analisi, sulla differenza di densità dei materiali, non sarebbe



soggetta al medesima imprecisione (vedasi tav. L004-GU-D-DB-503).

### 8.1.6 Implementazione del modello geologico

Sulla base dei dati in possesso è possibile formulare una prima ipotesi inerente il modello geologico del Bacino di M. Alto (bacino di Lagospino, vedasi tavola L004-GU-D-DB-503).

Il modello prevede (vedasi sezione stratigrafica seguente) la presenza di un substrato roccioso mediamente compatto (calcari appartenenti alla formazione del Flysch Rosso – membro calcareo e litotipi marnoso-argillitici lungo il perimetro e alla base del lato occidentale), affiorante lungo i versanti perimetrali, e una copertura quaternaria di spessore pari a 20 – 30 m costituita in prevalenza da limi argillosi e limi sabbiosi. Le indagini geofisiche hanno evidenziato un differente grado di compattazione per tali depositi (strato profondo più compatto).

In superficie è presente uno strato di terreno poco compatto che rappresenta il suolo di alterazione.

Ai fini delle analisi strutturali per la realizzazione dell'invaso di Monte Alveo, si assegnano i seguenti valori per le proprietà indice dei materiali in esame. Si precisa, a tal fine, che sono stati considerate le condizioni più cautelative per quanto riguarda la caratterizzazione dei materiali, inoltre non viene considerato lo strato di terreno superficiale poiché ritenuto ininfluenza per i calcoli di progetto.

	Vp [Km/s]	Vs [Km/s]	Vp/Vs	dens [t/m <sup>3</sup> ]	Poisson
Terreno vegetale	-	-	-	-	-
Limi, limi argillosi e limi sabbiosi poco addensati	1,00	0,30	3,33	1,7	0,451
Limi, limi argillosi e limi sabbiosi addensati	1,30	0,42	3,10	1,80	0,442
Substrato roccioso	2,10	0,70	3,00	2,30	0,438

**Tabella 13 – Valori indice del deposito del bacino di Lagospino**

## 8.2 CONSIDERAZIONI INERENTI L'IMPERMEABILIZZAZIONE DEL BACINO DI LAGOSPINO

In considerazione della presenza di substrato roccioso prevalentemente carbonatico, talvolta anche notevolmente fratturato e localmente carsificato, il progetto prevede il completo rivestimento del fondo-bacino mediante apposito materiale impermeabile: l'intervento determinerà la completa impermeabilizzazione dell'invaso.

Il modello idrogeologico sviluppato descrive tuttavia una situazione in cui le sorgenti individuate più a valle vengono alimentate proprio dalle infiltrazioni vadose della dorsale carbonatica di cui il bacino fa parte. Il modello idrodinamico descritto prevede la presenza di falde sospese delimitate da superfici sostanzialmente impermeabili (solitamente faglie verticali e strati di argilliti con giaciture prossime all'orizzontale); nel caso di Lagospino il modello si applica bene:

- la filtrazione delle acque meteoriche a monte (Piano di Moia) sono raccolte e canalizzate nel circuito sotterraneo che sfocia dalla sorgente "La Grotta" (sorgente n. 29, q. 965 m s.l.m.) secondo portate anche notevoli (portata di piena stimata pari a 300 l/s) in autunno;
- le acque scorrono poi in superficie gettandosi nel bacino di Lagospino che tende ad invasarsi in autunno-inverno (il fondo limoso e la presenza di interstrati argillitici all'interno della successione prevalentemente carbonatica determinano una locale e significativa diminuzione di conduttività idraulica);
- Le acque di Lagospino si infiltrano lentamente nel fondo prevalentemente limoso, per poi defluire più o meno velocemente nel sottostante substrato calcareo verso le sorgenti di valle, alimentandole per la quota parte di propria competenza, per tutto il resto dell'anno fatta eccezione per il periodo tardo primaverile ed estivo, dove le sorgenti sono alimentate essenzialmente dal deflusso di base.

Il problema è stato quindi risolto prevedendo la realizzazione di un canale perimetrale all'invaso parzialmente permeabile (vedasi la documentazione di progetto per le specifiche tecniche ed una descrizione accurata); esso consente l'infiltrazione delle acque in profondità e la ricarica degli acquiferi, mantenendo sostanzialmente immutate le condizioni idrogeologiche attuali.

### 8.3 CONSIDERAZIONI INERENTI LA CAMPAGNA DI INDAGINI GEOFISICHE LUNGO IL PROFILO DELLE GALLERIE

I profili di tomografia elettrica e le indagini magnetotelluriche realizzati lungo il tracciato delle opere (vedasi immagine seguente e allegato relativo alle indagini geofisiche riportato in appendice), coadiuvate dalle evidenze di terreno, dalla ricostruzione fotogeologica dell'area e dai sondaggi, hanno permesso la ricostruzione in via previsionale dell'assetto tettono-stratigrafico.

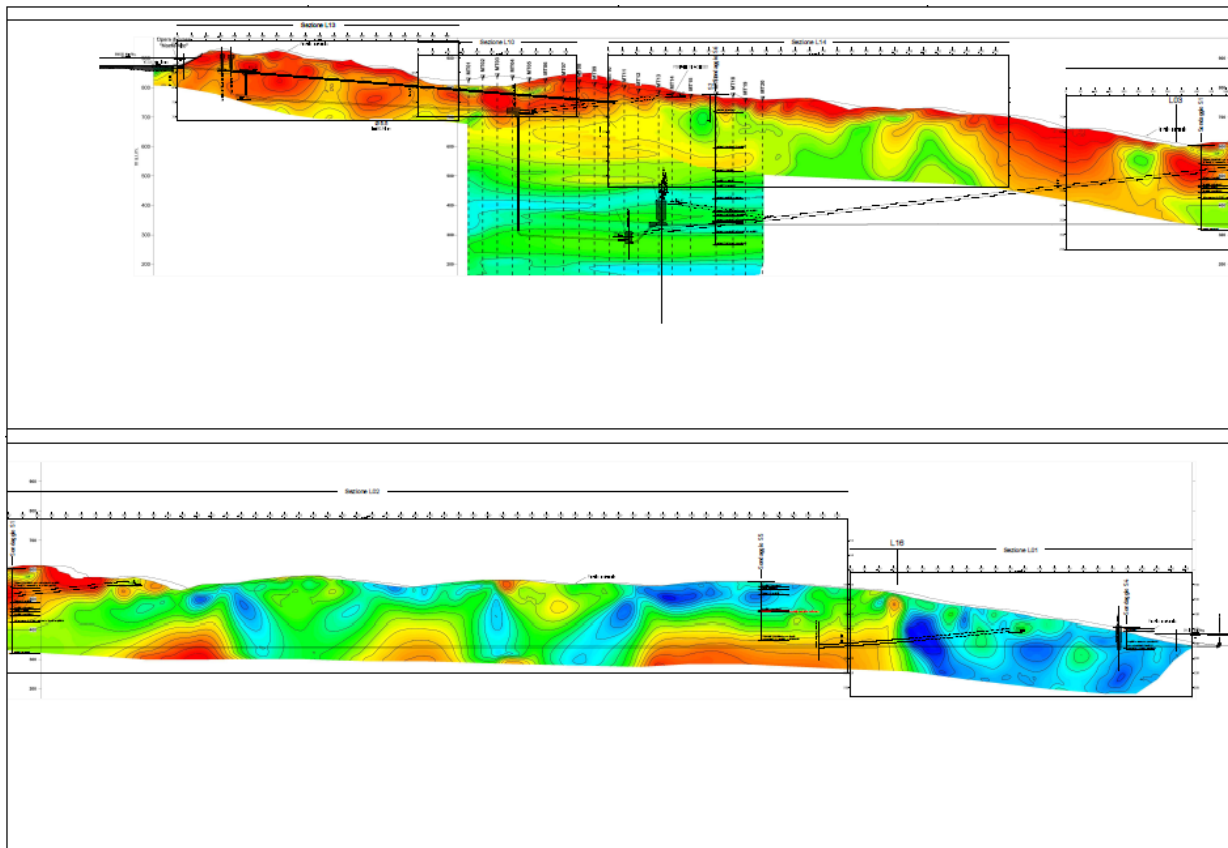


Figura 29 – Sezione geofisica e magnetotellurica lungo il tracciato principale dell'impianto desunta dalle indagini di tomografia elettrica.

Dall'analisi delle sezioni geoelettriche emergono i seguenti aspetti:

- I calcari appartenenti al Membro calcareo del Flysch Rosso sono quasi sempre ben definiti secondo indici di resistività generalmente elevati (colorazioni da rosso-arancio); localmente la maggior fatturazione dell'ammasso roccioso può essere evidenziato da un decadimento dell'indice di resistività (colorazioni gialle e localmente verdi).

- Il netto cambiamento di resistività secondo limiti verticali o anche suborizzontali può denotare la presenza di contatti tettonici (faglie e sovrascorrimenti); spesso tali ricostruzioni concordano con le evidenze di terreno e/o di altre metodologie di indagini (fotogeologica, sondaggi geognostici, ecc...).
- La ricostruzione litostratigrafica nel Flysch Rosso e nei membri che lo compongono risulta complicata da eteropie e da sovrapposizioni tettoniche che allo stato attuale, specialmente in aree lontano dai sondaggi geognostici, non è stato possibile risolvere completamente. Una di queste eteropie sembra poter essere riconosciuta nelle porzioni mediamente profonde nei pressi del pozzo piezometrico di valle (vedasi ricostruzione geologica contenuta nella tavola L004-GUD-DA-004).
- I valori di resistività più bassi sono indicativi di materiali prevalentemente argillosi o di contatti tettonici.
- Valori eccezionalmente elevati di resistività, del tutto simili a quelli riscontrati nei calcari, sono stati riconosciuti anche in successioni prevalentemente arenacee appartenenti al dominio dei flysch terrigeni (alcune porzioni relative alla Formazione di Fragneto Monforte). In tal senso la distinzione tra calcari appartenenti al Flysch Rosso e arenarie appartenenti alla Formazione di Fragneto Monforte non è sempre possibile basandosi esclusivamente sulle evidenze geofisiche.

#### **8.4 ANALISI GEOMECCANICA**

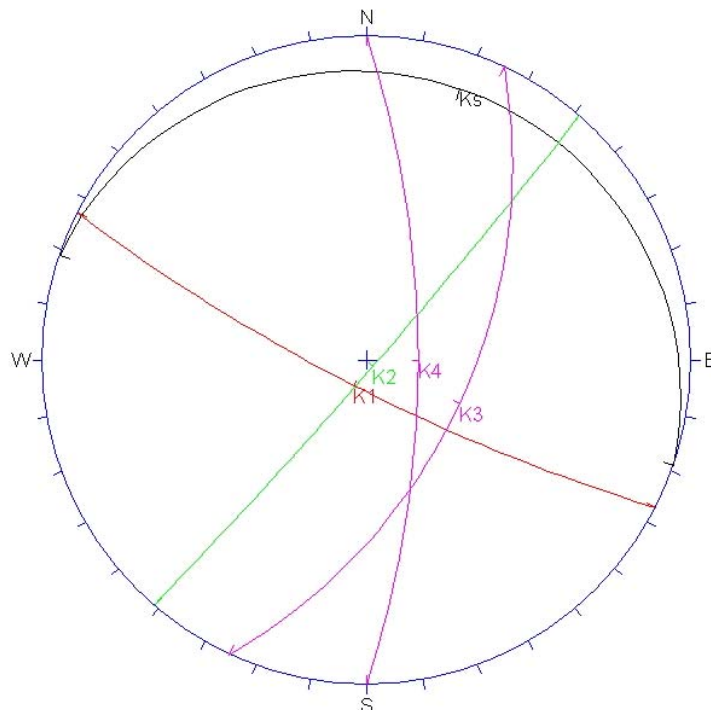
Il rilievo geomeccanico ha interessato prevalentemente litotipi calcarei appartenenti al membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2), subordinatamente altre litologia.

Dove è stato possibile è stata applicata la classificazione Bieniawski (1989) per la stima dell'indice RMRbase ed il metodo GSI sviluppato da Hoek et al. (1995); in alcune situazioni (cataclasi, formazioni flyscioidi terrigene) è stato possibile applicare solo il secondo metodo.

Le singole stazioni geomeccaniche, i dati rilevati e le relative elaborazioni sono descritte nelle apposite schede di rilevamento geologico-strutturale allegate in fondo al testo; di seguito si riporta la sintesi dei dati.

### 8.4.1 Giacitura

L'ammasso carbonatico risulta interessato da tre principali set di discontinuità circa ortogonali fra loro come di seguito esposto:



**Figura 30 – Rappresentazione stereografica delle discontinuità riconosciute in affioramento nei calcari**

- Ks – set di discontinuità coincidente con la stratificazione con giacitura media prossima all'orizzontale lungo la dorsale di Monte Alto, localmente deformata (valore medio Ks = 19N07);
- K1 – set di discontinuità sub-verticale (valore medio K1 = 207N80);
- K2 – set di discontinuità sub-verticale (valore medio K2 = 131N87).
- K3 e K4 – sistema coniugato di fratture aventi importanza puramente locale (valori medi K3 = 115N55; K4 = 90N72).

### 8.4.2 Spaziatura

È stata misurata la spaziatura effettiva tra i giunti appartenenti a un medesimo set, espressa in centimetri e misurata perpendicolarmente ai piani di discontinuità ad eccezione del rilievo effettuato nella Cava Ciarli (St.06) dove lo stato di fatturazione della roccia dovuto a disturbi tettonici ha fatto optare per il rilievo sistematico delle fratture e dei relativi parametri lungo

una singola linea di scansione.

Di seguito si riportano i dati essenziali.

Spaziatura				
Ks	K1	K2	media	stazione
68	64	103	78	St01
80	110	124	105	St02
21	104	91	72	St03
70	60	105	78	St04
54	64	111	76	St05
30	35	50	38	St09
54	73	97	75	media

**Tabella 14 – Sintesi dei dati di spaziatura desunti dai rilievi geomeccanici**

### 8.4.3 Persistenza

La persistenza delle discontinuità non è molto elevata fatta eccezione per la stratificazione.

La stratificazione influisce sicuramente sulla persistenza dei giunti, che terminano spesso contro le superfici di strato, lungo le quali si può facilmente ripartire parte della deformazione. La stratificazione ha persistenza nettamente maggiore rispetto alle fratture, dell'ordine delle decine di metri.

Ks	Persistenza		media	stazione
	K1	K2		
900	240	240	460	St01
1000	180	180	453	St02
630	240	240	370	St03
720	180	180	360	St04
1350	420	420	730	St05
800	180	60	347	St09
900	240	220	453	media

**Tabella 15 – Sintesi dei dati di persistenza desunti dai rilievi geomeccanici**

#### 8.4.4 Scabrezza

Le caratteristiche di rugosità del giunto sono state definite sulla base dei profili di rugosità di *Barton*, con valori di *JRC* (*Joint Roughness Coefficient* = coefficiente di rugosità del giunto) variabili in multipli di 2 da 0 a 20.

In linea di massima i giunti presentano valori mediamente elevati, talvolta per la presenza anche di giunti stilolitici.

I fenomeni pervasivi di carsismo modificano profondamente le caratteristiche delle superfici delle discontinuità: laddove vi sia infiltrazione e dissoluzione lungo fratture, queste presentano superfici sempre rugose ma molto aperte, in genere da millimetriche a centimetriche. Il carsismo tende ad aprire uno spazio tra le pareti del giunto, che quindi non risultano più in contatto.

Ks	Rugosità JRC		media	stazione
	K1	K2		
18	16	8	14	St01
18	16	8	14	St02
16	14	8	13	St03
18	16	8	14	St04
14	10	8	11	St05
10	10	14	11	St09
16	14	9	13	media

**Tabella 16 – Sintesi dei dati di scabrezza desunti dai rilievi geomeccanici**

#### 8.4.5 Apertura

Come è noto, in superficie i giunti sono più aperti per fenomeni di alterazione e rilascio

dell'ammasso roccioso, mentre in profondità i valori di apertura tendono a ridursi; inoltre, il carsismo genera cavità e spazi vuoti lungo le fratture, distribuiti in maniera del tutto imprevedibile.

Ks	Apertura			media	stazione
	K1	K2			
20	20	20	20	20	St01
20	20	20	20	20	St02
9	20	20	20	16	St03
20	20	20	20	20	St04
10	20	20	20	17	St05
1	2	1	1	1	St09
13	17	17	17	16	media

**Tabella 17 – Sintesi dei dati di scabrezza desunti dai rilievi geomeccanici**

#### **8.4.6 Riempimento**

In generale non sono stati rilevati riempimenti significativi nei calcari.

#### **8.4.7 Alterazione**

L'alterazione è molto sviluppata per effetto del carsismo negli ammassi rocciosi appartenenti alle principali dorsali carbonatiche (Monte Alto, Toppo Mondolfo); alla base dei versanti invece, dove i fenomeni di dissoluzione sono meno pronunciati (vedasi stazione St.09), l'alterazione è poco sviluppata (leggera decolorazione della superficie dei giunti).

Ad ogni modo, la matrice rocciosa risulta sempre non alterata.

#### **8.4.8 JCS**

I dati disponibili (serie di rimbalzi dello sclerometro in direzione perpendicolare alle superfici delle discontinuità) sono stati rianalizzati e corretti statisticamente per eliminare i valori non in linea con la deviazione standard della popolazione (valori troppo bassi). L'insieme dei dati è stato corretto per tenere conto dell'orientazione dello sclerometro.

In genere i valori di JCS sono compresi in un intervallo di 30 – 50 MPa; localmente (loc. Spaccamontagna) sono stati registrati anche valori superiori ai 100 MPa, imputabili a litologie particolarmente tenaci di calcari pseudocristallini.

Tali valori nel complesso sono in linea con i dati di laboratorio (misure di resistenza a



compressione monoassiale effettuate su carote di sondaggio).

#### 8.4.9 Densità della roccia

Secondo le analisi di laboratorio si stimano valori di densità pari a 25-26 kN/mc.

#### 8.4.10 Densità di fatturazione

La densità di fratturazione è stata misurata a mediante il parametro  $J_v$  (*volumetric joint count*), cioè il numero di discontinuità mediamente presenti in un volume unitario ( $1 \text{ m}^3$ ) di ammasso roccioso. È stato valutato partendo dai dati di spaziatura secondo quanto definito da Palmstron (1982).

In linea di massima il valore di  $J_v$  è basso per gli affioramenti superficiali, compreso tra 3 e 8.2.

Ovviamente, in prossimità di discontinuità tettoniche e faglie, il valore tende a salire notevolmente.

#### 8.4.11 RQD

L'RQD (*Rock Quality Designation*) è un coefficiente indicativo della qualità dell'ammasso roccioso che esprime il valore percentuale dei frammenti di roccia di lunghezza superiore a 10 cm presenti in un tratto lungo 1 metro di sondaggio carotato.

Per gli affioramenti, il valore di RQD è stato calcolato nelle schede di classificazione geomeccanica presentate tramite la relazione di Palmstrom (1982):

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 J_v$$

In sintesi, gli affioramenti indagati presentano generalmente valori di fatturazione bassa o nulla; fanno eccezione quelle situazioni di disturbo tettonico riconosciuto, tra l'altro, anche nel sondaggio S02 dove la stima di RQD richiama valori molto bassi.

#### 8.4.12 Classificazione RMR e GSI

In linea di massima le elaborazioni portano alla definizione di un indice RMR compreso tra 56 (St.06 – Cava Ciarli) e 63, indicative di roccia competente qualora non interessata da faglie o altri disturbi tettonici.

Anche l'indice GSI appare indicativo di roccia competente ed è generalmente compreso in un

intervallo 55 – 60.

In corrispondenza di faglie e fasce fratturate (fino a cataclamate) si stimano valori di GSI inferiori, 15 come valore minimo considerato nella St.06 (Cave Ciarli) con valore medio pari a 35.

Per quanto riguarda altri litotipi, l'unico affioramento preso in considerazione si riferisce a formazioni terrigene in facies di flysch riconoscibili nei pressi del bacino di Campolattaro. I valori stimati di GSI (non è stato possibile utilizzare la classificazione RMR) risultano generalmente bassi (med. 30; min. 15; max. 35).

### 8.5 PROPRIETÀ INDICE DEI MATERIALI INTERESSATI

Sulla base dei dati desunti dalle prove di laboratorio e/o in situ e delle indagini effettuate, si propone ora una sintesi dei parametri indice dei materiali interessati dalla realizzazione delle opere. La colonna a destra delle tabelle indica la fonte dei valori (secondo quale tipo di indagine o di prova il dato è stato ottenuto, specificando inoltre l'eventuale provenienza da fonte bibliografica).

LEGENDA	
$\sigma_{ci}$	Resistenza a compressione monoassiale
RMRb	Indice di Bieniawski (1989)
GSI	Geological Strength Index
mi	
MR	modulus ratio
Ei	Intact Modulus
$\gamma$	Peso di volume
Etan	Modulo di Young
$\nu$	Coefficiente di Poisson
$\phi_P$	Angolo di attrito di picco
$\phi_R$	Angolo di attrito residuo
Cp	Coesione di picco
Cres	Coesione residua

**Tabella 18 – Legenda relativa alle sigle utilizzate**

Calcarei massivi			
Indice	valore considerato	campo di variab.	U.M.
oci	50	37-134	Mpa
RMRb	61	55-65	
GSI	55	47-58	
mi	12		
MR	500		
Ei	25000	20000-47000	Mpa
$\gamma$	2.6		t/mc
Etan	17230		MPa
$\nu$	0.37		
$\phi_P$			
$\phi_R$			
Cp			kPa
Cres			kPa
<b>Descrizione sintetica:</b> Calcari e calcareniti e calcari pseudocristallini biancastri e localmente grigiastri; sporadici livelli rossastri o marnosi grigiastri.			
<b>Formazione geologica:</b> Flysch Rosso - Membro calcareo (FYR2)			

Note

- Dato desunto da prove di compressione monoassiale e da sclerometro
- Dato desunto da rilievi geomeccanici
- Dato desunto da rilievi geomeccanici
- Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili
- Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili
- Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili
- Dato desunto da prove di laboratorio
- Dato desunto da prove di compressione monoassiale e da sclerometro
- Dato desunto da prove di compressione monoassiale e da sclerometro

**Tabella 19 – Parametri indici definiti per i calcari appartenenti al Flysch Rosso (FYR2).**

<b>Flysch marnoso-calcareo-argillitico</b>			
Indice	valore considerato	campo di variab.	U.M.
$\sigma_{ci}$ RMRb	5	1-25	Mpa
GSI	20	15-25	
mi	7		
MR	225		
Ei	200		Mpa
$\gamma$ Etan	2.4	2.3-2.6	t/mc Mpa
v	0.3		
$\phi_P$	25	22-28	
$\phi_R$	20	16-25	
Cp	50	35-80	kPa
Cres	10	0	kPa
<b>Descrizione sintetica:</b> Flysch prevalentemente marnoso avente colorazione verdastra rossatra o nerastra, con inclusi e strati calcarei biancastri e argilliti rosate			
<b>Formazione geologica:</b> una volta denominata col termine di "Argille varicolori" ora viene ascritta ai termini Flysch Rosso (FYR) e Flysch Rosso - Membro diasprigno (FYR1)			

Legenda

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Non applicabile

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

**Tabella 20 – Parametri definiti per la formazione del Flysch Rosso (FYR). I valori, particolarmente cautelativi, sono indicativi di litologie prevalentemente argillose e marnose; qualora la presenza di calcari fosse preponderante, si ricade nel caso descritto nella tabella precedente.**

<b>Flysch arenaceo argilloso</b>			
Indice	valore considerato	campo di variab.	U.M.
$\sigma_{ci}$	5	1-15	Mpa
RMRb	-		
GSI	30	15-35	
mi	4		
MR			
Ei	1250		Mpa
$\gamma$	2.2	2.1-2.4	t/mc
Etan	0.311		Mpa
$\nu$	0.3		
$\phi_P$	29.2		
$\phi_R$			
Cp	16.5		kPa
Cres			kPa
Descrizione sintetica: Flysch argillitico-marnoso-arenaceo prevalentemente terrigeno, con locali e subordinati livelli di calcari grigiastri.			
Formazione geologica: Formazione di Fragneto Monforte (UFM) e formazione di San Giorgio la Molara (GGM)			

**Note**

Dato desunto da prove di compressione monoassiale per la frazione arenacea

Non applicabile

Dato desunto da rilievi geomeccanici

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Dato desunto da prove di laboratorio

Dato desunto da prove di laboratorio

Dato desunto da prove pressiometriche

Stima desunta da dati bibliografici e indagini pregresse su materiali simili

Dato desunto da prove di laboratorio

Dato desunto da prove di laboratorio

**Tabella 21 – Parametri definiti per le formazioni flyscoidi silicoclastiche.**

<b>Zone di faglia, cataclasiti</b>			
Indice	valore considerato	campo di variab.	U.M.
GSI	28	15-42	
Descrizione sintetica: Brecce di faglia, cataclasiti			
Formazione geologica: tutte			

**Tabella 22 – Parametri definiti per le zone di faglia.**

## 8.6 STIMA DEI PARAMETRI GEOMECCANICI PER GLI SCAVI DELLA CENTRALE IN CAVERNA

L'esecuzione del sondaggio S6 portato fino alla profondità di 510 m dal p.c. (ca. 265 m s.l.m.) ha permesso la ricostruzione litostratigrafica della successione fino alla zona di imposta della centrale in caverna. Da quel che emerge, la formazione del Flysch Rosso sembra costituire per intero la colonna stratigrafica, secondo spessori notevoli probabilmente dovuti a duplicazioni tettoniche.

Le caratteristiche tipiche della formazione per come appaiono in superficie possono essere riconosciute con qualche difficoltà pure nelle porzioni più profonde del sondaggio.

Da un punto di vista della caratterizzazione geomeccanica i parametri indice dell'ammasso roccioso possono essere espressi per intervalli omogenei secondo la verticale del sondaggio una volta verificata la struttura sub-orizzontale dei cambiamenti litologici. Considerato che si tratta di una roccia flyschoide, per tale litologia è stata sviluppata da Marinos e Hoek una carta che caratterizza il GSI in funzione della struttura, da integra ad intensamente deformata (vedasi figura seguente).

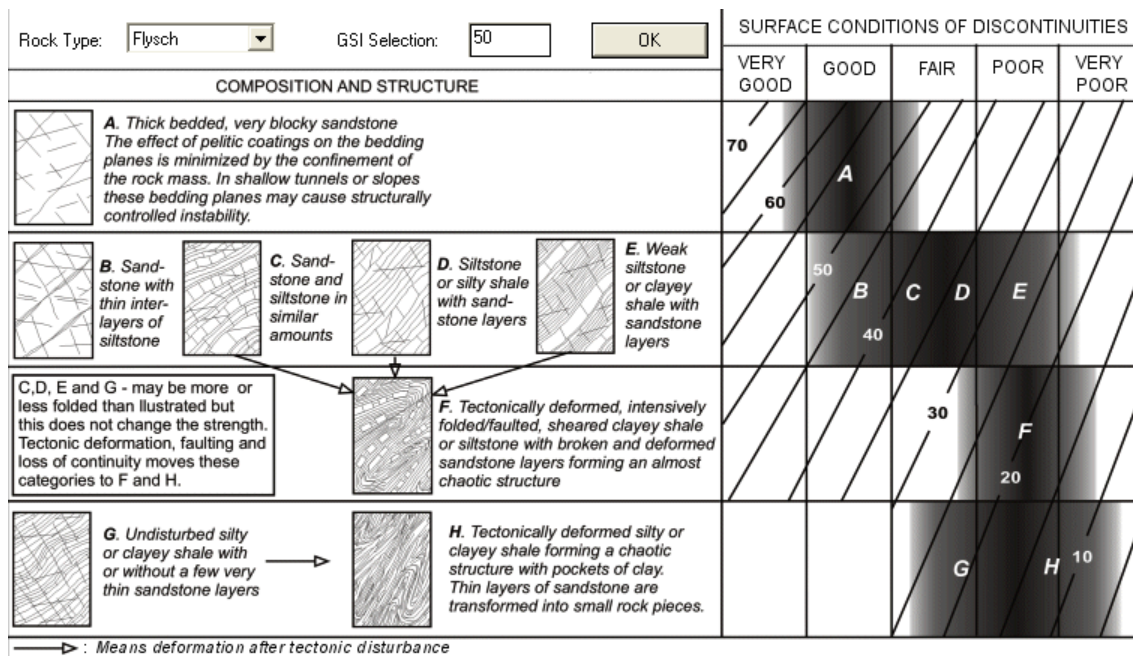


Figura 31 – Determinazione del GSI per rocce flyschoidi.

Per le varie classi identificate, gli autori propongono di derivare i valori di  $\sigma_c$  e  $m_i$ , da usare

successivamente nella derivazione delle caratteristiche geomeccaniche dal criterio di Hoek-Brown, utilizzando dei valori medi proporzionali secondo la seguente tabella.

Flysch type see Table 4.	Proportions of values for each rock type to be included in rock mass property determination
A and B	Use values for sandstone beds
C	Reduce sandstone values by 20% and use full values for siltstone
D	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
E	Reduce sandstone values by 40% and use full values for siltstone
F	Reduce sandstone values by 60% and use full values for siltstone
G	Use values for siltstone or shale
H	Use values for siltstone or shale

**Figura 32 – Parametri di  $\sigma_{ci}$  e  $m_i$  suggeriti dagli autori per ammassi rocciosi flyschoidi.**

Sulla base di queste considerazioni è stato possibile implementare un modello geomeccanico particolareggiato relativo alla zona della caverna centrale e del pozzo piezometrico di valle (vedasi figure seguenti e, per maggiori dettagli, tavola L004-GUD-DI-604 e tavola L004-GUD-DJ-605).

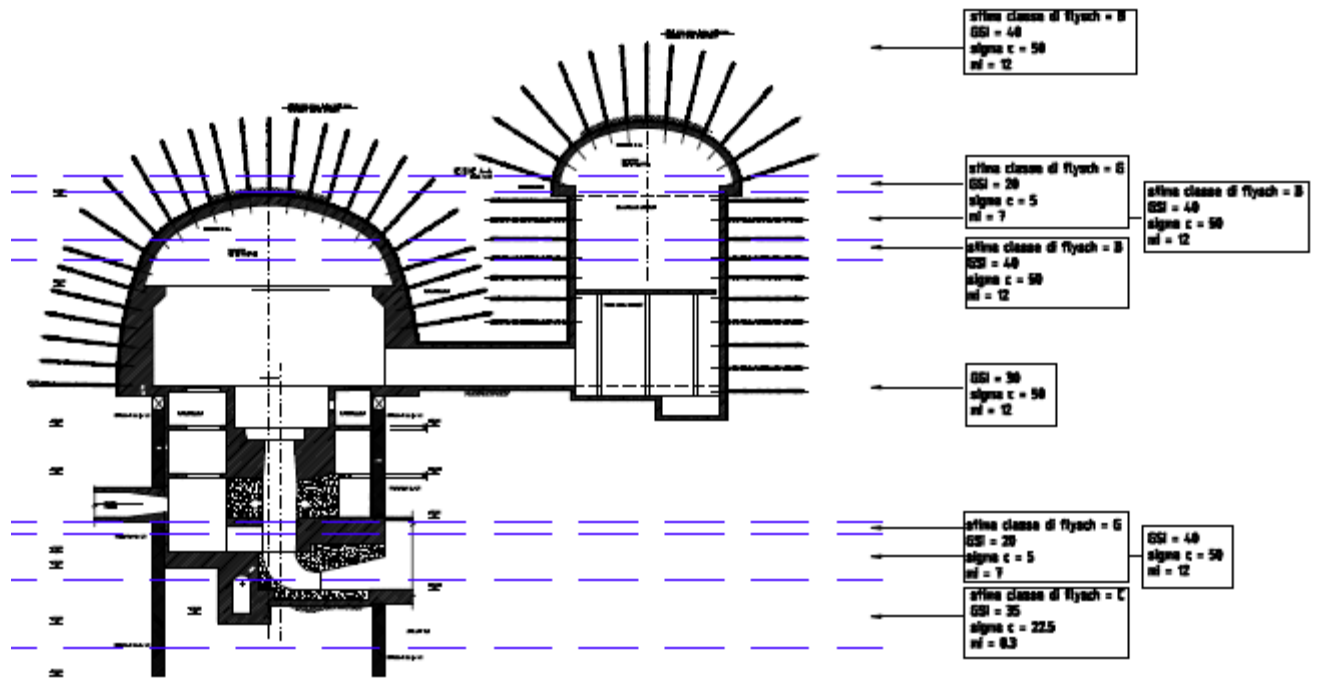


Figura 33 – Caratterizzazione geomeccanica particolareggiata relativa alla porzione di ammasso roccioso interessata dagli scavi della centrale di produzione.



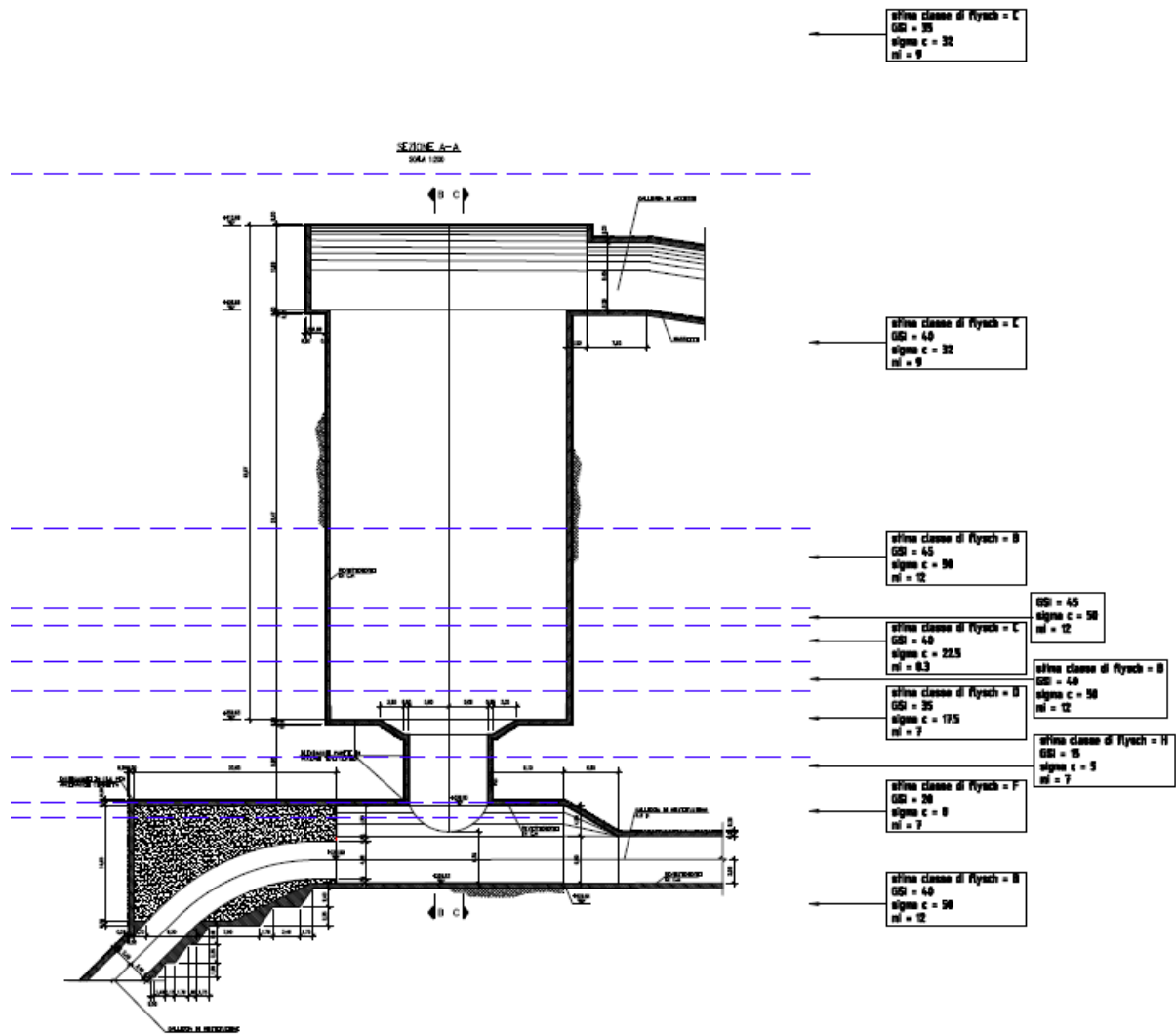


Figura 34 – Caratterizzazione geomeccanica particolareggiata relativa alla porzione di ammasso roccioso interessata dagli scavi del pozzo piezometrico di valle.

## 8.7 AVANZAMENTO DEGLI SCAVI

La ricostruzione geologica dell'area permette infine di stimare le tratte di scavo nei diversi materiali sopra considerati, come di seguito indicato:

- Il 66% circa degli scavi interesserà litologie prevalentemente calcaree appartenenti al Membro calcareo del FLysch Rosso (calcari e subordinati livelli argillitici);
- Il 19% degli scavi interesserà materiali di modeste proprietà geomeccaniche appartenenti al Flysch Rosso (argilliti e marne prevalenti, subordinati orizzonti calcarei e calcarei-selciosi);
- La parte restante degli scavi (ca. il 15% sul totale degli scavi) si svilupperà in materiali in facies di flysch silicoclastici (Formazione di Fragneto Monforte, formazione di San Giorgio la Molarata) costituiti in prevalenza da argilliti, arenarie e marne, con subordinate calcareniti.

## 9. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

### 9.1 CONCLUSIONI

La presente relazione costituisce lo studio geologico e idrogeologico di supporto al progetto dell'impianto di pompaggio e produzione di Campolattaro-Monte Alto.

L'elaborato, redatto nel rispetto delle normative tecniche vigenti, costituisce la sintesi di quanto emerso dagli studi e dalle indagini compiute.

Nel capitolo 2 si propone un breve inquadramento geologico dell'area in esame. I successivi capitoli 3 e 4 riportano la caratterizzazione geologica dall'area considerata compiuta partendo da dati di letteratura, da rilievi di terreno e da indagini geognostiche e geofisiche. La ricostruzione consente di determinare le successioni litostratigrafiche e le principali strutture tettoniche secondo le più recenti interpretazioni in materia.

In estrema sintesi, la zona in esame appare costituita da un edificio a falde tettoniche sovrapposte su faglie inverse suborizzontali (sovrascorrimenti). Ogni unità tettonica è costituita da una propria successione sedimentaria che la distingue da quelle adiacenti. Nello specifico, le opere in progetto interagiscono con tre di queste falde tettoniche, secondo lo schema definito; procedendo dall'alto verso il basso e dall'interno verso l'esterno della catena appenninica (da Ovest verso Est) si riconoscono:

- l'Unità del Sannio;
- l'Unità di Frigento
- l'Unità della Valle del Tammaro.

La situazione è notevolmente complicata dalla presenza di ulteriori superfici di sovrascorrimento minore individuate all'interno delle singole unità ora elencate che determinano il raddoppio della successione stratigrafica locale.

Da un punto di vista litostratigrafico, le porzioni di territorio più occidentali sono costituite in prevalenza da terreni calcarei e subordinatamente da marne e argilliti varicolori ascrivibili alla formazione del Flysch Rosso e ai membri che la compongono. Nei pressi del bacino di Campolattaro il substrato roccioso è costituito da terreni più giovani in facies di flysch silicoclastici.

Nel capitolo 5 si tratteggiano i principali lineamenti geomorfologici dell'area; nel lavoro si pone maggiormente attenzione nei confronti di situazioni locali definite nell'area del Bacino di Lagospino da una parte e dell'opera di presa/restituzione di Campolattaro dall'altra (vedasi tavole geomorfologiche allegate). Quello che emerge è la presenza di alcuni dissesti anche di dimensioni significative in prossimità dell'invaso di Campolattaro; la progettazione delle opere ha tenuto conto di tali fenomeni evitando le zone considerate in frana attiva o quiescente. Si ritiene pertanto che non vi siano interazioni tra le opere in progetto e frane o fenomeni di dissesto in generale.

Nel capitolo 6 si riporta una breve nota relativa all'inquadramento dell'area da un punto di vista sismotettonico; il capitolo, sintesi degli studi effettuati dal dr. Chiesa (CNR – IRPI) e dai dott. P. Galli, B. Ghiaccio e P. Messina (IGAG – CNR), pone l'accento sul fatto che da un punto di vista regionale l'area deve essere considerata a rischio sismico elevato. Sono riconosciute strutture sismiche attive a Nord e a Sud della zona di progetto, responsabili dei terremoti principali degli ultimi 400 anni; mentre non sono state individuate faglie capaci in prossimità o corrispondenza delle opere.

Il capitolo 7 tratta in maniera completa le tematiche legate all'idrogeologia. Partendo dai dati di monitoraggio delle sorgenti, dalla caratterizzazione litostratigrafica e tettonica degli acquiferi e da riferimenti bibliografici si propone un modello idrogeologico utile per la definizione delle situazioni di possibile impatto tra i lavori di scavo e le falde acquifere individuate; viene inoltre definita una stima previsionale di eventuali portate drenate in galleria. Il modello idrogeologico concettuale è in fase di calibrazione sulla base del monitoraggio delle sorgenti annuale attualmente in corso.

Infine il capitolo 8 sviluppa alcune tematiche legate a situazioni locali (caratterizzazione geofisica e interpretazione litostratigrafica relativa al bacino di Lagospino; caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi) e riporta una sintesi delle proprietà geomeccaniche dei materiali interessati dagli scavi; tali indicazioni sono riportate per esteso nelle sezioni geomeccaniche allegate alla presente documentazione.

In conclusione, dall'insieme di queste informazioni si è ottenuto un modello geologico e

idrogeologico del sottosuolo e, conseguentemente, sono stati definiti i parametri geomeccanici di progetto, utili per la determinazione dei criteri ed i metodi di progettazione e le modalità costruttive più appropriate. Gli studi a carattere geologico, geomorfologica ed idrogeologico hanno permesso di definire:

- le caratteristiche litologiche delle varie formazioni geologiche;
- le caratteristiche stratigrafiche e strutturali, ovvero i rapporti esistenti tra le varie formazioni geologiche e gli elementi che costituiscono la struttura a grande scala;
- la storia geologica delle varie formazioni ed i processi che hanno portato all'attuale configurazione stratigrafica, strutturale e morfologica;
- le caratteristiche litologiche dei materiali costituenti le varie formazioni;
- le caratteristiche geomorfologiche, in relazione soprattutto ai fenomeni connessi con la stabilità dei versanti, con particolare riferimento agli imbocchi delle gallerie e alla zona interessata dal bacino di accumulo;
- le caratteristiche idrogeologiche, in relazione soprattutto alle problematiche connesse con la circolazione idrica sotterranea.

## 9.2 RACCOMANDAZIONI

Gli studi geologici, le indagini geofisiche e geognostiche, i rilievi geostrutturali hanno permesso di identificare compiutamente le caratteristiche geomeccaniche delle formazioni geologiche interessate dal progetto.

Attualmente sono in corso ulteriori indagini, secondo quanto indicato sotto:

- monitoraggio delle sorgenti censite da un punto di vista qualitativo (stima dei principali indicatori chimico-fisici delle acque e stima delle portate mensili);
- ulteriori approfondimenti geofisici nel bacino di Lagospino per il riconoscimento di geometria ed estensione di eventuale condotti carsici;
- monitoraggio del livello piezometrico nei sondaggi eseguiti.

In fase di progettazione esecutiva, ai fini di una ulteriore calibrazione del modello geologico, si ritiene utile effettuare ulteriori indagini conoscitive, che dovrebbero articolarsi di massima come segue:

- sondaggi a carotaggio continuo nell'area del bacino di Lagospino, spinti ad una profondità significativa all'interno del substrato roccioso, per la definizione litostratigrafica particolareggiata dei sedimenti limosi di riempimento della conca e del

substrato roccioso (individuazione strato regolitico, porzione eventualmente epicarsica e ammasso roccioso indisturbato);

- determinazione proprietà indice dei sedimenti di riempimento del bacino di Lagospino mediante prove in situ (prove SPT e prove pressiometriche) e prelievo di campioni indisturbati da cui eseguire caratterizzazione granulometrica (per setacciatura e sedimentazione per la frazione fine), indici (limiti) di Atterberg, determinazione contenuto in acqua naturale, porosità, permeabilità, peso specifico, prove edometriche e prove di resistenza al taglio non drenata e drenata;
- prove di permeabilità nei fori di sondaggio nelle porzioni di ammasso roccioso;
- Prove di compressione uniassiale e triassiale con determinazione dei parametri di Hoek su spezzoni di carota indicativi del substrato roccioso del bacino di Lagospino;
- Ulteriori sondaggi a distruzione di nucleo nella porzione più superficiale e a carotaggio continuo nei pressi della quota di realizzazione della galleria lungo il tracciato della condotta di restituzione (ad es. nella tratta compresa tra sondaggio S1 e sondaggio S5) e relativa determinazione dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso mediante prove di compressione uniassiale e triassiale su spezzoni di carota.
- Prove di permeabilità in foro nei nuovi sondaggi che si effettueranno.
- Monitoraggio topografico volto alla definizione di eventuali spostamenti del terreno in corrispondenza del tracciato della galleria di restituzione lungo la strada circunlaquale (bacino di Campolattaro); tale monitoraggio potrà essere eseguito mediante misura di mire fisse a intervalli prestabiliti e/o misure inclinometriche. Il monitoraggio dovrà iniziare con adeguato anticipo rispetto l'inizio dei lavori e durante l'effettuazione degli stessi.

In fase di esecuzione dei lavori, per quanto riguarda le opere in sotterraneo, nelle zone di faglia e/o cataclamate ed in prossimità di cambi litologici significativi, si consiglia di eseguire dei sondaggi in avanzamento rispetto il fronte di scavo per consentire di calibrare gli interventi di sostegno più idonei in funzione di quanto definito nel progetto. Tali verifiche consentiranno di definire:

- l'esatta posizione delle strutture tettoniche e/o dei cambi litologici rispetto quanto indicato nei profili geologici e geomeccanici;
- le effettive condizioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi in profondità;
- le condizioni idrogeologiche locali.

Inoltre dovranno essere eseguiti dei rilievi geostrukturali del fronte di scavo che possano permettere di classificare l'ammasso roccioso secondo l'indice RMR di base (sistema di classificazione di Bieniawski).

Milano, 02 marzo 2011

**IL PROFESSIONISTA INCARICATO**

Dott. Geol. Umberto Guerra

## 10. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE CONSULTATA

- ALLOCCA V., CELICO F., DE VITA P., FABBROCINO S. (2006) – Idrodinamica sotterranea in successioni carbonatiche in facies di bacino: l’area campione di Monte Campo (Molise, Italia Meridionale). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 2.
- APAT – CNR – Commissione Italiana di Stratigrafia. *Carta Geologica d’Italia 1:50.000 – Catalogo delle Formazioni*.
- BARTON N., BANDIS S. AND BAKHTAR K. (1985) - Strength, Deformation and Conductivity Coupling of Rock Joint. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 22 (3): 121-140.
- BERGOMI C., MANFREDINI M., MARTELLI G. (1975). *Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000; foglio 173 “Benevento”*. Ministero dell’Industria, del Commercio e dell’Artigianato; Direzione Generale delle Miniere; Servizio Geologico d’Italia.
- CAINE J.S. , EVANS J.P. & FORSTER C.B. (1996) - Fault zone architecture and permeability structure. *Geology*, 24, 1025-102.
- CELICO F. & PETRELLA E. - Evoluzione delle conoscenze idrogeologiche del settore nord-occidentale del massiccio carbonatico del Matese - Nota preliminare. *Mem. Descr. Carta Geol. d’It. LXXVII (2008)*, pp. 177 - 1 82 figg.
- CELICO F., PETRELLA E. & CELICO P. (2006) – Hydrogeological behavior of some fault zone in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally-based model. *Terra Nova*, 18, 308-313.
- CHENG HAW LEE, IAN W. FARMER. (1990). A simple method of estimating rock mass porosity and permeability. *Short Communication. International Journal of Mining and Geological Engineering*, 1990, 8, 57-65.



- ESPOSITO L., CELICO P., GUADAGNO F.M., AQUINO S. (2003). Carta Idrogeologica della Provincia di Benevento (Campania). Studio finanziato da Alto Calore Servizi s.p.a., Camera di Commercio di Benevento e Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- ESPOSITO L., CELICO P., GUADAGNO F.M., AQUINO S. (2003). Aspetti idrogeologici del Territorio Sannita con saggio cartografico alla scala 1:100.000 (Carta Idrogeologica della Provincia di Benevento). Studio finanziato da Alto Calore Servizi s.p.a., Camera di Commercio di Benevento e Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- FLORIO, MARIA TERESA (2007). Analisi sperimentale dei meccanismi di infiltrazione di acque superficiali in acquiferi carbonatici fratturati dell'Italia meridionale. [Tesi di dottorato – Tutor Ch.mo Prof. P. B. Celico, co-tutor Prof. F. Celico; coordinatore Ch.mo Prof. G. Corrado]
- KLIMCHOUK A.B. (2004). Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution. / Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers 2 (1), [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info), 13 pages, re-published (modified) from: Jones, W.K., Culver, D.C. and Herman, J. (Eds.). 2004. Epikarst. Proc. of the symposium held October 1 through 4, 2003 Sheperdstown, West Virginia, USA. Karst Water Institute special publication 9, 23-35.
- PATACCA E., SCANDONE P. (2007) – Geology of the Southern Appennines. Boll. Soc. Geol. It., 7, 75-119.
- PESCATORE T.S., DI NOCERA S., MATANO F., PINTO F., QUARANTIELLO R., AMORE O., BOIANO U., CIVILE D., FIORILLO L., & MARTINO C. - Geologia del settore centrale dei monti del Sannio: nuovi dati stratigrafici e strutturali. Mem. Descr. Carta Geol. d'It. LXXVII (2008), pp. 77 - 94 figg.

- PESCATORE T.S., DI NOCERA S., MATANO F., PINTO F., QUARANTIELLO R., AMORE O., BOIANO U., CIVILE D., FIORILLO L., MARTINO C. (2008). Geologia del settore centrale dei monti del Sannio: nuovi dati stratigrafici e strutturali. Mem. Descr. Carta Geol. D'It. LXXVII (2008), pp. 77-94.
- SNOW D. T. (1968) - Rock fracture spacings, openings, and porosities. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Divisions, ASCE 96: 73-91.
- VARNES (1978) – Slope movements, type and process" in Landslides: Analysis and Control-Transp. Board. Nat. Acad. of Sciences, Special report 176.
- WEI Z. Q., EGGER P. & DESCOEUDRES F. (1995) - Permeability Predictions for Jointed Rock Masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 32 (3): 251-261.

**11. ALLEGATO 01: SCHEDE DI RILEVAMENTO GEOLOGICO-  
STRUTTURALE**

STAZIONE ST.01

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 01 (M. Alto)	Coordinate del punto X=2490477 m Est Y=4573626 m Nord Z= 920 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 45 N 225 / 407 N 05	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è individuabile lungo il versante che dal bacino di M. Alto sale verso la cima del monte stesso; in prossimità del crinale immediatamente soprastante il bacino stesso (punto quotato 931,6 m s.l.m.).

L'affioramento è costituito da una scarpata rocciosa più o meno continua (lunghezza 10 m, altezza complessiva 5 - 6 m). Si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi regolare, localmente a lastre, in cui si individuano tre sistemi di discontinuità, tutte discretamente persistenti. Il set considerato principale, coerente con la stratificazione, presenta spaziatura confrontabile con gli altri due sistemi. La roccia si presenta mediamente resistente, alterata in superficie per effetto del carsismo, tuttavia la matrice rocciosa appare sostanzialmente intatta.

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione è sub-orizzontale e presenta spessori irregolari, da decimetrica a metrica. Nel caso in questione il rilievo è stato eseguito in corrispondenza di bancate metriche identificabili alla sommità del versante. Sovente si notano strutture di amalgamazione erosiva negli strati.

La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibili in affioramento, è possibile riconoscere anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata.

L'affioramento presenta colorazioni grigiastre con tonalità chiare, localmente biancastre; le superfici di fatturazione presentano strutture stilolitiche (Ks e K1) ed evidenze di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico (campi solcati, ecc...).

**Giacitura discontinuità**

Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
37 N 05	206 N 78	139 N 82				

**Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale  $\sigma_c$  (MPa)**

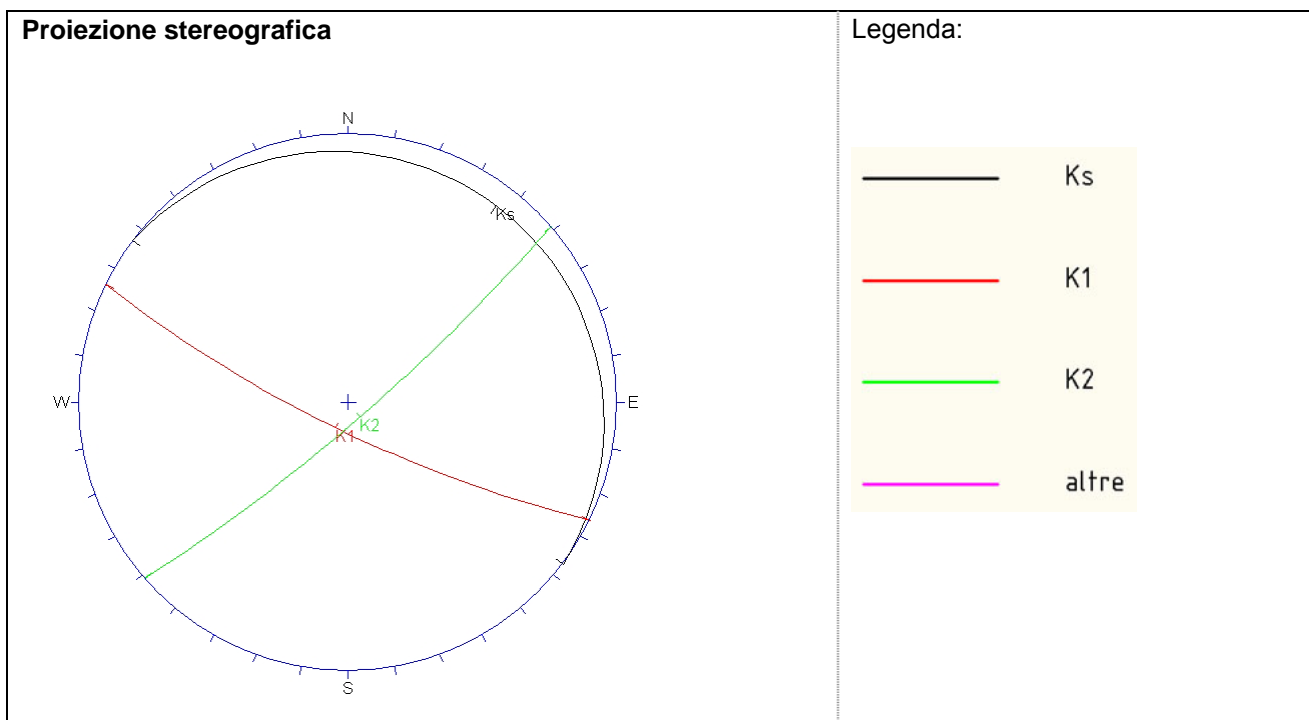
50

**Spaziatura [cm]**

68 molto distanti	64 molto distanti	103 molto distanti				
----------------------	----------------------	-----------------------	--	--	--	--

Condizioni della discontinuità			
Persistenza [cm]			
900	240	240	
Media	bassa	bassa	
Apertura [mm]			
20	20	20	
Ampie	Ampie	Ampie	
JRC – Joint Roughness Coefficient			
16-18	14-16	6-8	
Riempimento			
Assente			
Alterazione			
Fortemente alterata in superficie per effetto del carsismo; matrice interna sostanzialmente intatta.			

Condizioni generali idrauliche
Umida



**Commenti:**  
Si individua un set di giunti (Ks) sub-orizzontale rappresentato dalla stratificazione;  
I set K2 e k3 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale.

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	4.0
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	100%

**Classificazione geomeccanica RMR - Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	4
RQD%:	20
Spaziatura:	15
Condizioni della discontinuità:	13
Condizioni idrauliche	10
Totale punteggio	62

**Commenti:**

Si stima un incremento della qualità dell'ammasso roccioso con la profondità dovuto principalmente alla chiusura delle fratture sotto il carico litostatico.

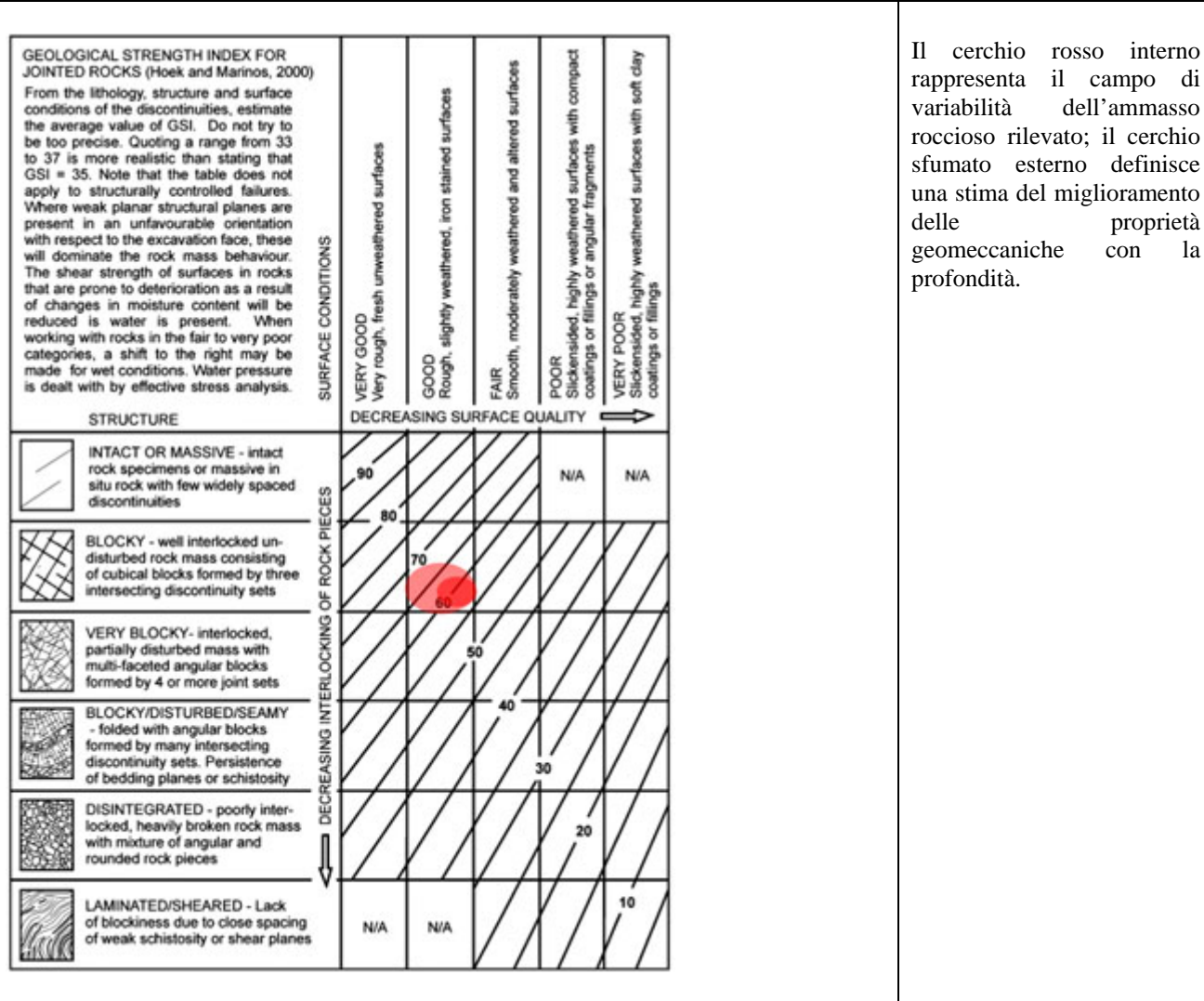
Valore RMRb assunto

**62**

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**II**

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

**55 - 60**

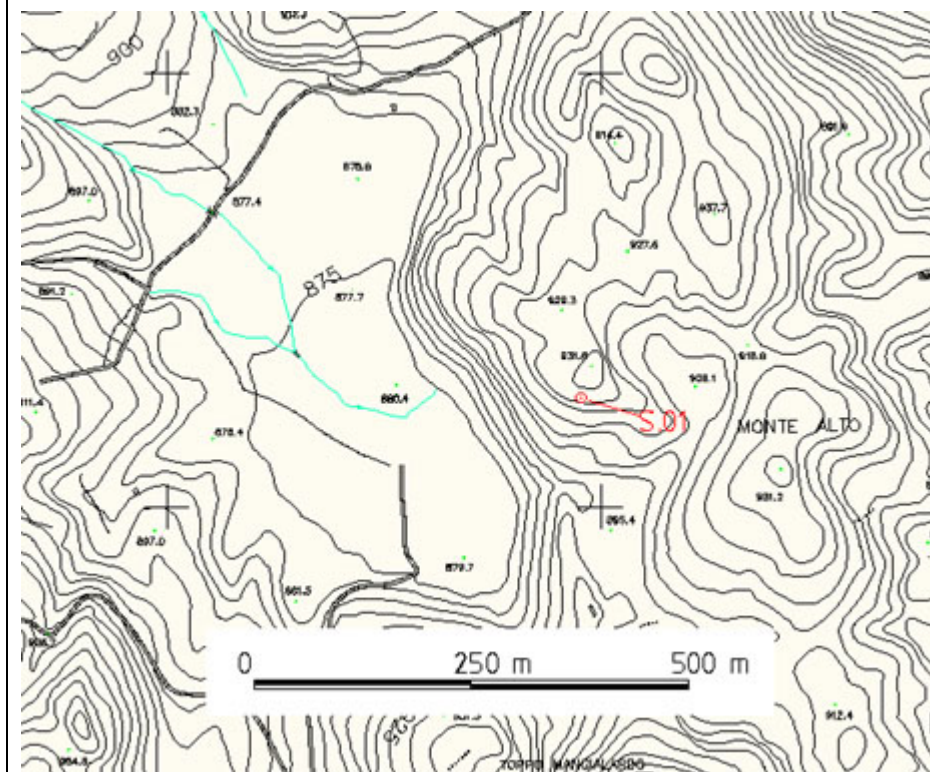
**Fotografie:**

*Foto 01\_29092010:*





Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



STAZIONE ST.02

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 02 (M. Alto)	Coordinate del punto X=2490579 m Est Y=4573983 m Nord Z= 935 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 230 N 80	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è individuabile in corrispondenza dei crinali che si sviluppano a nord di M. Alto. La parete rocciosa è costituita dall'affioramento delle testate di strato in corrispondenza quasi del crinale (lunghezza ca. 10 m, altezza complessiva 2-3 m).

Si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi regolare, in cui si individuano tre sistemi di discontinuità, tutte discretamente persistenti. Il set considerato principale, coerente con la stratificazione, presenta spaziatura confrontabile con gli altri due sistemi. La roccia si presenta mediamente resistente, alterata in superficie per effetto del carsismo, tuttavia la matrice rocciosa appare sostanzialmente intatta.

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione è sub-orizzontale e presenta spessore regolare, decimetrico (bancate). Sovente si notano strutture di amalgamazione erosiva negli strati.

La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento, si individuano anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata.

L'affioramento presenta colorazioni grigiastre con tonalità chiare, localmente biancastre; le superfici di fatturazione presentano strutture stilolitiche (Ks e K1) ed evidenze di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico (campi solcati, ecc...).

**Giacitura discontinuità**

Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
00 N 02	265 N 62	150 N 85				

**Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale  $\sigma_c$  (MPa)**

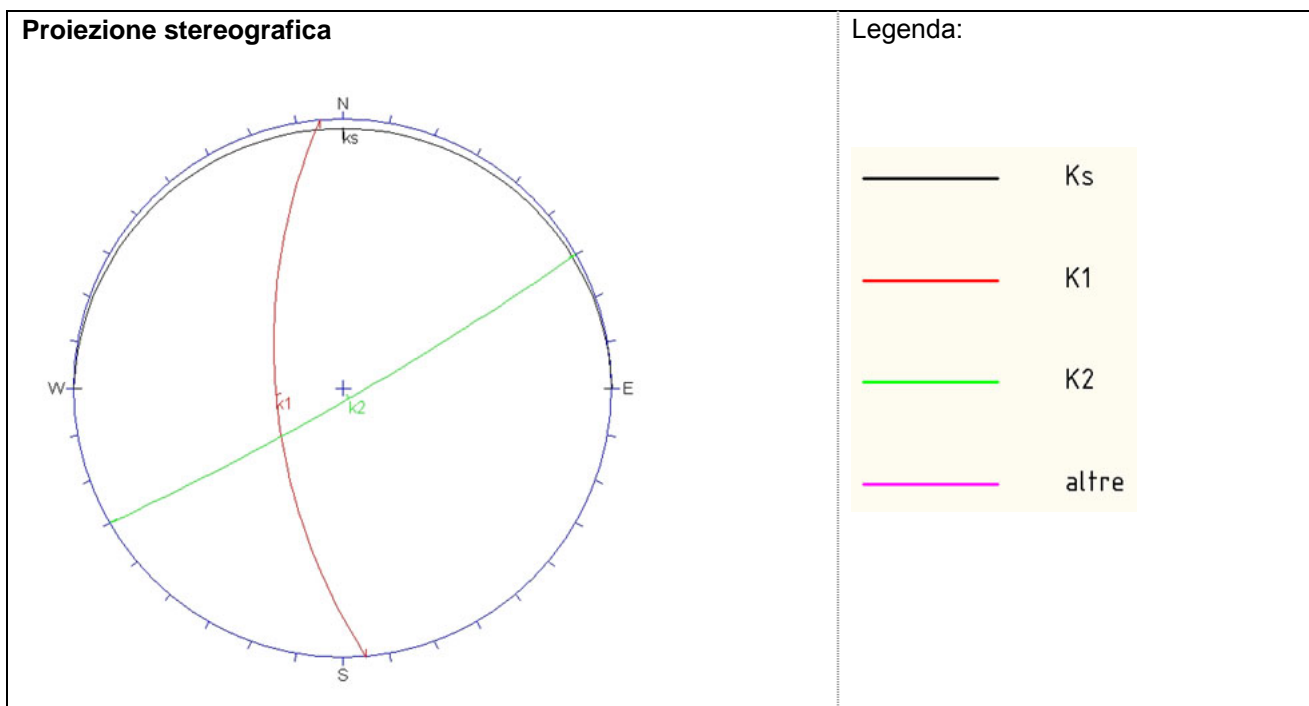
50

**Spaziatura [cm]**

80 molto distanti	110 molto distanti	124 molto distanti				
----------------------	-----------------------	-----------------------	--	--	--	--

<b>Condizioni della discontinuità</b>			
Persistenza [cm]			
1000	180	180	
Media	bassa	bassa	
Apertura [mm]			
20	20	20	
Ampie	Ampie	Ampie	
JRC – Joint Roughness Coefficient			
16-18	14-16	6-8	
Riempimento			
Assente			
Alterazione			
Fortemente alterata in superficie per effetto del carsismo; matrice interna sostanzialmente intatta.			

<b>Condizioni generali idrauliche</b>
Umida



**Commenti:**  
Si individua un set di giunti (Ks) sub-orizzontale rappresentato dalla stratificazione; I set K2 e k3 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale.

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	3.0
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	100%

**Classificazione geomeccanica RMR – Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	4
RQD%:	20
Spaziatura:	15
Condizioni della discontinuità:	13
Condizioni idrauliche	10
<b>Totale punteggio</b>	<b>62</b>

**Commenti:**

Si stima un incremento della qualità dell'ammasso roccioso con la profondità dovuto principalmente alla chiusura delle fratture sotto il carico litostatico.

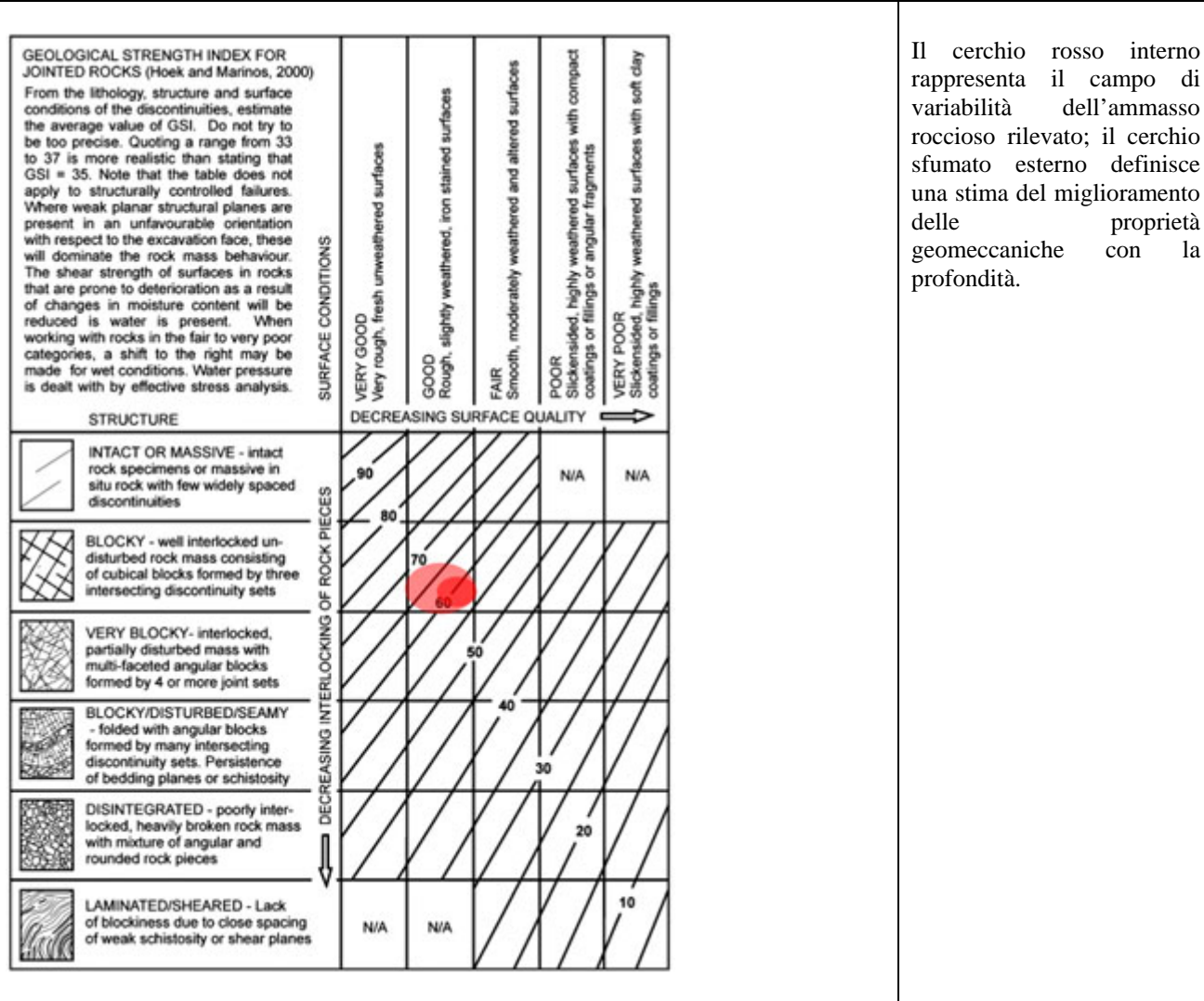
Valore RMRb assunto

**62**

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**II**

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

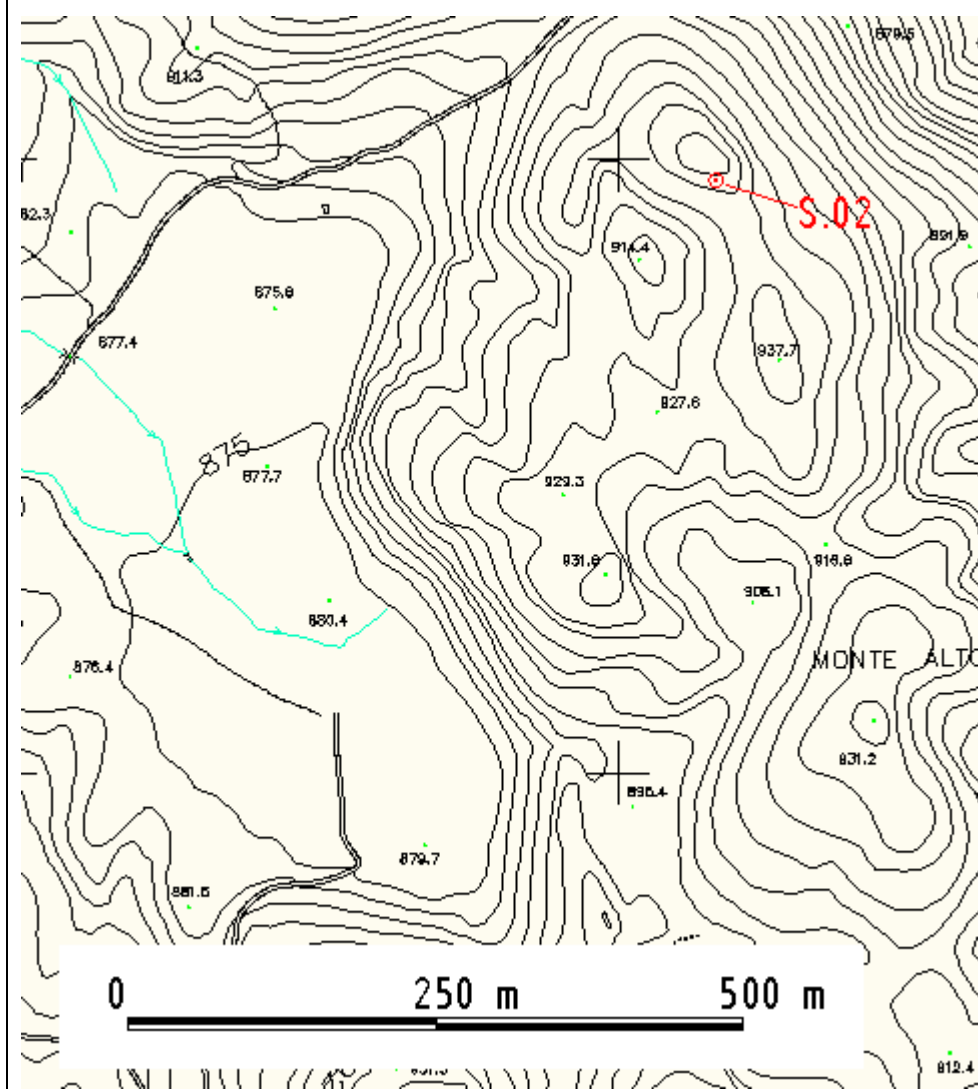
**55 - 60**

**Fotografie:**

Foto 02\_29092010:



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



STAZIONE ST.03

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 03 (M. Alto)	Coordinate del punto X=2490630 m Est Y=4573787 m Nord Z= 930 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 200 N 80	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è individuabile in corrispondenza dei crinali che si sviluppano appena a nord di M. Alto. La parete rocciosa è costituita dall'affioramento delle testate di strato in corrispondenza del crinale (lunghezza ca. 10 m, altezza complessiva 4-5 m).

Si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi regolare, localmente a lastre, in cui si individuano tre sistemi di discontinuità, tutte discretamente persistenti. Il set considerato principale, coerente con la stratificazione, presenta spaziatura confrontabile con gli altri due sistemi. La roccia si presenta mediamente resistente, alterata in superficie per effetto del carsismo, tuttavia la matrice rocciosa appare sostanzialmente intatta.

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione è sub-orizzontale e presenta spessore regolare, decimetrico (bancate). Sovente si notano strutture di amalgamazione erosiva negli strati.

La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento, si individuano anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata.

L'affioramento presenta colorazioni grigiastre con tonalità chiare, localmente biancastre; le superfici di fatturazione presentano strutture stilolitiche (Ks e K1) ed evidenze di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico (campi solcati, ecc...).

**Giacitura discontinuità**

Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
00 N 00	195 N 83	298 N 83				

**Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale  $\sigma_c$  (MPa)**

40

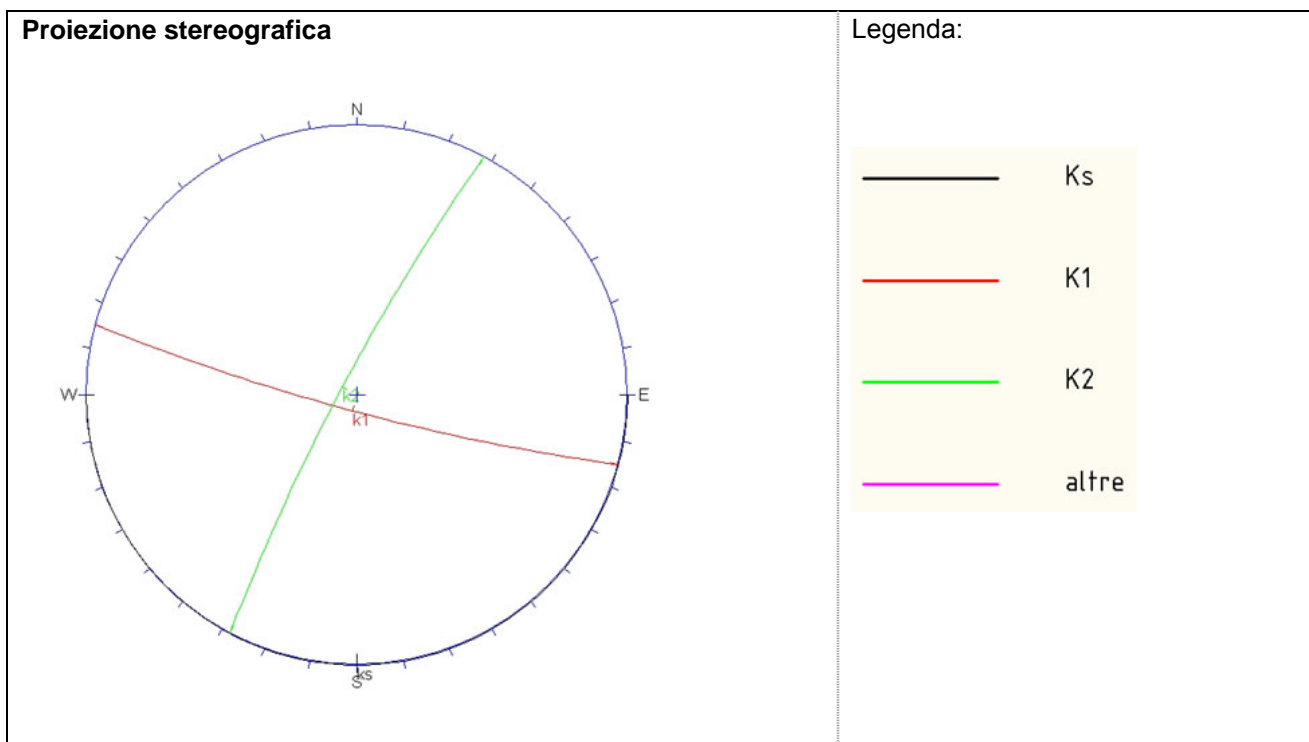
**Spaziatura [cm]**

21 distanti	104 molto distanti	91 molto distanti				
----------------	-----------------------	----------------------	--	--	--	--



Condizioni della discontinuità			
Persistenza [cm]			
1000	180	180	
Media	bassa	bassa	
Apertura [mm]			
9	20	20	
molto aperte	Ampie	Ampie	
JRC – Joint Roughness Coefficient			
14-16	12-14	6-8	
Riempimento			
Assente			
Alterazione			
Fortemente alterata in superficie per effetto del carsismo; matrice interna sostanzialmente intatta.			

Condizioni generali idrauliche
Umida



**Commenti:**

Si individua un set di giunti (Ks) orizzontale rappresentato dalla stratificazione (non visibile nello stereogramma poiché coincidente con l'emiciclo);  
I set K2 e k3 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale.

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	6.8
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	93%

**Classificazione geomeccanica RMR - Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	4
RQD%:	20
Spaziatura:	15
Condizioni della discontinuità:	13
Condizioni idrauliche	10
Totale punteggio	62

**Commenti:**

Si stima un incremento della qualità dell'ammasso roccioso con la profondità dovuto principalmente alla chiusura delle fratture sotto il carico litostatico.

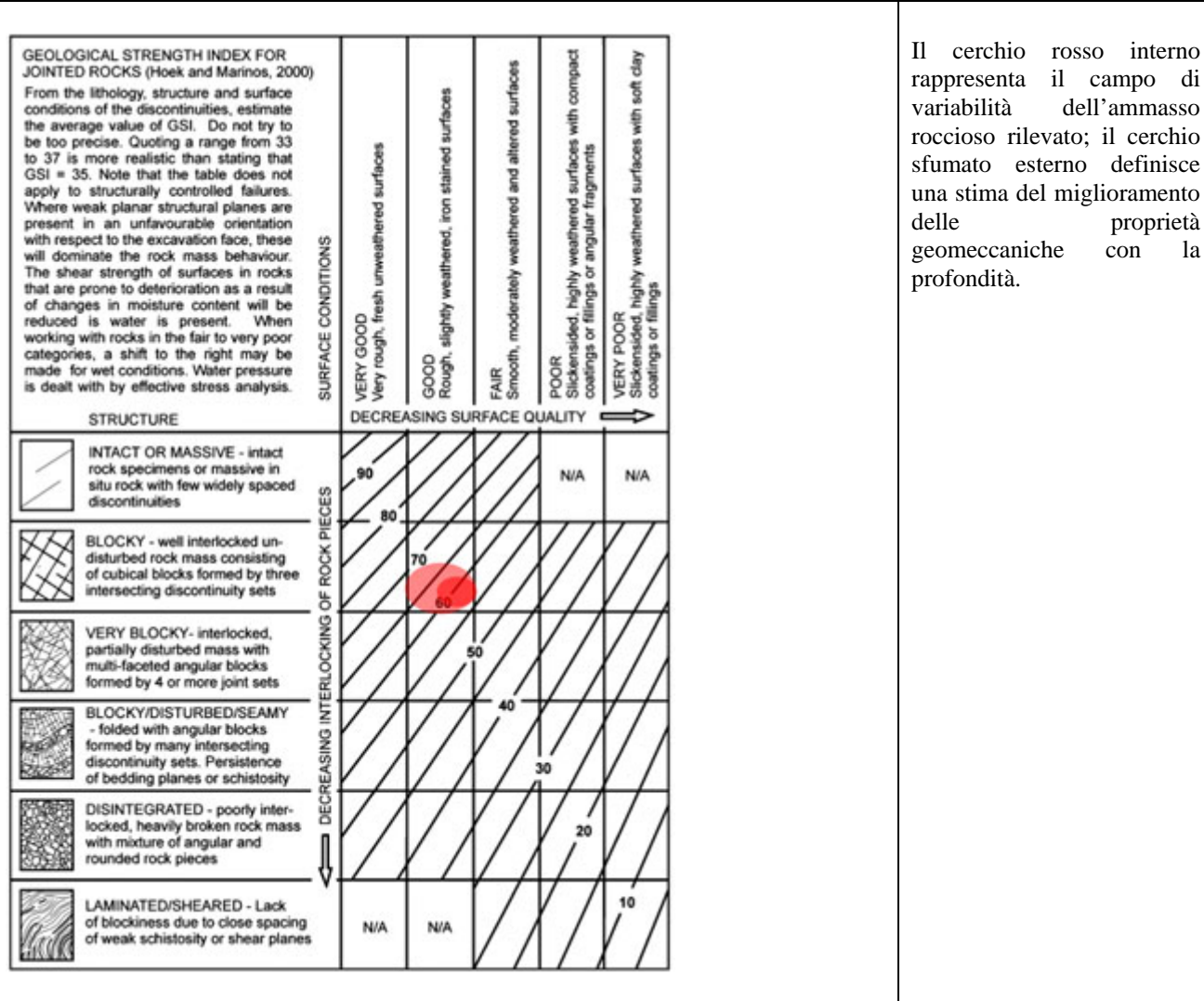
Valore RMRb assunto

**62**

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**II**

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)

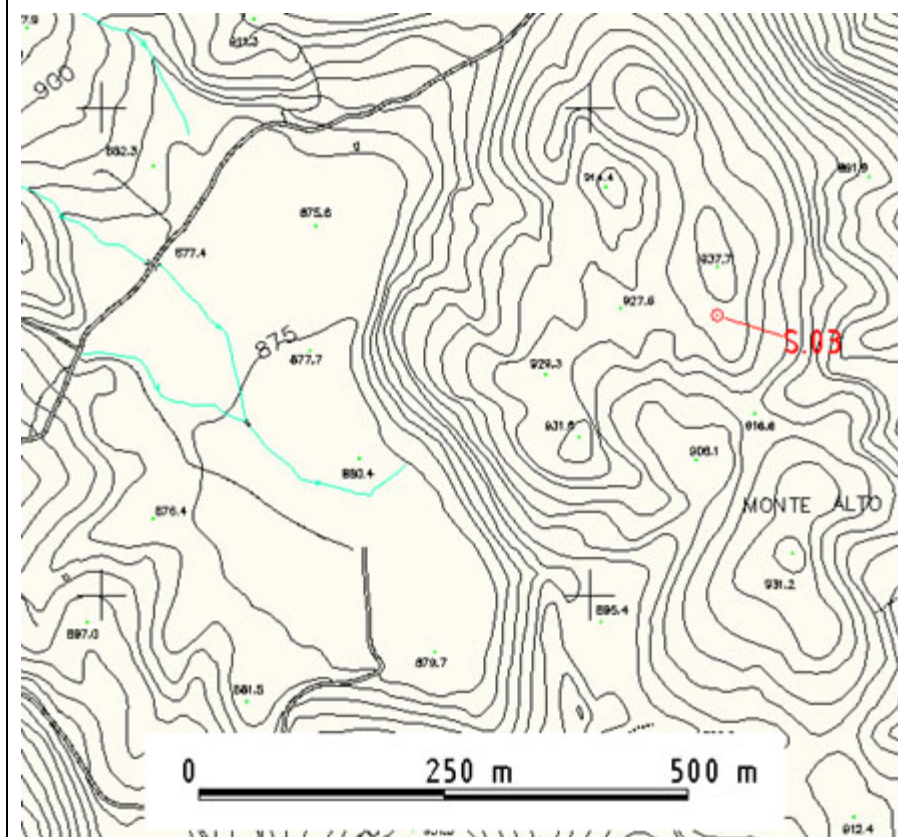
55 - 60

**Fotografie:**

*Foto 03\_29092010:*



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



STAZIONE ST.04

<b>RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)</b>	
Identificazione stazione: 04 (bacino di Lagospino)	Coordinate del punto X=2490334 m Est Y=4573652 m Nord Z= 880 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 235 N 80	

**DATI**

<b>Descrizione del sito e dell'affioramento:</b>
L'affioramento è individuabile quasi alla base del versante nei pressi del bacino di Monte Alto. La parete rocciosa è costituita dall'affioramento delle testate di strato in corrispondenza del versante (lunghezza ca. 8 m, altezza complessiva 3 m). Si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi regolare, localmente a lastre, in cui si individuano tre sistemi di discontinuità, tutte discretamente persistenti. Il set considerato principale, coerente con la stratificazione, presenta spaziatura confrontabile con gli altri due sistemi. La roccia si presenta mediamente resistente, alterata in superficie per effetto del carsismo, tuttavia la matrice rocciosa appare sostanzialmente intatta.
<b>Litologia, note strutturali alla mesoscala:</b>
L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione è sub-orizzontale e presenta spessore regolare, decimetrico (bancate). Sovente si notano strutture di amalgamazione erosiva negli strati. La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento, si individuano anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata. L'affioramento presenta colorazioni grigiastre con tonalità chiare, localmente biancastre; le superfici di fatturazione presentano strutture stilolitiche (Ks e K1) ed evidenze di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico (campi solcati, ecc...).

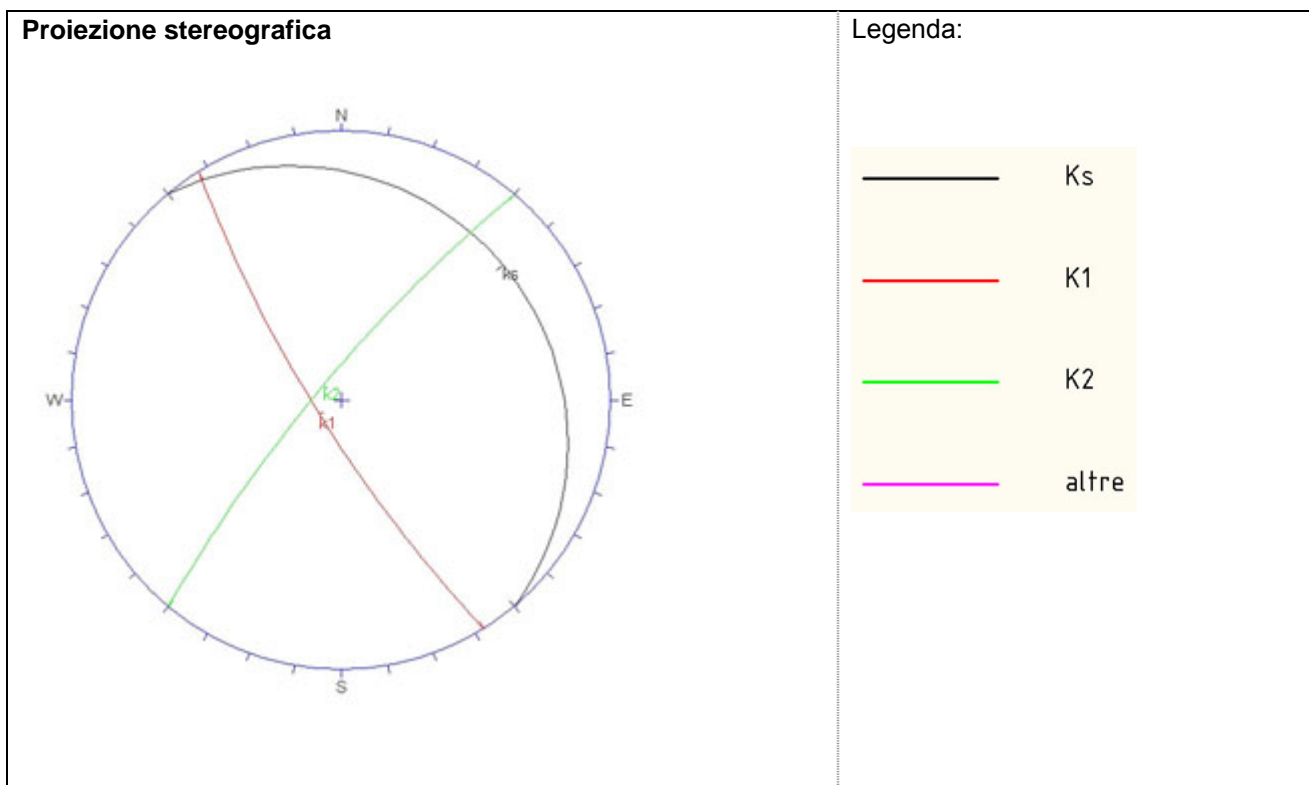
<b>Giacitura discontinuità</b>						
Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
50 N 14	238 N 79	310 N 80				

<b>Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale <math>\sigma_c</math> (MPa)</b>
50

<b>Spaziatura [cm]</b>						
70	60	105				
molto distanti	molto distanti	molto distanti				

Condizioni della discontinuità			
Persistenza [cm]			
720 media	180 bassa	180 bassa	
Apertura [mm]			
20 ampie	20 Ampie	20 Ampie	
JRC – Joint Roughness Coefficient			
16-18	14-16	6-8	
Riempimento			
Assente			
Alterazione			
Fortemente alterata in superficie per effetto del carsismo; matrice interna sostanzialmente intatta.			

Condizioni generali idrauliche
Umida



**Commenti:**  
Si individua un set di giunti (Ks) sub-orizzontale rappresentato dalla stratificazione;  
I set K2 e k3 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale.

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	4.0
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	100%

**Classificazione geomeccanica RMR - Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	4
RQD%:	20
Spaziatura:	15
Condizioni della discontinuità:	12
Condizioni idrauliche	10
Totale punteggio	61

**Commenti:**

Si stima un incremento della qualità dell'ammasso roccioso con la profondità dovuto principalmente alla chiusura delle fratture sotto il carico litostatico.

Valore RMRb assunto

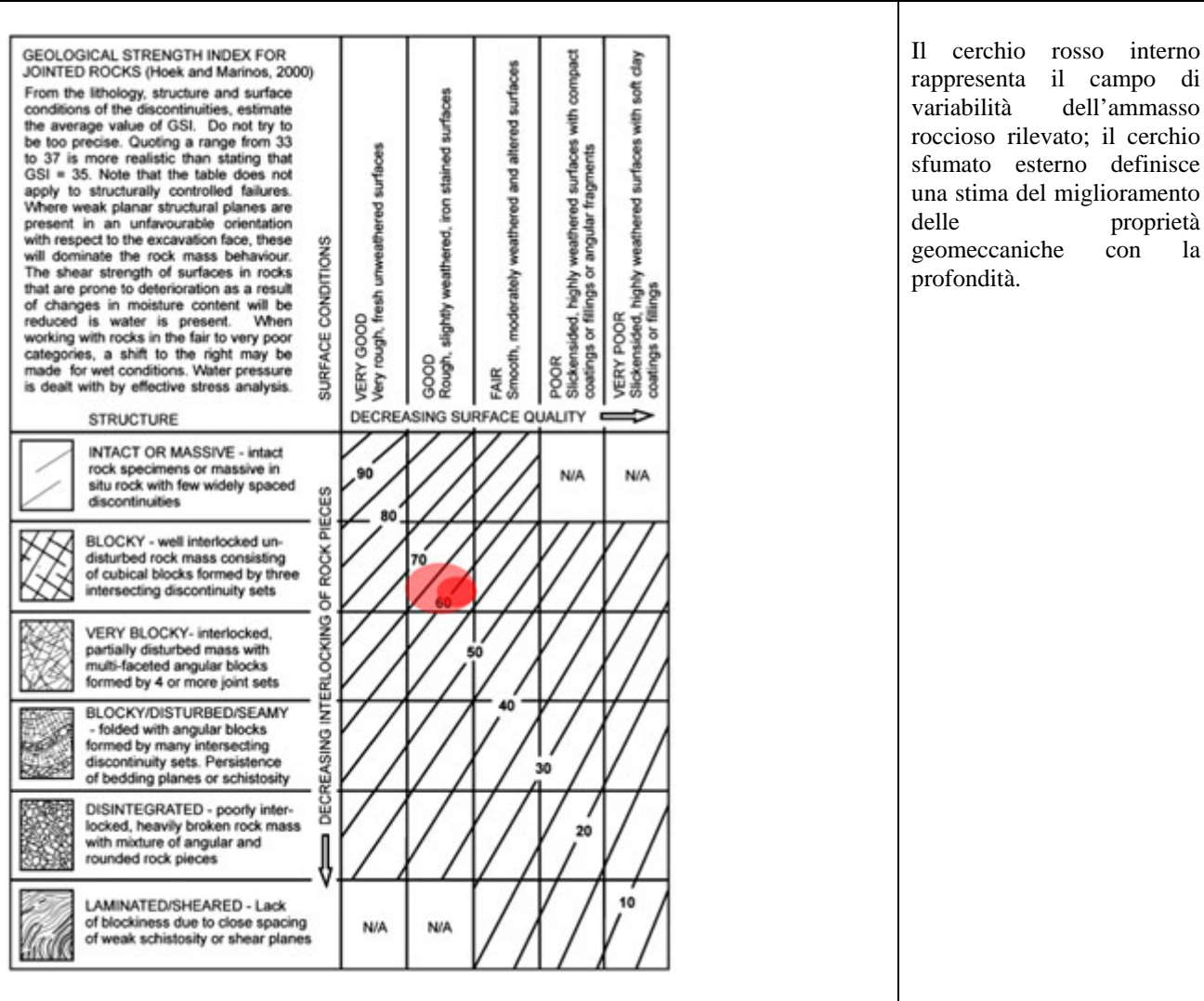
**61**

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**II**



**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

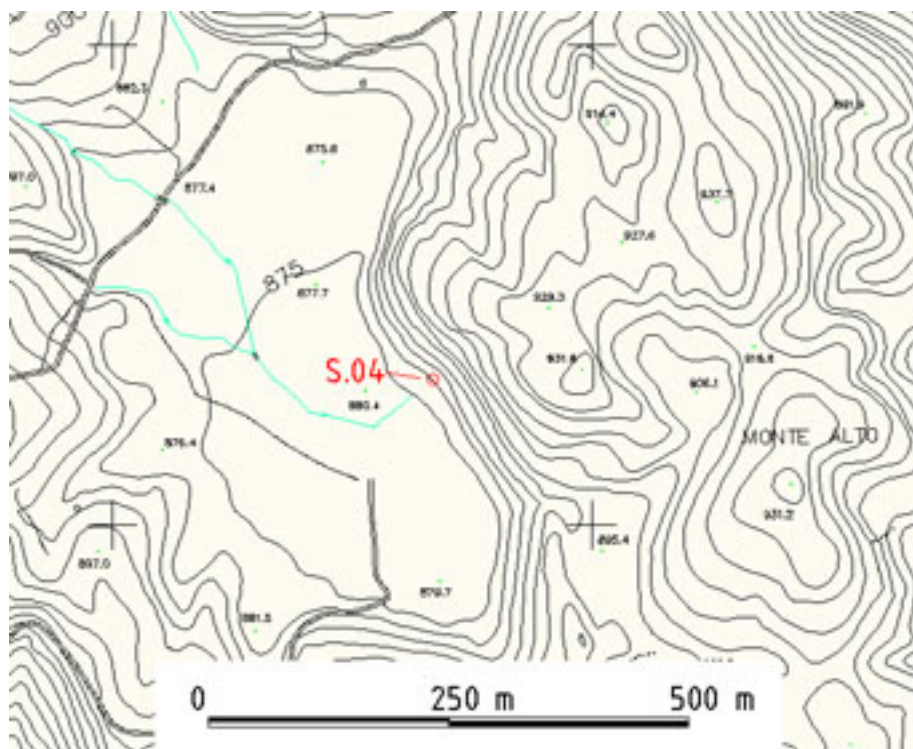
**55 - 60**

**Fotografie:**

Foto  
04\_29092010:



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



STAZIONE ST.05

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 05 (bacino di Lagospino)	Coordinate del punto X=2490292 m Est Y=4573818 m Nord Z= 880 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 300 N 80	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è individuabile in corrispondenza della base del versante est del bacino di Monte Alto. La parete rocciosa è costituita da un affioramento ben visibile dalla piana, malgrado sia coperto parzialmente da vegetazione (lunghezza ca. 15 m, altezza complessiva 7 m).

Si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi sostanzialmente regolare, in cui si individuano tre sistemi di discontinuità principali più altre fratture avente interesse solo locale. Il set considerato principale, coerente con la stratificazione, presenta spaziatura confrontabile con gli altri due sistemi. La roccia si presenta mediamente resistente, alterata in superficie per effetto del carsismo, tuttavia la matrice rocciosa appare sostanzialmente intatta.

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione è sub-orizzontale e presenta spessore regolare, decimetrico (bancate). Sovente si notano strutture di amalgamazione erosiva negli strati.

La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento, si individuano anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata. Sono state riconosciute inoltre altre fratture, aventi importanza locale, e strie di origine tettonica.

L'affioramento presenta colorazioni grigiastre con tonalità chiare, localmente biancastre; le superfici di fatturazione presentano strutture stilolitiche (Ks e K1) ed evidenze di fenomeni di dissoluzione di tipo carsico (campi solcati, ecc...).

**Giacitura discontinuità**

Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
165 N 12	40 N 88	110 N 72	90 N 72	115 N 55		

**Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale  $\sigma_c$  (MPa)**

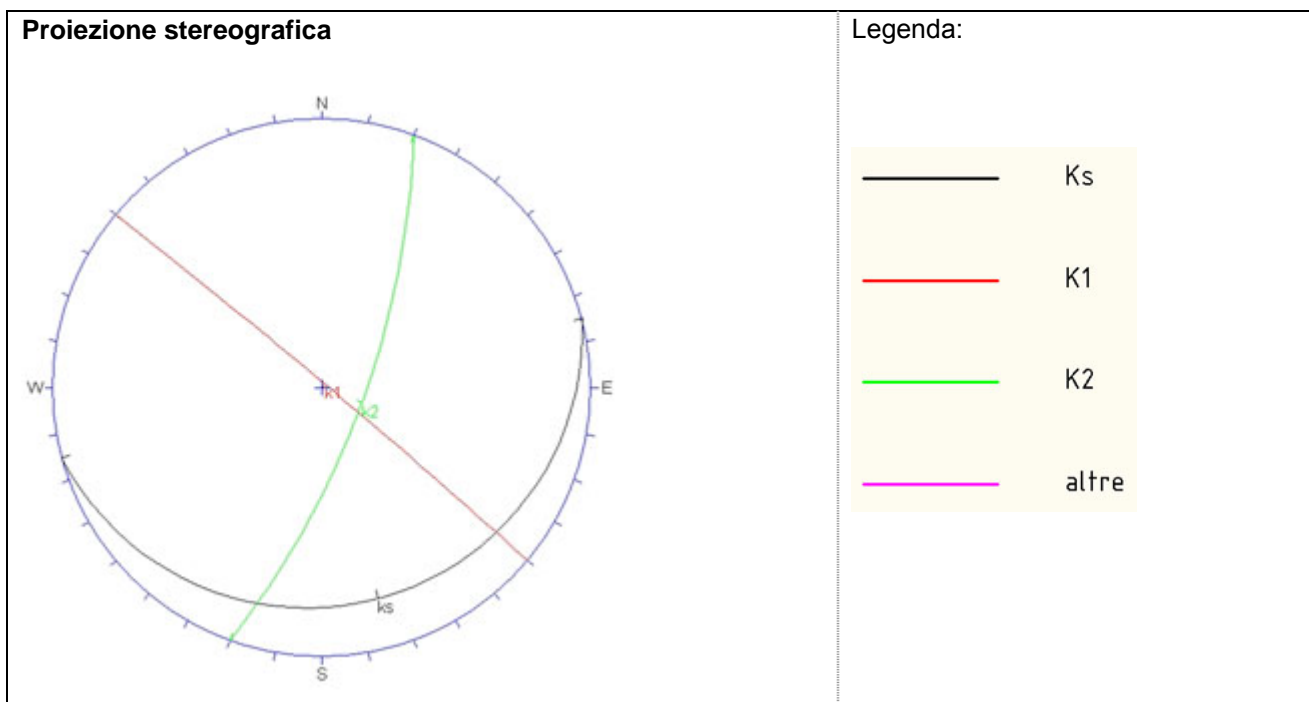
50

**Spaziatura [cm]**

54 distanti	64 molto distanti	111 molto distanti				
----------------	----------------------	-----------------------	--	--	--	--

<b>Condizioni della discontinuità</b>			
Persistenza [cm]			
1350 alta	420 media	420 media	
Apertura [mm]			
10 molto aperte	20 ampie	20 ampie	
JRC – Joint Roughness Coefficient			
12-14	8-10	6-8	
Riempimento			
Assente			
Alterazione			
Moderatamente alterata in superficie per effetto del carsismo; matrice interna sostanzialmente intatta.			

<b>Condizioni generali idrauliche</b>
Umida



**Commenti:**  
Si individua un set di giunti (Ks) sub-orizzontale rappresentato dalla stratificazione; I set K2 e k3 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale.

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	4.3
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	100%

**Classificazione geomeccanica RMR – Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	4
RQD%:	20
Spaziatura:	15
Condizioni della discontinuità:	13
Condizioni idrauliche	10
Totale punteggio	62

**Commenti:**

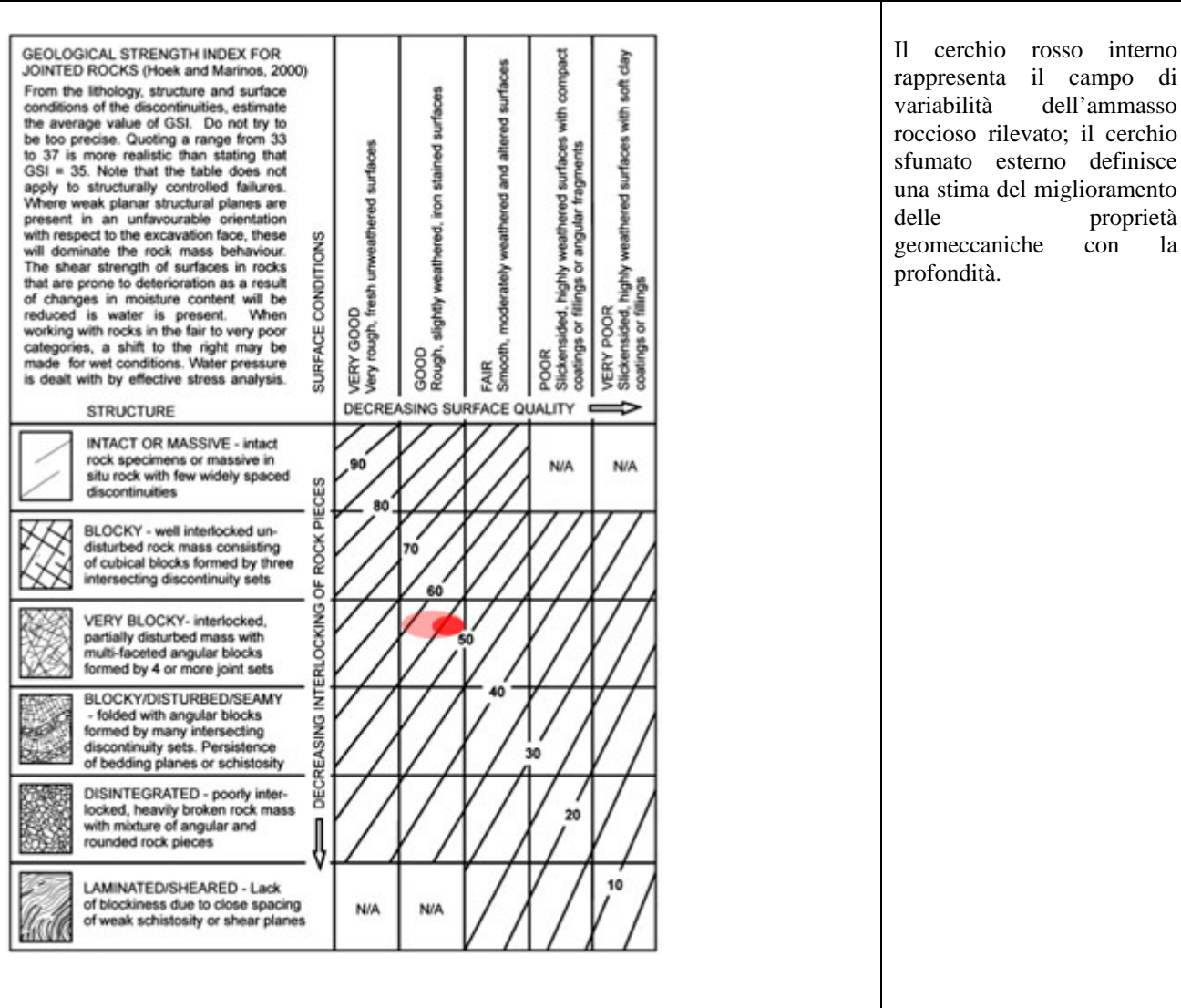
Si stima un incremento della qualità dell'ammasso roccioso con la profondità dovuto principalmente alla chiusura delle fratture sotto il carico litostatico.

Valore RMRb assunto	<b>62</b>
---------------------	-----------

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**II**

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



Il cerchio rosso interno rappresenta il campo di variabilità dell'ammasso roccioso rilevato; il cerchio sfumato esterno definisce una stima del miglioramento delle proprietà geomeccaniche con la profondità.

**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

**55 - 60**

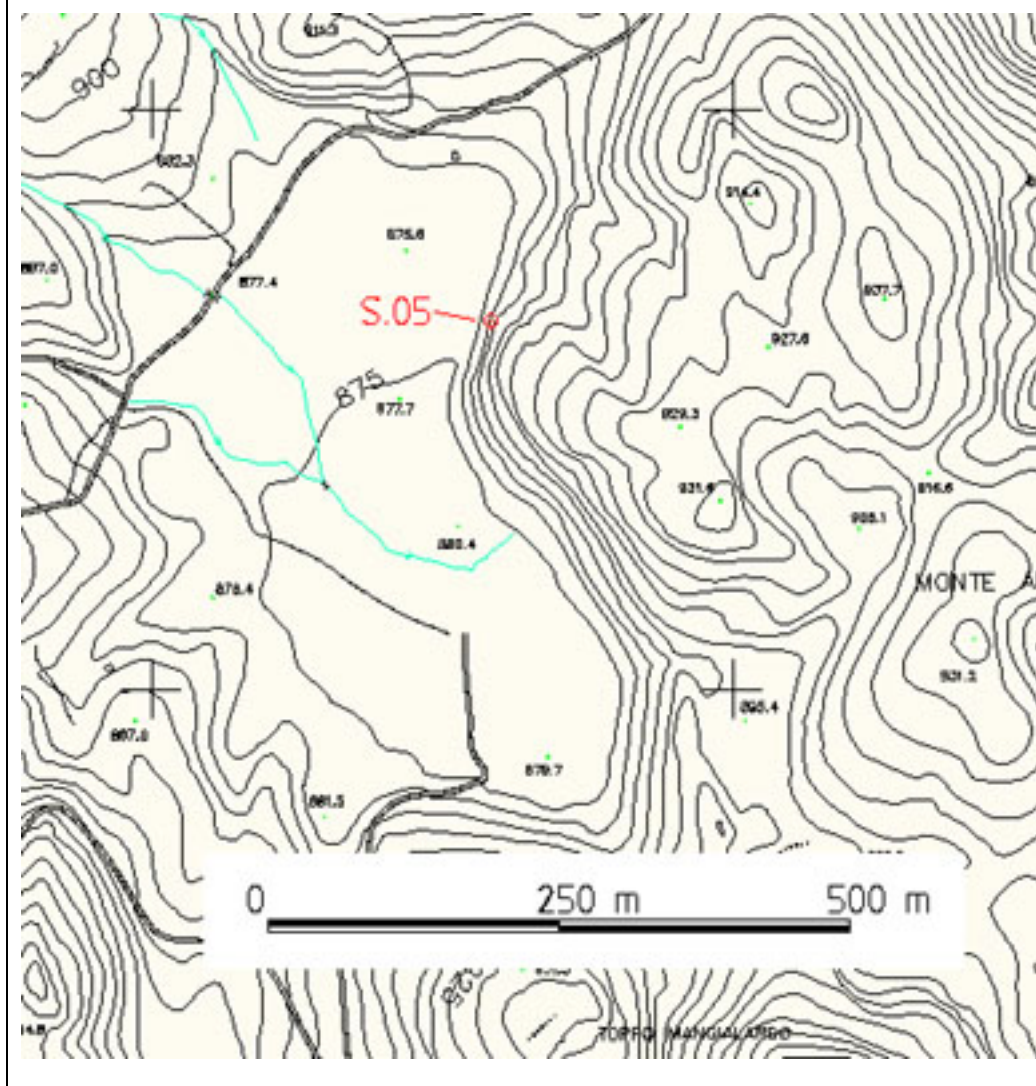
**Fotografie:**

*Foto 05\_29092010:*





Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



STAZIONE ST.06

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 06 (Cave Ciarli)	Coordinate del punto X=2493919 m Est Y=4573309 m Nord Z= 593 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 45 N 80	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è rappresentato dal fronte di cava in località Ciarli; in particolare si tratta della terza area di cava (quella a quota maggiore) provenendo dal centro abitato. La parete rocciosa è circa verticale, ad andamento rettilineo con piana a L secondo due direzioni (E-O lato lungo e NO-SE lato corto), le dimensioni totali (stimate) sono di circa 50 m di lunghezza per 8-10 m di altezza. La roccia affiora in quasi tutta la superficie esposta, alla base della parete vi è un po' di materiale detritico che parzialmente ricopre l'affioramento; in sommità si denota la presenza di un ridotto spessore di terreno umico.

In alcune porzioni dell'affioramento si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi o a lastre, in funzione dello spessore della stratificazione; nelle parti rimanenti (minoritarie) la struttura appare notevolmente fagliata e fratturata, fino a disintegrata.

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione appare leggermente inclinata verso i quadranti SE e presenta spessore decimetro abbastanza regolare; si riconosce un livello presumibilmente argillitico verdastro di spessore centimetrico nella parte mediana dell'affioramento (non direttamente accessibile) che costituisce un ottimo marker ai fini dell'individuazione di possibili dislocazioni. La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento (Ks), si individuano anche altri due sistemi di fratturazione aventi inclinazione elevata (K1 e K2); sono state riconosciute altre fratture, alcune di queste aventi orientazione random, altre coniugate ai sistemi principali predetti (K2b). L'affioramento presenta colorazioni biancastre prevalenti e locali superfici di alterazione giallognole situate in vicinanze delle principali strutture tettoniche, denotando in passato una qualche circolazione di fluidi all'interno dell'ammasso roccioso.

**Giacitura discontinuità**

Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>		K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
155 N 20	215 N 78	90 N 65	275 N 72			

**Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale  $\sigma_c$  (MPa)**

60

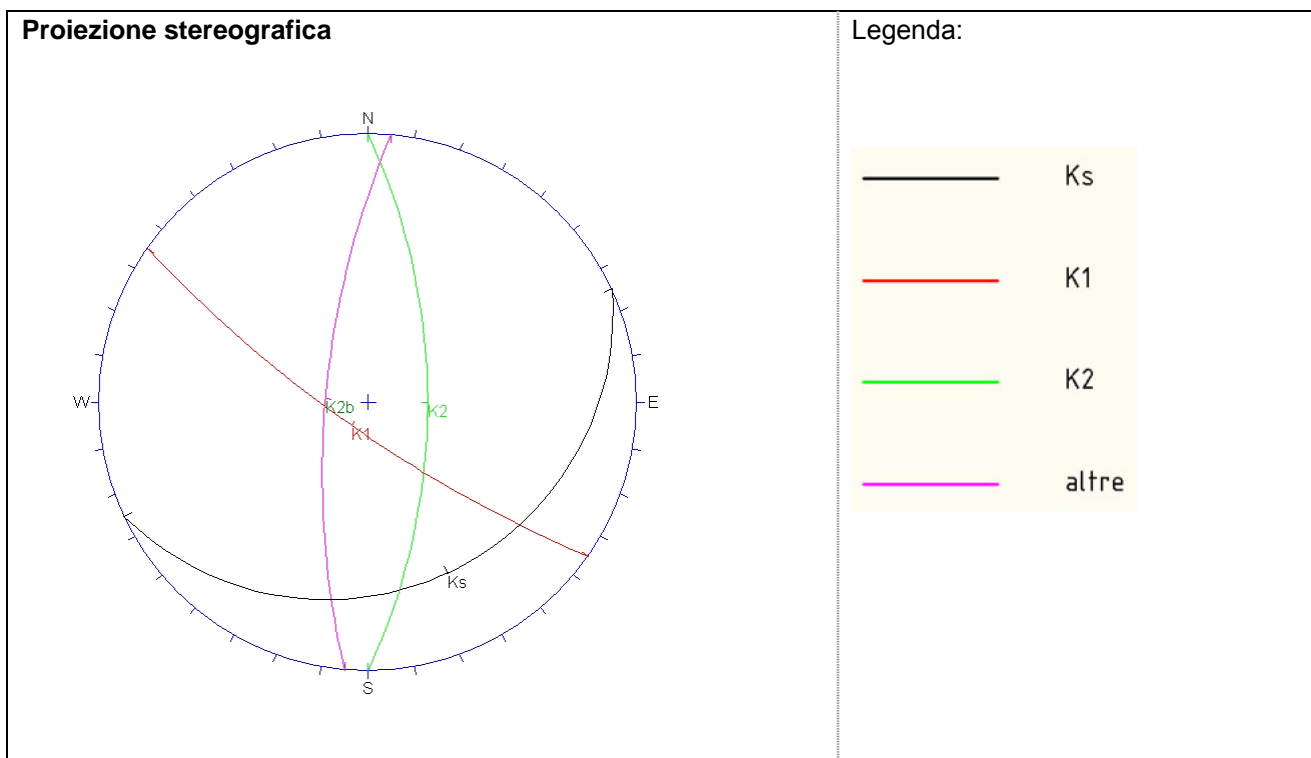
**Spaziatura [cm]**

53

distanti

<b>Condizioni della discontinuità</b>
Persistenza [cm]
500 media
Apertura [mm]
10 molto aperte
JRC – Joint Roughness Coefficient
8-10
Riempimento
Riempimento essenzialmente non coesivo > 5 mm
Alterazione
Leggermente alterata (da non alterata ad alterata in prossimità delle faglie)

<b>Condizioni generali idrauliche</b>
Umida



<b>Commenti:</b>
Si individua un set di giunti (Ks) a basso angolo rappresentato dalla stratificazione; I set K1 e k2 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale; Il set K2b, coniugato di K2, è sporadico (spaziature decametriche?), tuttavia presenta persistenze elevate (100%)

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	5.7
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	90%

**Classificazione geomeccanica RMR – Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	7
RQD%:	17
Spaziatura:	10
Condizioni della discontinuità:	12
Condizioni idrauliche	10
<b>Totale punteggio</b>	<b>56</b>

**Commenti:**

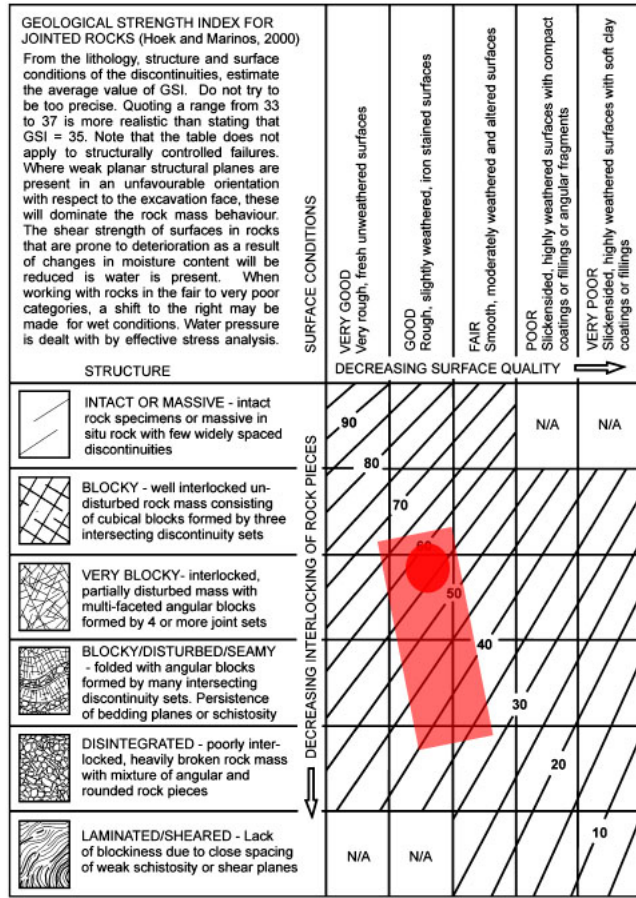
Il valore degli indici devono essere considerati valori medi per l'ammasso roccioso considerato, tenuto conto le condizioni di roccia sostanzialmente intatta e porzioni di roccia fagliata/cataclasata.

Valore RMRb assunto	<b>56</b>
---------------------	-----------

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**III**

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



Il cerchio rosso rappresenta il campo di variabilità dell'ammasso roccioso rilevato in condizioni ordinarie; il rettangolo indica il campo di variabilità dovuto alla presenza di faglie.

**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

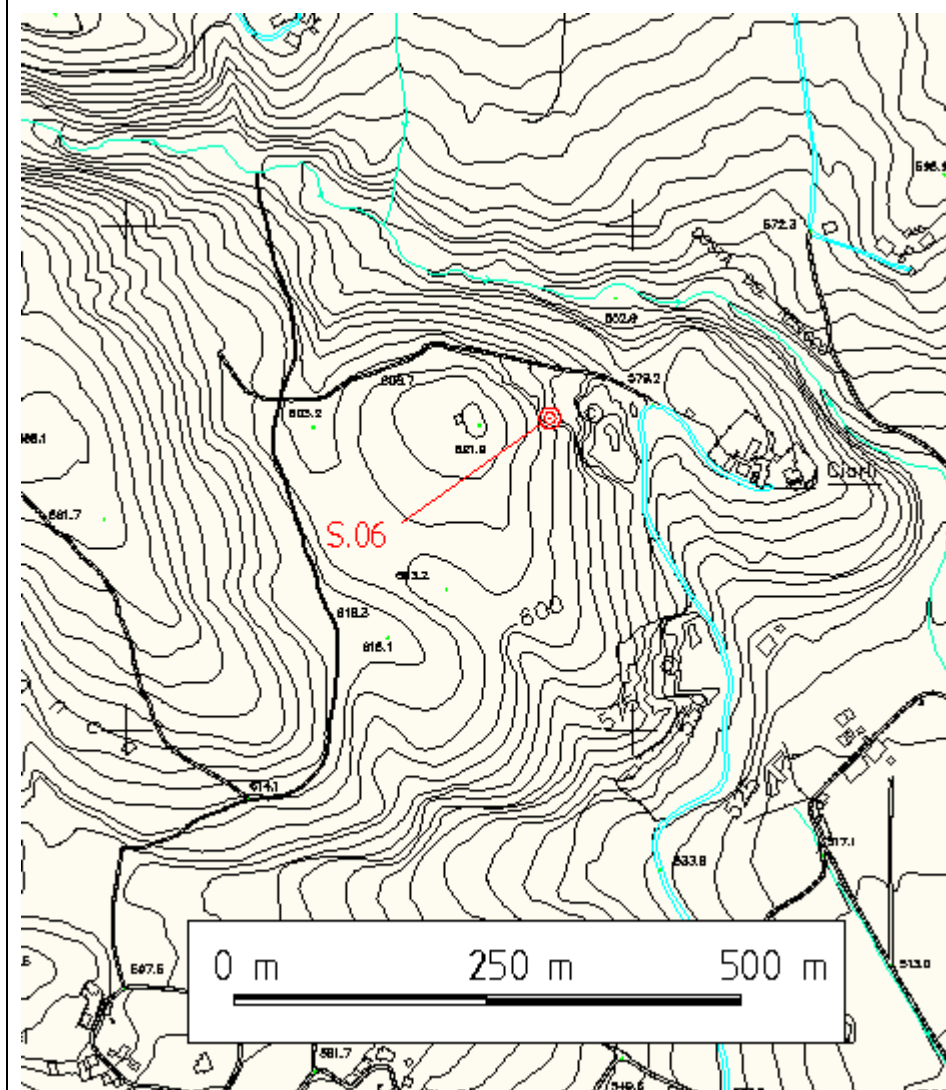
**med. = 56**  
**max = 60**  
**faglia = 35**

**Fotografie:**

Foto 06\_18112010:



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



## STAZIONE ST.07

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 07 (Cave Ciarli)	Coordinate del punto X=2494024 m Est Y=4573072 m Nord Z= 545 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 90 N 80 (stimata)	

**DATI****Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è rappresentato dal fronte di cava in località Ciarli; in particolare si tratta della prima area di cava (quella a quota inferiore) provenendo dal centro abitato. Si tratta di tre pareti circa verticali che formano sostanzialmente tre lati di un rettangolo (lato lungo ca. N-S) le dimensioni totali (stimate) sono di circa 150 m di lunghezza complessiva per 8-10 m di altezza. La roccia affiora praticamente in quasi tutta la superficie esposta, alla base della parete vi è un po' di materiale detritico che parzialmente ricopre l'affioramento; in sommità si denota la presenza di un ridotto spessore di terreno umico.

In alcune porzioni dell'affioramento si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi o a lastre, in funzione dello spessore della stratificazione; in altre le strutture sedimentarie sono completamente oblitrate dalle deformazioni tettoniche (faglie), denotando un aspetto fratturato, sbrecciato (breccia di frizione) o di roccia disgregata (cataclasite).

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

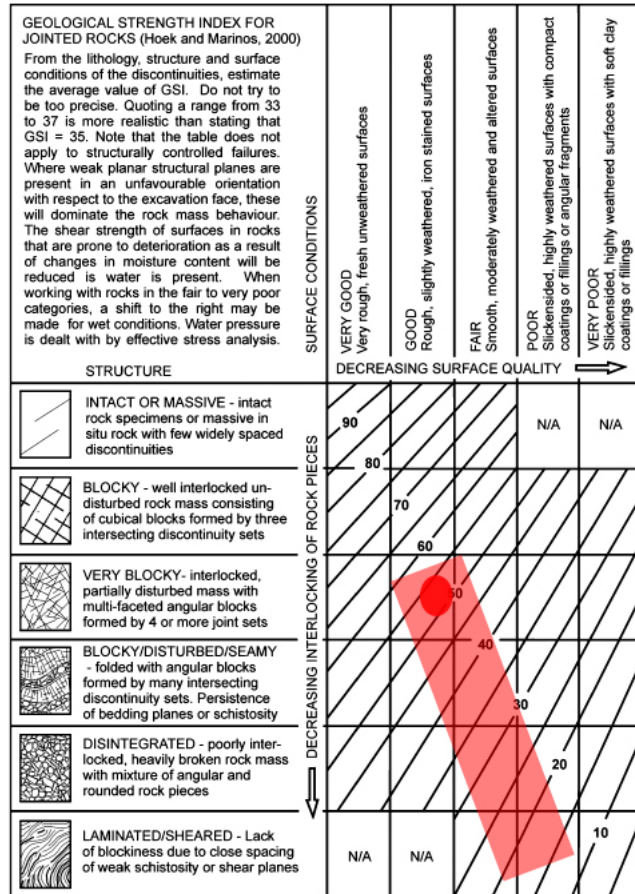
L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione, quando riconoscibile, appare mediamente inclinata verso i quadranti E e presenta spessore decimetro o pluridecimetrico. Sempre in corrispondenza di porzioni di roccia sostanzialmente intatte, la stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento (Ks), si individuano anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata (K1 e K2) più altre fratture, alcune di queste aventi orientazione random, altre coniugate ai sistemi principali predetti (K2b).

Gli strati vengono più volte ribassati ad opera di faglie normali ad andamento mediamente N-S riconoscibili specialmente lungo la parete S della cava, dove sembrano siano stati meno intensi i fenomeni di fatturazione. La parete O e la parete N denotano una struttura prevalentemente fratturata, brecciata o anche cataclasata, dove la roccia, si ritrova completamente disgregata (ridotta a ghiaia o sabbia moderatamente cementata). La presenza di alcune concrezioni calcitiche fanno presumere una circolazione di fluidi attualmente non più presente.

In base alle caratteristiche tipiche dell'affioramento appare possibile applicare esclusivamente la classificazione geomeccanica GSI (Hoek & Marinos, 2000); stimando, inoltre, valori di RQD compresi tra 0%-30%



**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



Il cerchio rosso rappresenta il campo di variabilità dell'ammasso roccioso rilevato in condizioni ordinarie; il rettangolo indica il campo di variabilità dovuto alla presenza di faglie.

**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

**med. = 35  
max = 55  
faglia = 15**

**Fotografie:**

*Foto 07\_18112010: Parete S della cava – stratificazione dislocata da faglie noramli*



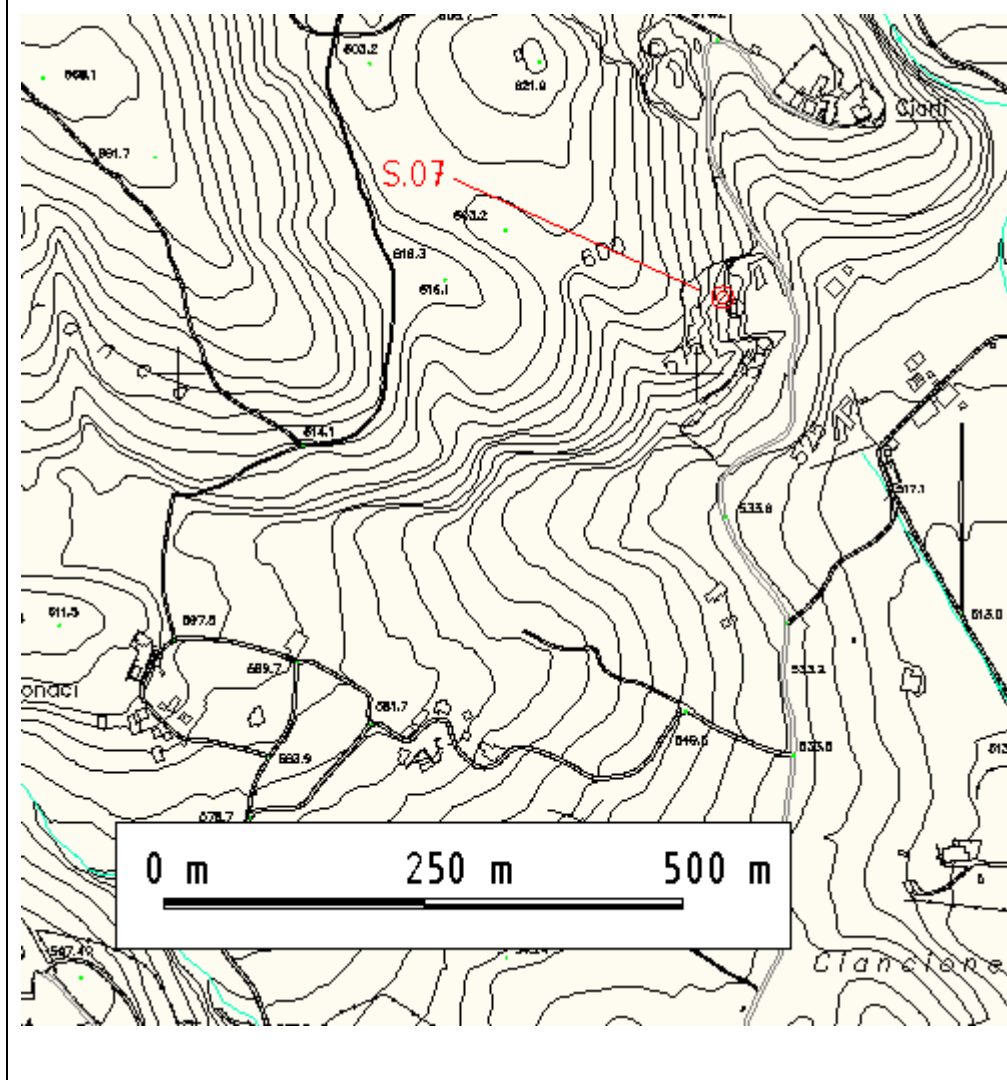
Foto 08\_18112010: Parete N - Roccia variamente fratturata (breccia di frizione)



Foto 09\_18112010: Parete O -. Cataclasite



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:



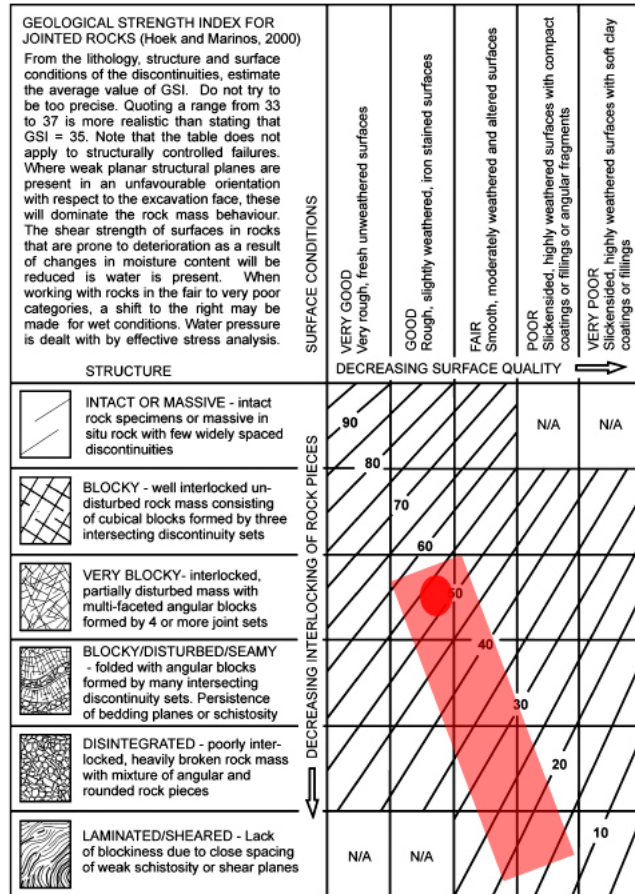
STAZIONE ST.08

<b>RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)</b>	
Identificazione stazione: 08 (pendici E Monte Forgioso)	Coordinate del punto X=2491913 m Est Y=4573518 m Nord Z= 780 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 100 N 80	

**DATI**

<p><b>Descrizione del sito e dell'affioramento:</b></p> <p>Si tratta di un intaglio del versante, in particolare modo della scarpata di monte della strada, che porta in esposizione una struttura tettonica (faglia) particolarmente indicativa per le condizioni geologiche di sito. L'affioramento può essere schematizzato come una nicchia larga circa 10 m e alta ca. 4 - 5 m. Al top si riconosce uno strato decimetrico di terreno umico mentre alla base si segnala la presenza di detrito (ghiaietto) proveniente dalla parete in misura significativa.</p> <p>Ai lati si riesce a notare la tipica struttura stratificata dei calcari; venendo al centro la deformazione tettonica rovina completamente le strutture sedimentarie e trasforma l'ammasso roccioso dapprima in breccia di frizione, poi cataclasite. L'alterazione, abbastanza pervasiva, determina colorazioni grigie e giallastre, talvolta ocracee.</p>
<p><b>Litologia, note strutturali alla mesoscala:</b></p> <p>L'affioramento è costituito da prevalenti calcari pseudocristallini biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Flysch Rosso (FYR2). La stratificazione, quando riconoscibile, appare mediamente inclinata verso i quadranti S-E (giacitura media 140N14) e presenta spessore decimetro o pluridecimetrico.</p> <p>Ai lati, in corrispondenza delle porzioni di roccia meno fratturate, la stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento (Ks), si individuano anche altri due sistemi di fratturazione aventi inclinazione elevata (K1 e K2) più altre fratture.</p> <p>Al centro, in corrispondenza del contatto tettonico, le strutture sedimentarie diventano irriconoscibili (breccia di faglia e cataclasite).</p> <p>Le colorazioni bruno-ocracee dell'affioramento e la quantità elevata di detrito al piede fanno ritenere la matrice rocciosa alterata anche in profondità, probabilmente anche a causa di una discreta circolazione idrica avvenuta in passato. Lungo il perimetro N dell'incisione si riconosce uno specchio di faglia con le relative strie e gradini: il piano presenta giacitura 7N69 e le strie hanno pitch 12° verso NO (ca. 338N65).</p> <p>In base alle caratteristiche tipiche dell'affioramento appare possibile applicare esclusivamente la classificazione geomeccanica GSI (Hoek &amp; Marinos, 2000); stimando, inoltre, valori di RQD compresi tra 0% (core zone) e 30% (damage zone).</p> <p>Su base geometrica si ritiene che la struttura intercetti il sondaggio S02 (poco distante) a ca. 60 – 80 dal piano campagna.</p>

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



Il cerchio rosso rappresenta il campo di variabilità dell'ammasso roccioso rilevato in condizioni ordinarie; il rettangolo indica il campo di variabilità dovuto alla presenza di faglie.

**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

**med. = 35  
max = 55  
faglia = 15**

**Fotografie:**

*Foto 10\_19112010: Aspetto dell'incisione – sulla sx si vede la fascia cataclastica; a dx si riconosce ancora la stratificazione*





**Fotografie:**

*Foto 11\_19112010: Specchio di faglia e relative strie di movimento indicante il cinematisimo (movimento verticale prevalente)*





STAZIONE ST.09

<b>RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)</b>	
Identificazione stazione: 09 (Rio Secco)	Coordinate del punto X=2491083 m Est Y=4574088 m Nord Z= 790 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 30 N 45	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**  
Si tratta di un affioramento di dimensioni ridotte individuabile nella parte medio-bassa del versante nei pressi del Rio Secco (lunghezza ca. 8 m, altezza media ca. 3 m).  
Si riconosce una struttura alla mesoscala a blocchi più o meno regolare, in cui si individuano tre sistemi di discontinuità, tutte discretamente persistenti. Il set considerato principale, coerente con la stratificazione, presenta spaziatura confrontabile con gli altri due sistemi. La roccia si presenta mediamente resistente, alterata in superficie, con matrice rocciosa sostanzialmente intatta.

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**  
L'affioramento è costituito da prevalenti calcari micritici biancastri appartenenti verosimilmente al Membro calcareo del Fylsch Rosso (FYR2). La stratificazione è sub-orizzontale e presenta spessore regolare, decimetrico (bancate). Sovente si notano strutture di amalgamazione erosiva negli strati.  
La stratificazione rappresenta il principale set di discontinuità riconoscibile in affioramento, si individuano anche altri due sistemi di fatturazione aventi inclinazione elevata.  
L'affioramento presenta colorazioni grigiastre con tonalità chiare, localmente biancastre; le superfici di fatturazione presentano strutture stilolitiche (Ks e K1).

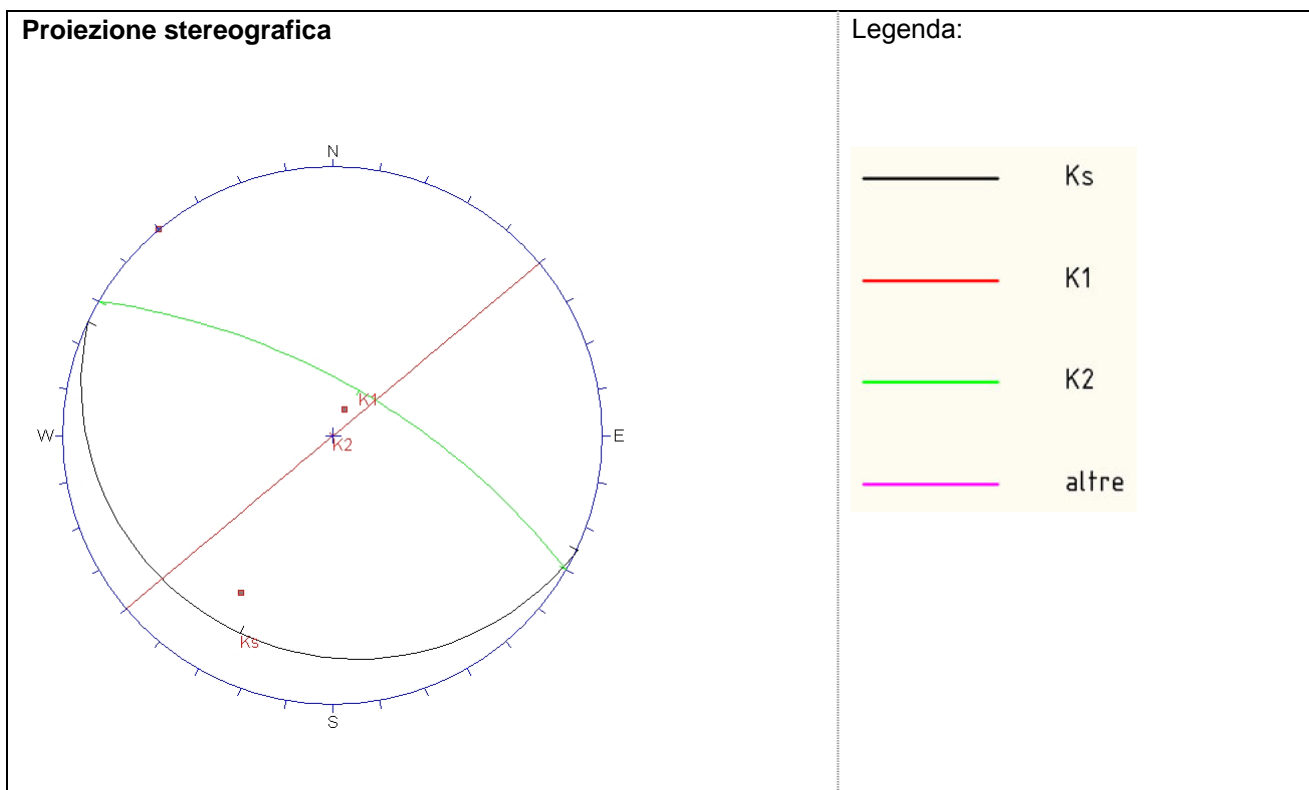
<b>Giacitura discontinuità</b>						
Ks	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>
205 N 12	140 N 90	30 N 68				

**Resistenza del materiale – Resistenza alla compressione monoassiale  $\sigma_c$  (MPa)**  
50

<b>Spaziatura [cm]</b>						
30 distanti	50 distanti	35 distanti				

<b>Condizioni della discontinuità</b>			
Persistenza [cm]			
800 media	60 molto bassa	180 bassa	
Apertura [mm]			
1 aperte	1 aperte	2 aperte	
JRC – Joint Roughness Coefficient			
8-10	12-14	8-10	
Riempimento			
Assente			
Alterazione			
Leggermente alterata sulla superficie (decolorazione); matrice interna sostanzialmente intatta.			

<b>Condizioni generali idrauliche</b>
Asciutta



**Commenti:**  
Si individua un set di giunti (Ks) a bassa inclinazione rappresentato dalla stratificazione;  
I set K1 e k2 presentano inclinazioni elevate sull'orizzontale.

**ELABORAZIONE DEI DATI**

<b>Jv - conteggio volumetrico dei giunti (A. Palmstrøm, 1982):</b>	8.2
<b>RQD% - Drill Core Quality (<math>RQD = 115 - 3.3Jv</math>):</b>	88%

**Classificazione geomeccanica RMR - Punteggio Rock Mass Rating**

Resistenza a compressione monoassiale del materiale intatto $\sigma_c$ :	4
RQD%:	17
Spaziatura:	10
Condizioni della discontinuità:	14
Condizioni idrauliche	15
Totale punteggio	63

**Commenti:**

Si stima un incremento della qualità dell'ammasso roccioso con la profondità dovuto principalmente alla chiusura delle fratture sotto il carico litostatico.

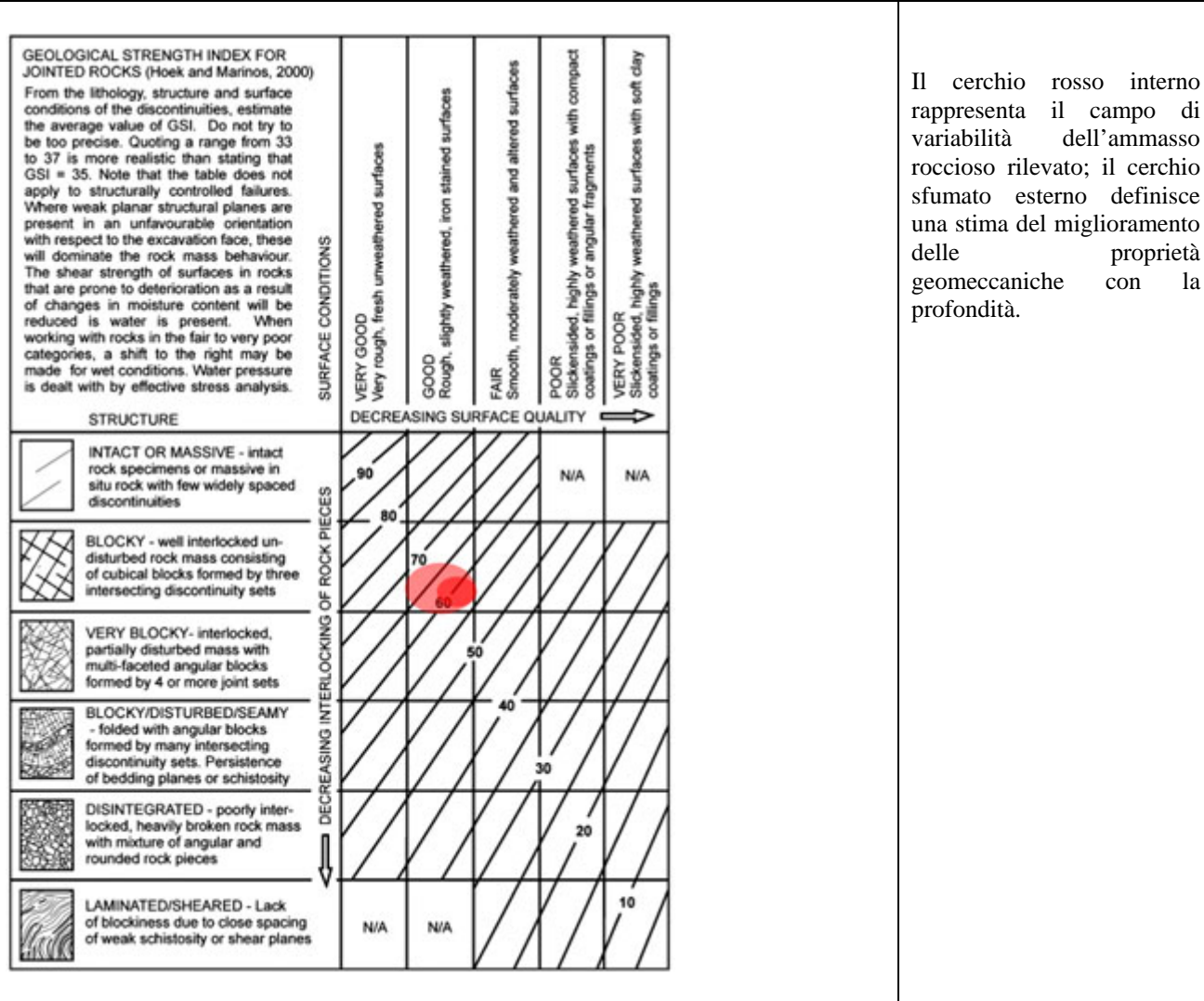
Valore RMRb assunto

**63**

**Classe dell'ammasso roccioso (Bieniawski, 1989)**

**II**

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**



Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)

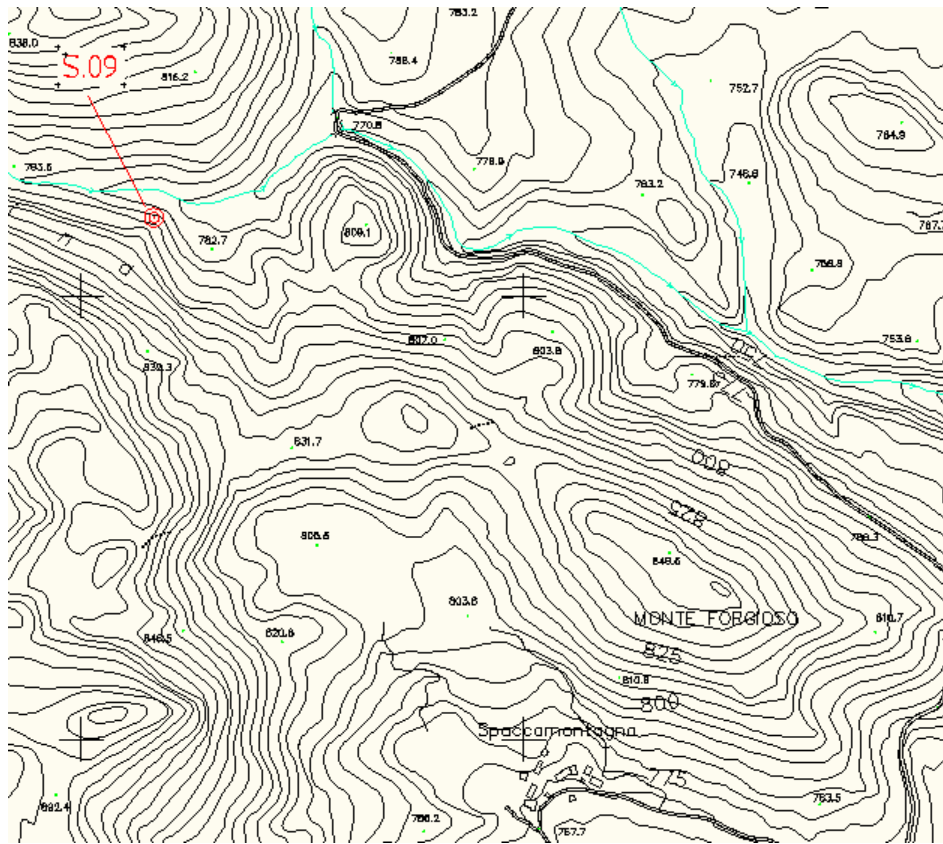
55 - 60

**Fotografie:**

*Foto 12\_18112010: Immagine fotografica di una porzione dell'ammasso roccioso considerato (ripresa laterale)*



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:





STAZIONE ST.10

**RILIEVO GEOMECCANICO – Parametri di classificazione RMR (Bieniawski, 1989)**

Identificazione stazione: 10 (diga Campolattaro)	Coordinate del punto X=2496817 m Est Y=4571883 m Nord Z= 390 m s.l.m.
Giacitura media della superficie di affioramento: 10 N 75	

**DATI**

**Descrizione del sito e dell'affioramento:**

L'affioramento è individuabile all'interno di una nicchia di erosione nei pressi dell'alveo torrentizio. La superficie, larga ca. 10 m e alta max 4 m, mette in evidenza la struttura tipicamente flyschoidi dei terreni, qui non particolarmente piegati.

L'alterazione e la deformazione gravitativa sono abbastanza vistose e parzialmente obliterano le strutture sedimentarie; in affioramento la roccia appare di colorazione grigiastra con tonalità più o meno accentuate (più scure in corrispondenza di straterelli marnosi e/o argillitici, grigio chiaro o brunastra in corrispondenza degli strati maggiormente competenti).

Le condizioni di affioramento non permettono valutazioni approfondite di carattere strutturale, pertanto appare possibile esprimere un giudizio riguardo la qualità dell'ammasso roccioso avvalendoci della stima dell'indice GSI per rocce flyschoidi così come modificato da Marinis & Hoek (2000).

**Litologia, note strutturali alla mesoscala:**

L'affioramento è costituito da alternanze più o meno regolari di marne e marne calcaree grigio chiaro, argilliti grigiastre e subordinati straterelli arenacei grigio-bruno; tali litologie sono identificative della formazione di San Giorgio. La stratificazione è chiaramente riconoscibile e appare inclinata verso i quadranti orientali (giacitura media stimata ...); gli spessori vanno da millimetrici (livelli) a centimetrici. Nelle porzioni maggiormente competenti si riconoscono altri due sistemi di fatturazione, circa ortogonali tra loro, mediamente molto inclinati –verticali- rispetto il piano orizzontale.

**RILIEVO GEOMECCANICO – Stima valore GSI (Hoek & Marinos, 2000)**

Geologica Strength Index da Marinos & Hoek (2000)		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
COMPOSITION AND STRUCTURE						
	<b>A. Thick bedded, very blocky sandstone</b> The effect of pelitic coatings on the bedding planes is minimized by the confinement of the rock mass. In shallow tunnels or slopes these bedding planes may cause structurally controlled instability.	70	60			
	<b>B. Sandstone with thin inter-layers of siltstone</b>		50			
	<b>C. Sandstone and siltstone in similar amounts</b>			40		
	<b>D. Siltstone or silty shale with sandstone layers</b>				30	
	<b>E. Weak siltstone or clayey shale with sandstone layers</b>					20
C,D, E and G - may be more or less folded than illustrated but this does not change the strength. Tectonic deformation, faulting and loss of continuity moves these categories to F and H.						
	<b>F. Tectonically deformed, intensively folded/faulted, sheared clayey shale or siltstone with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure</b>					10
	<b>G. Undisturbed silty or clayey shale with or without a few very thin sandstone layers</b>					
	<b>H. Tectonically deformed silty or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces.</b>					
→ Means deformation after tectonic disturbance						

Il cerchio rosso rappresenta il campo di variabilità dell'ammasso roccioso rilevato; il rettangolo indica il campo possibile di variabilità dovuto all'incremento delle deformazioni dovute ai disturbi tettonici.

**Valore GSI stimato (Hoek & Marinos, 2000)**

**med. = 30  
max = 35  
faglia = 15**

**Fotografie:**

*Foto 13\_18112010: Aspetto della nicchia di erosione individuata da cui è stato possibile risalire alla stima del valore indice GSI*



Estratto planimetrico su CTR 1:5.000:

