



# REGIONE LAZIO

Via Capitan Bavastro, 108 - ROMA

Assessorato Politiche dei Trasporti e Lavori Pubblici

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO (art.7 Legge 109/94 e succ. mod. int.) Dott. Ing. *BERNARDO MARIA FABRIZIO*



## ANAS S.p.A.

Direzione Centrale Programmazione Progettazione

# VARIANTE ALLA S.S. n. 7 APPIA in Comune di FORMIA PROGETTO PRELIMINARE

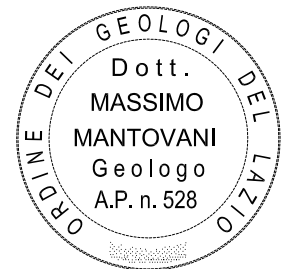
PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA TRA :  
POLITECNICA Srl, MANDATARIA, Dott. UMBERTO MAZZINI E SATPI Srl, MANDANTE, Ing. EDMONDO TORDI



*RESPONSABILE PROGETTO  
E DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE*  
Ing. A. De Fazio



*RESPONSABILE  
STUDIO GEOLOGICO*  
Geol. M. Mantovani  
*RILEVAMENTO GEOLOGICO*  
Geol. E. Ragozzino  
Fine rilevamento: 15-dic-2003



ELABORATO

## RELAZIONE GEOLOGICA

OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE	SCALA:			
GGI	XX	RG04	/	1-0	FILE NAME: GGI_XXRG0410.doc			
					CARTELLA: GGI_004	PLOT: 1=1		
					FOGLIO: A4	PROT.: 3165A		
3								
2								
1								
0	EMISSIONE				15 MAG 2004	MANTOVANI	TRONCONI	DE FAZIO
REV.	DESCRIZIONE				DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## **1) PREMESSA**

A seguito dell'incarico ricevuto dalla Mandataria dell'ATI Politecnica-Satpi, Politecnica – Società Italiana d'Ingegneria con sede in Via dei Mille n. 24 nella città di Bologna, viene redatta la presente Relazione Geologica a sintesi di uno studio geologico, geomorfologico, idrogeologico, geologico strutturale e geologico tecnico per la caratterizzazione di un'area sita nel comune di Formia (Lt), nel settore meridionale degli Aurunci occidentali, finalizzato alla **Progettazione Preliminare della Variante alla S.S. n.7 Appia** caratterizzata da un tracciato stradale il cui sviluppo planimetrico complessivo risulta essere di circa 11 km.

La presente relazione sintetizza i risultati del Rilevamento Geologico, Geomorfologico ed Idrogeologico di superficie eseguito in più fasi dal 1998 al 1999 con una recente fase di Rilevamento integrativa finalizzata all'approfondimento del rilievo di superficie nell'area della Galleria Naturale nonché integrazione del rilevamento nell'area dell'imbocco occidentale della Galleria Naturale stessa che ha subito un notevole spostamento rispetto al tracciato del 1998.

Lo studio geologico integrato dai risultati delle Indagini geognostiche e geofisiche eseguite in più fasi dal 1999 al 2001 nell'area interessata dalla realizzazione del tracciato in oggetto prevede un primo tratto, lato Itri, di circa 450m che si svilupperà nell'area denominata Venticinque Ponti; un tratto centrale di circa 5200m in cui è prevista la realizzazione della Galleria Naturale M.Costamezza M.S.Maria Monte di Mola; da un terzo tratto di circa 5400m che si svilupperà lato Formia ed interesserà, procedendo verso est, le aree denominate Pietime, Balzorile, Acqualonga, posta alle pendici del Monte Campese, per terminare in località Santa Croce.

Lo studio, consistito in diverse fasi (indagine di superficie, indagini dirette ed indagini indirette), ha voluto cogliere primariamente gli obiettivi attinenti a:

- la definizione dei principali caratteri geologici che interessano il tracciato in esame ed il riconoscimento dei principali litotipi, i loro reciproci rapporti ed i rispettivi ambienti di sedimentazione;
- lo studio dei caratteri geomorfologici del territorio attraverso la descrizione delle principali forme, dei depositi e dei processi geomorfologici passati ed attuali del territorio;
- lo studio dei caratteri idrogeologici locali attraverso il censimento di pozzi, piezometri e sorgenti presenti nell'area al fine di ricostruire l'andamento della superficie piezometrica della falda di base.
- la definizione di massima delle proprietà geotecniche dei terreni che interagiranno con l'opera;

I Rilievi Geologici di superficie e le indagini geognostiche e geofisiche con annessi rilievi e prove in situ e di laboratorio di supporto allo studio, sono stati programmati al fine di fornire, preliminarmente alla realizzazione del progetto, una valutazione complessiva circa le caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche geomeccaniche e geofisiche relative al substrato che sarà chiamato ad interagire con le strutture in programma.

I risultati ottenuti dalle indagini geognostiche e geofisiche sono stati inseriti in una specifica relazione dal titolo **“Relazione Indagini Geognostiche e Geofisiche”**, e sono parte integrante dello studio, commissionato alla Società GEOTER S.r.l. di Roma, sviluppato nella presente **RELAZIONE GEOLOGICA**.

A corredo del predetto lavoro, oltre agli elaborati di tutte le indagini eseguite e riportate negli allegati della “Relazione sulle Indagini Geognostiche e Geofisiche” ovvero:

ALLEGATO 1 – STRATIGRAFIE SONDAGGI

ALLEGATO 2 – PROVE DI LABORATORIO – FASE 1 (Galleria Naturale)

ALLEGATO 3 – PROVE DI LABORATORIO – FASE 2

ALLEGATO 4 – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

ALLEGATO 5 – INDAGINI GEOFISICHE FASE1

ALLEGATO 6 – INDAGINI GEOFISICHE FASE2

sono state redatte una serie di carte tematiche e sezioni geologico-tecniche; nello specifico esse sono :

- **Carta geologica** con Planimetria ubicativa di tutte le indagini eseguite, redatta, su richiesta della Committenza, in scala 1:5.000 ed in formato A1, in cui si evidenziano la geologia e l’assetto strutturale dei luoghi (litotipi, faglie, giaciture degli strati ecc.) nonché tutti i Sondaggi Geognostici eseguiti nell’area in esame nella varie fasi(sondaggi prima fase (area Galleria Naturale) SG; sondaggi seconda fase(area esterna alla Galleria Naturale) S ed SA), le prove penetrometriche dinamiche (PP), le indagini geofisiche di Prima Fase(Galleria Naturale) e seconda Fase(Monte Campese).

n° 4 TAVOLE identificate dalle sigle:

**GGIXXA00210 - GGIXXA00310 - GGIXXA00410 - GGIXXA00510**



- **Carta Geomorfologica** redatta, su richiesta della Committenza, in scala 1:5.000 ed in formato A1, che evidenzia nel dettaglio le forme ed i processi in atto o quiescenti in prossimità e nell'intorno del tracciato previsto;

n° 4 TAVOLE identificate dalle sigle:

**GGIXXA00610 - GGIXXA00710 - GGIXXA00810 - GGIXXA00910**

- **Carta Idrogeologica** redatta, su richiesta della Committenza, in scala 1:5.000 ed in formato A1, con indicate le sorgenti, i pozzi rilevati nella zona nonché i complessi idrogeologici principali e la ricostruzione dell'andamento indicativo delle isopieze in base ai dati attualmente disponibili, in particolare nel Complesso Carbonatico dell'area della Galleria Naturale e nei Conglomerati del Monte Campese.;

n° 4 TAVOLE identificate dalle sigle:

**GGIXXA01010 - GGIXXA01110 - GGIXXA01210 - GGIXXA01310**

- **Profilo Geologico Longitudinale** dell'intero tracciato redatto su richiesta della Committenza, in scala 1:5.000 ed in formato A1, con indicati i litotipi in cui si evidenziano la geologia e l'assetto strutturale lungo il tracciato (litotipi, faglie, fasce cataclasiche, giaciture degli strati ecc.) nonché tutti i Sondaggi Geognostici eseguiti nell'area in esame nella varie fasi (sondaggi prima fase (area Galleria Naturale) SG; sondaggi seconda fase (area esterna alla Galleria Naturale) S ed SA), le prove penetromeriche dinamiche (PP), nonché l'andamento indicativo della falda, in base ai dati attualmente disponibili, nel Complesso Carbonatico dell'area della Galleria Naturale, e della falda nei Conglomerati del Monte Campese.;

**n° 5 TAVOLE** identificate dalle sigle:

**GGIXXL00110-GGIXXL00210-GGIXXL00310-GGIXXL00410-GIXXL00510**

Vengono forniti inoltre, allegati alla presente relazione, i Profili Geologici Interpretativi Trasversali, eseguite nell'area degli imbocchi e all'interno della Galleria Naturale nonché sezioni eseguite nell'area di Monte Campese.

La presente relazione sintetizza, quindi, i dati acquisiti durante il rilevamento geologico, eseguito in varie fasi comprese da giugno 1998 a dicembre 1999, le integrazioni di rilevamento eseguite di recente integrate dei risultati delle indagini geognostiche con prove in sito e di laboratorio effettuate.

Infine nei paragrafi riguardanti la geomorfologia, l'idrogeologia e le conclusioni sono riportate indicazioni relative agli accorgimenti e misure da adottare in fase progettuale e costruttiva.

Tale relazione contiene, inoltre, indicazioni in base all'art.13 della legge 64/74 ed al Nulla Osta al Vincolo Idrogeologico (R.D.L. n.3267 del 30/12/23 e R.D. n.1126/26), richiesto in data 06/08/99 dal Uff. V del Settore 71 [Ass.to utilizzo, tutela e valorizzazione delle risorse ambientali - Dip. Ambiente e Protezione Civile].

## **2) RILEVAMENTO GEOLOGICO**

Il rilevamento è stato eseguito in varie fasi ed ha interessato dapprima l'originario tracciato in Galleria Naturale nel periodo compreso da giugno a settembre dell'anno 1998 e da maggio a luglio 1999, è stato esteso poi al tratto esterno alla Galleria sino a Dicembre del 1999 e di recente, a seguito di una variazione del tracciato nell'area dell'imbocco occidentale della Galleria Naturale, è stata eseguita una intensificazione del rilevamento geologico dell'area interessata dal tracciato stradale, relativo al progetto di variante alla s.s. n.7 Appia nel Comune di Formia.

In particolare, le verifiche sono state concentrate, come disposto dai tecnici ANAS e dai progettisti, per meglio definire l'assetto lito-stratigrafico-strutturale in corrispondenza dei Monti Costamezza, S. Maria della Noce e Mola, che come da progetto saranno interessati dall'attraversamento in Galleria Naturale.

Il rilevamento integrativo è stato svolto nel periodo fine 2003 con locali verifiche successive ed è stata utilizzata come base cartografica, una carta basata su rilievo aereofotogrammetrico in scala 1:5.000.

Durante il rilevamento è stato utilizzato un criterio lito-biostratigrafico, per la definizione dei rapporti intercorrenti tra le varie unità litostratigrafiche affioranti utilizzando, in particolare per la ricostruzione dei profili geologici, i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche effettuate.

### **3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'area rilevata è inclusa nel Foglio geologico 171 "Gaeta" e comprende un settore dei monti Aurunci, costituiti da circa 4000 metri di carbonati mesozoici in facies di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese. Essi, rappresentati da termini calcareo-dolomitici di acque basse, sono stati suddivisi sfruttando le ricche associazioni ad alghe dasicladacee, foraminiferi bentonici e rudiste (CHIOCCHINI E MANCINELLI, 1977).

La successione litostratigrafica si interrompe nel Senoniano per riprendere, nel Miocene, con la deposizione, non testimoniata nel settore in esame, dei "Calcari a briozoi e litotamni"

Nel Messiniano-Tortoniano superiore si ha la deposizione di unità terrigene: "Flysch argilloso-arenaceo" (valle Latina e valle dell'Ausente) e "Argille con gessi" (Piana di Formia). Le Argille con gessi poggiano in discordanza angolare sopra il Complesso delle "Argille varicolori" (CIPOLLARI & COSENTINO, 1991). Quest'ultime sono rappresentate da limitate placche di sedimenti emipelagici alloctoni, la cui messa in posto in falda sopra le strutture carbonatiche è riferita all'Aquitano-Oligocene (PAROTTO, 1980).

In discordanza con le formazioni terrigene, nonché con i carbonati mesozoici, vi sono depositi ruditici di ambiente nefritico, riferibili al Pliocene inferiore (CATENACCI E MOLINARI, 1965).

Completano il quadro stratigrafico le unità quaternarie costituite da terre rosse, aree limitate di brecce continentali, detriti di falda e depositi eluviali colluviali e/o alluvionali.

L'assetto strutturale dei monti Aurunci occidentali è il risultato di eventi deformativi di tipo prevalentemente fragile, sia compressivi che distensivi.

L'evoluzione della dorsale aurunca inizia con la messa in posto in falda della unità delle Liguridi esterne, sopra le strutture carbonatiche (PAROTTO E PRATURLON, 1975).

Successivamente, dopo una lacuna verificatasi dal Paleogene al Miocene medio, nell'intervallo Messiniano-Tortoniano superiore, si ha la deposizione del flysch in bacini (dalla cui evoluzione si origineranno poi la valle Latina, la valle dell'Ausente e parte della piana di Formia), i quali circondano il settore carbonatico rimasto emerso (Fase Toscana).

Si riconoscono, inoltre, locali fenomeni di alimentazione laterale, sia per "retroscivolamenti" di Argille caotiche, in lenti all'interno ed alla sommità delle torbiditi della valle Latina, che di blocchi carbonatici imballati nel flysch della valle dell'Ausente (CATENACCI, 1969). Lungo il margine meridionale dell'area emersa (piana di Formia) si depongono, invece, in facies sopralitorale-salmastra, le "Argille con gessi" in prevalenza sulle "Argille varicolori".

L'intera catena aurunca viene successivamente investita da ulteriori eventi deformativi responsabili dello scagliamento e della traslazione, verso settori settentrionali ed orientali, delle strutture carbonatiche, con il coinvolgimento delle Argille caotiche e dei depositi torbiditici.

Una prima fase vede lo smembrarsi della paleostruttura e l'individuazione di due scaglie (Unità di Montuaccio e Unità di m. Petrella), che si accavallano una sull'altra e si sovrappongono poi su un'altra scaglia più esterna (Unità della valle dell'Ausente), creando così una struttura a scaglie embricate (NASO & TALLINI, 1993). Il contatto tra le scaglie è spesso marcato da limitati lembi di Argille caotiche, che mettono in evidenza la "zona di sutura".

La tettonica distensiva del margine tirrenico, che interessa l'area dal Pliocene all'Attuale, si esplica riutilizzando zone in precedenza tettonizzate, tra le quali la faglia a direzione E-W (linea Maranola-Campodivivo), che separa la struttura carbonatica dalla piana terrigena.

#### 4) DESCRIZIONE DEGLI AFFIORAMENTI E DELLE UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE

Le formazioni affioranti nell'area del Comune di Formia, attraversata dalla variante alla s.s. n.7 Appia, riportate nella **Carta Geologica** allegata, possono essere utilmente distinte in quattro gruppi principali di unità litostratigrafiche: A) unità litostratigrafiche della serie carbonatica mesozoica; B) unità litostratigrafiche del Miocene; C) unità litostratigrafiche del Pliocene; D) unità litostratigrafiche quaternarie.

##### **A) UNITÀ DELLA SERIE CARBONATICA MESOZOICA**

###### **A-1) UNITA' DEL TITONICO-KIMMERIDGIANO**

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore celeste della allegata Carta Geologica e passa verso l'alto nella serie carbonatica alla unità del Neocomiano.

Dal punto di vista litologico è rappresentata da **Calcari** prevalenti, micritici e granulari, di colore biancastro, avana e nocciola. Ad essi possono intercalarsi nella parte alta, a tratti, livelli decimetrici marnoso-argillosi e calcari con intercalazioni selcifere. Verso la parte bassa possono essere presenti livelli di calcari marnosi.

Lo spessore degli strati varia da alcune decine di centimetri al metro.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 500 metri.

Riguardo al contenuto fossilifero, sono stati osservati resti di *Clipeyna* jurassica.

L'età geologica è riferibile al Titonico-Kimmeridgiano.

## A-2) UNITA' DEL NEOCOMIANO

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore verde acqua della allegata Carta Geologica e passa verso l'alto nella serie carbonatica alla unità dell'Aptiano-Barremiano.

Dal punto di vista litologico è rappresentata (Foto 1) da **Dolomie saccaroidi** di ambiente peritidale, di colore biancastro e grigio, prevalenti, da calcari dolomitici e calcari. Lo spessore degli strati dei litotipi dolomitici, in genere molto tenaci, varia dal metro fino a banchi di 3-4 metri; i litotipi calcarei mostrano spessori intorno al metro.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 450 metri.

L'età geologica è riferibile al Neocomiano.

## A-3) UNITA' DELL'APTIANO-BARREMIANO

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore verde acqua chiaro della allegata Carta Geologica e passa verso l'alto nella serie carbonatica alla unità dell'Aptiano.

Dal punto di vista litologico è rappresentata (Foto 2,3,4,5,6) da **Calcari micritici** e granulari, di colore biancastro e avana, a cui si intercalano nella parte bassa livelli di calcari dolomitici in straterelli da decimetrici a centimetrici. Lo spessore degli strati calcarei varia da decimetrico al metro.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 180 metri.

Nella parte alta sono stati osservati resti fossili di Gasteropodi anche centimetrici e bivalvi riferibili al genere Requienia.

L'età geologica è riferibile all'Aptiano-Barremiano.



#### A-4) UNITA' DELL'APTIANO

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore verde smeraldo della allegata Carta Geologica e passa verso l'alto nella serie carbonatica alla unità del Cenomaniano-Albiano.

Dal punto di vista litologico è rappresentata (Foto 7,8,9,10) da **Argille e Marne** di colore verdastro, costituenti livelli con spessore massimo affiorante di 25-30 metri.

A luoghi contengono abbondanti resti fossili di macroforaminiferi bentonici appartenenti al genere **Orbitolina**.

L'età geologica è riferibile all'Aptiano.

#### A-5) UNITA' DEL CENOMANIANO-ALBIANO

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore verde salvia della allegata Carta Geologica e passa verso l'alto nella serie carbonatica alla unità del Senoniano-Turoniano.

Dal punto di vista litologico è rappresentata (Foto 11) nella sua parte bassa da **Calcari** laminati, micritici e granulari, e calcari dolomitici. Verso la parte media possono essere presenti intercalazioni di livelli decimetrici marnoso-argillosi e dolomie. La parte alta è prevalentemente calcarea con strati di spessore da decimetrico al metro.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 400 metri.

Sono stati osservati resti fossili di microforaminiferi appartenenti alla Famiglia degli Alveolinidi.

L'età geologica è riferibile al Cenomaniano-Albiano

#### A-6) UNITA' DEL SENONIANO-TURONIANO

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore verde cinabro della allegata Carta Geologica e chiude in alto la serie carbonatica mesozoica degli Aurunci occidentali.

Dal punto di vista litologico è caratterizzata (Foto 12) dalla presenza di **Calcari** saccaroidi nella parte bassa, calcari prevalenti e dolomie, micritici e granulari.

Lo spessore degli strati, prevalentemente di alcune decimetri di centimetri, può raggiungere anche il metro.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 600 metri.

Sono stati osservati a luoghi abbondanti ed evidenti resti fossili di bivalvi ascrivibili alla Famiglia dei Radiolitidi (Rudiste).

L'età geologica è riferibile al Senoniano-Turoniano.

#### **B) UNITÀ DEL MIOCENE**

##### B-1) UNITA' DELL' AQUITANIANO-OLIGOCENE

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore grigio nella allegata Carta Geologica ed i suoi contatti con il sub-strato carbonatico mesozoico sono quasi sempre condizionati dalla tettonica.

In essa si possono riconoscere almeno due litofacies distinte (vedi SEV 12 e sondaggi superficiali a carotaggio continuo da S2 a S12): una prima, più superficiale, (Foto 13) con spessore medio di una trentina di metri, è costituita da argille grigie e verdi, con fiamme rosse e gialle, caoticizzate e tettonizzate, inglobanti elementi lapidei estremamente eterogenei, sia come litologia che come dimensioni e note in letteratura con il nome di “**Argille Varicolori**” e “**Argille Caotiche**”.

Sono stati riconosciuti elementi di “Pietra Paesina” e di “Pietraforte”, di “Scaglia rossa”, calcari marnosi verdastri, calcari silicei e calcareniti, Inoltre, sono state osservate frequenti patine manganesifere, attribuiti a sedimentazione emipelagica in bacini più interni (Liguridi esterne);

una seconda litofacies, più profonda, con spessore massimo di circa 300 metri, appare costituita da argille e silt molto dure, di colore grigio chiaro e scuro, sottilmente stratificate, a cui si intercalano livelletti e strati di arenarie grigie. Questa seconda litofacies potrebbe essere riferita al flysch argilloso- arenaceo miocenico.

## B-2) UNITA' DEL MESSINIANO-TORTONIANO SUPERIORE

In affioramento è rappresentata dalle aree di colore marrone nella allegata Carta Geologica.

Nella serie stratigrafica locale poggia in trasgressione sopra le Argille varicolori ed è coperta in discordanza dai conglomerati del Pliocene inferiore.

La litologia è rappresentata da argille siltose e sabbie argillose di colore grigio plumbeo, sottilmente stratificate e laminate, a luoghi bituminose, molto micacee, a cui si intercalano cristalli, lenti e banchi di gesso selenitico, gessoareniti e laminiti gessifere.

Lo spessore massimo affiorante è di circa 200 metri.

La presenza dei gessi permette di riferire l'unità delle “**Argille con gessi**” al “ciclo messiniano”, caratterizzato da sedimentazione in ambiente infralitorale salmastro.

## C) UNITÀ DEL PLIOCENE

### C-1) UNITA' DEL PLIOCENE INFERIORE

In affioramento è rappresentata dalle aree colorate in giallo della allegata Carta Geologica.

Nella serie stratigrafica locale poggia in discordanza sopra i calcari del Cretacico superiore, sopra le Argille varicolori e le Argille con gessi.

Dal punto di vista litologico è rappresentata da **Conglomerati poligenici**, ossia puddinghe e brecce cementate con clasti eterogenei per natura e dimensione. Infatti, gli elementi che le compongono non sono classati e presentano diametri da millimetrici fino a blocchi di alcune decine di centimetri: la forma dei clasti è legata alla elaborazione in ambiente marino neritico dei carbonati mesozoici e dei litoidi delle argille varicolori. Inoltre, si osservano intercalati nei conglomerati, calcareniti ed episodi argilloso-sabbiosi.

Lo spessore degli strati varia da alcune decine di centimetri fino a banchi di 2-3 metri.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 150 metri.

L'età geologica è riferibile al Pliocene inferiore.

### C-1) UNITA' DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE

In affioramento è rappresentata dalle aree colorate in giallo avana della allegata carta geologica e poggia sopra i conglomerati neritici del Pliocene inferiore, come testimoniato dal sondaggio profondo SG4.

La litologia comprende **Argille e Marne** di colore grigio e giallo.

Lo spessore massimo affiorante è di una cinquantina di metri.

L'età geologica è riferibile al Pliocene medio-superiore.

## **D) UNITÀ QUATERNARIE**

### **D-1) UNITA' DEI DEPOSITI ELUVIALI-COLLUVIALI**

In affioramento è rappresentata dalle aree colorate in arancio della allegata carta geologica e costituiscono, assieme alle alluvioni recenti, i depositi di copertura, i quali terminano in alto la serie stratigrafica locale.

Dal punto di vista litologico comprendono detriti di falda, terre rosse e suoli (Tr), Argille Eluviali –Colluviali con locali intercalazioni di detriti prevalentemente calcarei (Ec) brecce di pendio (Br) e depositi di conoide alluvionale (Ca).

Gli affioramenti più cospicui di (Tr) si rinvengono lungo i bordi S e W (Piroli) dei massicci carbonatici attraversati dalla variante in progetto.

Così come evidenziato dai sondaggi a carotaggio continuo superficiali S12, S13 e S14 la litologia dei (Tr) è rappresentata da argille e limi argillosi residuali, di colore marrone, rosso, giallo e arancio, a tratti frammisti a detriti carbonatici ed eterometrici, poco evoluti.

**Nell'ambito dei depositi Eluviali-Colluviali, sono state rinvenute localmente intercalazioni di blocchi litoidi carbonatici, con diametro dei singoli blocchi fino a 4 metri (vedi S13). Ciò, anche unitamente a quanto notato durante il rilevamento di campagna, fa ipotizzare la possibile presenza di blocchi carbonatici disarticolati e di dimensioni metriche nella zona dell'imbocco ovest della galleria naturale.**

Lo spessore massimo dei depositi (Tr/Ec) dovrebbe aggirarsi, come evidenziato anche dai sondaggi, attorno a qualche decina di metri. L'età è riferibile all'Olocene.

Gli affioramenti di brecce di pendio (Br) più significativi si estendono in due zone: 1) una fascia allungata in direzione E-W in località Fossatello Bonaluro; 2) un'area a forma di ventaglio in località Balzorile-tratto sud Fosso del Tuoro.

Litologicamente consistono in breccie cementate, a luoghi carsificate, stratificate e di colore rossastro. I clasti carbonatici ed eterometrici sono poco evoluti. Lo spessore massimo affiorante è di qualche decina di metri. Sono stati osservati scarsi resti fossili di gasteropodi continentali. L'età è riferibile al Plio-Pleistocene.

I depositi di conoide alluvionale (Ca) affiorano lungo alcuni tratti di variante fuori galleria naturale e poggiano in discordanza sopra le argille varicolori, presso le località Castagneto-Acqualonga-Ponzanello.

La litologia è rappresentata da alternanze di ghiaie eterometriche, argille e limi, a cui si intercalano a tratti sabbie limose e breccie eterometriche cementate (vedi sondaggi S15; da S1 a S7A). Lo spessore massimo è di qualche decina di metri.

L'età è riferibile al Plio-Pleistocene.

## D-2) UNITA' DELLE ALLUVIONI RECENTI

In affioramento è rappresentata dalle aree colorate in celeste chiaro nella Carta Geologica allegata.

Litologicamente comprende limi e argille di colore marrone, rossastro, avana e grigio chiaro, a luoghi frammiste con depositi ghiaiosi poligenici ed eterometrici. A luoghi possono essere abbondanti le intercalazioni di detriti di falda, con blocchi anche di notevoli dimensioni.

Lungo il limite possono risultare intercalati ai depositi di conoide alluvionale.

Lo spessore massimo è stimato intorno ad alcune decine di metri.

L'età è riferibile all'Olocene.

## **5) ASSETTO STRUTTURALE**

In questo capitolo si cerca di fornire una adeguata spiegazione delle zone di faglia e cataclasate e sull'assetto lito-stratigrafico e strutturale dell'area rilevata che ha portato alla redazione degli allegati: **Carta Geologica, Profilo Geologico Longitudinale e Profili geologici trasversali.**

### **MONTE COSTAMEZZA**

Il rilevamento di campagna ha messo in evidenza una fagliazione predominante, caratterizzata da piani di faglia principali ad alto angolo orientati N 50°-70°, che produce una disarticolazione in blocchi rigidi con rigetti dell'ordine almeno dei 300metri.

Inoltre, nella porzione W di Costamezza sono state rilevate due faglie; una orientata N 190°, 45°; l'altra orientata N 260°, 78°.

Tutte queste sono spesso evidenziate sul terreno da particolari segni caratteristici: strati sub-verticali o debolmente piegati (Foto 3, 4, 11); brecce di frizione; strie; fasce di intensa fratturazione o cataclasate con estensione media di 50-100 metri attorno alla singola faglia; disarticolazione del livello marnoso con Orbitoline.

L'assetto strutturale che ne risulta è quello di una monoclinale fagliata immergente verso SE.

### **MONTE SANTA MARIA DELLA NOCE**

La struttura di monte di S. Maria risulta dislocata rispetto a Costamezza da una faglia principale ad alto angolo orientata circa N 50° W. Inoltre, risulta limitata a N da una faglia N 60°-70° ad alto angolo; ad E da una faglia N-S immergente verso E

con inclinazione di circa 60°; a SE da una faglia inversa orientata circa N 35°-50°, immergente con angolo di 65° verso NW.

Quest'ultima è caratterizzata da tipici segni mesostrutturali: fagliazione del livello a Orbitoline (Foto 8); strie e gradini inversi su piani mesostrutturali; rilevamento di una piega a ginocchio lungo la traccia del metanodotto, caratterizzata da asse orientato N 55° (Foto 14).

Infine, all'interno di monte S. Maria sembra essere presente una faglia non continua orientata circa N 70° ad alto angolo, per effetto della quale gli strati si verticalizzano e la monoclinale immergente verso SSW tende a piegarsi (Foto 15).

### **PAGNANO-VALLECOLA DI S. MARIA DELLA NOCE**

Qui i calcari a Rudiste del Senoniano-Turoniano sembrano sovrascorsi, lungo un piano inverso orientato circa N 50° sopra le argille varicolori affioranti nella vallecola di S. Maria (Foto 13).

Inoltre, sia la vallecola che la scaglia di Pagnano (riferibile alla unità di Montuaccio) sono limitate ad E dalla già menzionata faglia N-S, mentre ad W risultano dislocate da una faglia con orientazione media N 45° W e immergente con angolo di 65° verso SW (Foto 16).

### **MONTE DI MOLA**

Questo è caratterizzato da una monoclinale immergente verso ENE e dislocata nella suo terzo medio da una faglia ad alto angolo orientata circa N 40° W. Inoltre, la struttura risulta dislocata a SW dalla faglia orientata N 45° W e a N dalla N 60°-70°, già menzionate; ad E risulta dislocata da una faglia N-S immergente ad alto angolo verso E.



Lungo la traccia del metanodotto è stato rilevato alla scala meso-strutturale un sistema coniugato trascorrente definito da faglie orientate circa N 45°-50° W e N-S, compatibile con una direzione del massimo sforzo principale orientata NNW: tale direzione sarebbe congruente con l'orientazione delle strutture compressive rilevate a Pagnano e monte S. Maria.

Infine, un cambio nella giacitura degli strati alla base del versante SW di monte di Mola, in corrispondenza del Santuario di S. Maria della Noce, evidenzerebbe la possibile esistenza di una anticlinale con asse orientato NW-SE.

### **RAVE ROSSE – PIENTIME /Imbocco est galleria Costamezza**

Proseguendo da monte di Mola verso E la fagliazione predominante appare caratterizzata da piani di faglia ad alto angolo orientati N-S e N 10°-20°: in particolare, presso la cava dismessa, in località la Fosse, si misura un grosso piano sub-verticale orientato N-S ed immergente con inclinazione di 79° verso W, con strie e docce da oblique a trascorrenti, che mette in contatto i conglomerati pliocenici con le argille messiniane.

Nella parte più meridionale della collina di S. Antonio, poco sopra la linea ferroviaria, è stato misurato un piano di faglia orientato N 30°-40° ed immergente verso SE con angoli di 65°-80° , con strie e gradini indicanti un movimento inverso.

### **BALZORILE-CASTAGNETO-CAMPESE-PONZANELLO/Tratto di strada fuori galleria**

Proseguendo da Pientime verso E, si osservano una serie di fossi (Fosso Balzorile, Fosso del Tuoro, torrente Acqualonga) orientati circa N 10° W. Inoltre, si notano alcuni indizi molto interessanti: 1) il limite dei depositi di conoide alluvionale appare dislocato presso il torrente Acqualonga da un movimento trascorrente destro;

2) è stata misurata, in uno scavo fondazionale impostato nelle alluvioni circa 600 metri a NW dalla foce del torrente Acqualonga, una faglia ad alto angolo orientata circa N-S e precisamente N  $180^{\circ}$ ,  $88^{\circ}$  (pitch  $30^{\circ}$ ); 3) l'osservazione meso-strutturale dei conglomerati pliocenici affioranti a S di Costa del Morrone, ha evidenziato un sistema coniugato trascorrente definito da faglie orientate N  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$  W e N  $80^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Quindi, sembra giustificata l'ipotesi di una serie di faglie impostate lungo i fossi principali. Infine, appaiono giustificate anche le faglie ad andamento circa E-W che dislocano i conglomerati del monte Campese.



*FOTO 1*



*FOTO 2*





*FOTO 3*



*FOTO 4*





FOTO 5



FOTO 6





*FOTO 7*



*FOTO 8*





*FOTO 9*



*FOTO 10*





*FOTO 11*



*FOTO 12*



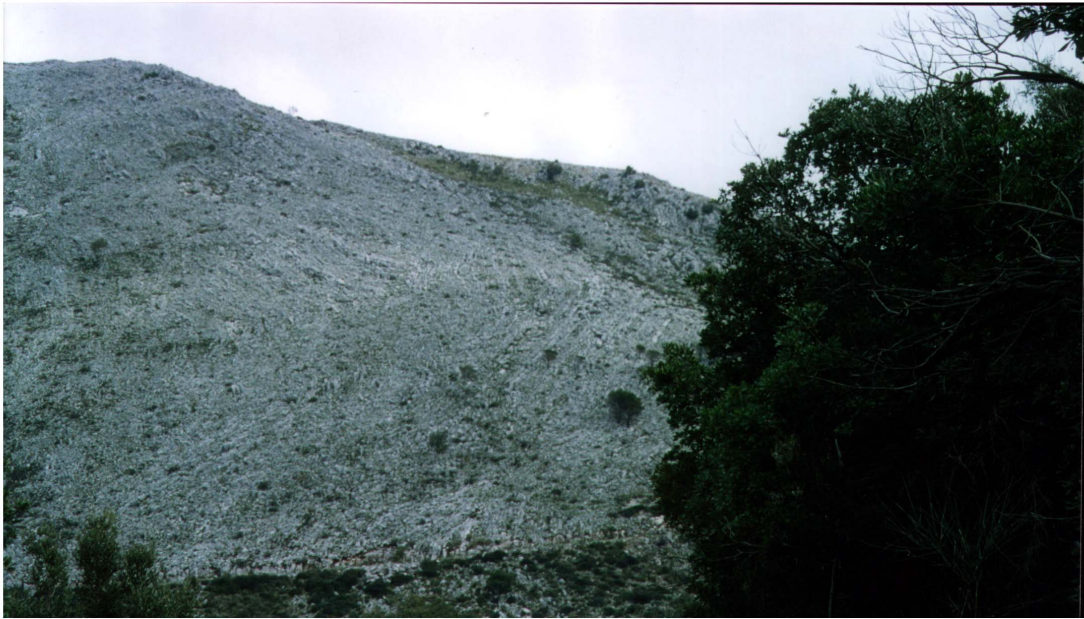


*FOTO 13*



*FOTO 14*





*FOTO 15*



*FOTO 16*

## **6) TETTONICA**

I dati strutturali sopra descritti sembrano congruenti con i principali eventi deformativi descritti in letteratura (RAGOZZINO, 1991; MONTONE & TALLINI, 1994) :

1) un evento, con orientazione del massimo sforzo principale in direzione circa E-W, caratterizzato da piani di faglia a basso angolo con strie in direzione circa E-W e da un sistema coniugato trascorrente definito da faglie orientate NE-SW destre e NW-SE sinistre;

2) un evento con direzione di massima compressione orientata circa N 30°, caratterizzata da piani di faglia trascorrenti in direzione N 50°-70° e N 20°-30° W rispettivamente sinistri e destri;

3) un evento distensivo congruente con una  $\sigma_1$  verticale, caratterizzato da direttrici tettoniche orientate N 60°- 70° ed E-W legate alla strutturazione della piana di Formia. La sua età è riferibile almeno al Messiniano-Pliocene inferiore;

4) un evento con fenomeni transtensivi in direzione NW-SE, di età post-Pliocene inferiore, che interessano alcuni depositi continentali.

Infine, da una attenta analisi dei dati raccolti (RAGOZZINO, 1999) durante il rilevamento di campagna, verrebbero individuati altri due probabili eventi deformativi:

5) un evento con direzione di massima compressione orientata circa NNW-SSE, caratterizzato da faglie inverse e sovrascorrimenti in direzione N 35°-50°, da anticlinali con assi congruenti e definito da un sistema coniugato trascorrente con faglie N 40°-50° W e N-S;

6) un evento con direzione del massimo sforzo principale verticale, caratterizzato da un sistema coniugato trascorrente definito da faglie orientate N  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$  W destre e N  $80^{\circ}$ - $90^{\circ}$  sinistre. L'età sarebbe riferibile all'Olocene-Pliocene inferiore.

## **7) GEOMORFOLOGIA**

Il tracciato della variante in progetto, come risulta evidente nella **Carta Geomorfologica** allegata, attraversa due settori a differente morfologia:

Il primo, è rappresentato dall'area compresa fra l'imbocco E galleria naturale e il tratto stradale fuori galleria naturale. Tali aree sono coperte in affioramento da unità argillose, a cui, in prossimità delle conoidi, si sovrappongono depositi detritici alluvionali caratterizzati da erodibilità media.

Nell'area compresa fra l'imbocco W della Galleria naturale sino alle pendici del M. Costamezza i depositi detritici alluvionali si ritrovano direttamente sul complesso carbonatico.

Anche le aree argillose sono caratterizzate da una resistenza media all'erosione e da discrete qualità tecniche, che ha determinato morfologie dolci, generalmente risalenti in quota verso nord, con angoli di pendio mediamente inferiori ai 10°-15°.

Le pendenze risultano più accentuate (30°-40°) in corrispondenza delle sponde torrentizie (Fossi: Balzorile, Bonaluro, Tuoro, Acqualonga, Acquatraversa).

In particolare, la consultazione di dati di letteratura (REGIONE LAZIO, 2000) ed il rilevamento di campagna (vedi Carta Geomorfologica allegata) hanno evidenziato la presenza di alcune aree (Pientime, Balzorile, fossi Tuoro e Acqualonga), soggette a fenomeni quiescenti di frane complesse, a fenomeni quiescenti di deformazioni superficiali lente e soliflusso, a soliflusso attivo generalizzato. Fenomeni attivi di frane per colamento si osservano lungo le scarpate di alcune cave di argilla dismesse. Quindi, si desume che questi versanti raramente sono soggetti a scorrimenti e colamenti per effetto della sola azione della gravità, evolvendo piuttosto per lenti movimenti di creep o per eluvione delle coltri superficiali.

Le aree in cui affiorano le Argille varicolori state soggette sia in passato (terrazzamenti per scopi agricoli) che in epoca recente (zone di espansione urbanistica e viabilità) a un discreto intervento antropico che in qualche caso ha creato le premesse a fenomeni d'instabilità (frana di via Solaro).

In generale, comunque, le discrete qualità tecniche di questa formazione non consentono evoluzioni accelerate dei pendii legate alla sola azione della gravità.

Anche le aree sui rilievi carbonatici, in cui affiorano le Argille varicolori, sono caratterizzate da acclività mediamente inferiori ai 15° e dall'assenza di evidenti segni di meccanismi naturali a rapida evoluzione.

In generale, comunque, le discrete qualità tecniche di questa formazione non consentono evoluzioni accelerate dei pendii legate alla sola azione della gravità.

**Si segnala nell'area dell'imbocco W della Galleria Naturale, nell'ambito dei depositi detritici-alluvionali, la presenza di blocchi carbonatici disarticolati** anche di notevoli dimensioni che, oltre a rappresentare un problema da risolvere in fase di avanzamento nelle operazioni di scavo, possono risultare particolarmente instabili se direttamente interessati dallo scavo stesso senza prevedere adeguati accorgimenti tecnici in fase esecutiva.

La presenza di tale ammasso detritico potenzialmente instabile viene segnalata anche nella relazione del Prof. Boni (2004).

Nel versante meridionale di **Monte Campese** in corrispondenza dei conglomerati neritici si segnala la **potenziale deiezione di alcuni massi o blocchi presenti lungo le pendici** (vedere Carta Geomorfologica) nell'area di monte della Galleria artificiale prevista dal tracciato in esame.

Antecedentemente alle operazioni di scavo si dovrà provvedere alla verifica puntuale degli eventuali blocchi in equilibrio precario e provvederne il disaggio con opportune metodiche.

Al fine di mitigare tale rischio potenziale, tenendo anche conto della possibilità che blocchi contigui a contatto nella porzione superficiale più alterata possano mettersi in movimento in relazione alle operazioni di scavo, si suggerisce di prevedere idonee opere di protezione attiva e/o passiva in particolare nell'area della Galleria Artificiale di Monte Campese.

In riferimento all'andamento del tracciato, **Blocchi conglomeratici disarticolati anche di notevoli dimensioni** potranno essere inoltre rilevati in prossimità del limite meridionale fra i Conglomerati Pliocenici e le Argille varicolori.

In analogia con quanto espresso per l'area dell'imbocco W della Galleria Naturale si evidenzia che tali blocchi, oltre a rappresentare un problema nelle modalità di avanzamento dello scavo, possono risultare particolarmente instabili se direttamente interessati dalle operazioni di scavo senza prevedere adeguati accorgimenti tecnici in fase esecutiva.

Il secondo settore morfologico, esteso da Costamezza a S. Antonio-Rave Rosse, comprende il tratto di variante in Galleria Naturale ed è coperto in affioramento dai carbonati mesozoici degli Aurunci occidentali, che sono caratterizzati da una morfologia più acclive e dallo sviluppo di un tipico paesaggio carsico.

In particolare, si rilevano micro e macro forme legate ad un modellamento carsico sia superficiale (lapiez, vaschette da dissoluzione, marmitte di erosione, polye, doline) che profondo (grotte, inghiottitoi).

Inoltre, degno di nota (REGIONE LAZIO, 2003) è il fatto che nel massiccio aurunco sono accatastate 94 grotte, con uno sviluppo spaziale complessivo di circa 9 Km di condotti.

Su gran parte di quest'area carsica affiorano i carbonati del Cretacico inferiore, caratterizzati da carsificazione "media" (23 metri di condotti per Km<sup>2</sup> di affioramento). Tuttavia, nei carbonati del Cretacico superiore, che coprono una superficie molto più limitata, la carsificazione risulta molto più importante (70 metri di condotti per Km<sup>2</sup> di affioramento).

Determinante per lo sviluppo della fenomenologia carsica sono stati gli eventi deformativi, sia compressivi che distensivi, che hanno interessato anche i monti Aurunci occidentali dal Miocene all'Attuale. Essi, infatti hanno prodotto un complesso reticolo di faglie e fratture lungo le quali si è potuta esplicare l'azione dissolutrice delle acque meteoriche: in particolare, la dissoluzione è risultata più intensa lungo le principali linee di faglia e nei punti di incrocio (nodi), a maggior grado di fatturazione.

Le forme più significative sono ubicate nell'allegata carta geomorfologica.

In particolare, a Costamezza e su monte S. Maria si rilevano a volte, sugli strati e nelle fratture, ricristallizzazioni di calcite spatica e ricolmature di alabastro, a testimonianza di un carsismo recente.

Grotte di dimensioni rilevanti si osservano a S. Maria della Noce e a Costamezza. Inoltre, in tutta l'area di affioramento dei carbonati litoidi, si rilevano microforme carsiche epigee (vaschette di dissoluzione, scannellature, lapiez e cariature), con maggior concentrazione lungo il versante N di Costamezza.



**Quindi, visti tutti gli indizi superficiali rilevati, non è da escludersi la presenza di cavità estese all'interno degli ammassi rocciosi carbonatici mesozoici. In particolare, cavità di una certa entità ed a sviluppo sia orizzontale che verticale, potrebbero svilupparsi in corrispondenza delle faglie e lineamenti tettonici principali.**

Per quanto riguarda la morfogenesi dei versanti carbonatici, il loro andamento per lo più rettilineo (valori medi dell'angolo di pendio compresi tra i 25° e i 30° circa) deriva da una serie di processi erosivi di tipo areale, operati dagli agenti esogeni durante le fasi climatiche del Pleistocene. In particolare, si tratta di versanti denudazionali, spesso limitati da faglie, perimetrali alle strutture carbonatiche e/o ai margini dei rilievi, modellati dall'azione di processi morfogenetici, nel corso dei quali ha avuto inizio un'intensa fase erosiva con successivo accumulo alla base dei sedimenti erosi.

Questi ultimi sono rappresentati dai depositi di conoide alluvionale, falde detritiche e brecce di pendio, i quali sono stati in parte ripresi dai sistemi geomorfici recente ed attuale, con la formazione di canali (Fossato Termini, Fosso del Pirla, ecc.), spesso a carattere susseguente ed impostati lungo le faglie principali, dissecanti in più punti i versanti compresi tra Costamezza e monte di Mola. Inoltre, l'azione erosiva degli agenti esogeni ha prodotto, in epoca recente, accumuli di terre rosse, talora frammiste a detriti di falda e blocchi carbonatici, depositati in corrispondenza di vallecicole, locali depressioni morfologiche e alla base dei pendii (Piroli, imbocco W galleria naturale, versante N di Costamezza, piede dei versanti meridionali).

Anche i conglomerati del Pliocene affioranti sulla collina di S. Antonio ed a monte Campese, essendo di natura carbonatica, stratificati e sovente fratturati e fagliati, hanno mostrato forme carsiche come inghiottitoi e grotte: a luoghi hanno un

aspetto vacuolare per l'espulsione dei clasti conseguente al dilavamento e alla dissoluzione della matrice calcarenitica.

**Quindi, anche nei conglomerati del Pliocene non è da escludersi la presenza di cavità estese all'interno degli ammassi rocciosi.**

Infine, frane attive per crollo o ribaltamento (vedi carta geomorfologica) e presenza di blocchi instabili sono stati rilevati sia all'interno di aree a carbonati mesozoici, sovente a valle di scarpate morfologiche (Rave Rosse, Mola, Costamezza), che all'interno dei conglomerati pliocenici (versante S di monte Campese).

**In particolare, vista l'ubicazione attuale della traccia della variante in progetto, si sottolinea la possibilità di interferenze con rimobilitazione di blocchi in prossimità delle seguenti zone: imbocco W Galleria Naturale, zona Rave Rosse, zona versante S Monte Campese.**

Durante la fase esecutiva, prima di procedere alle operazioni di sbancamento e scavo, il manto di terreno vegetale esistente sul tracciato dovrà essere asportato e correttamente stoccato allo scopo di essere reimpiegato per rinaturalizzare le scarpate delle trincee ed eventualmente dei rilevati.

Tutto il materiale proveniente da scavi, sbancamenti e movimenti terra dovrà essere depositato in siti idonei ed in accumuli di spessore tale da garantire la sicurezza degli operatori addetti alle lavorazioni e degli abitanti limitrofi.

A protezione di tutti gli scavi dovranno essere previste idonee e tempestive opere provvisorie di sostegno.

Particolare cura dovrà essere fornita a garantire la stabilità dei versanti, riprofilati o naturali, a monte ed a valle del tracciato stradale.

Agli imbocchi della galleria naturale e nelle parti immediatamente esterne ai medesimi dovranno essere adottati tutti gli accorgimenti necessari tesi ad evitare eventuali fenomeni d'instabilità nei terreni interessati dai lavori e limitrofi.

## **8) IDROGEOLOGIA**

Nell'area studiata, come evidenziato nella Carta Idrogeologica allegata si individuano tre complessi idrogeologici che sono stati così distinti:

### **COMPLESSO CARBONATICO**

Nel quadro regionale, le unità carbonatiche del Mesozoico che affiorano nell'area oggetto del presente studio, costituiscono il complesso idrogeologico dei M. Aurunci Occidentali (CASMEZ).

Tale complesso idrogeologico, costituito da calcari, calcari dolomitici e dolomie in facies di piattaforma carbonatica ristretta, è limitato ad W dalla faglia di Itri, a direzione N-S. I limiti N e E sono marcati dall'accavallamento tettonico del massiccio sui sedimenti silicoclastici delle Valli del Liri e dell'Ausente.

A S, invece, il contatto tra la struttura carbonatica e i depositi terrigeni (Argille con gessi, Argille caotiche e Flysch argilloso-arenaceo) avviene per faglia diretta; lungo lo stesso margine meridionale la struttura viene a contatto con sedimenti molto permeabili, costituiti da conglomerati pliocenici e da depositi detritico alluvionali piuttosto grossolani (piana di Formia).

La permeabilità è elevata e legata alla fratturazione ed al carsismo.

Secondo i dati di bilancio esistenti in letteratura, circa il 70 % delle acque meteoriche che cadono sull'idrostruttura degli Aurunci occidentali si infila attraverso fratture, doline e condotti carsici per raggiungere con deflusso relativamente veloce in relazione al grado di fratturazione ed alla frequenza ed ampiezza dei condotti carsici, in profondità, la falda di base. Nell'area di Monte Campese questo complesso è presente per la maggior parte sepolto in profondità.

**In situazioni strutturali localizzate particolarmente articolate, non sono da escludere, in corrispondenza delle fasce cataclasiche e milonitiche presenti lungo le faglie principali, la presenza di barriere di permeabilità per le acque di infiltrazione defluenti in fratture e/o condotti carsici che possono condizionare il deflusso delle acque verso la falda di base.**

Per quanto riguarda l'andamento falda di base che definisce la zona satura dell'acquifero, si evidenzia che le letture effettuate nel periodo giugno-settembre 1999, in pozzi piezometri e sorgenti esistenti in zona, rivalutate in relazione al nuovo rilievo topografico fornito dalla Committenza, integrate dai dati di un pozzo (P12) rilevato di recente, hanno permesso di ricostruire le isopieze riportate nella Carta Idrogeologica allegata.

Le linee piezometriche riportano due valori, che rappresentano il livello di escursione della falda di base contenuta nelle unità carbonatiche. Più precisamente il valore minore rappresenta il livello piezometrico in condizioni di normale deflusso, mentre il valore maggiore rappresenta la piezometrica in condizioni di elevato carico idraulico attivato nel circuito carsico in conseguenza di eventi meteorici particolarmente intensi.

Tali isopieze risultano essere in buon accordo con l'andamento teorico delle falde acquifere nei massicci carbonatici laziali e campani in zone strutturalmente complesse.

### **SUB-COMPLESSO DEI CONGLOMERATI NERITICI**

È rappresentato da conglomerati poligenici cementati, aventi un elevato grado di permeabilità per fratturazione, e carsismo. Il gruppo sorgivo di Marzoccolo rappresenta l'emergenza della falda principale delle unità carbonatiche che vengono in parte drenate dai conglomerati in prossimità del contatto con il complesso

argilloso. Laddove poggiano direttamente sul complesso impermeabile, originano piccole emergenze sorgive (a S di Maranola e al piede del versante S di Monte Campese), per la maggior parte legate al deflusso superficiale.

Lo spessore massimo in affioramento nell'area studiata è dell'ordine di alcune decine di metri.

## **COMPLESSO ARGILLOSO**

Il complesso argilloso è composto dai seguenti tre sub-complessi.

Le «Argille varicolori» mioceniche presentano una scarsa permeabilità, comunque localmente condizionata dalla notevole eterogeneità litologica e dalla giacitura caotica dei vari termini. Date le scarse caratteristiche di permeabilità della matrice argillo-siltosa, le infiltrazioni si esplicano unicamente all'interno dei blocchi lapidei (olistoliti) fratturati, a permeabilità medio-bassa.

**Anche se, in genere, le Argille varicolori poggiano sulle strutture carbonatiche, in alcuni punti esse sono state coinvolte in profondità dalla tettonica: probabilmente ciò si è verificato in parte lungo le faglie N-S e NW-SE che bordano rispettivamente i versanti E e W di Monte di Mola, dove è possibile la presenza in profondità di lembi strizzati di Argille caotiche. Quindi, in corrispondenza di queste non si escludono innalzamenti localizzati della piezometrica.**

Le «Argille con gessi» mioceniche sono composte da argille gessifere molto sovraconsolidate e fessurate, aventi scarse caratteristiche di permeabilità che le rendono virtualmente impermeabili; il loro spessore varia da alcune decine a qualche centinaia di metri.

Queste sono appoggiate in trasgressione sulle Argille varicolori, che costituiscono il substrato impermeabile della piana di Formia, ed insieme contribuiscono a tamponare lateralmente i rilievi carbonatici prospicienti la piana, costituendo una cintura impermeabile, nei cui punti topograficamente più bassi si verifica lo sfioro della falda circolante nei carbonati (gruppo sorgivo di Mazzoccolo).

Le «Argille e marne» plioceniche presentano una bassa permeabilità e sono sovrapposte ai conglomerati neritici. Hanno uno spessore massimo di una cinquantina di metri.

**In particolare, si evidenzia che il sondaggio SG2 ha rilevato manifestazioni discontinue di gas inodore e acqua nell'attraversamento delle argille plioceniche in prossimità del passaggio con le argille con gessi.**

## **COMPLESSO DETRITICO-ALLUVIONALE**

Questo comprende le unità quaternarie (depositi eluvio-colluviali, fluviali, alluvionali recenti, dunari e di spiaggia), caratterizzate da permeabilità per porosità, variabile con la granulometria ed eventuale grado di cementazione, che complessivamente risulta scarsa o nulla. Contribuisce a tamponare l'acquifero carbonatico, poggiando sul complesso argilloso. Inoltre parte delle acque dell'acquifero carbonatico giungono fino al mare attraverso il complesso detritico-alluvionale.

Le strumentazioni piezometriche installate nei fori di sondaggio unitamente al censimento dei pozzi presenti lungo il tracciato evidenzia l'assenza di falde superficiali significative nel tratto compreso tra Balzorile e Fosso Acquatraversa, ad esclusione di locali falde sospese all'interno della conoide.

I livelli misurati nei piezometri sono da riferire prevalentemente al livello di attestazione delle acque di falde sospese, di estensione e capacità in genere contenuta, ovvero di acque d'infiltrazione superficiali in depositi generalmente poco permeabili.

I taluni casi sarà possibile rinvenire depositi lenticolari, anche estesi, di materiali prevalentemente granulari, olistoliti e/o blocchi carbonatici isolati che potranno contenere falde limitate al volume ed alla permeabilità del litotipo coinvolto.

Nella Carta idrogeologica è stato distinto, tramite colori diversi, l'andamento indicativo delle isopieze relative all'acquifero permeabile dei carbonati (calcari, dolomie e conglomerati), dall'andamento indicativo delle isopieze nell'acquifero costituito dai depositi detritico-alluvionali, dotati nel complesso di scarsa permeabilità e sede, come predetto, di falde superficiali di importanza relativa.

Nella seguente tabella vengono riportati i livelli piezometrici rilevati nell'ambito dei complessi detritico-alluvionali e/o argillosi.

**Tab.1a: Strumentazioni piezometriche e livelli di falda nel complesso detritico-alluvionale e/o argilloso**

<b>Piezometri Sondaggi Lato Formia</b>	<b>Quota P.C.</b>	<b>PROFONDITA' STRUMENTAZIONE</b>	<b>Livello acqua da p.c. (m)</b>
S2	60,0 m s.l.m.	20.0m	-2.4
S3	80,0m s.l.m.	21.0m	-0.4
S4	89,2m s.l.m.	20.5m	-0.7
S5	72,4m s.l.m.	20.5m	-3.1
S7	80,9m s.l.m.	21.0m	-5.7
S8	82,3m s.l.m.	17.0m	-12.9
S9	76,9m s.l.m.	20.0m	-5.8
S10	82,4m s.l.m.	20.0m	-3.5
S11	77.4m s.l.m.	21.0m	-5.4
S1A	30,6m s.l.m.	15.0m	-11.2



<b>S2A</b>	<b>34,7m s.l.m.</b>	<b>17.5m</b>	<b>-4.3</b>
<b>S3A</b>	<b>37,8m s.l.m.</b>	<b>21.0m</b>	<b>-8.7</b>
<b>S4A</b>	<b>42,2m s.l.m.</b>	<b>20.0m</b>	<b>-14.5</b>
<b>S5A</b>	<b>37,0m s.l.m.</b>	<b>20.0m</b>	<b>-13.2</b>
<b>S6A</b>	<b>41,7m s.l.m.</b>	<b>19.0m</b>	<b>-14.6</b>
<b>S7A</b>	<b>34,6m s.l.m.</b>	<b>18.0m</b>	<b>-8.4</b>
<b>Piezometri Sondaggi Lato Itri</b>	<b>Quota P.C.</b>	<b>PROFONDITA' STRUMENTAZIONE</b>	<b>Livello acqua da p.c. (m)</b>
<b>S12</b>	<b>95,0 m s.l.m.</b>	<b>20.0m</b>	<b>-16.5</b>
<b>S13</b>	<b>95,0m s.l.m.</b>	<b>20.0m</b>	<b>-15.6</b>
<b>S14</b>	<b>90,0m s.l.m.</b>	<b>15.0m</b>	<b>-8.9</b>

## **SCHEMA DI CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA**

### **AREA GALLERIA NATURALE**

La circolazione idrica sotterranea all'interno dell'unità idrogeologica degli Aurunci occidentali è di tipo basale ed è regolata, per grandi linee, da due principali direttrici di flusso: una prima (verso N), convoglia notevoli volumi d'acqua (1,65mc/sec) verso le sorgenti della piana alluvionale del Forma Quesa (Valle Latina), la seconda (verso S), alimenta nell'area sud-occidentale le sorgenti del gruppo Mazzoccolo di Formia (>0,6mc/sec) e nell'area sud-orientale la sorgente Capo d'Acqua di Spigno (1,2mc/sec).

Dalle analisi isotopiche, eseguite nel periodo marzo '79-marzo '80 (Celico P. 1983), risultano più vecchie le acque di fuoriuscita di Capo d'Acqua di Spigno, mentre per la sorgente Mazzoccolo si evidenziano i circuiti più veloci. Tale diversità potrebbe ricondursi alle maggiori dimensioni del bacino di alimentazione di Capo d'Acqua.

Il gruppo sorgivo di Mazzoccolo (8.5 m s.l.m. circa) emerge a S di S. Antonio, al contatto per faglia, tra i conglomerati del Pliocene e i depositi terrigeni della piana; attraverso questi, parte della potenzialità dell'acquifero viene dissipata nel tratto di costa compreso tra Vindicio e Gianola, dove il rilievo all'infrarosso ha evidenziato un'importante anomalia termica, solo in parte riconducibile a fenomeni d'inquinamento.

Le acque circolanti all'interno del bacino di alimentazione, individuato nel settore meridionale della struttura carbonatica, prima di giungere alla naturale scaturigine (Mazzoccolo) ubicata in corrispondenza del contatto con il Complesso Argilloso, vengono in parte drenate dal Complesso dei Conglomerati pliocenici ribassati per faglia (Colle S. Antonio). La similitudine nelle caratteristiche di permeabilità (per

fratturazione e carsismo) dei due complessi (Calcareo-dolomitico e Conglomeratico), determina un salto di permeabilità relativa sostanzialmente trascurabile, con conseguente deflusso veloce tra i due.

Inoltre, deflussi veloci si originano nell'ambito dell'idrostruttura carbonatica, dove le acque meteoriche s'infiltrano attraverso doline ed inghiottitoi ubicati in Piano Terruto, Acquaviva, Gegne, Ottorile etc. e raggiungono, in tempi brevissimi ed attraverso condotti, le emergenze sorgive (Bartolomei et alii 1985).

In sintesi le acque della sorgente Mazzoccolo risultano alimentate principalmente dalla falda di base del massiccio dei Monti Aurunci occidentali, alle cui portate si sovrappongono acque defluenti nelle fratture caratterizzate da carsismo ipogeo spinto e/o nei condotti carsici con tempi di transito molto ridotti (Celico P., 1985).

I maggiori esperti sono concordi sul fatto che non sono ancora state chiarite le condizioni idrogeologiche nell'immediato intorno della sorgente Mazzoccolo, ed in particolare a riguardo del reticolo di captazione artificiale, nei rapporti di giacitura tra i conglomerati, il complesso carbonatico ed il complesso argilloso.

L'andamento della superficie piezometrica ricavato da misurazioni dirette dei livelli statici nei pozzi per acqua esistenti nell'area, è stato confermato dalle indagini dirette (sondaggi geognostici strumentati con piezometro) ed indirette (in particolare S.E.V. con stendimenti AB di lunghezza sino a 1200m) eseguite lungo il tracciato previsto della galleria.

Nel corso dei sondaggi geognostici, effettuati nel periodo giugno-agosto 1999 nell'area della galleria naturale (sondaggi SG) non è stata rilevata la presenza della falda acquifera nell'ambito delle profondità raggiunte con le perforazioni sintetizzate nella Tab.1b

**Tab.1b : Strumentazioni piezometriche installate nell'area della Galleria Naturale**

<b>PIEZOMETRO T.A.</b>	<b>QUOTA P.C.</b>	<b>PROFONDITA' STRUMENTAZIONE</b>
<b>SG2</b>	<b>146,8m s.l.m.</b>	<b>64m</b>
<b>SG3</b>	<b>236,5m s.l.m.</b>	<b>141m</b>
<b>SG4</b>	<b>173,4m s.l.m.</b>	<b>141m</b>

Le letture piezometriche effettuate nel periodo giugno-settembre 1999 hanno permesso di evidenziare i seguenti risultati:

- il sondaggio geognostico SG4 effettuato in località Pietime e spinto fino alla profondità di 141metri non ha rilevato la presenza di una falda acquifera fino alla quota di circa 32 m s.l.m.;
- in località S. Maria della Noce il sondaggio SG3 spinto fino alla profondità di 141.5 m non ha rilevato la presenza di una falda acquifera fino alla quota di circa 93 m s.l.m.

Infine i risultati della prospezione geoelettrica, come esplicitato nella relazione geofisica allegata, hanno evidenziato nell'area dell'imbocco est la presenza di calcari e dolomie asciutti almeno fino alla quota di circa 40 m s.l.m.

In base alle considerazioni precedentemente riportate, dove si indica la probabile presenza di condotti carsici a prevalente sviluppo verticale all'interno degli ammassi rocciosi carbonatici, non è da escludere tuttavia che nel corso dell'anno in concomitanza o con breve ritardo rispetto a precipitazioni meteoriche, anche non intense, possano manifestarsi venute di acqua attraverso fratture anche di piccole

dimensioni che interessino il massiccio carbonatico a vari livelli e di conseguenza, potenzialmente, in relazione al quadro fessurativo locale, il tracciato della galleria.

A questo proposito è opportuno riportare una considerazione sviluppata dal Prof. Boni (2004) che evidenzia come esista la possibilità che consistenti apporti idrici, canalizzati all'interno del reticolo carsico, provengano dalla superficie del terreno verso la galleria naturale in concomitanza di eventi meteorici di elevata intensità.

La galleria naturale, in corrispondenza del rilievo di M.te S. Maria e di Costamezza, la galleria si trova a quote variabili tra circa 100 m e 30 m (imbocco ovest). In corrispondenza di M.te di Mola, si viene a trovare ad una quota variabile fra 75 m (imbocco est) e 100 m circa, massima quota dell'opera.

Come riportato nella relazione del Prof. Boni (2004) per definire i rapporti fra l'acquifero carbonatico basale e la galleria è necessario valutare quale sia l'effettiva posizione del campo piezometrico normale e delle sue variazioni estreme, in corrispondenza dell'opera.

A tal fine si riportano di seguito in tabella 2 le misure dei livelli piezometrici, eseguite nei pozzi ubicati nella carta geologica allegata:

**Tab. 2** – *Misure dei pozzi censiti nell'area attraversata dal tracciato della galleria naturale*

Pozzi misurati	Quota bocca-pozzo (m s.l.m.)	Livello statico (m)	Livello piezometrico (m s.l.m.)
P1	37	29.3	7.7
P2	118.8	109	9.8
P3	100	91	9
P4	114	104.5	9.5
P5	122.3	113	9.3
P6	66.8	51.1	15.7
P7	12.5	12.4	0.1
P8	64	54.9	9.1
P9	99.3	91	8.3
P11	120	96.8	23.2
P12 (recente)	371	286	85

In particolare, recenti verifiche sui pozzi hanno condotto ad una più precisa definizione delle quote bocca-pozzo: per i pozzi P4 e P11 le quote dei livelli piezometrici sono risultate rispettivamente di 9.5 e 23.2 m s.l.m.; i dati del pozzo P10 non sono più presi in considerazione perchè derivanti da informazioni incerte.

Inoltre, informazioni recentissime raccolte nel maggio 2004, relative ad un pozzo (De Meo) in costruzione, profondo 450 m ed ubicato circa 3 km a nord della Sorgente Mazzoccolo, portano un contributo significativo alla definizione delle caratteristiche dell'acquifero carsico in esame. La perforazione, in periodo invernale, ha incontrato modesti acquiferi sospesi incapaci di fornire una portata continua e consistente. A quote variabili tra 40 e 10 m s.l.m., il foro ha attraversato un orizzonte carsificato saturo, capace di fornire portate consistenti; nella primavera del 2004 il livello piezometrico è risalito nel foro ad una quota di circa 85 m s.l.m.. Queste informazioni indicano che, nel rilievo considerato, si trova un reticolo carsico attivo, posto ad una quota variabile tra 40 e 10 m s.l.m., perennemente saturo, che agisce come dreno preferenziale. Questo reticolo entra in carico a seguito di precipitazioni particolarmente intense e prolungate, con oscillazioni piezometriche che si possono stimare di circa una decina di metri, all'interno del rilievo e che risultano progressivamente decrescenti verso il punto di emergenza principale.

In base a queste considerazioni ed alle misure dei livelli riportati in tabella 1, nella carta idrogeologica allegata, è stato tracciato il più probabile andamento del campo piezometrico.

Le linee piezometriche riportano due valori, quello inferiore relativo al campo piezometrico normale e quello superiore relativo alle quote piezometriche che si possono raggiungere quando il reticolo carsico entra in carico, a seguito di afflussi particolarmente intensi.

Dalla carta idrogeologica allegata risulta che la Sorgente Mazzoccolo è alimentata dal rilievo di M.te di Mola e dalle dorsali più settentrionali, mentre i rilievi M.te S. Maria e di Costamezza alimentano un acquifero pedemontano e costiero che si perde direttamente in mare. In corrispondenza del tratto da Rave Rosse alla vallecola di S. Maria della Noce, la galleria, in base all'analisi dei dati attualmente disponibili si verrebbe a trovare ad un'altezza variabile tra circa 50 e 65 m sopra il livello piezometrico normale e tra circa 40 e 55 m sopra il livello corrispondente al campo piezometrico in condizioni di carico idraulico. Nel tratto dalla vallecola di S. Maria della Noce a Costamezza la galleria si troverebbe circa tra 60 e 20 m sopra il campo piezometrico normale e tra 50 e 15 m sopra il livello piezometrico in condizioni di carico idraulico. I valori più bassi si registrano, ovviamente, in corrispondenza dell'imbocco occidentale.

In base valutazioni emergenti dai dati attualmente disponibili, si desume quindi che la galleria è posta ad una quota tale da escludere interferenze dirette tra le opere di scavo ed il settore permanentemente saturo dell'acquifero.

Nell'area delle Galleria Naturale rivestirà comunque notevole importanza, in sede di progettazione definitiva, la realizzazione di quattro pozzi piezometrici che permettano l'esecuzione di un monitoraggio realmente esteso e prolungato nel tempo dell'acquifero basale che alimenta la sorgente Mazzoccolo, come indicato nella relazione del Prof. Boni (2004).

“I pozzi previsti hanno le seguenti finalità:

- Verificare l'effettiva posizione del livello piezometrico, in diversi punti dell'acquifero e controllarne direttamente la variazione nel tempo.
- Consentire il prelievo di significativi campioni d'acqua dall'acquifero basale.

Si è considerato significativo un campione che viene prelevato dopo aver mantenuto in esercizio il pozzo piezometrico per un periodo di almeno un'ora. Nel pozzo è quindi prevista l'installazione di una piccola pompa dotata di opportune caratteristiche.

- Consentire l'inserimento nel pozzo piezometrico di sonde, capaci di rilevare specifici caratteri chimico-fisici.
- Consentire la tempestiva individuazione di eventuali fenomeni di inquinamento, causati da situazioni critiche, che potrebbero insorgere durante la costruzione dell'opera o durante l'esercizio della galleria.

E' evidente la necessità di prevedere una adeguata impermeabilizzazione della Galleria Costamezza combinata con la presenza all'interno della stessa di canali di scolo e vasche di raccolte liquidi dispersi potenzialmente inquinanti nonché la opportunità di proibire in fase di realizzazione l'uso di sostanze inquinanti tali da causare accidentali inquinamenti dell'acquifero .

## **AREA ESTERNA ALLA GALLERIA NATURALE**

Nel tratto compreso tra Fosso Acquatraversa e M. Campese l'acquifero è costituito dai conglomerati del Pliocene, affioranti a M. Campese stesso dove poggiano sulle "Argille varicolori" a sud e sulle "Argille con gessi" a nord.

La giacitura dei conglomerati pliocenici al di sopra delle unità argillose evidenzia un limite inferiore (tra conglomerati ed argille varicolori) discordante debolmente inclinato verso sud.



L'intera successione di Monte Campese è stata interessata dalla tettonica pre e post-pliocenica, manifestatasi con la genesi di nuove faglie e la riattivazione di esistenti, anche a cinematica complessa, che ne hanno disarticolato l'assetto in tempi successivi alla deposizione dei conglomerati.

La funzione di roccia serbatoio assolta dai conglomerati pliocenici di M.Campese ed il ruolo di impermeabile relativo operato dai depositi argillosi sottostanti risulta evidente lungo il bordo SE del rilievo in esame in cui, come risulta dalla carta idrogeologica allegata si ha l'emergenza della sorgente di Acqualonga (sc1), sorgente a carattere perenne con una portata media pari a circa 0.35 l/sec ed alcune sorgenti stagionali (alla quota di circa 40m s.l.m.)(sc2).

Ad Est del gruppo sorgivo è stato rilevato un pozzo (Pc3) poco profondo con piezometrica posta a pochi metri dal p.c.

A breve distanza, verso Sud, sono stati rilevati due pozzi (Pc4, Pc5) in cui la profondità per intercettare l'acquifero, costituito da unità litoidi carbonatiche, si aggira intorno ai 100m e la profondità del livello statico della falda si attesta intorno ai 5-6m dall'attuale p.c.

Tale fenomeno di artesianità della falda profonda può essere interpretato con l'esistenza del basamento carbonatico acquifero, posto ad una profondità di ca. 90-100m dall'attuale p.c. (nell'area a *sud* ed *est* di M.Campese), tamponato superiormente dalla spessa copertura prevalentemente argillosa impermeabile.

Considerata la litostratigrafia dell'area, per quanto riguarda le problematiche connesse alle fasi esecutive della galleria artificiale di M. Campese, si suggerisce di procedere con le fasi di scavo da *est* verso *ovest* al fine di favorire lo smaltimento per deflusso a gravità di eventuali acque d'infiltrazione e/o percolazione all'interno dei conglomerati e di precipitazione meteorica.

La prospezione geoelettrica effettuata da sez.305 a sez.313 (M.Campese) ha messo in evidenza l'assenza, in quest'area, di una falda idrica perenne all'interno dei conglomerati. Tale Unità è comunque in grado di drenare discrete quantità d'acqua al suo interno, in corrispondenza di apporti pluviometrici anche non particolarmente intensi, e recapitarle in tempi brevi verso valle.

Considerati i risultati della prospezione geoelettrica, alla luce delle quote assolute di progetto, è possibile ritenere che la base dei conglomerati neritici sia posta ad una quota assoluta di ca. 67-69m in corrispondenza della sez.307 (quota progetto ca.70m) e che quindi lo scavo, in questo tratto, interesserà in parte i conglomerati ed in parte le argille caotiche sottostanti, in contatto "discordante" tra loro.

Al "tetto" delle argille sottostanti i conglomerati sarà possibile rilevare la presenza di livelli, di spessore variabile, di detrito carbonatico probabilmente sede di drenaggi localizzati.

In base a quanto appena riportato possiamo ritenere che le emergenze sorgentizie di Acqualonga siano localizzate al piede del versante sudorientale di Campese, dove le quote assolute del contatto con le "argille varicolori" (impermeabile relativo) sottostanti raggiungono i valori minimi.

Allo scopo quindi di garantire le fasi costruttive e successivo esercizio dell'opera, considerando che, in relazione ai dati da noi acquisiti, la galleria non dovrebbe interessare la superficie piezometrica della falda acquifera che alimenta la sorgente di Acqualonga, si dovranno comunque realizzare idonei interventi di drenaggio (anche provvisori) che permettano il deflusso delle acque provenienti da monte verso valle (sud), in direzione all'incirca ortogonale al tracciato, nel lato a monte della galleria artificiale ed al di sotto della fondazione della galleria (manto drenante di sottofondazione o tubazioni drenanti orizzontali).

**La necessità di realizzare idonei sistemi drenanti è comunque collegata alla notevole capacità drenante dei conglomerati ed alla possibilità che nei momenti di massimo apporto pluviometrico potranno riversarsi nell'area della galleria notevoli quantità d'acqua.**

Inoltre, a tergo del paramento di monte della galleria artificiale, si potrà eventualmente realizzare un setto drenante con una idonea tubazione di raccolta alla base a decorso longitudinale al percorso che recapiti verso valle le acque drenate in un collettore di raccolta.

Così facendo si potrà evitare che la galleria artificiale nel suo insieme si comporti come una barriera impermeabile nei confronti del naturale deflusso delle acque drenate dai conglomerati in concomitanza di precipitazioni meteoriche (sostenute dalle unità argillose sottostanti pressoché impermeabili).

Lungo la piana e nella parte restante del tracciato in esame (ca. da sez. 322 a sez. 442) lo spessore della copertura relativamente impermeabile aumenta sensibilmente riducendo le possibili interferenze con acque di falda all'occasionale intercettazione di falde sospese di entità contenuta che possono localmente riscontrarsi in condizioni giaciture e stratigrafiche favorevoli, al contatto fra le coltri detritiche granulari affioranti ed i depositi prevalentemente argillosi.

Si rammenta che le unità carbonatiche sono permeabili per fessurazione e carsismo quindi è possibile che alcune parti dei volumi rocciosi (soprattutto dove dolomitici) risultino compatte e pressoché impermeabili.

Nel corso dell'attività esecutiva, la totalità degli scavi che interesseranno terreni argillosi, dovranno essere dotati di opportune opere di drenaggio ed allontanamento delle acque di precipitazione meteorica e/o d'infiltrazione superficiale, sempre collegandosi a sistemi di eduazione già esistenti sul territorio e non disperse in modo incontrollato.

Le linee di deflusso delle acque dell'idrografia superficiale non dovranno assolutamente essere ostruite, tombate o ridotte di sezione, anche temporaneamente; nel corso dei lavori quando verranno intercettate le linee d'impluvio si dovrà operare in modo di garantire il naturale deflusso delle acque di ruscellamento.

Il sistema di raccolta e smaltimento delle acque piovane definitivo, che verrà realizzato ai fini dell'esercizio della strada, dovrà essere correttamente dimensionato e recapitato in idonei recettori in grado di smaltire anche portate connesse ad eventi meteorici straordinari senza creare allagamenti che riguardino l'opera od a valle della stessa.

### ***9) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E GEOMECCANICA DELLE TERRE E DEGLI AMMASSI ROCCIOSI***

A seguito di un'accurata analisi dei rilievi geomeccanici, delle campionature effettuate in cantiere, integrata dai risultati delle prove geotecniche eseguite in situ, dai risultati delle prove penetrometriche dinamiche SCPT ed in relazione ai risultati delle prove di laboratorio effettuate su campioni indisturbati e spezzoni di carota nei livelli litoidi i cui risultati sintetici sono riportati nelle Tabelle n.3 e Tabella n.4 estratte dalla Relazione sulle Indagini Geognostiche e Geofisiche, è stato possibile schematizzare la situazione litostratigrafica e geomeccanica che caratterizza la zona interessata dalle indagini, in una serie di livelli rappresentativi evidenziati nelle sezioni longitudinali e trasversali allegate.

Per i limiti di rappresentazione imposti non è stato possibile evidenziare le coltri superficiali alterate nelle sezioni stesse; per una verifica puntuale dello spessore delle coltre superficiale alterata si rimanda all'analisi delle singole stratigrafie e/o prove in sito riportate in allegato alla Relazione sulle Indagini Geognostiche e geofisiche.

Le indagini geologiche effettuate integrate dalle informazioni geognostiche e geotecniche reperite hanno permesso di evidenziare, la presenza di litotipi differenziati in funzione delle caratteristiche geomeccaniche.

Dall'alto verso il basso ovvero dalò più recente al più antico si possono distinguere :

#### **- ALLUVIONI RECENTI**

Caratterizzate da parametri geomeccanici scadenti, interessano il tracciato marginalmente, in corrispondenza del tratto terminale orientale del tracciato in esame.

Le aree in cui tali depositi affiorano sono state indicate nella Carta Geologica e nei Profili dal colore celeste chiaro.

Litologicamente comprende limi e argille di colore marrone, rossastro, avana e grigio chiaro, a luoghi frammiste con depositi ghiaiosi poligenici ed eterometrici. A luoghi possono essere abbondanti le intercalazioni di detriti di falda, con blocchi anche di notevoli dimensioni.

Lungo il limite possono risultare intercalati ai depositi di conoide alluvionale.

Lo spessore massimo è stimato intorno ad alcune decine di metri.

L'età è riferibile all'Olocene.

Nell'ambito dello strato in esame non sono state eseguite prove dirette ma considerando quanto riscontrato nelle coltri superficiali alterate rilevate nell'ambito della coltre Detritico-Alluvionale può essere proposta in via cautelativa la seguente parametrizzazione geotecnica media

Peso di volume	$\gamma = 1.70 \text{ t/mc}$
Coazione drenata	$c' \approx 0-0.1 \text{ kg/cmq}$
Angolo di attrito	$\varphi' \approx 20^\circ-22^\circ$
Coazione non drenata	$c_u \approx 0.25 \text{ kg/cmq}$
Resistenza a compressione	$q_0 \approx 0.5 \text{ kg/cmq}$

## - DEPOSITI ELUVIALI-COLLUVIALI

Coprono in affioramento le aree colorate in arancio della allegata carta geologica e costituiscono, assieme alle alluvioni recenti, i depositi di copertura, i quali terminano in alto la serie stratigrafica locale.

Dal punto di vista litologico comprendono detriti di falda, terre rosse e suoli (Tr), Argille Eluviali – Colluviali con locali intercalazioni di detriti prevalentemente calcarei (Ec) breccie di pendio (Br) e depositi di conoide alluvionale (Ca).

Gli affioramenti più cospicui di (Tr) si rinvengono lungo i bordi S e W (Piroli) dei massicci carbonatici attraversati dalla variante in progetto.

Così come evidenziato dai sondaggi a carotaggio continuo superficiali S12, S13 e S14 la litologia dei (Tr) è rappresentata da argille e limi argillosi residuali, di colore marrone, rosso, giallo e arancio, a tratti frammentati a detriti carbonatici ed eterometrici, poco evoluti.

Nell'ambito dei depositi Eluviali-Colluviali, sono state rinvenute localmente intercalazioni di blocchi litoidi carbonatici, con diametro dei singoli blocchi fino a 4 metri (vedi S13). Ciò, anche unitamente a quanto notato durante il rilevamento di campagna, fa ipotizzare la possibile presenza di blocchi carbonatici disarticolati e di dimensioni metriche nella zona dell'imbocco ovest della galleria naturale.

Lo spessore massimo dei depositi (Tr/Ec) dovrebbe aggirarsi, come evidenziato anche dai sondaggi, attorno a qualche decina di metri. L'età è riferibile all'Olocene.

Un campione indisturbato prelevato nell'ambito dei depositi Tr (S12-C1 – Tab.4) ha evidenziato le seguenti caratteristiche geomeccaniche :

Campione	Peso di volume	Coesione	Angolo di attrito
S12 – C1	$\gamma = 1.90 \text{ t/mc}$	$c' = 0.4 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 20^\circ$
		Coesione non drenata	Res.a compressione
		$c_u = 0.4 \text{ kg/cmq}$	$q_0 = 2,75$

Risulta evidente che le porzioni più alterate prossime all'affioramento e/o i termini argillosi posti al contatto con l'acqua di ruscellamento superficiale e di infiltrazione presenteranno valori di  $c'$  prossimi allo zero.

I depositi di conoide alluvionale (Ca) affiorano lungo alcuni tratti di variante fuori galleria naturale e poggiano in discordanza sopra le argille varicolori, presso le località Castagneto-Acqualonga-Ponzanello.

La litologia è rappresentata da alternanze di ghiaie eterometriche, argille e limi, a cui si intercalano a tratti sabbie limose e breccie eterometriche cementate (vedi sondaggi S15; da S1 a S7A). Lo spessore massimo è di qualche decina di metri.

In relazione ai risultati delle prove SPT ed SCPT si ritiene possibile stabilire per la porzione più granulare dei depositi di conoide alluvionale ed in genere per le intercalazioni più granulari presenti nell'ambito dei depositi Eluviali-Colluviali in esame la seguente parametrizzazione geomeccanica media:

Peso di volume	$\gamma = 2.0 \text{ t/mc}$
Coesione drenata	$c' \approx 0 \text{ kg/cmq}$
Angolo di attrito	$\varphi' \approx 32^\circ \div 34^\circ$

Per i depositi prevalentemente coesivi Eluviali-Colluviali rilevati diffusamente nel settore ad oriente della Galleria Naturale, spesso intercettate al di sopra delle argille varicolori delle quali rappresentano, il più delle volte, la porzione superficiale più alterata i campioni indisturbati rappresentativi hanno fornito i seguenti risultati (Tab. 4):



Campione	Peso di volume	Coesione	Angolo di attrito
S6 – C1	$\gamma = 2.13 \text{ t/mc}$	$c' = 0.67 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 20,8^\circ$
			Modulo Edometrico
			6249 kPa(100-200)
S8 – C1	$\gamma = 1.71 \text{ t/mc}$	$c' = 0.43 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 16,7^\circ$
			Res.a compressione
S11 – C1	$\gamma = 1.76 \text{ t/mc}$	$c_u = 0.82 \text{ kg/cmq}$	$q_0 = 1,65$
			Angolo di attrito
S1A – C1	$\gamma = 1.73 \text{ t/mc}$	$c' = 0.38 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 20^\circ$
S2A – C1	$\gamma = 1.74 \text{ t/mc}$	$c_u = 1.15 \text{ kg/cmq}$	
			Modulo Edometrico
S4A – C1	$\gamma = 1.99 \text{ t/mc}$		$E = 6474 \text{ kPa}(100-200)$

Risulta evidente che per le porzioni argillose più alterate prossime all'affioramento e/o con i termini argillosi posti al contatto con l'acqua di ruscellamento superficiale e di infiltrazione i valori di  $c'$  tenderanno a ridursi fino a zero.

#### - ARGILLE DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE

Rilevate in affioramento nelle aree colorate in giallo avana della allegata Carta Geologica poggiano sopra i conglomerati neritici del Pliocene inferiore nell'area dell'imbocco Est della Galleria Naturale, come testimoniato dal sondaggio a carotaggio continuo profondo SG4.

La litologia comprende **Argille e Marne** di colore grigio e giallo.

Lo spessore massimo affiorante è di una cinquantina di metri.

L'età geologica è riferibile al Pliocene medio-superiore.

Due campioni indisturbati prelevato nell'ambito di tali depositi (Tab.3) hanno evidenziato le seguenti caratteristiche geomeccaniche :

Campione	Peso di volume	Coesione	Angolo di attrito
SG2 – C1	$\gamma = 2.21 \text{ t/mc}$	$c' = 0.14 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 27^\circ$
	$c'/\varphi'$	Coesione Residua	$\varphi'$ residuo
	$c'=0.25\text{kg/cmq}$ $\varphi'= 29^\circ$	$c'_{r} = 0.24 \text{ kg/cmq}$	$\varphi'_{r} = 17^\circ$
SG2 – C2	$\gamma = 2.05 \text{ t/mc}$	$c' = 0.16 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 30^\circ$
	$c'/\varphi'$	Coesione Residua	$\varphi'$ residuo
	$c'=0.10\text{kg/cmq}$ $\varphi'= 30^\circ$	$c'_{r} = 0.38 \text{ kg/cmq}$	$\varphi'_{r} = 18^\circ$
			Modulo Edometrico
			$E=11600\text{kPa}(400-800)$

## - CONGLOMERATI

Rilevati in affioramento nelle aree colorate in giallo della allegata carta geologica poggiano, nella serie stratigrafica locale, in discordanza sopra i calcari del Cretacico superiore, sopra le Argille varicolori e le Argille con gessi.

Dal punto di vista litologico è rappresentata da **Conglomerati poligenici**, ossia puddinghe e breccie cementate con clasti eterogenei per natura e dimensione.

Infatti, gli elementi che le compongono non sono classati e presentano diametri da millimetrici fino a blocchi di alcune decine di centimetri: la forma dei clasti è legata alla elaborazione in ambiente marino neritico dei carbonati mesozoici e dei litoidi delle argille varicolori. Inoltre, si osservano intercalati nei conglomerati, calcareniti ed episodi argilloso-sabbiosi.

Lo spessore degli strati varia da alcune decine di centimetri fino a banchi di 2-3 metri.

Lo spessore massimo affiorante di questa unità è di circa 150 metri.

L'età geologica è riferibile al Pliocene inferiore.

Dal punto di vista del comportamento geomeccanico trattasi comunque di rocce litoidi localmente assimilabili a terre granulari da “addensate” a “molto addensate” contraddistinte da valori di  $N_{spt}$  oscillanti nella porzione più alterata tra i 30colpi/piede ed il valore limite di 50 colpi/piede caratteristici del rifiuto strumentale.

In relazione allo stato di alterazione della porzione affiorante nell'area di Monte Campese, alla diffusa presenza di blocchi e dalle valutazioni in merito al grado di fratturazione, possono essere stimati i valori medi dei parametri di resistenza equivalenti, espressi in termini di coesione ed angolo di attrito, utilizzabili ai fini progettuali :

Peso di volume  $\gamma = 2 - 2.5 \text{ t/mc}$

Coesione drenata  $c' = 0-1 \text{ kg/cm}^2$

Angolo di attrito  $\phi' = 35^\circ$

Per i valori di resistenza a compressione e per i valori dei moduli elastici da assegnare alla roccia integra rilevabile in profondità nell'area dell'Imbocco Est della Galleria naturale si potrà fare riferimento ai risultati delle prove di laboratorio

relativi ai campioni di conglomerato(Cg) prelevati nel corso del sondaggio SG4 sintetizzati nell'allegata Tab.3

## **ARGILLE CON GESSI**

### **B-2) UNITA' DEL MESSINIANO-TORTONIANO SUPERIORE**

In affioramento sono rappresentate dalle aree di colore marrone nella allegata Carta Geologica.

La litologia è rappresentata da argille siltose e sabbie argillose di colore grigio plumbeo, sottilmente stratificate e laminate, a luoghi bituminose, molto micacee, a cui si intercalano cristalli, lenti e banchi di gesso selenitico, gessoareniti e laminiti gessifere.

Lo spessore massimo affiorante è di circa 200 metri.

La presenza dei gessi permette di riferire l'unità delle **“Argille con gessi”** al “ciclo messiniano”, caratterizzato da sedimentazione in ambiente infralitorale salmastro.

La formazione delle “argille con gessi”, rilevabili in corrispondenza dell'imbocco lato Formia della Galleria Naturale, presentano uno strato superficiale, con caratteristiche geomeccaniche scadenti con spessore di pochi metri (es. PP12 e PP13).

I parametri di resistenza a rottura sono da ritenersi geotecnicamente scadenti per i termini più superficiali, mentre a maggiore profondità migliorano decisamente in relazione ad un notevole aumento del grado di consistenza.

La parte più profonda e integra della formazione è caratterizzata da un fortissimo OCR..

**Si evidenzia che nell'ambito della formazione è possibile rilevare venute di gas** come rilevato nel corso del sondaggio SG2 in prossimità del passaggio con le sovrastanti argille plioceniche in cui sono state rilevate manifestazioni discontinue di gas inodore ed acqua .

I risultati delle prove di laboratorio relative a campioni di argille con gessi prelevati nel sondaggio SG2 relativo alle indagini finalizzate alla realizzazione della galleria naturale, sintetizzati nella Tab.3, sono i seguenti :

Campione	Peso di volume	Coesione	Angolo di attrito
SG2 – C3	$\gamma = 2.17 \text{ t/mc}$	$c' = 0.3 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 22^\circ$
		Coesione residua	$\varphi' \text{ residuo}$
		$c'r = 0.39 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' r = 20^\circ$
		Press. di rigonfiamento	Modulo Edometrico
		300 kPa	$E=28200\text{kPa}(400-800)$

Si evidenzia che valori di  $c'$  prossimi allo zero potranno essere rilevati in corrispondenza delle porzioni argillose più alterate prossime all'affioramento e/o nei termini argillosi posti al contatto con l'acqua di ruscellamento superficiale e di infiltrazione.

In relazione alla esecuzione delle opere in programma si ribadisce l'effetto negativo sui depositi argillosi sovraconsolidati interessati dagli scavi, prodotto dalle acque di ruscellamento ed infiltrazione che, nei termini litologici superficiali o messi a giorno dagli scavi possono produrre una sostanziale riduzione dei valori di resistenza al taglio.

## - ARGILLE VARICOLORI

In affioramento sono rappresentate dalle aree di colore grigio nella allegata Carta Geologica.

Sono costituite da argille grigie e verdi, con fiamme rosse e gialle, caoticizzate e tettonizzate, inglobanti elementi lapidei estremamente eterogenei, sia come litologia che come dimensioni e note in letteratura con il nome di **“Argille Varicolori”** e **“Argille Caotiche”**.

Una seconda litofacies, più profonda, con spessore massimo di circa 300 metri, appare costituita da argille e silt molto dure, di colore grigio chiaro e scuro, sottilmente stratificate, a cui si intercalano livelletti e strati di arenarie grigie. Questa seconda litofacies potrebbe essere riferita al flysch argilloso-arenaceo miocenico.

Rappresentano il terreno di base della serie stratigrafica analizzata oltre la sezione 237.

Per i depositi prevalentemente coesivi rilevati diffusamente nel settore ad oriente della Galleria Naturale, spesso intercettate al di sotto delle argille Eluviali-Colluviali che ne rappresentano, il più delle volte, la porzione superficiale più alterata i campioni indisturbati rappresentativi hanno fornito i seguenti risultati (Tab. 4):

Campione	Peso di volume	Coesione	Angolo di attrito
S3 – C1	$\gamma = 2.12 \text{ t/mc}$	$c' = 0.17 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 27^\circ$
			Modulo Edometrico
S3 – C2	$\gamma = 2.26 \text{ t/mc}$	$c_u = 2.61 \text{ kg/cmq}$	$E = 11462 \text{ kPa}(100-200)$
			Angolo di attrito
S4 – C1	$\gamma = 2.13 \text{ t/mc}$	$c' = 0.69 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 18^\circ$
			Modulo Edometrico
S4 – C2	$\gamma = 2.13 \text{ t/mc}$	$c_u = 2.37 \text{ kg/cmq}$	$E = 11467 \text{ kPa}(100-200)$
S5 – C1	$\gamma = 2.12 \text{ t/mc}$	$c_u = 1.46 \text{ kg/cmq}$	
S6 – C2	$\gamma = 2.02 \text{ t/mc}$	$c_u = 1.32 \text{ kg/cmq}$	Modulo Edometrico
S7 – C1	$\gamma = 2.09 \text{ t/mc}$	$c_u = 1.53 \text{ kg/cmq}$	$E = 8588 \text{ kPa}(100-200)$
S8 – C2	$\gamma = 2.38 \text{ t/mc}$		$E = 7884 \text{ kPa}(100-200)$
S9 – C1	$\gamma = 2.14 \text{ t/mc}$	$c_u = 2.8 \text{ kg/cmq}$	$E = 6120 \text{ kPa}(100-200)$
			Angolo di attrito
		$c' = 0.71 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 18^\circ$
S10 – C1	$\gamma = 2.16 \text{ t/mc}$	$c' = 0.50 \text{ kg/cmq}$	$\varphi' = 22^\circ$
S11 – C2	$\gamma = 2.03 \text{ t/mc}$	$c_u = 1.3 \text{ kg/cmq}$	

Risulta evidente che le porzioni argillose più alterate prossime all'affioramento e/o i termini argillosi posti al contatto con l'acqua di ruscellamento superficiale e di infiltrazione presenteranno valori di  $c'$  prossimi allo zero.

## **- SERIE CARBONATICA MESOZOICA**

Poichè lo sviluppo della galleria interessa litotipi caratterizzati da comportamenti geomeccanici anche molto dissimili tra essi (rocce lapidee, anche a comportamento sciolto granulare ove intensamente cataclasate, nonché terre coesive) i sistemi di classificazione si basano sull'esame di parametri caratteristici, significativi delle caratteristiche globali degli ammassi.

Quindi, mentre per le formazioni argillose si è fatto riferimento all'Indice di Consistenza, gli ammassi carbonatici sono stati classificati tramite il Basic RMR-System (Bieniawski 1989), che consente la determinazione delle caratteristiche di deformabilità e di resistenza «intrinseche» degli ammassi, a prescindere dal tipo di opera.

E' possibile comunque l'incontro di singoli eventi milonitici argillificati, di piccolo spessore, sia di interludi di «Argille caotiche» lungo i piani di faglia. Inoltre, non si esclude la presenza di interstrati in facies argilloso-marnosa nell'ambito della serie carbonatica.

## **CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DEGLI AMMASSI LITOIDI**

Per consentire una parametrizzazione degli ammassi rocciosi si è utilizzata la classificazione RMR-System (Bieniawski 1989) tramite determinazione dell'Indice Basic RMR (BRMR), che prescinde dall'orientamento delle discontinuità rispetto alla direzione di avanzamento (Bieniawski 1989, Coppola et alii 1992, Capizzi et alii 1993, Coppola et alii 1994, Cortemaglia et alii 1996 etc.).



La classificazione stessa si basa sulla somma di «rating» ricavati dalla valutazione statistica dei seguenti parametri:

Rating1: Resistenza alla compressione uniassiale della roccia intatta;

Rating2: R.Q.D.%;

Rating3: Spaziatura delle discontinuità';

Rating4: Condizioni delle discontinuità'

Rating5: Condizioni idrauliche.

La loro determinazione e' stata effettuata in situ tramite 5 stazioni di rilevamento geomeccanico denominate rispettivamente R1, R2, R3, R4, R5 ed R6 e riportate nella Carta Ceologica allegate. I risultati sono tabulati nelle schede riassuntive di ogni singolo stendimento (allegate).

In particolare nella scelta delle stazioni di rilevamento sono stati presi in considerazione solo siti che presentassero fronti di scavo recenti e ben visibili.

L'ubicazione stessa e' stata inoltre condizionata dalla necessita' di classificare gli ammassi in varie condizioni di stress, ovvero sia in vicinanza di faglie primarie, sia in zone che hanno risentito in minor misura della tettonica.

In considerazione degli scarsi inputs d'ingresso oggettivi (prove di resistenza a compressione uniassiale o Indice Point-load test) il primo parametro e' stato desunto, con valore indicativo, tramite prove di indice manuale. Queste hanno permesso di restringere il campo di variabilità numerico tramite assegnazione di un range potenziale di oscillazione ( $\text{Rating1}_{\min}$  -  $\text{Rating1}_{\max}$ ).

Si raccomanda l'integrazione dei dati d'ingresso delle allegate schede riassuntive tramite l'esecuzione, lungo lo stendimento, di Point-load tests nonchè di prove di resistenza a compressione uniassiale in laboratorio.

L'indice R.Q.D.% e' stato determinato per diretta correlazione con la spaziatura rilevata nel corso dei rilievi geomeccanici (Ercoli e Nocilla 1986).

Circa la Spaziatura, ricalcolata in direzione normale alle discontinuità, l'indice assegnato è stato aumentato del 30%, per le stazioni con numero di set significativi inferiori a 3.

Indispensabile per la determinazione del numero di set, oltre alle evidenze di campagna, è stata l'analisi dei diagrammi di densità ricavati tramite plottaggio su reticolo di Schmidt e contornamento su reticolo di Kalsbeek (allegato).

Il «rating» relativo alle Condizioni delle discontinuità (Rating4) è stato determinato tramite somma degli indici assegnati ai singoli elementi che lo compongono (Bieniawski 1989): Lunghezza, Apertura, Scabrezza, Materiale di riempimento, Grado di alterazione.

Per le Condizioni idrauliche ci si è limitati ad una stima visiva dello stato di umidità (asciutto, umido, bagnato) delle pareti dei giunti.

L'indice BRMR ricavato per le stazioni di rilievo è presentato nelle seguenti tabelle riassuntive:

**Rilievo R1 (Costamezza)**

	max	min
Rating1	12	4
Rating2	18	18
Rating3	9	9
Rating4	21	21
Rating5	15	15

---

$$\text{BRMR}_{\max} = 75$$

$$\text{BRMR}_{\min} = 67$$

**Rilievo R2 (Versante W di M. Di Mola)**

	max	min
Rating1	15	10
Rating2	19	19
Rating3	11	11
Rating4	25	25
Rating5	15	15

---

$$\text{BRMR}_{\max} = 85$$

$$\text{BRMR}_{\min} = 80$$

**Rilievo R3 (Versante E di M. S. Maria)**

	max	min
Rating1	15	10
Rating2	7	7
Rating3	7	7
Rating4	24	24
Rating5	15	15

---

$$\text{BRMR}_{\max} = 68$$

$$\text{BRMR}_{\min} = 63$$

**Rilievo R4 (Versante E di M. di Mola)**

	max	min
Rating1	12	4
Rating2	18	18
Rating3	10	10
Rating4	5	5
Rating5	15	15

---

$$\text{BRMR}_{\max} = 60$$

$$\text{BRMR}_{\min} = 52$$

**Rilievo R5 (Versante S di M. S.Maria)**

	max	min
Rating1	12	4
Rating2	19	19
Rating3	10	10
Rating4	10	10
Rating5	15	15

---

$$\text{BRMR}_{\max} = 66$$

$$\text{BRMR}_{\min} = 58$$

**Rilievo R6 (Versante SW di Costamezza)**

	max	min
Rating1	12	4
Rating2	17	17
Rating3	10	10
Rating4	14	14
Rating5	15	15

---

$$\text{BRMR}_{\max} = 68$$

$$\text{BRMR}_{\min} = 60$$

I valori dell'indice, desunti dall'analisi dei dati delle diverse stazioni, non sono mai da considerarsi rappresentativi delle resistenze di picco o residue degli ammassi.

In particolare le resistenze residue saranno riscontrate soprattutto lungo le fasce cataclasiche, che caratterizzano le zone di massimo stress. Infatti, qui il comportamento si discosta totalmente da quello di roccia litoide, potendosi assimilare invece, a luoghi, a quello di terra granulare (sabbie ghiaiose da disfacimento).

Benché la precedente classificazione rappresenti un approccio preliminare necessario per le previsioni qualitative progettuali di massima (metodi e tecnologie di scavo, prima valutazione dei possibili sistemi di avanzamento e delle opere di sostegno, stima di massima dell'impegno finanziario etc.) e' certo che la zonizzazione in ammassi rocciosi omogenei, così come desunta dalle sole misure di campagna, e' estremamente complessa o addirittura fuorviante, date le complesse vicissitudini geologico-strutturali dell'area studiata.

Infatti l'indagine meso-strutturale puo' assumere valore puramente statistico, non potendosi considerare esaustiva nella descrizione di tutti i possibili stati di fratturazione e/o di stratificazione degli ammassi.

A ciò si unisce l'incertezza nell'acquisizione di alcuni parametri d'ingresso fondamentali, come la resistenza della roccia integra o la determinazione delle condizioni idrauliche in profondità, che potrebbero essere accertate solo in cunicolo esplorativo con rilievi periodici lungo un significativo arco temporale o attraverso adeguati approfondimenti di indagine di tipo sia diretto che indiretto.

Quindi, è auspicabile che i parametri geostrutturali rilevati in campagna siano integrati con altri a minor grado di incertezza, desumibili da indagini dirette e indirette, sia per una riclassificazione successiva degli ammassi secondo l'RMR che

per una classificazione con altri sistemi.

Per i valori di resistenza a compressione e per i valori dei moduli elastici rilevati nella roccia integra rilevata in profondità nell'area di S.Maria della Noce si potrà fare riferimento ai risultati delle prove di laboratorio relativi in particolare ai campioni di Calcarea Dolomitica prelevati nel corso del sondaggio SG3 sintetizzati nell'allegata Tab.3 nonché ai risultati delle prove PLT riportati in Tab.4.

**COMMITTENTE: ATI POLITECNICA scrI - SATPI srl**  
**CANTIERE: VARIANTE ALLA S.S.7 APPIA NEL COMUNE DI FORMIA**

Tab. 3: QUADRO RIASSUNTIVO DEI RISULTATI DELLE PROVE DI LABORATORIO (FASE 1)

QUADRO RIASSUNTIVO DEI RISULTATI			SOND. CAMP/ PROV. da m a m N° laborat	SG2	SG2	SG2	SG3	SG3	SG3	SG3	SG3	SG3	SG4	SG4	SG4	SG4	SG4	SG4	
				1	2	3	C4 / 1	C5 / 1	C6 / 1	C6 / 2	C8 / 1	C9 / 1	C4 / 1	C5 / 1	C6 / 1	C7 / 1	C8 / 1	C12 / 1	
				14,50	42,00	67,00	108,00	109,00	110,00	110,00	112,00	113,00	81,00	82,00	83,00	84,00	85,00	90,25	
				15,00	42,50	37,51													
FORMAZIONE				Ap	Ap	Ag	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cd	Cg	Cg	Cg	Cg	Cg	Cg	
CARATTERISTICHE FISICHE	CONTENUTO NATURALE D'ACQUA		Wn	(%)	15,30	18,30	16,50												
	PESO DI VOLUME NAURALE		$\gamma_n$	(g/cm3)	2,21	2,05	2,17												
	PESO DI VOLUME SECCO		$\gamma_d$	(g/cm3)				2,71	2,72	2,66	2,62	2,60	2,60	2,37	2,58	2,39	2,47	2,41	2,25
	PESO DI VOLUME SATURO		$\gamma_{sat}$	(g/cm3)				2,72	2,74	2,68	2,65	2,63	2,64	2,40	2,59	2,42	2,51	2,46	2,53
	PESO SPCIFICO DEI GRANULI		$\gamma_s$	(g/cm3)	2,78	2,65	2,75												
CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE E DI CONSISTENZA	FRAZIONE GHIAIOSA		G	(%)	0,00	3,30	3,20												
	FRAZIONE SABBIOSA		S	(%)	5,00	7,70	14,80												
	FRAZIONE LIMOSA		L	(%)	52,00	55,00	46,00												
	FRAZIONE ARGILLOSA		A	(%)	43,00	34,00	36,00												
	LIMITE DI LIQUIDITA'		LL	(%)	45,00	48,40	40,00												
	LIMITE DI PLASTICITA'		LP	(%)	13,60	15,80	13,50												
	INDICE DI PLASTICITA'		IP	(%)	31,40	32,60	26,50												
	CLASSIFICA U.S.C.S. (S.I.)			(-)	CL	CL	CL												
CARATTERISTICHE MECCANICHE	RES. AL VAN TEST		$\tau$	(kPa)															
	PROVA DI TAGLIO DIRETTO TIPO CD		c'	(kPa)	25,0	10,0	30,0												
			$\phi'$	(°)	29,0	30,0	22,0												
	PROVA DI TAGLIO DIRETTO RESIDUO		c <sub>r</sub> '	(kPa)	24,0	37,0	38,0												
			$\phi_r'$	(°)	17,0	18,0	20,0												
	PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE CU	IN TERMINI DI SFORZO TOTALE	c	(kPa)	39,6	69,0													
			$\phi$	(°)	19,6	18,3													
		IN TERMINI DI SFORZO EFFICACE	c'	(kPa)	13,9	15,8													
			$\phi'$	(°)	27,0	30,0													
		MODULO ELASTICO ALLA PRESIONE DI CELLA DI 300 KN/m2	Eu	(MPa)	9,40														
			E	(MPa)	8,20														
		MODULO ELASTICO ALLA PRESIONE DI CELLA DI 400 KN/m2	Eu	(MPa)		16,70													
	E		(MPa)		14,50														
	COEFF. DI POISSON	v		0,28	0,30														
		vu		0,50	0,50														
	MODULO DI COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA	12,5 / 25 (kPa)	E	(kPa)		1200	10900												
		25 / 50 (kPa)	E	(kPa)		1300	26300												
		50 / 100 (kPa)	E	(kPa)		1600	17200												
		100 / 200 (kPa)	E	(kPa)		2900	28200												
		200 / 400 (kPa)	E	(kPa)		5700	37700												
		400 / 800 (kPa)	E	(kPa)		11600	50000												
		800 / 1600 (kPa)	E	(kPa)		24300	63200												
		1600 / 3200 (kPa)	E	(kPa)		44500	87900												
INICE DI COMPRESIONE					0,21	0,10													
INDICE DI RIGONFIAMENTO					0,08	0,03													
PRESSIONE DI SOVRACONSOLIDAZIONE			(kPa)			850,00													
RIGONFIAMENTOLIBERO			(%)			5,00													
PRESSIONE DI RIGONFIAMENTO			(kPa)	400,00		300,00													
CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE	VELOCITA' ONDE P			( km / sec )			5,3	4,94	6	4,92	3,9	4,21	5,24	6,19	5,71	5,67	5,66	3,35	
	PROVA DI COMPRESIONE TRIASSIALE	PRESS. RADIALE	$\sigma_r$	( MPa )			2,1		2,9			1		1,1		3	2		
		RESISTENZA ASSIALE	$\sigma_a$	( MPa )			117,6		121,5			73,5		80,9		81,2	49,1		
			$\sigma_a - \sigma_r$	( MPa )			115,5		118,5			72,5		79,8		78,2	17,1		
		MODULO DI YOUNG SEC.	E <sub>sec</sub>	( GPa )			61,3		72,3			21,4		54,8		58,9	36,7		
		MODULO DI YOUNG TANG.	E <sub>tan</sub>	( GPa )			74,8		73,9			26,6		55,8		53,3	34,3		
	COEFF. DI POISSON	v <sub>sec</sub>				0,21		0,26			0,4		0,33		0,34				
	PROVA DI COMPRESIONE MONOASSIALE	CARICO MAX APP.		( MN )					0,467		0,354	0,22		0,238		0,275		0,111	
MODULO ELAST. AL 50%			( MPa )					3,00E+04		6,00E+04	2,40E+04		2,00E+04		1,70E+04		1,00E+04		

Legenda delle formazioni geologiche : Tr - Terre rosse; Ec - Eluviale/Colluviale; Ap - Argille plioceniche; Cg - Conglomerati; Ag - Argille con gessi; Av - Argille varicolori; Cd - Calcari dolomitici.



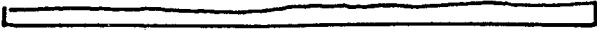







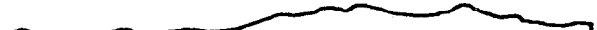



## Tabella delle prove di Indice Manuale

(estratto da: Primo convegno internazionale per la protezione e lo sviluppo dell'ambiente montano - Ponte di Legno 20-24 giugno 1994)

Grado	Denominazione	Prove di identificazione	Resistenza a compressione uniassiale (MPa)
S1	Argilla molto morbida	Facilmente penetrabile di molti centimetri con il pugno.	< 0.025
S2	Argilla morbida	Facilmente penetrabile di molti centimetri con il pollice.	0.025-0.25
S3	Argilla soda	Può essere penetrata di diversi centimetri con il pollice, con sforzo moderato.	0.05-0.10
S4	Argilla rigida	Facilmente intaccata col pollice ma penetrata solo con grande sforzo.	0.10-0.25
S5	Argilla molto rigida	Facilmente intaccata con l'unghia del pollice.	0.25-0.50
S6	Argilla dura	Intaccata con difficoltà con l'unghia del pollice.	> 0.50
R0	Roccia estremamente debole	Intaccata con l'unghia del pollice.	0.25-1.0
R1	Roccia molto debole	Si frammenta con un colpo deciso dato con la punta del martello da geologo; può essere scalfita con il coltello.	1.0-5.0
R2	Roccia debole	Può essere scalfita con difficoltà; un colpo deciso con la punta del martello lascia un'impronta profonda.	5.0-25
R3	Roccia mediamente resistente	Non può essere graffiata o scalfita con il coltello; un campione può essere rotto con un unico colpo deciso del martello.	25-50
R4	Roccia resistente	È necessario più di un colpo di martello per rompere un campione.	50-100
R5	Roccia molto resistente	Sono necessari molti colpi di martello per rompere un campione.	100-250
R6	Roccia estremamente resistente	Il campione può essere solo scheggiato con il martello.	> 250

Nota: I gradi da S1 ad S6 si applicano a terreni coesivi, ad es. argille, argille limose e miscelate di limi e argille con sabbia, che generalmente drenano con lentezza. La resistenza delle pareti di discontinuità è generalmente caratterizzata con i termini R0-R6 (rocce), mentre i termini S1-S6 (argille) si applicheranno generalmente ai materiali di riempimento (vedere paragrafo «Riempimento»).

PROFILI DI RUGOSITA'	N°	U m
	1	0-2
	2	2-4
	3	4-6
	4	6-8
	5	8-10
	6	10-12
	7	12-14
	8	14-16
	9	16-18
	10	18-20

10 cm

## SCHEMA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Costamezza**

Direzione Stazione: 60°  
Inclinazione fronte: 90°  
Litologia: Calcari micritici

Lunghezza totale stazione (m): 12  
Altezza media fronte (m): 3.5  
Quota m.s.l.m. (m): 355

**Denominazione: R1**

Foglio n. 1

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (indice RMR)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaxiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		
1	3	57			X	2	0	1.0	0.3	4	Calcite	X				15	R4
2	354	40			X	2	0.15	1.5	0.1	4	Calcite	X				15	R4
3	98	62		X		1	0.25	0.5	0.2	4	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4
4	94	74		X		1	0.3	0.5	0.2	5	Calcite		X			15	R4
5	87	68		X		1	0.32	0.3	0.1	4	Calcite		X			15	R4
6	10	47			X	2	0.52	3.0	<0.1	3	Calcite		X			15	R4
7	94	67		X		1	0.6	1.5	0.1	6	Calcite		X			15	R4
8	8	48			X	2	0.7	2.0	0.1	5	Calcite		X			15	R4
9	98	76		X		1	0.8	0.5	0.0	6	Assenti		X			15	R4
10	14	39			X	2	0.86	1.0	0.15	6	Calcite		X			15	R4
11	97	71		X		1	0.9	3.5	0.2	10	Suolo limo-argillo-sabb.			X		15	R4
12	14	62			X	2	1.1	0.3	0.2	8	Calcite		X			15	R5
13	27	58			X	2	1.25	0.5	0.3	6	Suolo limo-argillo-sabb.			X		15	R5
14	96	64		X		1	1.26	3.5	1.0	10	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4
15	15	30			X	2	1.8	0.1	0.0	8	Assenti		X			15	R4
16	94	83		X		1	1.85	1.5	0.4	4	Assenti		X			15	R4
17	19	34			X	2	2.2	0.3	0.1	3	Calcite		X			15	R4
18	84	85		X		1	2.5	3.5	0.2	3	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4
19	160	32			X	2	3.45	5.0	0.2	3	Calcite		X			15	R5
20	83	85		X		1	3.8	3.5	0.5	2	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

## SCHEMA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Costamezza**

Direzione Stazione: 60°  
Inclinazione fronte: 90°  
Litologia: Calcarei micritici

Lunghezza totale stazione (m): 12  
Altezza media fronte (m): 3.5  
Quota m.s.l.m. (m): 355

**Denominazione: R1**

Foglio n. 2

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (Indice RMR)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		
21	96	83		X		1	4.5	2.0	<0.1	6	Assenti		X			15	R4
22	80	84		X		1	4.7	2.0	0.1	2	Assenti	X				15	R4
23	9	66			X	2	5.0	0.5	0	5	Assenti	X				15	R4
24	10	74			X	2	5.13	0.3	0	6	Assenti	X				15	R5
25	25	55			X	2	5.25	0.1	0	1	Assenti	X				15	R4
26	92	75		X		1	5.26	1.0	0	3	Assenti	X				15	R4
27	92	73		X		1	5.3	1.0	0	5	Assenti	X				15	R4
28	6	63			X	2	5.55	1.5	0.2	3	Calcite		X			15	R4
29	94	79		X		1	5.7	2.5	0.3	3	Calcite		X			15	R5
30	94	74		X		1	6.25	1.0	0	7	Assenti		X			15	R4
31	107	75		X		1	6.35	1.0	0	6	Assenti	X				15	R4
32	87	72		X		1	6.5	3.5	0.5	5	Calcite		X			15	R4
33	10	53	X			2	6.6	1.5	0.0	4	Assenti		X			15	R4
34	83	84		X		1	6.7	1.0	0.1	3	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4
35	86	80		X		1	6.9	0.3	0	2	Assenti		X			15	R4
36	87	76		X		1	7.3	0.6	0	5	Assenti		X			15	R4
37	94	75		X		1	7.6	1.5	0.2	6	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4
38	95	73		X		1	7.8	0.2	0.1	2	Suolo limo-argillo-sabb.		X			15	R4
39	87	79		X		1	8.2	0.1	0.3	4	Suolo limo-argillo-sabb.	X				15	R4
40	84	74		X		1	8.6	1.0	0	5	Assenti	X				15	R4

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Costamezza**

Direzione Stazione: 60°

Lunghezza totale stazione (m): 12

Inclinazione fronte: 90°

Altezza media fronte (m): 3.5

Litologia: Calcari micritici

Quota m.s.l.m. (m): 355

**Denominazione: R1**

Foglio n. 3

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)	
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		Condizioni Idrauliche (indice RMR)
41	82	73	X			1	9.1	1.0	0.0	3	Assenti	X				15	R4
42	83	72	X			1	9.4	0.3	0.2	3	Suolo limo-argillo-sabb.	X				15	R4
43	83	79	X			1	10	0.5	0.1	2	Suolo limo-argillo-sabb.	X				15	R5
44	88	81	X			1	10.1	1.5	0	5	Assenti	X				15	R4
45	83	79	X			1	10.6	2.0	0	4	Assenti	X				15	R4
46	93	81	X			1	10.7	0.1	0.3	7	Suolo limo-argillo-sabb.	X				15	R4
47	88	78	X			1	10.91	0.5	0.1	6	Suolo limo-argillo-sabb.	X				15	R4
48	92	79	X			1	11.2	0.5	0.1	3	Suolo limo-argillo-sabb.	X				15	R4
49	86	80	X			1	11.3	1.5	0	2	Assenti	X				15	R4
50	82	84	X			1	11.7	1.0	0	5	Assenti	X				15	R4
51																	
52																	
53																	
54																	
55																	
56																	
57																	
58																	
59																	
60																	

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'

(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

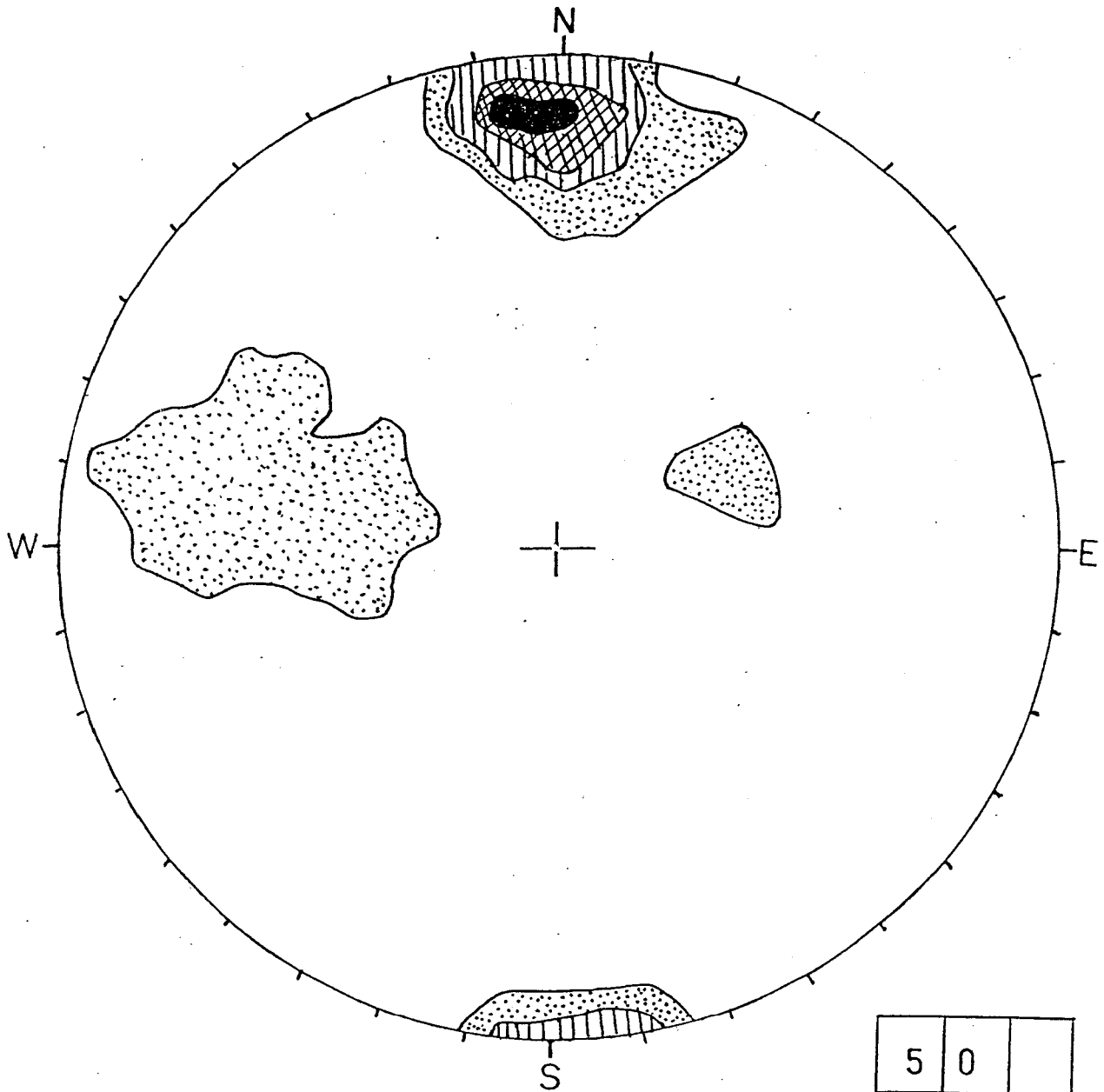
**DIAGRAMMA DI DENSITA' DEI POLI**  
Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale

Comune: Formia

Localita': Costamezza

Stazione: R1

Calcarei



5	0	
---	---	--

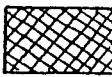
Numero poli

18-15



33 %

14-10



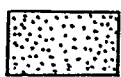
24 %

9-5



14 %

4-1



5 %

## SCHEMA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante W di M. Di Mola**

Direzione Stazione: 55°  
Inclinazione fronte: 80°  
Litologia: Dolomie granulari

Lunghezza totale stazione (m): 16  
Altezza media fronte (m): 1-3  
Quota m.s.l.m. (m): 240

**Denominazione: R2**

Foglio n. 1

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (indice RMP)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaxiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiale di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		
1	182	80			X	2	0	2	0	8	Assenti		X			15	R4
2	347	15			X	5	0.9	0.2	0.3	3	Calcite + argille resid.			X		15	R5
3	11	50			X	2	1.25	2.0	0	8	Assenti	X				15	R5
4	72	84			X	1	1.7	1.0	0	3	Assenti			X		15	R5
5	17	60			X	2	1.71	0.5	0	7	Assenti		X			15	R4
6	214	76			X	3	2.1	0.6	0	8	Assenti		X			15	R5
7	72	85			X	1	2.48	1.5	0.2	8	Assenti		X			15	R5
8	13	88			X	2	2.6	1.0	0	3	Assenti		X			15	R5
9	80	67			X	1	2.75	1.0	0.2	8	Assenti		X			15	R5
10	266	81			X	1	2.82	0.4	0	2	Assenti		X			15	R5
11	9	87			X	2	2.85	0.5	0.3	10	Assenti		X			15	R4
12	80	88			X	1	3.14	1.5	0	3	Assenti		X			15	R4
13	18	75			X	2	3.85	1.1	0.1	8	Assenti		X			15	R3
14	254	86			X	1	4.0	1.0	0.2	10	Assenti	X				15	R5
15	169	81			X	2	5.3	5.0	0.3	5	Assenti		X			15	R5
16	43	72			X	3	6.4	1.4	0	8	Assenti			X		15	R5
17	7	50			X	2	6.6	0.1	0.2	2	Assenti		X			15	R5
18	70	60			X	1	6.62	1.0	0.2	3	Assenti	X				15	R3
19	54	75			X	3	7.2	1.5	0.2	8	Assenti		X			15	R5
20	9	88			X	2	7.21	1.5	0	6	Assenti			X		15	R5

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale



## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante W di M. Di Mola**

Direzione Stazione: 55°  
 Inclinazione fronte: 80°  
 Litologia: Dolomie granulari

Lunghezza totale stazione (m): 16  
 Altezza media fronte (m): 1-3  
 Quota m.s.l.m. (m): 240

**Denominazione: R2**

Foglio n. 2

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (indice RMP)	Resistenza Indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiale di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		
21	56	61	X			3	7.2	0.2	0	3	Assenti		X			15	R5
22	70	86	X			1	7.25	0.4	0	4	Assenti	X				15	R5
23	32	76	X			3	7.45	0.5	0	10	Assenti		X			15	R5
24	42	86			X	3	7.30	0.6	0	8	Assenti		X			15	R5
25	25	65	X			3	8.15	1.8	0.2	8	Assenti		X			15	R5
26	39	60			X	3	8.5	1.5	0.5	8	Assenti	X				15	R5
27	33	88	X			3	8.9	2.8	0.3	10	Assenti		X			15	R5
28	285	80			X	1	9.0	0.5	0	4	Assenti		X			15	R4
29	197	85			X	2	9.95	0.5	0	8	Assenti		X			15	R5
30	143	60		X		4	10.95	2.0	0	8	Assenti			X		15	R5
31	229	64	X			3	12.25	0.5	0	5	Assenti		X			15	R5
32	220	62	X			3	12.4	1.5	0	8	Assenti		X			15	R5
33	81	68			X	1	12.5	2.0	0	8	Assenti		X			15	R4
34	208	84	X			3	13.8	1.5	0.2	7	Assenti		X			15	R5
35	230	60	X			3	14.73	0.4	0	6	Assenti		X			15	R5
36	146	58		X		4	15.2	1.5	0.2	8	Assenti			X		15	R5
37	62	90	X			1	15.65	1.5	0	7	Assenti		X			15	R5
38	207	85			X	3	15.9	0.5	0.3	3	Assenti		X			15	R5
39																	
40																	

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
 (\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

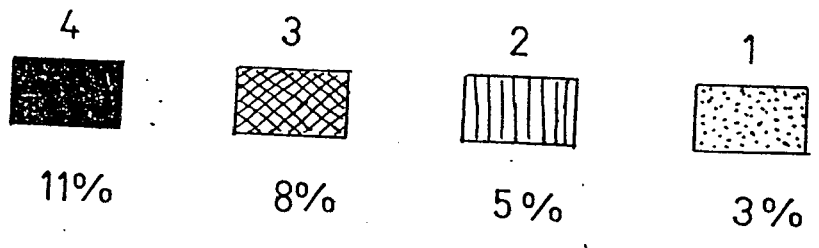
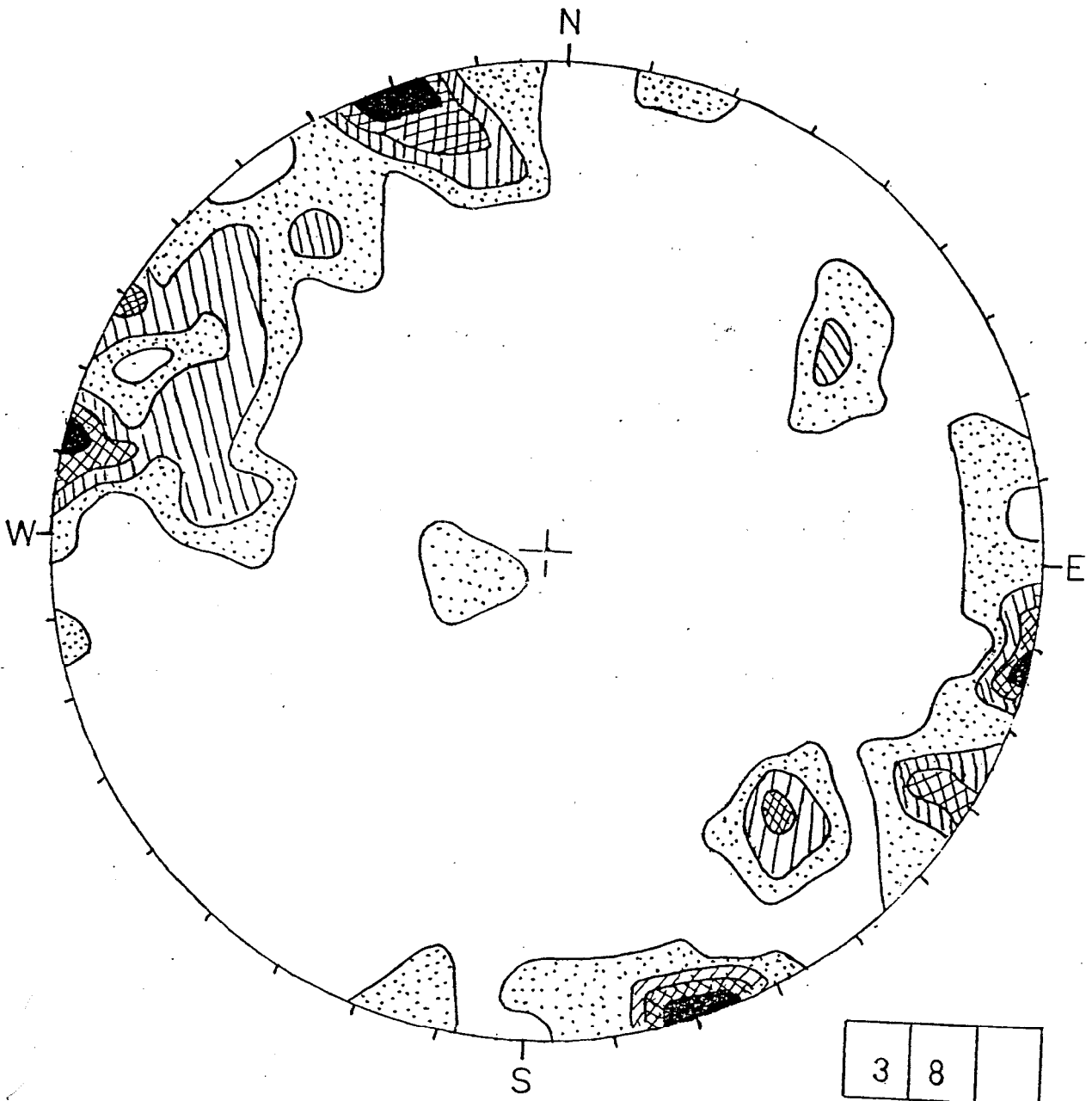
**DIAGRAMMA DI DENSITA' DEI POLI**  
**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

Comune: Formia

Localita': Versante W di M. Di Mola

Stazione: R2

Dolomie



3	8	
---	---	--

Numero poli

## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante E M.S.Maria**

Direzione Stazione: 145°  
Inclinazione fronte: 90°  
Litologia: Dolomie granulari massive

Lunghezza totale stazione (m): 8.5  
Altezza media fronte (m): 2  
Quota m.s.l.m. (m): 310

**Denominazione: R3**

Foglio n. 1

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione			Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto			Condizioni Idrauliche (indice RMR)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)	
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiale di riempimento	Intatta	Debolmente alterata			Alterata
1	270	76			X	1	0	5.0	0	3	Assenti	X			15	R4
2	207	70			X	2	0.08	0.1	0	2	Assenti	X			15	R4
3	207	70			X	2	0.19	0.1	0	2	Assenti	X			15	R4
4	207	70			X	2	0.31	0.1	0	2	Assenti	X			15	R5
5	207	70			X	2	0.44	0.1	0	2	Assenti	X			15	R5
6	207	70			X	2	0.62	0.1	0	2	Assenti	X			15	R5
7	262	75			X	1	0.74	0.1	0	3	Assenti	X			15	R5
8	264	70			X	1	1.0	5.0	0	4	Assenti	X			15	R5
9	257	78			X	1	1.29	0.1	0	2	Assenti	X			15	R5
10	263	75			X	1	1.71	0.7	0	2	Assenti	X			15	R5
11	202	38			X	2	2.16	0.1	0	1	Assenti	X			15	R5
12	271	68			X	1	2.66	0.6	0	1	Assenti	X			15	R5
13	267	76			X	1	3.28	0.6	0	1	Assenti	X			15	R5
14	26	80			X	2	3.98	2.0	0	3	Assenti	X			15	R5
15	343	84	X			3	4.58	1.1	0	3	Assenti	X			15	R5
16	88	78	X			1	4.73	2.3	0	2	Assenti	X			15	R5
17	271	71			X	1	5.17	0.3	0	3	Assenti	X			15	R5
18	272	74			X	1	5.3	0.2	0	1	Assenti	X			15	R5
19	264	78			X	1	3.65	0.5	0	2	Assenti	X			15	R5
20	265	69			X	1	6.13	0.3	0	2	Assenti	X			15	R5

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'

(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

## SCHEMA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante E M.S.Maria**

Direzione Stazione: 145°  
 Inclinazione fronte: 90°  
 Litologia: Dolomie granulari massive

Lunghezza totale stazione (m): 8.5  
 Altezza media fronte (m): 2  
 Quota m.s.l.m. (m): 310

**Denominazione: R3**

Foglio n. 2

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (indice RMP)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (#)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		
21	267	74			X	1	6.4	0.1	0	3	Assenti	X				15	R5
22	343	84			X	2	6.65	3.0	0	2	Assenti	X				15	R5
23	247	34	X			1	7.15	2.4	0	2	Assenti	X				15	R5
24	204	75	X			2	7.35	0.3	0	2	Assenti	X				15	R5
25	261	78			X	1	7.95	0.5	0	3	Assenti	X				15	R5
26	265	73			X	1	8.35	1.0	0	2	Assenti	X				15	R5
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
 (\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

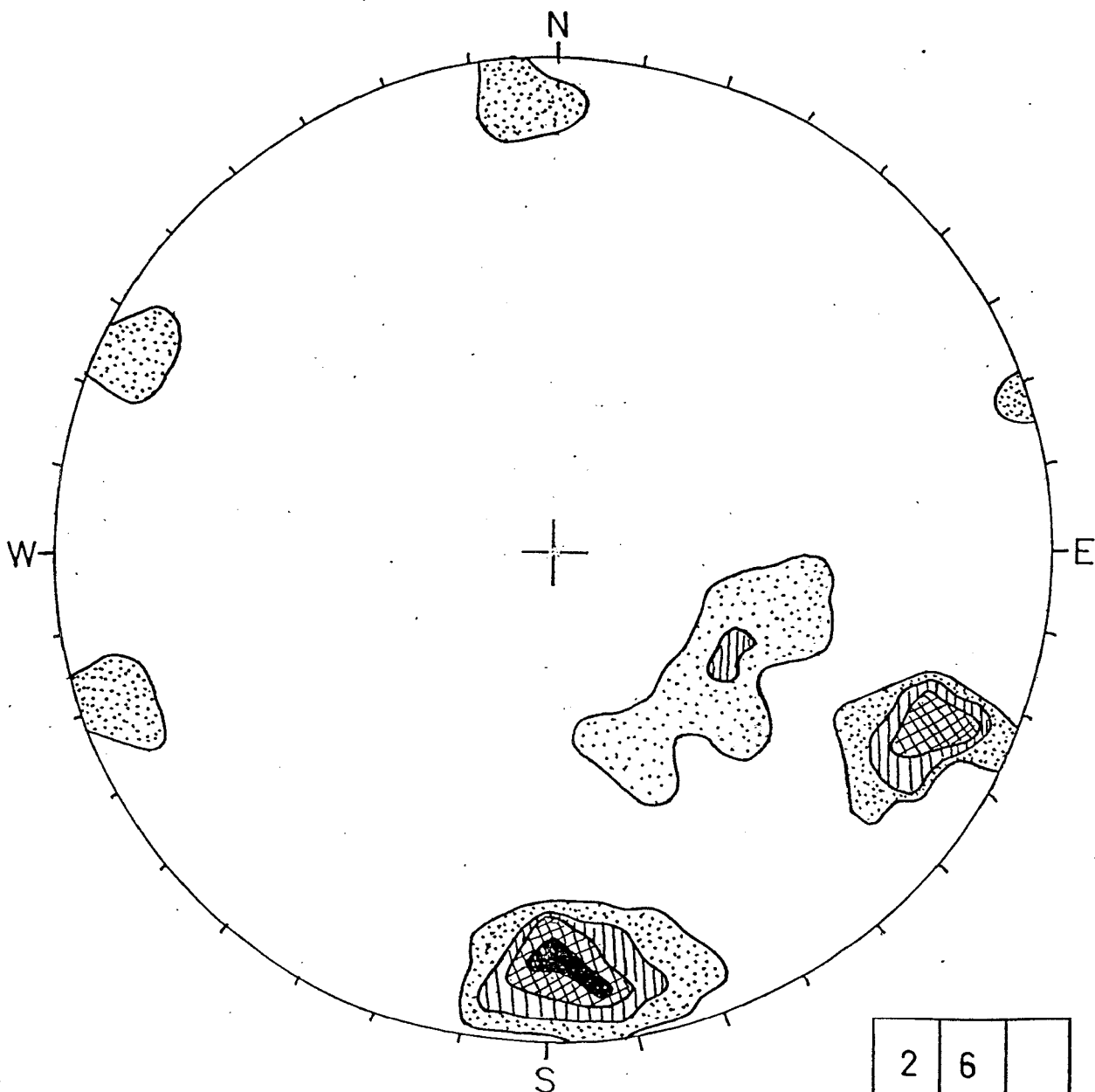
**DIAGRAMMA DI DENSITA' DEI POLI**  
Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale

Comune: Formia

Localita': Versante E di M.S.Maria

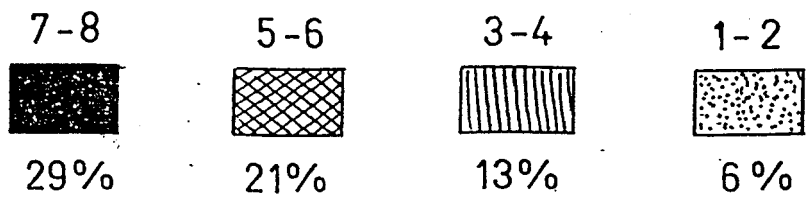
Stazione: R3

Dolomie



2	6	
---	---	--

Numero poli



## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante E M.Di Mola**

Direzione Stazione: 25°  
Inclinazione fronte: 50°  
Litologia: Calcari a pasta fine

Lunghezza totale stazione (m): 6  
Altezza media fronte (m): 1.7  
Quota m.s.l.m. (m): 215

**Denominazione: R4**

Foglio n. 1

Numero Progressivo	Giacitura(*)		Classificazione			Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (Indice RMR)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)	
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (#)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata			Completamente alterata
1	304	85			X	1	0.1	1.3	0.8	7	Terre rosse residuali	X				15	R4
2	112	78			X	1	0.3	0.9	1.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
3	116	75			X	1	0.8	1.0	1.5	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
4	306	78			X	1	0.9	0.5	1.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
5	124	74			X	1	1.3	1.5	2.0	7	Terre rosse residuali	X				15	R4
6	310	86			X	1	1.4	1.0	2.0	10	Terre rosse residuali	X				15	R4
7	304	80			X	1	1.6	1.0	1.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
8	114	80			X	1	1.7	0.7	1.5	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
9	128	80			X	1	1.9	1.5	10	10	Terre rosse residuali	X				15	R4
10	124	78			X	1	2.1	1.0	10	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
11	306	90			X	1	2.3	1.0	2.0	7	Terre rosse residuali	X				15	R4
12	308	84			X	1	2.55	1.0	2.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
13	308	72			X	1	2.75	1.5	0.5	6	Terre rosse residuali	X				15	R4
14	314	85			X	1	2.85	1.0	4.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
15	117	81			X	1	3.4	1.0	1.0	10	Terre rosse residuali	X				15	R4
16	316	90			X	1	3.6	1.0	2.0	10	Terre rosse residuali	X				15	R4
17	76	70			X	2	3.61	0.5	1.0	5	Terre rosse residuali	X				15	R4
18	136	81			X	1	3.94	0.5	0.5	3	Terre rosse residuali	X				15	R4
19	296	86			X	1	4.1	1.0	2.0	7	Terre rosse residuali	X				15	R4
20	310	80			X	1	4.3	0.2	0.5	3	Terre rosse residuali	X				15	R4

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

## SCHEMA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante E M. Di Mola**

Direzione Stazione: 25°  
 Inclinazione fronte: 50°  
 Litologia: Calcari a pasta fine

Lunghezza totale stazione (m): 6  
 Altezza media fronte (m): 1.7  
 Quota m.s.l.m. (m): 215

**Denominazione: R4**

Foglio n. 2

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione			Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (indice RMI)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (#)	Materiale di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata		
21	120	72		X	1	4.35	0.3	0.7	5	Terre rosse residuali	X				15	R4
22	307	82		X	1	4.37	0.5	1.0	7	Terre rosse residuali	X				15	R4
23	298	81		X	1	4.4	1.0	1.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
24	120	76		X	1	5.3	1.0	1.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
25	111	82		X	1	5.31	1.0	1.5	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
26	302	88		X	1	5.4	1.0	2.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
27	307	80		X	1	5.5	1.0	2.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
28	286	86		X	1	5.6	1.0	3.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
29	110	79		X	1	6.0	1.5	0.0	8	Terre rosse residuali	X				15	R4
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'  
 (\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

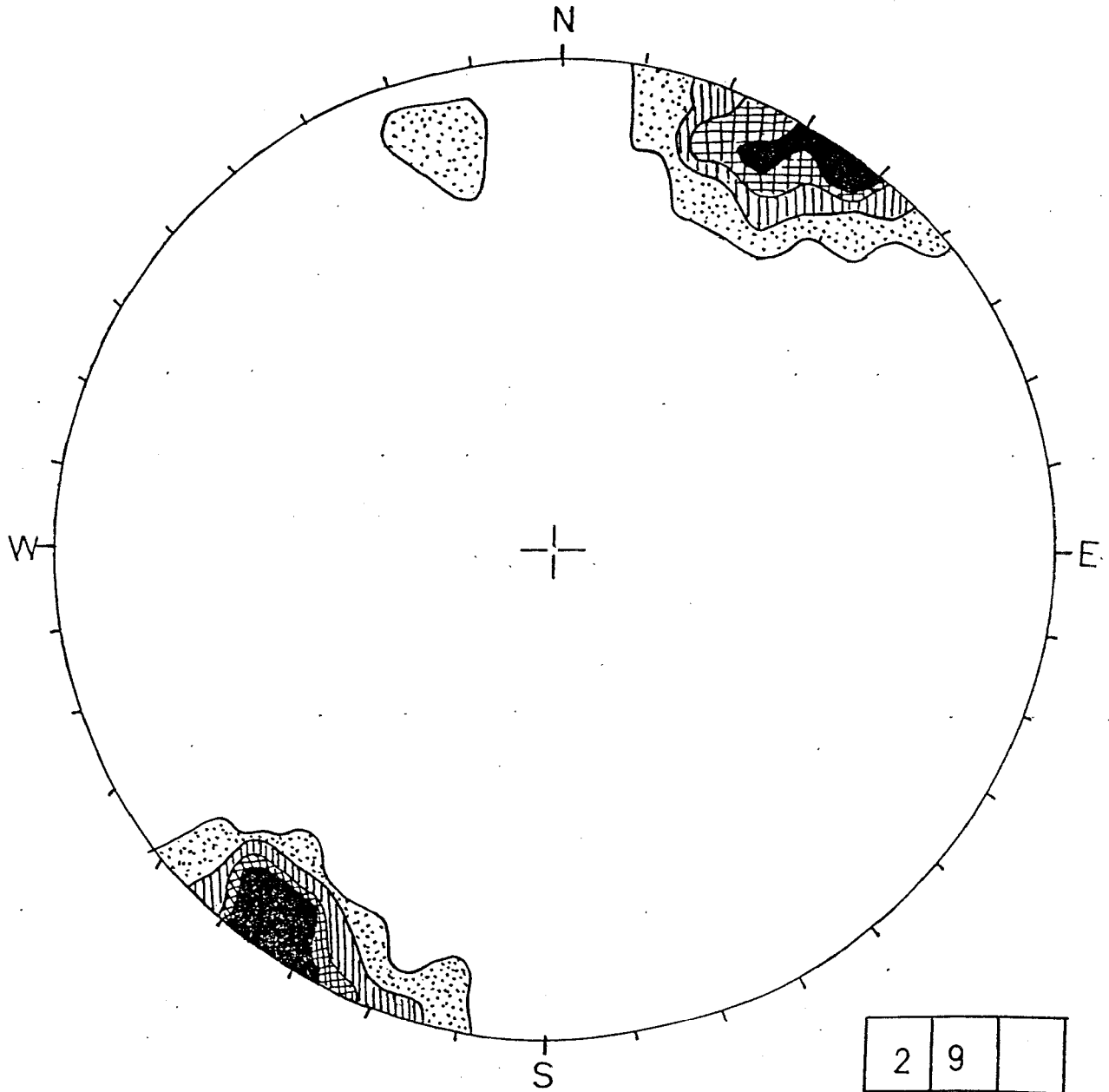
**DIAGRAMMA DI DENSITA' DEI POLI**  
Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale


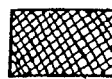

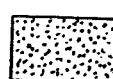
Comune: Formia

Localita': Versante E di M. Di Mola

Stazione: R4

Calcarei



7-10	5-6	3-4	1-2
			
29%	19%	12%	5%



## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante S di M. S. Maria**

Direzione Stazione: 278°

Lunghezza totale stazione (m): 13

Inclinazione fronte: 90°

Altezza media fronte (m): 3

Litologia: Calcari e calcari dolomitici

Quota m.s.l.m. (m): 290

**Denominazione: R5**

Foglio n. 1

Numero Progressivo	Giacitura(*)		Classificazione				Caratterizzazione Giunti				Materiali di riempimento	Superficie Giunto				Condizioni Idrauliche (indice RMF)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)		Intatta	Debolmente alterata	Alterata	Completamente alterata		
1	348	45		X		1	0	3.0	0.2	3	Calcite		X			15	R4
2	10	47		X		1	0.14	0.5	0	6	Assente		X			15	R4
3	9	36		X		1	1.08	0.5	0	1	Assente		X			15	R4
4	14	36		X		1	1.2	3.0	0.2	4	Calcite (1mm)		X			15	R3
5	9	45		X		1	1.5	3.0	0.5	4	Calcite			X		15	R3
6	15	41		X		1	1.75	3.0	0.1	5	Assente		X			15	R3
7	21	48		X		1	2.51	2.0	0	2	Assente			X		15	R4
8	21	44		X		1	3.55	3.0	1.5	3	Calcite			X		15	R4
9	172	47	X			4	3.56	1.5	0.5	2	Terre rosse residuali			X		15	R4
10	25	45		X		1	4.03	3.0	0.1	4	Calcite			X		15	R4
11	18	51		X		1	4.22	3.0	1.0	10	Calcite (5mm)				X	15	R4
12	28	44		X		1	4.6	3.0	3.0	10	Terre rosse residuali				X	15	R4
13	328	61		X		5	4.61	1.5	0.2	4	Terre rosse residuali			X		15	R5
14	14	41		X		1	4.77	3.0	0.5	10	Terre rosse residuali				X	15	R4
15	358	39		X		1	5.73	3.0	2.5	8	Terre rosse residuali				X	15	R4
16	218	65			X	2	6.45	1.0	0	7	Assente			X		15	R4
17	7	35		X		1	6.8	2.0	0	3	Assente		X			15	R4
18	8	36		X		1	7.15	3.0	0.2	4	Calcite			X		15	R4
19	165	65			X	4	7.16	1.5	0.1	3	Calcite		X			15	R4
20	235	64			X	2	7.65	0.2	0.1	3	Calcite	X				15	R4

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'

(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

**Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

**Comune: Formia**

**Localita': Versante S di M. S. Maria**

Direzione Stazione: 278°

Lunghezza totale stazione (m): 13

Inclinazione fronte: 90°

Altezza media fronte (m): 3

Litologia: Calcari e calcari dolomitici

Quota m.s.l.m. (m): 290

**Denominazione: R5**

Foglio n. 2

Numero Progressivo	Giacitura(°)		Classificazione			Caratterizzazione Giunti					Superficie Giunto			Condizioni Idrauliche (Indice RMR)	Resistenza indicativa alla Compressione uniaassiale (grado **)		
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di Stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (#)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata			Alterata	Completamente alterata
21	5	50		X		1	7.67	3.0	0.1	8	Assente			X	15	R4	
22	43	86			X	2	8.0	0.5	0.1	4	Calcite		X		15	R4	
23	51	90			X	2	8.53	1.0	0.1	2	Calcite	X			15	R3	
24	39	85			X	2	8.71	0.5	0	3	Assente		X		15	R4	
25	192	75			X	3	8.75	0.5	0	2	Assente	X			15	R4	
26	194	70			X	3	8.78	0.5	0	3	Assente		X		15	R4	
27	190	70			X	3	8.8	2.0	0	3	Assente		X		15	R4	
28	3	51		X		1	9.15	2.5	0.4	3	Calcite (1mm)			X	15	R4	
29	355	42		X		1	9.5	2.0	0.2	4	Calcite		X		15	R4	
30	172	65			X	4	10.0	2.0	0	7	Assente			X	15	R4	
31	11	45		X		1	10.58	4.0	1.0	10	Terre rosse residuali			X	15	R4	
32	360	45		X		1	12.3	4.5	1.1	7	Brecce cementate			X	15	R4	
33	358	45		X		1	12.51	4.5	1.0	8	Brecce cementate				X	15	R4
34	205	54	X			3	12.9	1.0	0	2	Assente		X		15	R4	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuita'

(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

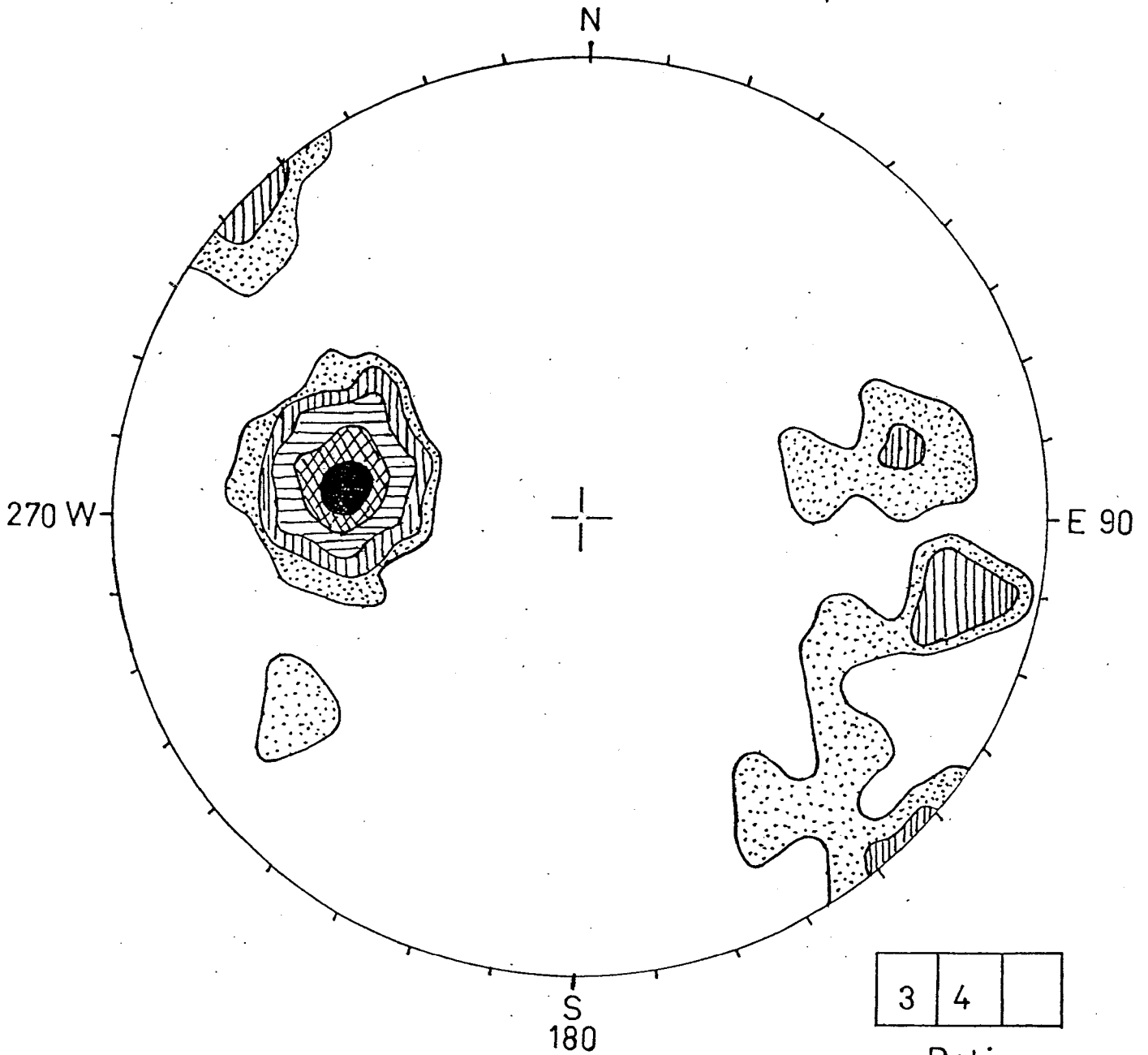
**DIAGRAMMA DI DENSITA' DEI POLI**  
 Progetto: Variante alla S.S. n.7 Appia - tratto galleria naturale


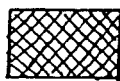



Comune: Formia

Localita': Versante S di M.S.Maria

Stazione: R5

Calcari e c.dolomitici



10-13	7-9	4-6	3-2	1
				
34%	24%	15%	7%	3%

3	4	
---	---	--

Poli

## SCHEDA RIASSUNTIVA DEL RILIEVO GEOMECCANICO

Progetto: Variante alla SS n.7 Appia - tratto galleria naturale

Comune: Formia

Località: Versante SW Costamezza

Stazione: R 6

Direzione Stazione: N 120°

Lunghezza totale stazione (m): 5,20

Inclinazione fronte: 80-90

Altezza media fronte (m): 4

Litologia: Calcari con livelli dolomitici

Quota (m s.l.m.): 155

Numero Progressivo	Giacitura (°)		Classificazione			Caratterizzazione Giunti					Superficie di giunto				Condizioni idrauliche (indice RMR)	Resistenza indicativa alla compressione uniaassiale (grado **)	
	Direzione	Inclinazione	Faglia	Giunto di stratificazione	Frattura	Set	Spaziatura assoluta (m)	Lunghezza visibile (m)	Apertura (cm)	Scabrezza (*)	Materiali di riempimento	Intatta	Debolmente alterata	Alterata			Completamente alterata
1	55	39		X			/	4	0,5	3	Terra (3mm)		X			15	R4
2	84	75			X		0,05	0,2	0,3	2	Terra			X		15	R4
3	90	84			X		0,1	0,15	0,2	2	/			X		15	R4
4	37	36		X			0,34	2	/	3	/	X				15	R3
5	40	41		X			0,5	1,5	0,3	5	Calcite (2mm)		X			15	R4
6	37	36		X			0,7	4	1	3	/		X			15	R4
7	30	35		X			1,3	0,3	0,2	4	Terra (1mm)			X		15	R3
8	31	34		X			1,4	1	0,4	3	Terra (2mm)		X			15	R3
9	27	40		X			1,5	1	0,4	3	Terra		X			15	R3
10	28	34		X			1,8	4	2	5	Terra (10mm)			X		15	R3
11	45	39		X			2,4	5	3	9	Terra (10mm)		X			15	R4
12	37	35		X			2,7	2	0,2	2	Terra (1mm)		X			15	R3
13	38	33		X			2,8	1	0,1	1	Terra		X			15	R4
14	30	36		X			2,9	2,5	0,2	2	Terra (1mm)			X		15	R3
15	35	45		X			3,4	3	0,1	3	Terra		X			15	R4
16	36	42		X			3,5	1	0,2	1	Terra (1mm)			X		15	R5
17	29	44		X			3,7	2	0,1	1	Terra (1mm)		X			15	R4
18	39	41		X			3,8	3,5	0,3	2	Terra		X			15	R4
19	37	39		X			3,9	3	0,2	1	Terra (1mm)			X		15	R5
20	32	40		X			4	2	0,1	1	Terra (1 mm)		X			15	R4
21	34	45		X			4,05	2	1	3			X			15	R4
22	33	46		X			4,1	2,5	2	1			X			15	R3
23	35	44		X			4,23	1	1	2				X		15	R4
24	36	47		X			4,4	1,5		1				X		15	R5
25	180	78	X				5,2	3,5	2	4	/				X	15	R4
26	55	32		X			5,2	5	0	2	Calcite (1mm)		X			15	R3

NOTE: (\*) Vedi allegati profili delle discontinuità  
(\*\*) Vedi allegata tabella delle prove di indice manuale

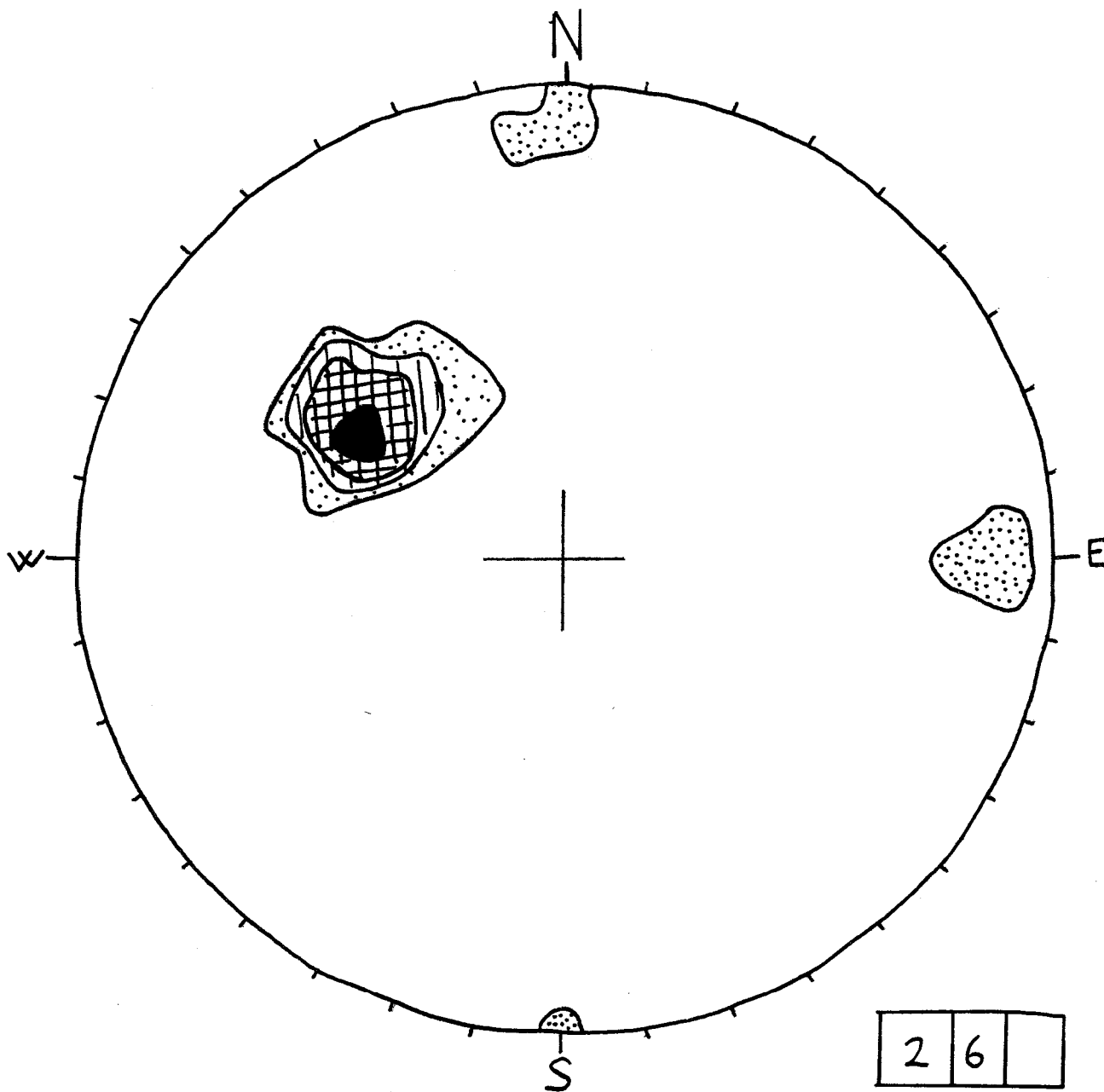
**DIAGRAMMA DI DENSITA' DEI POLI**  
**Progetto: Variante alla SS. n.7 Appia - tratto galleria naturale**

Comune: Formia

Località: Versante SW Costamezza

Stazione: R 6

Calcarei con intercalazioni  
dolomitiche



17-12  
56%

11-6  
33%

5-3  
15%

2-1  
6%

2	6	
---	---	--

### 10)SISMICITA' DELL'AREA

Il territorio del comune di Formia (LT), in base alla nuova normativa 2003 (Ordinanza n.3274 del 20-03-03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri pubblicata sul S.O. n°72 della G.U. n°105 del 08/05/03), è stato classificato sismico come appartenete alla **zona 2** (precedentemente classificato sismico con S=9). Anche i Comuni limitrofi di Gaeta, Itri e Minturno ricadono in zona 2. La zona 2 corrisponde alla precedente seconda categoria, con S=9.

Schema riportato nell'Ordinanza relativo all'individuazione delle zone:

Nuova classificazione	Precedente classificazione
Zona 1	S = 12 (ex I° categoria)
Zona 2	S = 9 (ex II° categoria)
Zona 3	S = 6 (ex III° categoria)
Zona 4	Non classificato

Per quanto riguarda l'applicazione dell'Ordinanza del 20 marzo 2003 ne risultano esclusi:

- I lavori iniziati;
- Le opere appaltate al 20 marzo 2003;
- I lavori iniziati per la ricostruzione dei danni del terremoto dell'Umbria e delle Marche;

mentre per tutto il resto le norme diventano obbligatorie a 18 mesi dall'emanazione.

Le “Norme tecniche” indicano 4 valori di accelerazioni orizzontali ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare; pertanto il numero delle zone è fissato in 4. Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente:

zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico (N.t.) [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15-0.25	0.25
3	0.05-0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

### **CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO**

La “Planimetrie con classificazione sismica del territorio”, allegata e divisa in tavola 1 e tavola 2 in scala 1:10.000 (elaborati GGIXXA01410 e GGIXXA1510), sono state predisposte mediante l’ausilio dei dati attualmente disponibili e precisamente in base ai risultati del rilevamento geolitologico, dei sondaggi geognostici, prove in situ e relative prove di laboratorio.

La distinzione tra le varie categorie di suolo di fondazione per il tracciato della variante alla S.S. 7 Appia nel Comune di Formia, è stata effettuata adottando quanto previsto nelle Norme Tecniche allegate alla Ordinanza n.3274 del 20-03-03 della P.C.M., dove sono riportate le categorie di suolo di fondazione che vanno discriminate ai fini della azione sismica di progetto, distinte in:

- A** - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi.
- B** – Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti.
- C** - Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza.
- D** - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti.
- E** – Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali.

In aggiunta, vengono definite altre due categorie per le quali sono richiesti studi speciali:

- S1** – Depositi costituiti o comprendenti uno strato spesso almeno 10m di argille/limi di bassa consistenza ( $10 < c_u < 20\text{kPa}$ ), con elevato indice di plasticità ( $IP > 40$ ) e contenuto d'acqua.
- S2** – Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Queste ultime due categorie di terreni non sono state rilevate a livello di piano di fondazione nell'area in oggetto.

Nella planimetria in oggetto sono state evidenziate aree a colori distinti per ogni categoria di suolo specificatamente riferite alla profondità di fondazione.



Nella legenda della planimetria con la classificazione sismica del territorio, le varie categorie di suolo di fondazione sono riportate con le descrizioni per esteso dove compaiono riferimenti quantitativi ai parametri  $V_{s30}$  (velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 metri di profondità),  $N_{spt}$  (resistenza al penetrometro standard) e  $c_u$  (coesione non drenata).

## **11) CONCLUSIONI**

A conclusione della presente relazione si ritiene opportuno esprimere alcune considerazioni in merito alla situazione geologica, geomorfologica idrogeologica e geotecnica riscontrata nel corso delle indagini al fine di consentire, in un'ottica di sicurezza economicità ed opportunità cantieristica, la definizione del **Progetto Preliminare relativo alla variante alla S.S. n.7 Appia nel Comune di Formia.**

La zona interessata dal tracciato in esame, è stata oggetto di un rilevamento di superficie eseguito in più fasi e di cui si parla diffusamente nella presente relazione, a cui è stata abbinata una campagna geognostica articolata nell'esecuzione di sondaggi, prove in sito e prospezione geoelettrica, riportate nella Relazione sulle Indagini Geognostiche; il tutto finalizzato alla stesura della Carta Geologica con inserite le ubicazioni di tutte le indagini eseguite, alla Carta Geomorfologia ed Idrogeologica ed alla definizione del Profilo Geologico Interpretativo Longitudinale e alcune sezioni trasversali.

E' stata inoltre redatta la Planimetria con la Classificazione sismica del territorio con evidenziati gli elementi Macrosismici e Microsismici della zona.

L'analisi dei risultati dell'indagine ha consentito quindi di ricostruire e caratterizzare le successioni stratigrafiche consentendo la determinazione dei caratteri geostrutturali, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici.

I litotipi affioranti sono risultati essere costituiti dalle seguenti unità :

A) Unità della Serie Carbonatica Mesozoica

B) Unità del Miocene

- B1) Argille Varicolori
- B2) Argille con gessi
- C) Unità del Pliocene
  - C1) Conglomerati Neritici
  - C2) Argille e Marne
- D) Unità del Quaternario
  - D1) Depositi Eluviali-Colluviali
  - D2) Alluvioni Recenti

Nel paragrafo dedicato all'Assetto Strutturale sono stati indicati i criteri e le motivazioni che hanno permesso di riportare le principali faglie nella Carta Geologica e nei Profili Geologici Longitudinali e trasversali in accordo con i movimenti tettonici evidenziati nel paragrafo dedicato alla "Tettonica".

Nei paragrafi dedicati alla geomorfologia e all'idrogeologia sono state fornite indicazioni tecniche, di carattere qualitativo, da tenere in considerazione in vista della fase esecutiva.

Nel paragrafo dedicato alla Geomorfologia sono analizzati gli elementi riportati nella Carta Geomorfologia in cui è possibile differenziare su grande scala due settori morfologici.

Nel settore morfologico in cui predominano i litotipi detritico-alluvionali ed argillosi, la consultazione di dati di letteratura (REGIONE LAZIO, 2000) ed il rilevamento di campagna (vedi Carta Geomorfologica allegata) hanno evidenziato la presenza di alcune aree (Pientime, Balzorile, fossi Tuoro e Acqualonga), soggette a fenomeni quiescenti di frane complesse, a fenomeni quiescenti di deformazioni superficiali lente e soliflusso, a soliflusso attivo generalizzato.

Fenomeni attivi di frane per colamento si osservano lungo le scarpate di alcune cave di argilla dismesse.

L'analisi della Carta Geomorfologica evidenzia che i processi morfo-evolutivi sono essenzialmente di tipo areale e lento (denudazionali, carsici, gravitativi lenti).

Quindi, si desume che questi versanti raramente sono soggetti a scorrimenti e colamenti per effetto della sola azione della gravità, evolvendo piuttosto per lenti movimenti di creep o per eluvione delle coltri superficiali.

**E' stata evidenziata tuttavia, vista l'ubicazione attuale della traccia della variante in progetto, la possibilità nell'ambito delle coperture detritico-alluvionali ed argillose, di interferenze con rimobilitazione di blocchi carbonatici disarticolati in prossimità delle seguenti zone: imbocco W Galleria Naturale, zona Rave Rosse, zona versante S Monte Campese .**

Tali blocchi oltre a rappresentare un problema da risolvere in fase di avanzamento nelle operazioni di scavo, possono risultare particolarmente instabili se direttamente interessati dallo scavo stesso senza prevedere adeguati accorgimenti tecnici in fase esecutiva..

Nel versante meridionale di **Monte Campese** in corrispondenza dei conglomerati neritici è stata inoltre segnalata la **potenziale deiezione di alcuni massi o blocchi presenti lungo le pendici** (vedere Carta Geomorfologica) nell'area di monte della Galleria artificiale prevista dal tracciato in esame.

Antecedentemente alle operazioni di scavo si dovrà provvedere alla verifica puntuale degli eventuali blocchi in equilibrio precario e provvederne il disgaggio con opportune metodiche.

Al fine di mitigare tale rischio potenziale, tenendo anche conto della possibilità che blocchi contigui a contatto nella porzione superficiale più alterata possano mettersi in movimento in relazione alle operazioni di scavo, si suggerisce di prevedere idonee opere di protezione attiva e/o passiva in particolare nell'area della Galleria Artificiale di Monte Campese.

Il settore morfologico dominato dal complesso dei Carbonati Mesozoici, esteso da Costamezza a S. Antonio-Rave Rosse, comprende il tratto di variante in Galleria Naturale ed è coperto in affioramento dai carbonati mesozoici degli Aurunci occidentali, che sono caratterizzati da una morfologia più acclive e dallo sviluppo di un tipico paesaggio carsico.

In particolare, si rilevano micro e macro forme legate ad un modellamento carsico sia superficiale (lapiez, vaschette da dissoluzione, marmitte di erosione, polye, doline) che profondo (grotte, inghiottitoi).

Le forme più significative sono ubicate nell'allegata carta geomorfologica.

**Analizzati tutti gli indizi superficiali rilevati, non è da escludersi la presenza di cavità estese all'interno degli ammassi rocciosi carbonatici mesozoici. In particolare, cavità di una certa entità ed a sviluppo sia orizzontale che verticale, potrebbero svilupparsi in corrispondenza delle faglie e lineamenti tettonici principali.**

Anche i conglomerati del Pliocene affioranti sulla collina di S. Antonio ed a monte Campese, essendo di natura carbonatica, stratificati e sovente fratturati e fagliati, hanno mostrato forme carsiche come inghiottitoi e grotte: a luoghi hanno un aspetto vacuolare per l'espulsione dei clasti conseguente al dilavamento e alla dissoluzione della matrice calcarenitica.

**Quindi, anche nei conglomerati del Pliocene non è da escludersi la presenza di cavità estese all'interno degli ammassi rocciosi.**

Infine, frane attive per crollo o ribaltamento (vedi carta geomorfologica) e presenza di blocchi instabili sono stati rilevati sia all'interno di aree a carbonati mesozoici, sovente a valle di scarpate morfologiche (Rave Rosse, Mola, Costamezza), che all'interno dei conglomerati pliocenici (versante S di monte Campese).

E' stato evidenziato che a protezione di tutti gli scavi dovranno essere previste idonee e tempestive opere provvisorie di sostegno.

Particolare cura dovrà essere fornita a garantire la stabilità dei versanti, riprofilati o naturali, a monte ed a valle del tracciato stradale.

Agli imbocchi della galleria naturale, nelle parti immediatamente esterne ai medesimi e nelle aree in cui sono comunque previsti scavi, dovranno quindi essere adottati tutti gli accorgimenti necessari tesi ad evitare eventuali fenomeni d'instabilità nei terreni interessati dai lavori e limitrofi.

In relazione alle esigenze di evitare sostanziali modificazioni delle caratteristiche idrogeologiche dell'area del Monte Campese interessata dalla Galleria Artificiale, considerata la litostratigrafia dell'area, per quanto riguarda le problematiche connesse alle fasi esecutive della galleria stessa, si suggerisce di procedere secondo fasi di scavo da *est* verso *ovest* al fine di favorire lo smaltimento per deflusso a gravità di eventuali acque d'infiltrazione e/o percolazione all'interno dei conglomerati e di precipitazione meteorica.

Per garantire le fasi costruttive e successivo esercizio dell'opera, si dovranno realizzare idonei interventi di drenaggio finalizzati ad evitare che la galleria artificiale nel suo insieme si comporti come una barriera impermeabile nei confronti del naturale deflusso delle acque drenate dai conglomerati (sostenute dalle unità argillose sottostanti pressoché impermeabili).

La prospezione geoelettrica effettuata da sez.305 a sez.313 (M.Campese) ha messo in evidenza l'assenza, limitatamente a quest'area, di una falda idrica perenne all'interno dei conglomerati. Tale Unità è comunque in grado di drenare discrete quantità d'acqua al suo interno, in corrispondenza di apporti pluviometrici anche non particolarmente intensi, e recapitarle in tempi brevi verso valle.

Considerati i risultati della prospezione geoelettrica, alla luce delle quote assolute previste dal progetto, è possibile ritenere che la base dell'Unità conglomeratica sia posta ad una quota assoluta di ca. 67-69m in corrispondenza della sez.307 (quota progetto ca.70m) e che quindi lo scavo, in questo tratto, interesserà in parte i conglomerati ed in parte le argille caotiche sottostanti, in contatto "discordante" tra loro.

Al "tetto" delle argille sottostanti i conglomerati sarà possibile rilevare la presenza di livelli, di spessore variabile, di detrito carbonatico probabilmente sede di drenaggi localizzati.

A tale proposito si sottolinea che le indagini indirette con metodi geoelettrici sono oggetto di una apposita relazione geofisica, allegata alla Relazione sulle Indagini Geognostiche e Geofisiche.

Nel corso dell'attività esecutiva, la totalità degli scavi che interesseranno terreni argillosi, dovranno essere dotati di opportune opere di drenaggio ed allontanamento delle acque di precipitazione meteorica e/o d'infiltrazione superficiale, sempre collegandosi a sistemi di eduazione già esistenti sul territorio e non disperse in modo incontrollato.

Per quanto riguarda la situazione idrogeologica locale desumibile dall'analisi della Carta Idrogeologica allegata si evince che nell'area della Galleria Naturale la circolazione idrica sotterranea, dati gli stati di fratturazione degli ammassi litoidi e la presenza di condotti carsici a sviluppo verticale ed orizzontale, è di tipo basale alla quale si sovrappone, talora, una circolazione a deflusso veloce che può implicare repentini sollevamenti del livello di falda.

**In base valutazioni emergenti dai dati attualmente disponibili, è stato possibile desumere, in accordo con le conclusioni riportate nell'analisi condotta dal Prof.Boni(2004) che la galleria è posta ad una quota tale da escludere interferenze dirette tra le opere di scavo ed il settore permanentemente saturo dell'acquifero.**

E' da segnalare tuttavia la possibilità che la galleria naturale attraversi zone di scorrimento preferenziale delle acque di infiltrazione, quale condotti carsici e/o zone di fratturazione carsificate collegate ai principali disturbi tettonici, che, in evidente collegamento con le precipitazioni atmosferiche, consentono il rapido raggiungimento, da parte delle predette acque, della falda di base.

Non possono escludersi inoltre, localizzate variazioni della superficie piezometrica in direzione N, in corrispondenza di fasce cataclastiche o di lembi di Argille caotiche strizzate lungo alcune faglie.



Nell'area delle Galleria Naturale rivestirà comunque notevole importanza, in sede di progettazione definitiva, la realizzazione di pozzi piezometrici che permettano l'esecuzione di un monitoraggio realmente esteso e prolungato nel tempo dell'acquifero basale che alimenta la sorgente Mazzoccolo le cui molteplici finalità sono riportate nel capitolo idrogeologico.

Si ritiene quindi opportuno suggerire, onde consentire valutazioni in merito agli andamenti del livello della falda di base a lungo termine, di prevedere, per un adeguato arco di tempo, il monitoraggio di pozzi piezometri e sorgenti presenti in zona, integrati dalle strumentazioni piezometriche previste nel recente studio redatto dal Prof. Boni (2004), rimarcando che il flusso di base delle sorgenti presenti nell'area risulta essere ben modulato (Celico P.-1985) a conferma di una alimentazione principale delle sorgenti da parte della falda acquifera di base a cui si sovrappongono temporaneamente le acque con tempi di transito molto ridotti.

Per evitare interferenze con l'acquifero che alimenta la sorgente Mazzoccolo si ritiene necessario prevedere l'impermeabilizzazione della Galleria Naturale.

E' stata quindi evidenziata la necessità di prevedere una adeguata impermeabilizzazione della Galleria Costamezza combinata con la presenza all'interno della stessa di canali di scolo e vasche di raccolte liquidi dispersi potenzialmente inquinanti nonché la opportunità di proibire in fase di realizzazione l'uso di sostanze inquinanti tali da causare accidentali inquinamenti dell'acquifero .

Nel capitolo relativo alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche di terreni e rocce rilevabili lungo il tracciato sono stati evidenziati le caratteristiche dei litotipi rilevabili lungo il tracciato evidenziando, per ogni singola unità i risultati ottenuti dalle prove in sito e di laboratorio. Sono state evidenziate situazioni particolari quali la presenza di venute di gas nell'ambito delle argille con gessi al passaggio con le argille plioceniche rilevate nel corso del sondaggio SG2 e la possibilità di riscontrare

olistoliti o blocchi calcarei isolati nell'ambito dei complessi detritico-alluvionali e/o argillosi.

Inoltre, per quanto riguarda il complesso carbonatico interessato dalla galleria naturale sono stati analizzati i rilievi geomeccanici eseguiti.

Infine, in relazione all'importanza dell'opera, tenendo conto dell'estensione dell'area interessata dalla galleria naturale e dei limiti oggettivi dei rilievi di superficie e delle indagini effettuate, si ritiene opportuno consigliare indagini integrative per la redazione del progetto esecutivo e comunque in fase esecutiva la verifica delle condizioni reali in profondità degli ammassi rocciosi per i singoli tratti (resistenza della roccia integra, la determinazione puntuale delle condizioni idrauliche in profondità, ecc.).

Tali condizioni potranno essere ad esempio accertate mediante la realizzazione di indagini integrative finalizzate alla definizione del progetto esecutivo nonché indagini geognostiche dirette con sondaggi orizzontali o debolmente inclinati di adeguata lunghezza eseguiti secondo una maglia congruente con le dimensioni del fronte di scavo da eseguirsi sul fronte della galleria eventualmente integrato da indagini geofisiche tarate attraverso i predetti sondaggi.

Scopo primario dei sondaggi proposti sarà quello di verificare l'eventuale presenza di fasce cataclasiche, faglie, cavità carsiche ecc. e/o consentire verifiche in merito alla possibile venute d'acqua collegate a condotti carsici attivi verificabili in alternativa mediante la realizzazione di un cunicolo pilota.

In conclusione, ribadendo la fattibilità degli interventi previsti, per quanto attiene alla definizione puntuale delle caratteristiche delle opere di fondazione, dimensionamento delle strutture di sostegno, metodologie di scavo sia a cielo aperto che in galleria, progettazione dei sistemi drenanti ecc, si rimanda la scelta finale ai progettisti in quanto si ritiene che valutazioni approfondite su tali elementi saranno oggetto dell'analisi strutturale di loro competenza.

## OPERE CONSULTATE

- ACCORDI G. et alii (1988) – *Note illustrative alla carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo ed aree limitrofe*. CNR – Progetto Finalizzato Geodinamica: sottoprogetto 4. Quad. Ric. Scient., 114, vol. 5, 223 pp.
- BONI C. (Maggio, 2004) – *Studio idrogeologico relativo alla costruzione della galleria stradale tangenziale all'abitato di Formia, inserita nel progetto della variante alla SS. n.7 Appia*. Contratto di ricerca tra Politecnica e Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza" di Roma.
- BONI, BONO, CAPELLI (1988). *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio*
- CATENACCI e MOLINARI (1965) – *Sull'età dei conglomerati di Minturno (Lazio meridionale)*. Boll. Serv. Geol. It., 86, 27-43.
- CELICO P. et alii (1980) – *I massicci carbonatici limitrofi alla piana di Fondi (Lazio meridionale): circolazione idrica sotterranea e possibilità di utilizzazione dell'acquifero come serbatoio naturale di compenso*. Boll. Soc. Natur. Napoli, vol. 89, pp. 233-254.
- CELICO P. (1983) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale*. Quad. Cassa del Mezzogiorno, 4/2.
- CERISOLA & MONTONE (1992) – *Analisi strutturale di un settore della catena dei monti Aurunci-Ausoni (Lazio, Italia centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., 111, 449-457.
- CHIOCCHINI e MANCINELLI (1977) – *Microbiostratigrafia del Mesozoico in facies di piattaforma carbonatica dei monti Aurunci (Lazio centro-meridionale)*. Studi Geol. Camerti, 3, 109.
- CIPOLLARI & COSENTINO (1991) – *Considerazioni sulla strutturazione della catena dei monti Aurunci: vincoli stratigrafici*. Studi Geol. Camerti, volume soeciale (1991/2), CROP 11, 151-156.
- CIVITA M. (1998) - *Parere Tecnico sull'impatto che la galleria stradale potrebbe provocare sulla risorsa idrica sotterranea che alimenta il Gruppo Sorgivo Mazzoccolo*. Comune di Formia.
- MECCHIA, PIRO, BARBATI (2003) – *Le grotte del Lazio - I fenomeni carsici, Elementi della Geodiversità*. Regione Lazio e A.R.P.
- MONTONE e TALLINI (1994) – *Analisi strutturale della faglia Fammera-Campodivivo (Lazio meridionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 113, 421-433.
- NASO & TALLINI (1993) – *Tettonica compressiva e distensiva nei monti Aurunci occidentali (Appennino centrale): prime considerazioni*. Geologica Romana, 29: 455-462.
- PAROTTO e PRATURLON (1975) – *Geological summery of the central Apennines*. In: *Structural Model of Italy*. Quad. Ric. Scient., CNR, 90, 257-300.

PAROTTO (1980) – *Appennin central. Introduction a la geologie generale d'Italie* – 26° Congr. Geol. Intern., Parigi 1980, 33-37.

REGIONE LAZIO - Dipartimento Opere Pubbliche e Servizi per il Territorio (2000) – *Individuazione e perimetrazione delle aree in frana nel territorio della Regione Lazio.*

RAGOZZINO E. (1991) – *Rilevamento geologico ed analisi strutturale dei monti Conca e Lauro (Lazio sud-orientale).* Studio utilizzato come tesina di laurea nel 1996, inedita. Dipart. di Sc. della Terra dell'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

RAGOZZINO E. (1999) – *Rilevamento geologico del territorio del Comune di Formia per la variante al P.R.G.* Studio di Geologia Tecnica (Formia)-Comune di Formia.