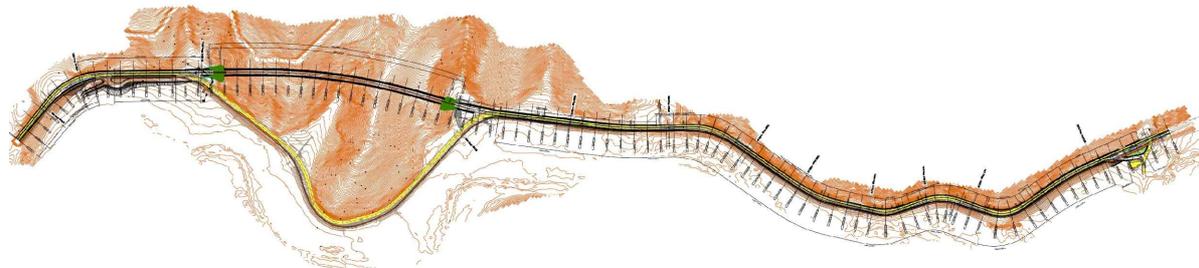


S.S. 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"

RETTIFICA DEL TRACCIATO E ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 41+500 al km 51+500
STRALCIO 1 - LAVORI DI ADEGUAMENTO ALLA SEZ. TIPO C2 DAL km 49+300 al km 51+500



PROGETTO ESECUTIVO

IMPRESA ESECUTRICE



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Gianluca DE PAOLIS

PROGETTAZIONE



IL PROGETTISTA

Ing. Valerio BAJETTI
 Ordine degli Ingegneri della
 provincia di Roma n°A26211
 (Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA
 IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio BAJETTI
 Ordine degli Ingegneri della
 provincia di Roma n°10112
 (Diretto tecnico Ingegneria del Territorio)



PROTOCOLLO

DATA

N. ELABORATO:

H201

CAPITOLO H - PROGETTO OPERE IN SOTTERRANEO
CAPITOLO H2 - GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA - RELAZIONE TECNICA

CODICE PROGETTO

PROGETTO

PG0374E2201

NOME FILE

H201-P01GN01OSTRE01_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE
 ELAB.

P01GN01OSTRE01

A

D

C

B

A

PRIMA EMISSIONE

APRILE
 2024

ING. GIANFRANCO
 SODERO

ING. GIANCARLO
 TANZI

ING. VALERIO
 BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	2
2	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	4
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	6
3.1	CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE	6
3.2	GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO	8
3.2.1	Depositi Continentali Quaternari	8
3.2.2	Successioni Continentali Plio-Pleistoceniche	9
3.2.3	Dominio Umbro – Successione Marina Pelagica.....	10
4	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	13
4.1	ELEMENTI DI CIRCOLAZIONE IDRICA	15
4.2	CARTA IDROGEOLOGICA	16
4.2.1	Terreni dotati di Permeabilità Primaria (per porosità)	16
4.2.2	Terreni dotati di Permeabilità Secondaria (per fratturazione).....	16
5	UNITA' LITOTECNICHE.....	18
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE	19
7	ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	26
8	COMPORAMENTO MECCANICO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI	29
8.1	RILIEVI GEOSTRUTTURALI	30
8.2	COMPORAMENTO MECCANICO.....	31
8.3	PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEI LITOTIPI INTERESSATI DALLO SCAVO IN GALLERIA	39
9	CARATTERIZZAZIONE CON HOEK BROWN DEI LITOTIPI E PARAMETRI DI PROGETTO.....	41
9.1	PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA ROSSA CON VALORI DI PICCO	41
9.2	PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA ROSSA CON VALORI RESIDUI	42
9.3	PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA VARIEGATA CON VALORI DI PICCO	43
9.4	PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA VARIEGATA CON VALORI RESIDUI	44
9.5	PARAMETRI DI CALCOLO DELLE FORMAZIONI INTERESSATE DALLO SCAVO DELLA GALLERIA.....	45

1 INTRODUZIONE

Nella seguente relazione è illustrata la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati allo scavo della galleria naturale "Castel San Felice" nell'ambito della Progettazione Esecutiva inerente la "Rettifica del tracciato e adeguamento alla sez. tipo C2 della S.S. 685 "delle Tre Valli Umbre" dal km 49+300 al km 51+500"; il progetto costituisce il 1° stralcio funzionale dell'adeguamento della S.S.685 nel tratto che va dal km 41+500 al km 51+500, da attuare nel medio termine.

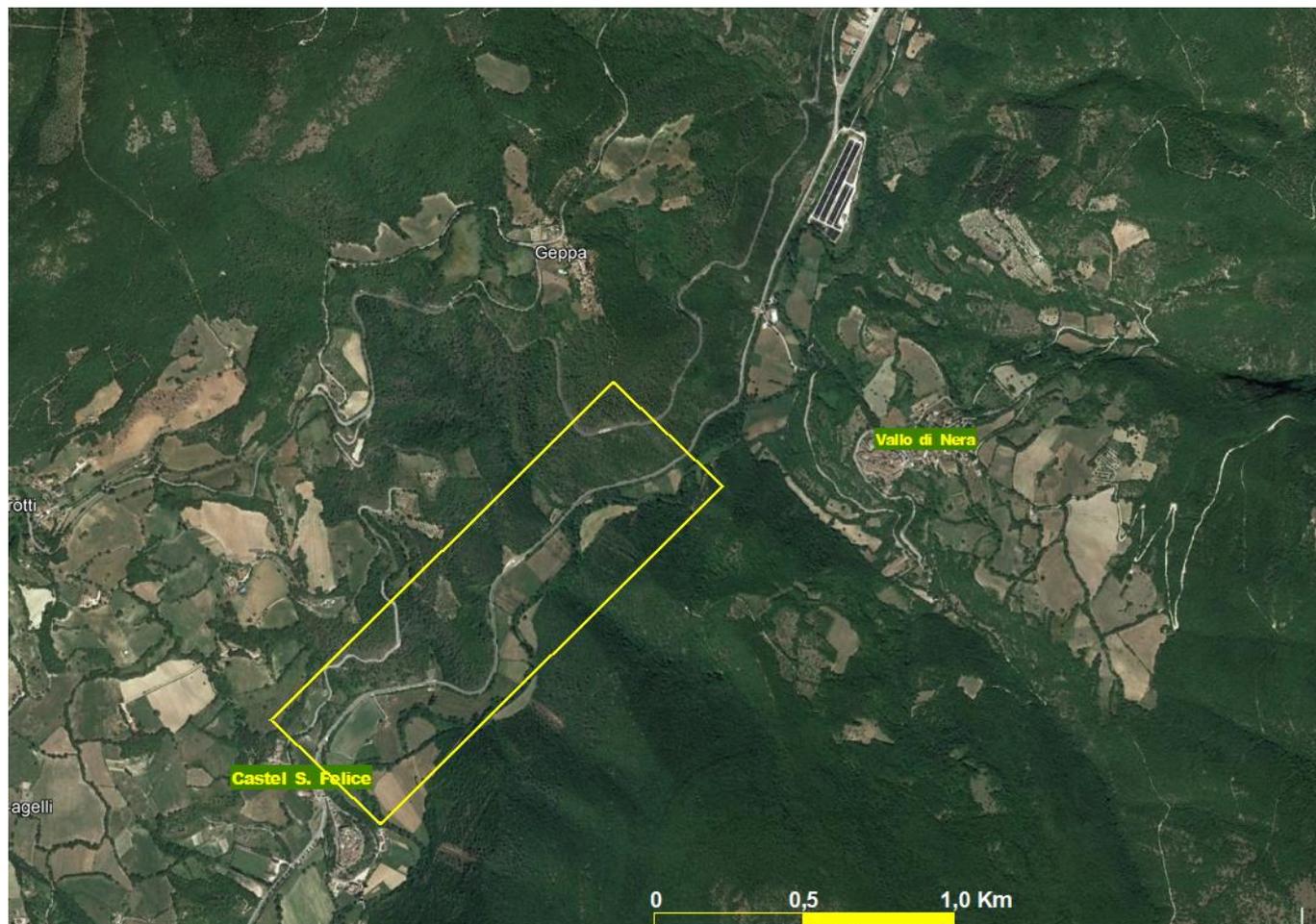


Figura 1.1 – Ubicazione dell'area in studio

La galleria naturale Castel San Felice fa parte delle opere previste nell'ambito del progetto di adeguamento della S.S.685: l'obiettivo è quello di bypassare il segmento di tracciato esistente più impervio, con curve di raggio inferiore ai 100 m e scarsa visibilità.

Il tratto in naturale della galleria inizia alla progressiva 0+439.60 e termina alla progressiva 875.60 con una lunghezza di 436 m. Le coperture massime sulla calotta risultano di poco superiori ai 50 metri, mentre in corrispondenza dell'incisione nella zona centrale raggiungono un minimo di circa 15 metri.

La sezione tipo in galleria conserva le stesse caratteristiche geometriche dei tratti a cielo aperto contigui, ovvero una piattaforma formata da corsie di larghezza 3,50 m e banchine laterali da 1,25 m, per una larghezza totale di 9,50 m (sezione tipo C2).

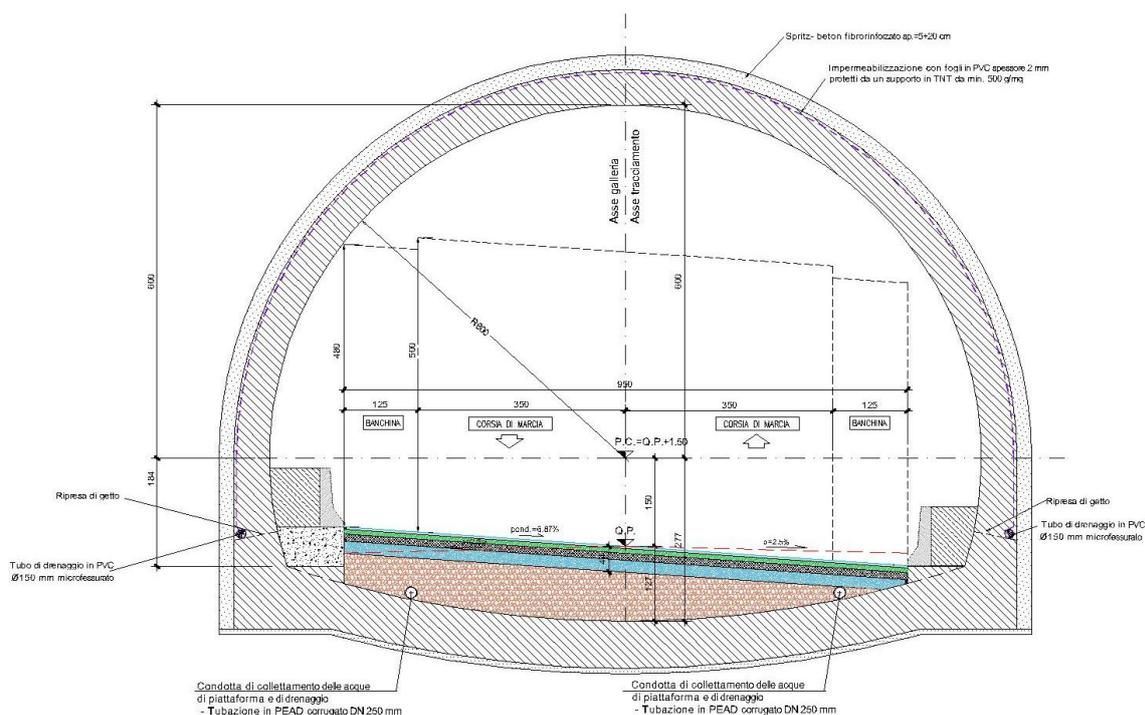


Figura 1.2 – Sezione corrente in galleria

Sui due lati della piattaforma stradale è collocato il profilo re direttivo previsto dalle norme (DM 5.11.2001, Linee Guida ANAS); il raggio interno del profilo di intradosso è pari a 6,00 m, tale da consentire un franco verticale minimo di 5,00 m sulla carreggiata e 4,80 m sulle banchine.

L'elaborato fornisce il modello geologico-tecnico di riferimento per la progettazione della galleria naturale e riporta l'inquadramento geologico e idrogeologico dell'area e fornisce una disamina dei risultati delle campagne d'indagine condotte e una descrizione litotecnica e la caratterizzazione geotecnica e geomeccanica delle unità attraversate durante le fasi di scavo.

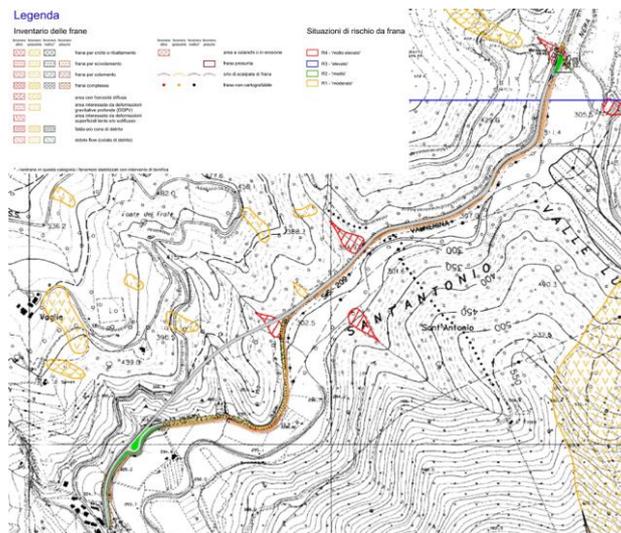
2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

La strada in studio ricade nella Valle del Fiume Nera e si snoda lungo il versante in destra orografica per una lunghezza complessiva di circa 2,3 Km.

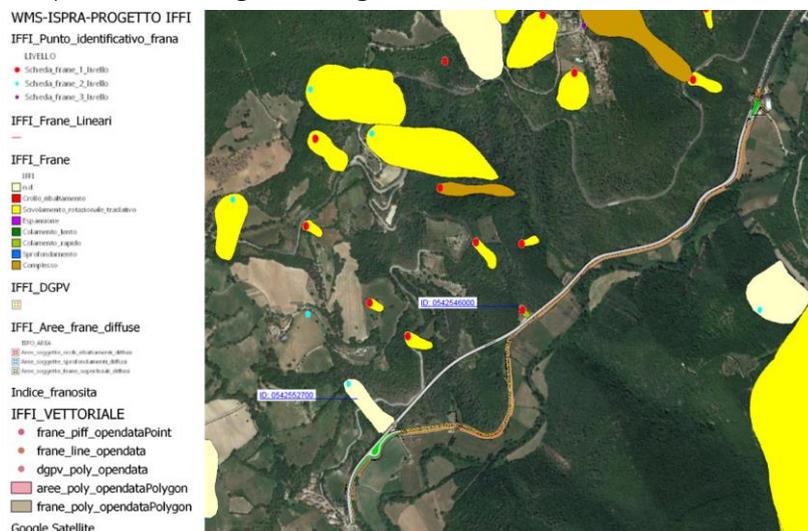
La valle del Fiume Nera presenta dei versanti interessati da numerosi dissesti che localmente occupano anche grandi aree, come quella sul versante in sinistra orografica in prossimità dell'abitato di Vallo del Nera. Il versante in destra orografica è interessato da numerosi eventi franosi.

Tali eventi sono catalogati e perimetrati sia nel Piano di assetto Idrogeologico (PAI) del Distretto dell'Appennino Centrale-Bacino del Fiume Tevere, in cui ricade l'intervento di progetto che nelle carte tematiche dell'Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia redatto dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA).

Dall'analisi degli elaborati PAI il tracciato non ricade in aree a Rischio frana ma interferisce in maniera diretta o marginalmente con tre coni di detrito di modeste estensioni e con un una colata di detrito quiescente di estensione pari a 0.1ha.



Dalla sovrapposizione del tracciato di progetto con la cartografia IFFI è emersa l'interferenza marginale con due corpi di frana, riportati nella figura a seguire.



La frana identificata con codice IFFI 0542546000 corrisponde arealmente alla frana indicata nell'elaborato PAI con la sigla 3360826, identificata come debris flow (colata di detrito) quiescente.

La frana identificata con codice IFFI 0542552700 non trova riscontro nella cartografia PAI.

Dalle Carte Geomorfologica e Geologica il versante alla base del quale si sviluppa il tracciato della strada in progetto risulta costituito per la maggior parte da rocce calcaree affioranti, con limitate coperture detritiche ed assenza di fenomeni di dissesto.

Nella Carta Idrogeologica sono perimetrare le aree a rischio di alluvioni secondo quanto rilevabile dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (Distretto Idrografico dell'appennino Centrale), da cui risulta che il tracciato della strada in progetto si sviluppa ad una quota sensibilmente più alta rispetto a quelle delle aree suscettibili di alluvioni e/o esondazioni, come si evince dallo stralcio della carta geomorfologica della Figura 2.1

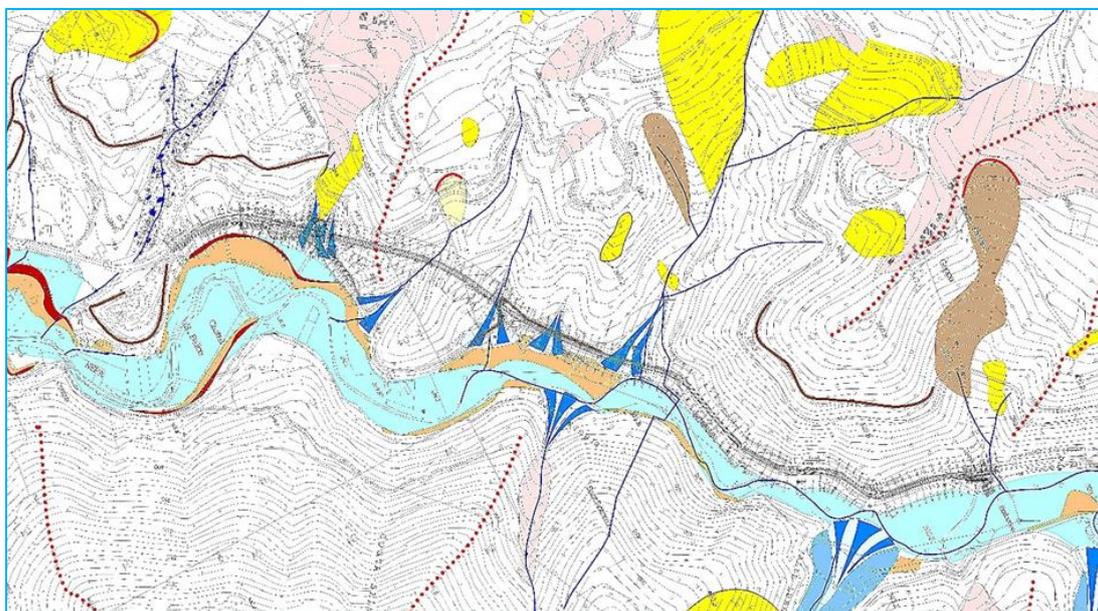


Figura 2.1 – Stralcio della Carta Geomorfologica

Dalla Relazione Geologica risulta che le formazioni nei versanti della valle sono molteplici e possono distinguersi in:

- *Depositi quaternari di copertura*, costituiti dai depositi alluvionali di fondovalle, dalle conoidi, dai corpi di frana, dalle coperture detritiche e dai depositi alluvionali terrazzati
- *Calciruditi del Sistema di Monteleone Sabino* di età plio-pleistocenica
- *Formazioni prevalentemente calcaree del Dominio Umbro*, che comprendono i Calcari marnosi grigi della *Formazione Bisciario*, la *Scaglia Cinerea*, formata da marne e marne argillose grigio-verdi, la *Scaglia Variegata*, data da calcari marnosi rossi e grigio-verdi, la *Scaglia Rossa* formata da calcilutiti e calcari marnosi rosati e rossi, la *Scaglia Bianca* costituita da calcilutiti bianche, le *Marne a Fucoidi* date da alternanza di marne calcaree ed argillose, la *Maiolica* data da calcari micritici a grana finissima ed i *Calcari Diasprigni*, formati da calcari micritici, radiolariti e diaspri.

3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

3.1 CENNI DI GEOLOGIA REGIONALE

Per la descrizione delle caratteristiche geologiche di questa parte del territorio in questa sede si fa espresso riferimento alle "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000 - Foglio 336 "Spoleto", di cui si riportano alcuni concetti fondamentali e la sintesi di alcuni brani della parte descrittiva. Nella zona dell'Appennino Centrale contemporaneamente alla fase tettonica compressiva che investe l'area di avampaese, le zone di retropaese vengono interessate da collasso tettonico, responsabile dello sviluppo di bacini sedimentari controllati da processi tettonici estensionali. In un tale contesto geodinamico, quindi, si sviluppa un sistema distensione-compressione in migrazione verso l'avampaese (Sartori, 1990; Patacca et alii, 1992a; Cavinato & De Celles, 1999; Cipollari et alii, 1999).

In Appennino Centrale gli effetti della migrazione del sistema distensione compressione sono registrati nell'assetto stratigrafico-strutturale delle unità tettoniche affioranti. Qui, come in tutti gli altri settori della catena appenninica è, infatti, possibile distinguere:

- a) una fase pre-orogena;
- b) una fase sin-orogena;
- c) una fase post-orogena.

Nel corso della fase pre-orogena, il settore coinvolto nella catena dell'Appennino centrale era caratterizzato da una paleogeografia dominata da sistemi piattaforma-bacino (Ciarapica, 1990; Ciarapica & Passeri, 2002; Bosellini, 2004).

La tettonica medio-liassica, responsabile di questo assetto paleogeografico, in seguito allo smembramento di una paleopiattaforma appenninica (Norico-Lias inferiore), ha, inoltre, determinato lo sviluppo, nei domini bacinali, di Piattaforme Carbonatiche Pelagiche (PCP, sensu Santantonio, 1993) (Chiocchini et alii, 1975; Cosentino et alii, 1982; Galluzzo & Santantonio, 1994; Santantonio et alii, 1996; Galluzzo & Santantonio, 2002; Cosentino et alii, 2006). Le successioni stratigrafiche coinvolte nella strutturazione dell'Appennino centrale appartengono, quindi, a domini pelagici, di piattaforma carbonatica.

Nella la fase sin-orogena, il settore appenninico centrale venne interessato dalla migrazione del sistema catena-avanfossa-avampaese, che costituisce una fase in cui si passa da una sedimentazione prevalentemente carbonatica, che caratterizza la successione pre-orogena, ad una silicoclastica torbiditica tipica di bacini di avanfossa.

Il territorio in studio, tra l'Appennino settentrionale e quello centrale, comprende il Dominio Umbro-Marchigiano-Sabino a ovest ed il Dominio della Laga a est, attualmente separati dal sovrascorrimento Olevano-Antradoco-Monti Sibillini che attraversa l'intera area in senso circa meridiano; la loro genesi ed evoluzione fino all'assetto attuale è riconducibile a fasi differenti dell'intera evoluzione dell'Appennino centro-settentrionale. Quest'ultima a sua volta è legata a quella del margine continentale della (micro)placca Adria soggetta a varie fasi più o meno intense di tettonica distensiva tra il Triassico ed il Paleogene e successivamente ai processi tettonici di flessurazione e orogenici determinati dalla convergenza della placca europea e di quella africana.

Il Dominio Umbro-Marchigiano-Sabino è caratterizzato da una successione sedimentaria di piattaforma carbonatica e di bacino pelagico, di età Triassico superiore-Miocene p.p. La variabilità di facies verticale e laterale e i rapporti stratigrafici e strutturali documentano l'evoluzione del margine passivo determinata da fasi tettoniche prevalentemente distensive, dal rifting Sinemuriano alla flessurazione miocenica e da processi e eventi ambientali, oceanografici ed eustatici registrati a scala globale e regionale. Il Dominio della Laga, invece, si è evoluto a partire dal Miocene superiore nell'ambito di un contesto di un bacino di avanfossa antistante la catena appenninica in via di sollevamento.

L'assetto attuale è dovuto all'orogenesi Appenninica, processo cominciato nell'Oligocene, legato alla migrazione verso est del sistema catena-bacino di avampaese; attraverso lo sviluppo di sovrascorrimenti in piggy-back sequence e fuori sequenza, sono stati progressivamente coinvolti nella catena i diversi settori della placca adriatica, che risultano oggi impilati in diverse unità strutturali dall'interno verso l'esterno con polarità verso NE ed E. In questo quadro, il Dominio Umbro-Marchigiano-Sabino viene coinvolto nella catena a partire dal Tortoniano Superiore, mentre nel Messiniano il bacino della Laga costituisce l'avanfossa e viene coinvolto in catena nel Pliocene inferiore.

Uno schema geologico interregionale molto esplicativo si rinviene nella "Carta geologica dell'Appennino Settentrionale – Regioni Emilia Romagna, Marche, Toscana ed Umbria", pubblicato dalla sinergia delle suddette regioni, dell'Università di Siena e del centro di GeoTecnologie di Siena, in scala 1:250.000. di cui si riporta uno stralcio che comprende il tratto di territorio in esame in Figura 3.1.

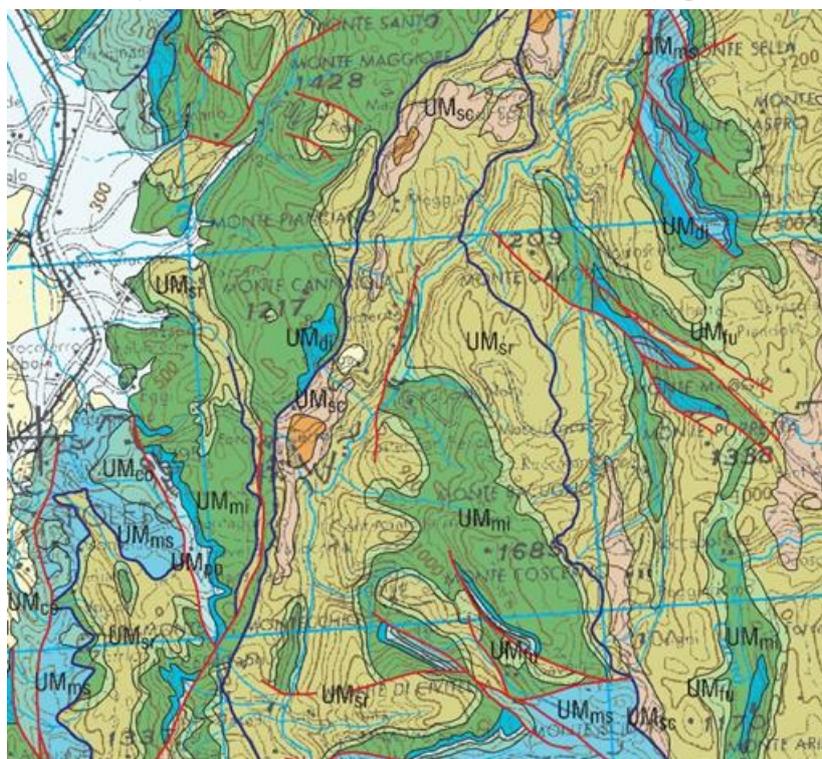


Figura 3.1 – Stralcio dello schema di geologia interregionale

Le singole unità stratigrafiche affioranti in base all'insieme dei loro caratteri sono riferibili ai seguenti cinque tipi di successioni:

a) marina di piattaforma carbonatica (preorogena) sedimentatasi nel Lias inferiore p. p. su di una area interregionale vastissima in un ambiente di profondità ridotta; è rappresentata solo dal calcare massiccio;

b) marina essenzialmente carbonatica (preorogena) sviluppatasi su di un margine passivo- dal Lias inferiore p. p. fino a parte del Burdigaliano, talora con discontinuità di sedimentazione. In letteratura questa successione è nota come "umbro-marchigiana". A causa di una intensa fase tettonica distensiva iniziata sul finire del Lias inferiore, la piattaforma carbonatica si è disarticolata e smembrata, sprofondando con modalità differenti da luogo a luogo. Si è venuta, così, a creare una serie di alti e di bassi morfologico-strutturali i quali determinano, durante l'intervallo Liassico medio-Malm, anche nell'ambito della stessa unità litostratigrafica, la diversificazione sia dei litotipi che degli spessori.

c) marina silicoclastica sedimentatasi -essenzialmente per processi di torbida, a partire dall'alto Miocene inferiore (Burdigaliano p. p.) fino a tutto il Miocene medio (alto Serravalliano)- parte in un bacino di avanfossa e parte in un thrust-top-basin;

d) continentale lacustre di età plio-pleistocenica (corrisponde all'ex "ciclo Villafranchiano" dei vecchi A. A.) che costituisce la sedimentazione postorogena unitamente alla seguente successione (e);

e) continentale fluviale con saltuari episodi da lacustri a palustri, di età pleistocenico- olocenica.

3.2 GEOLOGIA DELL'AREA IN STUDIO

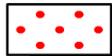
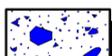
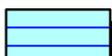
Per il tratto di territorio studiato la distribuzione areale delle formazioni geologiche affioranti è stata cartografata su base topografica in scala 1:5.000 (cfr. Carta Geologica allegata), con riferimento alla Carta Geologica d'Italia Foglio 336 "Spoleto", in scala 1:50.000. Il dettaglio è stato prodotto in un'altra carta geologica in scala 1:2.000 su apposito rilievo limitatamente alla fascia di territorio in esame.

In ambedue le carte sia la simbologia che la descrizione adottate per ciascuna delle formazioni sono dedotte dai suddetti elaborati.

Le formazioni geologiche che ricadono nell'area di stretto interesse sono, dalle più recenti alle più antiche riportate nelle legende delle carte geologiche sopra elencate e di seguito descritte.

3.2.1 DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

- a₁**  **Depositi di frana**
Deposito in assetto caotico sia attivi, con segni di evoluzione, che stabilizzati, a granulometria variabile - Pleistocene (?) - Olocene
- a₃**  **Detriti di falda**
Depositi detritici di falda e di versante a granulometria variabile, da ben classificati a fortemente eterometrici, generalmente sciolti o debolmente cementati, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati - Pleistocene (?) - Olocene
- b**  **Depositi alluvionali**
Depositi detritici alluvionali in corrispondenza degli alvei o da "debris flow", in taluni casi maggiormente grossolani, eterometrici, in matrice sabbioso-limoso rossastra e con accenni di stratificazione, costituenti antiche conoidi, anche attivi, allo sbocco di valli secondarie Pleistocene (?) - Olocene
- b₂**  **Oltre detritico-colluviale**
Depositi essenzialmente fini con subordinati clasti di varie dimensioni, provenienti dal disfacimento delle rocce del substrato, accumulati sul posto (eluvium) o trasportati in massa e/o per ruscellamento diffuso (colluvium) presenti sui versanti o sul fondo delle vallecole minori. Pleistocene (?) - Olocene
- bn**  **Depositi alluvionali terrazzati**
Depositi fluviali a prevalenti ghiaie da sciolte a variamente cementate con intercalazioni di lenti di sabbie bruno giallastre, di limi ed argille grigie. Rappresentano il colmamento di valli successivamente reincise. Pleistocene - Olocene

a₁ – Si tratta di depositi di frana con struttura caotica, sia attivi, con evidenti segni di evoluzione, sia stabilizzati; hanno a granulometria variabile e sono riferibili al Pleistocene (?) – Olocene; si rinvencono sia sulle versante sinistro che destro, a varie quote e ricoprono aree molto vaste, come nei versanti a ridosso dell'abitato di Vallo della Nera.

a3 – Costituiscono le coperture detritiche che ricoprono parte dei versanti; si tratta di detriti di falda e di versante a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici, generalmente sciolti o debolmente cementati, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati, ascrivibili al Pleistocene (?) – Olocene; si rinvengono in ambedue i versanti, a varie quote, con distribuzioni areali molto estese;

b – Depositi alluvionali: costituiscono dei sedimenti alluvionali in corrispondenza degli alvei o da "debris flow", in taluni casi maggiormente grossolani, eterometrici, in matrice sabbioso-limosa rossastra e con accenni di stratificazione, costituenti antiche conoidi, anche attivi, allo sbocco di valli secondarie, anch'essi riferibili al periodo Pleistocene (?) – Olocene; occupano le pianure alluvionali del Fiume Nera e degli affluenti in destra e sinistra, alla cui confluenza si rinvengono estese formazioni di conoidi ad analoga composizione litologica e granulometrica;

b2 - Coltre detritico-colluviale, data essenzialmente da sedimenti fini con subordinati clasti di varie dimensioni, provenienti dal disfacimento delle rocce del substrato, accumulati sul posto (eluvium) o trasportati in massa e/o per ruscellamento diffuso (colluvium) presenti sui versanti o sul fondo delle vallecole minori; ascrivibili al Pleistocene (?) – Olocene, sono presenti in una vallecola nel versante in destra orografica sovrastante l'abitato di Castel S. Felice;

bn - depositi alluvionali terrazzati, a prevalenti ghiaie da sciolte a variamente cementate con intercalazioni di lenti di sabbie bruno giallastre, di limi ed argille grigie. Rappresentano il colmamento di valli successivamente reincise; ascrivibili al Pleistocene – Olocene; sono presenti in un piccolo affioramento nel versante in destra orografica a quota m 366, circa m 50 più in alto rispetto al fondovalle.

3.2.2 SUCCESSIONI CONTINENTALI PLIO-PLEISTOCENICHE

SUCCESSIONI CONTINENTALI PLIO-PLEISTOCENICHE

MNS_a



Sistema di Monteleone Sabino

Depositi ruditici ad elevato grado di cementazione, molto grossolani, in strati da spessi ad estremamente spessi, di colore grigio-biancastro, di probabile ambiente fluvio-deltizio. Talora con accenni di stratificazione incrociata.
Pleistocene Inferiore - Medio

MNS_a – Sistema di Monteleone Sabino; si tratta di una formazione ruditica molto grossolana, disposta in strati molto spessi, di colore grigio-biancastro, probabilmente di ambiente originario fluvio-deltizio, come sembra testimoniare la locale stratificazione incrociata; appartengono al Pleistocene Inferiore Medio.

3.2.3 DOMINIO UMBRO – SUCCESSIONE MARINA PELAGICA

**DOMINIO UMBRO
SUCCESSIONE MARINA PELAGICA**

BIS		Bisciario Calcarei marnosi grigio scuri alternati a marne grigie. Nella parte inferiore caratteristici livelli di selce nera e sottili intercalazioni di vulcanoclastiti ocracee molto alterate. L'unità contiene denti di pesci, echidni, spicole di spongari, etc.. Aquitano Inferiore - Burdigaliano
SCC		Scaglia Cinerea Marne e marne argillose grigio-verdi o grigio cenere alternate alla base con calcari marnosi grigi in strati in genere sottili (10 - 30 cm) interessati da numerosi piani di taglio. Localmente intercalazioni di calcareniti grigie in strati di 10 - 60 cm. Eocene Superiore - Aquitano Inferiore
VAS		Scaglia Variegata Calcarei marnosi rossi o grigio-verdi, calcari e marne grigie con selce nera e marne rosse con intercalazioni di spesso livelli di calcareniti. La stratificazione è sottile (2 - 20 cm). Localmente intercalazioni anche di calciruditi. Eocene Medio - Superiore
SAA		Scaglia Rossa Calcioliti, calcari marnosi e marne da rosati a rosso scuro o biancastri, ben stratificati, con selce in noduli o liste generalmente rossa o rosea. Sono presenti calcareniti di colore grigio o bianco, talora di spessore anche metrico. Turoniano Inferiore - Eocene Medio
SBI		Scaglia Bianca Calcioliti bianche o grigio chiaro a stratificazione medio-sottile (10 - 35 cm), con liste di selce nera o grigia nella parte alta, rosata nella parte basale. Sono presenti intercalazioni calcarenitiche, talora calciruditi. Albiano Superiore - Turoniano Inferiore
FUC		Marne a Fucoidi Ripetute alternanze di marne, da calcaree ad argillose, con livelli di elevata frazione argillosa, talora a lamine, di colore grigio scuro, verde, rosso o variegato con ripetute intercalazioni bituminose nere; nelle parti più marnose e marnoso-calcaree tracce di bioturbazione (Fucoidi) Aptiano Inferiore - Albiano Superiore
MAI		Maioica Calcarei micritici a grana finissima ed a frattura conchoidale, di colore bianco o avorio, talora giallastri, in strati regolari di spessore compreso tra 10 e 50 cm, sporadicamente con sottilissimi interstrati argillosi grigio-neri. Frequente la selce grigia in letti o noduli. Titonico Inferiore - Aptiano Inferiore
CDU		Calcarei Diasprigni Calcarei da micritici a granulari, quasi sempre sottilmente stratificati, (4 - 10 cm) talora con interstrati costituiti da argille marnose. La selce in noduli, liste e livelli decimetrici è spesso prevalente. Colore variabile dal rossiccio al verde-grigio. Presenti sottilissimi livelli di sabbie radiolaritiche. Bajociano Superiore - Titonico Inferiore

BIS – Formazione di Bisciario: è formata da calcari marnosi grigio scuri alternati a marne grigie. Nella parte inferiore si rinvencono caratteristici livelli di selce nera e sottili intercalazioni di vulcanoclastiti ocracee molto alterate. L'unità contiene denti di pesci, echidni, spicole di spongari, etc., ascrivibile all'Aquitano Inferiore – Burdigaliano; questa formazione affiora in una vasta area in Contrada san Martino e Borgo Agelli e d in aree più ristrette nel medesimo versante a varie quote.

SCC – Scaglia Cinerea, costituita da ripetute alternanze di calcari marnosi e di marne, calcaree in basso ed argillose in alto, di colore grigio verde o cenere. La stratificazione in genere è sottile (10-30 cm), con strati spesso amalgamati o fogliettati a causa di movimenti di taglio. Calcareniti grossolane bioclastiche (a macro foraminiferi), in strati da medi a spessi di color avana, sono presenti nella sinclinale di Montefiorello, a Forchetta di Usigni [070], presso Fosso della Forca e S. Valentino; la potenza dell'unità è mal valutabile a causa sia della scarsa competenza dei materiali che la costituiscono e, di conseguenza, della sua elevata deformabilità, sia della localizzazione in essa di numerosi piani di taglio; nell'area in studio affiora nella parte mediana del versante in destra orografica,

VAS – Scaglia Variegata, Si hanno alternanze policrome, sovente a fiamme, di colore rosso, grigio e verde di marne variamente argillose e di calcari marnosi sottilmente stratificati (strati spessi 5-20 cm), a luoghi con selce nera e rossa come a Castel S. Felice. Calcareniti in strati sottili sono presenti nelle aree di ESE. Talvolta l'unità non è ben individuabile sul terreno per i suoi caratteri transizionali e talaltra si presentano tre membri, dal basso verso l'alto: a) calcareo marnoso rosso e grigio-verde; b) calcari e marne grigie con selce nera; c) marnoso rosso. Gli spessori complessivi oscillano fra i 30 ed i 60 metri, ma è segnalato un valore massimo di 70-90 m nei rilievi a W del F. Nera. Il passaggio alla soprastante Scaglia Cinerea, non sempre ben precisabile per la sua gradualità, si è fatto convenzionalmente coincidere con la fine delle colorazioni rossastre e con il marcato aumento della frazione argillosa; questo passaggio è ben esposto

lungo la strada per Mucciafora e Roccatamburo e, in giacitura rovesciata, lungo la strada per Collegiacone.
Eocene medio - Superiore

SAA – Scaglia Rossa, nota anche come Scaglia Rosata, è l'unità che, assieme alla maiolica, occupa la maggior parte del tratto di territorio in studio. Nell'unità sono distinguibili tre litofacies dal basso verso l'alto: a) calcari fango-sostenuti (mudstones) e calcari marnosi rosati a luoghi con bande policrome, con selce rossa in liste e noduli; b) marne calcaree e marne di colorazione più intensa talora rosso mattone scuro; c) calcari fango-sostenuti e calcari marnosi rosati con selce in liste e noduli. I calcari, dalla tipica frattura a scaglie, non raramente appaiono di colore biancastro per decolorazione. La stratificazione è netta con strati spessi 10-40 cm. Sono presenti calcareniti e calcilutiti, in strati anche metrici, talora gradati o con laminazioni da correnti trattive, evidenziate, quando calcilutitiche, dalla disposizione degli abbondanti foraminiferi. Questi episodi, la cui colorazione biancastra li rende sovente individuabili anche a distanza, sono presenti in entrambi i Settori a varie altezze stratigrafiche, con particolare sviluppo. La Scaglia Rossa passa verso l'alto sia alla Scaglia Variegata, che alla litofacies delle Marne di Colle Castellano. Il passaggio alla scaglia variegata è graduale ed avviene con: scomparsa della selce; aumento della componente marnosa; comparsa di livelli grigio verdastri. Nell'area in studio affiora estesamente in ambedue i versanti sia in prossimità dell'alveo del Fiume Nera che alla sommità dei rilievi. È ascrivibile al Turoniano inferiore - Eocene medio.

SBI – Scaglia Bianca, affiora in continuità nelle stesse località di quelli delle marne a fucoidi e lungo la valle del F. Nera. Una esposizione quasi completa della formazione si ha a Monte San Vito, mentre esposizioni parziali si hanno lungo le strade tra Vallo di Nera e Mucciafora e fra Baiano di Spoleto e Meggiano presso il F. so S. Antonio. Si tratta di calcari fango-sostenuti variamente marnosi, da bianchi a debolmente grigiastri, in strati di 10-35 cm, eccezionalmente di 50 cm, con intercalazioni assai subordinate sia di marne che di liste e noduli di selce nera o grigiastra, talora zonata, bianco o rosata. Sul versante orientale di M. Pianciano (Fonte Canale, Fosso di Montefiorello) viene segnalato un orizzonte di calcari anche selciferi, di colore rosato e verdognolo con selce rossa e nera, facilmente confondibile sul terreno con alcuni orizzonti della soprastante scaglia rossa. Come età è ascrivibile all'Albiano Superiore – Turoniano Inferiore.

FUC – Marne a Fucoidi, in passato designata con l'appellativo di Scisti a fucoidi. Gli affioramenti dell'unità fiancheggiano le principali strutture in entrambi i versanti. L'unità è costituita da ripetute alternanze di marne calcaree, marne e marne argillose di colore da verdastro a grigio (da scuro a chiaro), a rossastro o variegato in cui la componente calcarea aumenta verso l'alto. In base alla colorazione, regionalmente vi sono stati distinti i seguenti cinque livelli, dal basso verso l'alto: a) grigio verdastro con alla base il "livello Selli", marker di importanza regionale; b) rossastro inferiore; c) nerastro-marrone in cui prevalgono argille bituminose e black shales; d) rossastro superiore; e) biancastro con altri livelli di black shales. Gli strati sono assai regolari e sottili (10-25 cm), con superfici nette e le marne, di differente cromatismo, risultano fissili in lamine millimetriche, da cui l'antica denominazione di "scisti". La selce è talora presente in liste, rossa o nera nella porzione centrale dell'unità, mentre appare diffusa in quella sommitale.

Questa unità, per l'elevata presenza della frazione argillosa, oltre che costituire uno dei principali livelli "impermeabili" dell'intera successione, rappresenta uno dei principali livelli incompetenti che nel corso

delle dislocazioni, favorendo la localizzazione delle zone di taglio, ha subito notevoli fenomeni tettonici di laminazione o di ispessimento.

Le potenze risultano variabili in funzione degli apporti detritici, in genere si raggiungono gli 80-100 m. Il passaggio alla soprastante scaglia bianca è molto graduale ed avviene in un tratto di dieci metri, con una diminuzione del contenuto marnoso. Come età è collocabile all'Aptiano Inferiore - Albiano superiore.

MAI – Maiolica, L'unità è conosciuta in letteratura -specie se antica- con il nome di "Calcare rupestre" per la sua elevata resistenza all'erosione. Affiora assai estesamente nella porzione sommitale di tutte le dorsali come lungo la S. S. della Valnerina e lungo la strada montana tra Monte San Vito e Campofoglio. Nel tratto di territorio in esame affiora in sinistra orografica lungo il versante di incisione secondaria presso l'abitato di vallo del Nera; questa formazione è costituita da calcari fango-sostenuti (mudstones) bianchi o avorio, a frattura concoide, in strati spessi 10-50 cm che presentano tipiche stiloliti e selce in noduli, lenti e liste, di colore grigio o nero. A luoghi sono presenti intercalazioni centimetriche di argille marnose nerastre, in alcuni casi bituminose, che tendono ad aumentare verso l'alto. Nella roccia sono presenti impurità costituite da minute sferule nere visibili a occhio nudo (ossidi metallici) nonché grossi noduli di marcassite che raggiungono un diametro anche di 10 cm. Localmente, nella porzione inferiore dell'unità, si hanno intercalazioni di calcareniti spesse anche 70-80 cm, che presentano laminazioni da torbida e colorazione rosata e nocciola. In corrispondenza degli alti morfologico-strutturali giurassici le facies basali di questa unità sembrano leggermente differenziate: la selce sembra più scarsa e gli strati presentano facce nodulari, con tracce di dolomitizzazioni che appaiono come numerosissime e minute "sferule" di colore arancione ocraceo, talora estese a tutto lo strato. Lo spessore della formazione è variabile e raggiunge i 300 m. Il passaggio alle soprastanti marne a fucoidi si realizza gradualmente nell'ambito di una decina di metri. Come età è collocabile nel Tortonico Inferiore - Aptiano Inferiore.

CDU – Calcari Diasprigni, in passato identificati con l'appellativo di Calcari a Posidonia, Calcari ad Aptici, Marne ad Aptici, Scisti ad Aptici, Calcari granulari con diaspri, Radiolariti, Diaspri. Nell'area in studio affiora sul versante in sinistra orografica tra le quote m 700 ed 800 s.l.m presso Casale Grotti. In molti affioramenti sono riconoscibili sia litofacies dei calcari a Saccocoma (attualmente riconosciuta come membro) e ad Aptici sia le caratteristiche intercalazioni calcarenitiche, che il passaggio alla soprastante maiolica. L'unità è costituita da calcari, da fango-sostenuti a grano-sostenuti, e da calcari selciferi, di colore grigio verdastro, con noduli, liste e livelli di selce (25 ÷ 40 cm), particolarmente abbondanti nella porzione centrale se non, addirittura, prevalenti, di colore rosso, vinaccia, bruno, o tipicamente verde. La stratificazione particolarmente sottile (4-10 cm) è un carattere diagnostico, anche se in alcuni casi sono presenti strati di 30-40 cm di materiale detritico. A luoghi sono state osservate intercalazioni centimetriche di marne variamente argillose o di areniti grossolane radiolaritiche ocracee, talora sciolte e talaltra cementate; a volte, nella porzione sommitale dell'unità è presente la litofacies dei calcari a Saccocoma e ad Aptici, potente da 0 a 40 m, cui sono frequentemente associati potenti livelli di calcareniti. Si tratta di calcari da biancastri ad avana a grigio verdi, nocciola, a frattura piano-concoide molto ampia, a volte con puntini arancioni, in strati più spessi dei sottostanti (10-30 cm) talora con superfici irregolari o nodulari, con spessi livelli bioclastitici verdastri. Complessivamente i calcari diasprigni presentano potenze comprese fra i 50 e gli 80 m, localmente con aumenti anche notevoli dovuti alla

presenza di intercalazioni detritiche. Questa formazione è ascrivibile come età al Bajociano Superiore - Titonico Inferiore.

4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'area in studio, come già accennato in precedenza, è ubicata nella valle del Fiume Nera i cui versanti sono costituiti dalle successioni delle formazioni prevalentemente calcaree e calcareo-marnose sopra descritte.

L'assetto idrogeologico delle aree delle dorsali carbonatiche appenniniche è caratterizzato da estesi acquiferi, la cui permeabilità è molto elevata per fessurazione e carsismo nell'ambito delle formazioni carbonatiche. Questi acquiferi, i più importanti dell'Appennino, sono estesi per diverse centinaia di km² e alimentano sorgenti basali ubicate nelle zone più depresse, dove l'acquifero è tamponato da sedimenti a permeabilità più bassa, costituiti dai depositi terrigeni torbiditici tardo-miocenici o dai sedimenti plio-quadernari di riempimento delle valli fluviali e delle depressioni tettoniche intermontane.

I sedimenti quadernari, costituiti da depositi di versante, depositi alluvionali e sedimenti lacustri e/o palustri, presentano una permeabilità variabile in funzione della granulometria e comunque inferiore a quella degli acquiferi carbonatici, in alcuni casi consentono travasi sotterranei dalle falde degli acquiferi regionali negli acquiferi porosi multistrato.

Per quanto attiene alla circolazione idrica nell'ambito delle varie formazioni carbonatiche si possono esprimere alcune valutazioni e considerazioni generali, di seguito formulate.

Lungo gli orizzonti e strati calcarei fratturati delle formazioni si può avere una discreta permeabilità per fessurazione, la cui entità dipende dalla dislocazione spaziale e dal tipo delle discontinuità (aperte, chiuse, combacianti, etc); essi possono costituire delle vie di deflusso preferenziale delle acque di infiltrazione. Ne consegue che nelle alternanze calcareo - marnose si può avere una permeabilità di tipo "orientato", relegata, cioè, ai soli orizzonti calcarei permeabili; in tali successioni la permeabilità è variabile in relazione alla litologia dello strato o livello al quale si riferisce.

Così nell'ambito della stessa alternanza si riscontrano situazioni estreme, date dai livelli di marne impermeabili e dai livelli calcarei fratturati, permeabili. Ne consegue che parallelamente alla stratificazione, in corrispondenza delle bancate calcaree fratturate, si possono avere valori di permeabilità sensibilmente alti, mentre in corrispondenza degli orizzonti marnosi o pelitici si hanno condizioni di quasi impermeabilità.

Ne deriva che l'alternanza, nel suo complesso, si può comportare come un terreno poco permeabile, o addirittura impermeabile, nella direzione ortogonale alla stratificazione; si può invece riscontrare una permeabilità, generalmente molto limitata o scarsa, nella direzione parallela alla stratificazione, relegata ai livelli calcarei fratturati.

Tale differenza di permeabilità tra le due direzioni (ortogonale o parallela alla stratificazione) è più o meno marcata in relazione alla prevalenza dei termini argillosi calcarei.

Per le formazioni prevalentemente costituiti da calcari la permeabilità è funzione del reticolo di fratturazione e dalla dislocazione spaziale delle fratture; in particolare la spaziatura, frequenza ed

apertura delle fessurazioni ed il tipo delle stesse (beante, chiusa o riempita di materiali) costituiscono gli elementi che determinano l'entità della permeabilità e trasmissività.

Nell'ambito del territorio esaminato esistono numerose emergenze idriche, tra cui N° 9 sono segnalate nella allegata carta Idrogeologica in scala 1:5.000, alcune delle quali designate con un toponimo:

- Le sorgenti indicate con i numeri 1, 3, 4, 5, 8 senza designazione, sono ubicate su ambedue i versanti del Fiume Nera a varie quote, sempre nell'ambito delle spesse coperture quaternarie di terreni prevalentemente granulari sciolti (coperture detritiche);
- La sorgente N° 2 = Fonte del Frate è ubicata sul versante in destra orografica quasi al contatto tra un deposito detritico e la sottostante formazione della Scaglia Cinerea;
- La sorgente N° 6 = Sorgente Paletto è ubicata in sinistra orografica nell'ambito di una vasta area in frana;
- La sorgente N° 7 = Fonte Tofele è ubicata nella stessa zona della precedente, circa 300 m più a monte;
- La sorgente N° 9 = Sorgente del Saletto è ubicata nel versante in sinistra orografica nell'ambito della formazione dei calcari a Fucoidi.

Dall'ARPA Umbria si ricavano importanti elementi di idrogeologia regionale, di seguito sintetizzati.

Nella dorsale montuosa che occupa la parte orientale della regione esistono due sistemi idrogeologici separati dalla linea tettonica denominata "linea della Valnerina" dove è individuabile un limite di permeabilità che corre a quote variabili tra 350 e 700 m.s.l.m.: a sud il "Sistema della Valnerina" imponente struttura idrogeologica che si estende fino alla linea tettonica Ancona-Anzio e a nord il "Sistema dell'Umbria nord-orientale", che è limitato a ovest da un motivo tettonico distensivo, nella parte meridionale, e dal passaggio stratigrafico a terreni a bassa permeabilità in quella settentrionale, mentre ad est si estende ben al di fuori dei limiti territoriali regionali dove è delimitato dal passaggio stratigrafico a terreni meno permeabili.

L'intera dorsale del Sistema della Valnerina è prevalentemente costituita da strutture carbonatiche sature fino a quote superiori a 800 metri. I livelli piezometrici decrescono da Est ad Ovest fino a raggiungere la minima quota in corrispondenza dell'alveo del Nera, che costituisce il livello di base principale del sistema.

Lungo questa linea di drenaggio dominante, diretta SO-NE, si hanno importanti sorgenti lineari responsabili di notevoli incrementi di portata del fiume Nera. Studi pregressi hanno stimato che lungo il tratto umbro del fiume Nera si hanno emergenze in alveo per una portata media complessiva superiore a 15 metri cubi al secondo.

Oltre alle emergenze in alveo si trovano numerose sorgenti localizzate che erogano una frazione molto subordinata delle risorse idriche sotterranee della struttura valutabile in qualche centinaio di litri al secondo. Il nucleo della dorsale del Sistema dell'Umbria nordorientale è saturo fino a quote superiori a 700 metri. Il sistema dà origine a importanti emergenze idriche sia lineari lungo i principali corsi d'acqua che localizzate.

L'ARPA fornisce il monitoraggio delle principali sorgenti, che si riporta in Tabella 4.1

		PORTATA SORGENTI (l/s)					
		Monti delle valli del Topino e del Menotre				Monti della Valnerina	
		Bagnara ⁽¹⁾	San Giovenale ⁽²⁾	Acquabianca ⁽³⁾	Alzabove ⁽⁴⁾	Lupa ⁽⁵⁾	Pacce ⁽⁶⁾
1998	minima	42,4	216,0	42,3	178,0	175,9	-
	media	112,6	326,7	48,0	211,2	128,0	-
	massima	300,7	499,3	84,9	247,1	88,6	-
1999	minima	49,5	199,4	25,5	185,5	89,0	265,4
	media	153,2	452,5	71,2	226,8	164,7	76,2
	massima	361,2	648,0	115,1	285,1	262,8	11,8
2000	minima	27,6	229,6	18,1	223,7	81,5	1,9
	media	137,2	397,0	57,3	233,0	142,2	86,2
	massima	282	614,7	113,4	272,5	210,6	287,6
2001	minima	18	218,2	15,0	208,1	68,6	0
	media	115,6	449,5	52,2	240	142,0	43,5
	massima	244,4	709,3	98,8	279,7	206,5	113,6
2002	minima	1,2	118,2	19,7	188,3	51,1	0
	media	34,8	153,5	26,1	206,1	66,4	0
	massima	317,1	334,6	33,8	241,4	89,6	0

⁽¹⁾ dal 10.04.98 ⁽²⁾ dal 29.06.98 ⁽³⁾ dal 28.06.98 ⁽⁴⁾ dal 27.01.98 ⁽⁵⁾ dal 01.01.98 ⁽⁶⁾ dal 29.03.99

Tabella 4.1 - Portate minime, medie e massime delle principali sorgenti monitorate in continuo

4.1 ELEMENTI DI CIRCOLAZIONE IDRICA

Sulla scorta degli studi geologici, di dettaglio ed a carattere regionale disponibili, morfologici e litologici, può essere formulata una verosimile identificazione delle caratteristiche idrogeologiche del territorio in studio, con particolare riferimento alle caratteristiche di permeabilità delle varie unità idrogeologiche.

In siffatte condizioni la circolazione idrica superficiale, sub superficiale (intendendo con tale termine le acque che si rinvergono a breve profondità dal piano campagna) e profonda si esplica laddove la permeabilità delle rocce è tale da consentirne l'accumulo e/o il deflusso.

Vengono qui di seguito descritti sia il comportamento delle acque di deflusso superficiale, sia le situazioni riscontrabili nel territorio in esame in cui sussistono le condizioni per la formazione di falde acquifere.

Acque superficiali

La possibilità di infiltrazione delle acque di precipitazione meteorica nel sottosuolo dipende sia dalla permeabilità del terreno, sia dalla acclività dei versanti.

Le acque ricadenti sui terreni argillosi defluiscono quasi tutte in superficie, drenate dal reticolo idrografico ivi presente.

Sui terreni permeabili, quali i corpi detritici, parte delle acque invece si infiltra nel sottosuolo e va a formare le falde acquifere.

Nel territorio esaminato il drenaggio superficiale è quello naturale delle incisioni, che in genere è discretamente sviluppato e consente un deflusso delle acque abbastanza rapido.

Acque subsuperficiali

Sono quelle che permeano all'interno delle coperture detritiche e, raggiunto il substrato meno permeabile, defluiscono verso valle, venendo a giorno sotto forma di piccole sorgenti in concomitanza delle maggiori precipitazioni atmosferiche; la maggior parte di queste è comunque a carattere stagionale e si esaurisce non molto tempo dopo il cessare dell'evento meteorico.

Acque profonde

Formano le falde acquifere vere e proprie, la cui circolazione è essenzialmente relegata nell'ambito delle formazioni carbonatiche.

4.2 CARTA IDROGEOLOGICA

Nella carta idrogeologica allegata, elaborata su base cartografica in scala 1:5.000, sono state distinte le unità idrogeologiche in relazione alla formazione geologica ed alle caratteristiche di permeabilità.

4.2.1 TERRENI DOTATI DI PERMEABILITÀ PRIMARIA (PER POROSITÀ)

UNITA' IDROGEOLOGICHE DEI TERRENI DI COPERTURA

- a) Depositi di frana (a1), detriti di falda (a3), coltri detritico-colluviali (b2) e depositi alluvionali terrazzati (bn). Sono depositi prevalentemente incoerenti, dotate di permeabilità per porosità (permeabilità primaria) più o meno accentuata in relazione al contenuto di frazione granulometrica più fina (limo-argilla). Possono essere sedi di falde perenni e/o temporanee/stagionali. Per questi terreni si può indicare il seguente coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-3} \div 10^{-5} \text{ cm/sec}$$

- b) Depositi alluvionali e di conoidi (b). Si tratta di formazioni prevalentemente incoerenti, dotate di permeabilità per porosità (permeabilità primaria) più o meno accentuata in relazione al contenuto di frazione granulometrica più fina (limo-argilla). Sono sedi di falde acquifere perenni (falde di subalveo del Fiume Nera), il cui livello dipende dagli apporti meteorici nel bacino idrografico di competenza. A questi terreni si può affidare un coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-2} \div 10^{-4} \text{ cm/sec}$$

- c) Depositi ruditici del Sistema di Monteleone Sabino (MNSa). Sono formazioni granulari più o meno cementate, dotate di permeabilità per porosità (permeabilità primaria) più o meno accentuata in relazione alla presenza del legante nella struttura granulare, con un coefficiente di permeabilità che si stima nel seguente range

$$K = 10^{-3} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

4.2.2 TERRENI DOTATI DI PERMEABILITÀ SECONDARIA (PER FRATTURAZIONE)

UNITA' IDROGEOLOGICHE DELLE FORMAZIONI CARBONATICHE

Sono le formazioni prevalentemente lapidee, calcaree o calcareo-marnose, dotate di permeabilità per fessurazione (permeabilità secondaria). La permeabilità è legata alla distribuzione ed al tipo dei sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso, con conseguente coefficiente di permeabilità estremamente variabile.

- a) Unità Idrogeologica di Bisciaro (BIS): calcari marnosi grigio scuri alternati a marne grigie. Permeabilità variabile in relazione alla prevalenza dei livelli marnosi meno permeabili, con un coefficiente di permeabilità valutabile in

$$K = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

- b) Unità Idrogeologica della Scaglia Cinerea (SCC): Marne e marne argillose grigio-verdi o grigio cenere alternate alla base con calcari marnosi grigi in strati in genere sottili, con un coefficiente di permeabilità valutabile in

$$K = 10^{-5} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

- c) Unità Idrogeologica della Scaglia Variegata (VAS): Calcari marnosi rossi o grigio-verdi, calcari e marne grigie con selce nera e marne rosse con intercalazioni di spessi livelli di calcareniti., con un coefficiente di permeabilità stimabile in

$$K = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

d) Unità Idrogeologica della Scaglia Rossa (SAA): calcilutiti, calcari marnosi e marne da rosati a rosso scuro o biancastri, ben stratificati, con selce in noduli o liste generalmente rossa o rosea. Sono presenti calcareniti di colore grigio o bianco, talora di spessore anche metrico. Si può indicare il seguente coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

e) Unità Idrogeologica della Scaglia Bianca (SBI): calcilutiti bianche o grigio chiaro a stratificazione medio-sottile, con liste di selce nera o grigia nella parte alta, rosata nella parte basale. Sono presenti intercalazioni calcarenitiche, talora calciruditiche. Coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

f) Unità Idrogeologica delle Marne a Fucoidi (FUC): formazione con ripetute alternanze di marne, da calcaree ad argillose, con livelli di elevata frazione argillosa, talora a lamine, di colore grigio scuro, verde, rosso o variegato con ripetute intercalazioni bituminose nere; per questa formazione si può valutare un coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-5} \div 10^{-7} \text{ cm/sec}$$

g) Unità Idrogeologica della Maiolica (MAI): calcari micritici a grana finissima ed a frattura concoide, di colore bianco o avorio, talora giallastri, in strati regolari di spessore compreso tra 10 e 50 cm, sporadicamente con sottilissimi interstrati argillosi grigio-neri. Coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-4} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

h) Unità Idrogeologica dei Calcari Diasprigni (CDU): calcari da micritici a granulari, quasi sempre sottilmente stratificati, (4 - 10 cm) talora con interstrati costituiti da argille marnose. La selce in noduli, liste e livelli decimetrici è spesso prevalente. Coefficiente di permeabilità

$$K = 10^{-5} \div 10^{-6} \text{ cm/sec}$$

5 UNITA' LITOTECNICHE

Si prendono in considerazione solo le formazioni che interessano direttamente o indirettamente il tracciato della strada in progetto e le suddette formazioni vengono identificate in "unità litotecniche" poste alla base delle caratterizzazioni e verifiche geotecniche. Di seguito vengono quindi identificate le seguenti unità litotecniche:

- a) UNITÀ LITOTECNICA DT, descritta come costituita da depositi detritici di falda e di versante a granulometria variabile, da ben classati a fortemente eterometrici, generalmente sciolti o debolmente cementati, in accumuli massivi o grossolanamente stratificati; corrisponde alla formazione geologica a3;
- b) UNITÀ LITOTECNICA CO - descritta come costituita da depositi di conoidi, in taluni casi maggiormente grossolani, eterometrici, in matrice sabbioso-limosa rossastra e con accenni di stratificazione, presenti allo sbocco di valli secondarie; in geologia questi terreni vengono inclusi nei depositi alluvionali con sigla b;
- c) UNITÀ LITOTECNICA DA1 - descritta come costituita da depositi alluvionali, depositi detritici alluvionali in corrispondenza degli alvei o da "debris flow", in taluni casi maggiormente grossolani, eterometrici, costituiti da ghiaia e sabbia in matrice sabbioso-limosa rossastra e con accenni di stratificazione; corrisponde alla formazione geologica con sigla b;
- d) UNITÀ LITOTECNICA DA2 - Costituisce una facies di sedimenti fini dei depositi alluvionali riscontrata nel corso dei sondaggi geognostici e formata da limi sabbiosi argillosa, formati da limi sabbiosi marroni-rossastri
- e) UNITÀ LITOTECNICA SV - descritta come Scaglia Variegata formata da calcari marnosi rossi o grigio-verdi, calcari e marne grigie con selce nera e marne rosse con intercalazioni di spessi livelli di calcareniti, con stratificazione sottile (2 - 20 cm); in geologia corrisponde alla formazione con la sigla VAS;
- f) UNITÀ LITOTECNICA SR - descritta come Scaglia Rossa, formata da calcilutiti, calcari marnosi e marne da rosati a rosso scuro o biancastri, ben stratificati, con selce in noduli o liste generalmente rossa o rosea. Sono presenti calcareniti di colore grigio o bianco, talora di spessore anche metrico; in geologia corrisponde alla formazione con la sigla SAA.

In sintesi, quindi, si hanno N° 6 Unità litotecniche appartenenti alle seguenti classi con comportamenti meccanici del tutto differenti:

- a) Terreni *prevalentemente incoerenti*, granulari e sciolti, cui appartengono le seguenti unità litotecniche:
Unità DT
Unità CO
Unità DA1
- b) Terreni *prevalentemente coesivi*, dati da limi sabbiosi, cui appartiene la seguente unità:
Unità DA2
- c) Terreni *prevalentemente lapidei*, cui appartengono le seguenti unità:
Unità SV
Unità SR

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Si dispone delle seguenti indagini geognostiche e geofisiche la cui ubicazione è riportata negli appositi elaborati planimetrici in scala 1:5.000 ed 1:2.000:

- N° 6 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità massima di m 20,00 dal p.c. effettuati con carotaggio continuo, con attrezzatura oleodinamica montata su cingoli.
- prelievo di N° 1 campione indisturbato
- prelievo di N° 2 campioni rimaneggiati
- N° 8 prove SPT in foro
- posa in opera di N° 6 piezometri a tubo aperto (tipo Norton)
- N° 6 Prove Penetrometriche Dinamiche
- N° 4 indagini sismiche MASW
- N° 4 indagini sismiche HVSR

Nella Tabella 6.1 è riportata la sintesi dettagliata delle suddette indagini.

Tabella 6.1 – Indagini geognostiche

Sondaggio	Profondità	Campioni indisturbati (CI)	Campioni rimaneggiati (CR)	Profondità di prelievo dei campioni	SPT
Sigla	m	N°	N°	(m)	N°
S.1	20,00		1	11,20 ÷ 11,70	2
S.2	20,00				
S.3	15,00	1	1	2,00 ÷ 2,50 (CI) - 7,40 ÷ 7,80 (CR)	2
S.4.	15,00				
S.5	10,00				2
S.6	17,00				2

Nella tabella 6.2 sono riportati i dati inerenti alle prove Standard Penetration Test.

Tabella 6.2 – Prove S.P.T.

Sondaggio	Profondità		Tratti di infissione – N° Colpi			Valore N _{spt}
	da m	a m	15 cm	15 cm	15 cm	
S.1	1,50	1,95	9	9	7	16
	4,00	4,45	3	5	8	13
S.3	1,50	1,95	10	10	12	22
	4,00	4,45	3	5	4	9
S.5	2,00	2,45	2	3	4	7
	7,00	7,45	2	4	6	10
S.6	2,50	2,95	2	3	5	8
	5,00	5,45	3	7	13	20

Nella Tabella 6.3 sono riportati i dati inerenti al prelievo dei campioni nel corso della perforazione.

Tabella 6.3 – Campioni prelevati nei sondaggi

DATI DEL CAMPIONE				
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	I Indisturbato R Rimameggiato L Lapideo
S.1	CR1	11,20	11,70	R
S.3	CI1	2,00	2,50	I
	CR1	7,40	7,80	R

Per la determinazione dei parametri sismici, ai sensi delle NTC 2018, sono state effettuate N° 4 prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), ubicate alle seguenti progressive:

- MASW.1 Progr. 0+380,00
- MASW.2 Progr. 0+920,00
- MASW.3 Progr. 1+280,00
- MASW.4 Progr. 1+580,00

Negli stessi siti delle indagini MASW sono state eseguite N° 4 prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) finalizzate a determinare alcune caratteristiche dei depositi sedimentari superficiali e più in particolare allo studio delle frequenze di risonanza dei terreni.

Si ripropongono qui di seguito le sintesi dei logs stratigrafici di ciascun sondaggio.

Sondaggio S.1		Formazione	Litologia
da m	a m		
0,00	0,70	Detrito	Ghiaia con limo marrone poco addensata con frammenti vegetali e residui nerastri organici
0,70	2,30	Depositi alluvionali	Ghiaia grossolana con clasti calcarei angolosi eterometrici rossi e rosati da 0,2 a > 10 cm, con limo, poco addensata
2,30	5,50		Ghiaia con limo da poco a mediamente addensata marrone con clasti sub angolosi calcarei da 0,2 a 4 cm
5,50	8,60		Limo argilloso-ghiaioso plastico, poco consistente marrone con clasti angolosi calcarei etero metrici < 1 cm
8,60	10,80		Limo con argilla sabbioso grigio chiaro plastico con frazione sabbiosa biancastra ed inclusi carbonatici
10,80	15,00		Limo con ghiaia moderatamente consistente, grigio con clasti angolosi da 0,2 a 2 cm
15,00	20,00		Limo consistente ghiaioso con clasti arrotondati e subarrotondati

Sondaggio S.2		Formazione	Litologia
da m	a m		
0,00	0,80	Detrito/Conoide	Ghiaia limosa marrone scura poco addensata con frammenti vegetali
0,80	3,00		Ghiaia limo-sabbiosa marrone mediamente addensata con clasti calcarei angolosi etero metrici rossi e rosati da 0,5 a 7 cm
3,00	10,00	Scaglia Variegata	Calcarei micritici rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati
10,00	15,00		Calcarei micritici rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati
15,00	20,00		Calcarei micritici rossi stratificati molto fratturati con giunti tettonici molto ravvicinati chiusi o con riempimento calcitico

Dalle foto delle cassette catalogatrici è stato valutato un RQD nei calcari pari al 5%.

Sondaggio S.3			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	0,90	Detrito	Ghiaia sabbiosa sciolta marrone con clasti angolosi prevalentemente calcarei da 0,2 a 4 cm con subordinati frammenti vegetali e materiale organico
0,90	2,00	Depositi alluvionali	Ghiaia con limo argillosa marrone poco addensata con clasti calcarei angolosi generalmente < 1 cm
2,00	5,00		Limo argilloso con ghiaia marrone rossastro con clasti eterometrici calcarei da 0,2 a 3 cm da subarrotondati a subangolosi
5,00	10,30		Limo argilloso ghiaioso consistente, plastico marrone rossastro con clasti subangolosi da 0,2 a 3 cm
10,30	11,40		Sabbia fina limosa biancastra travertinoso addensata
11,40	12,00		Limo argilloso marrone scuro ad alto contenuto organico, poco consistente
12,00	15,00		Ghiaia grossolana con clasti grigiastri con selce da 1 a 6 cm prevalentemente angolosi e raramente arrotondati

Sondaggio S.4			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	1,20	Detrito colluviale	Ghiaia limosa con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a > 10 cm e frammenti vegetali
0,80	3,00		Ghiaia limo-sabbiosa grossolana con clasti prevalentemente angolosi e subordinatamente arrotondati da biancastri a rossi
3,00	15,00	Scaglia Rossa	Calcari rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati

Dalle foto delle cassette catalogatrici è stato valutato un RQD nei calcari pari al 4%.

Sondaggio S.5			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	1,00	Detrito	Ghiaia limosa con clasti calcarei eterometrici centimetrici e frammenti vegetali
1,00	8,50	Depositi alluvionali	Ghiaia limo-sabbiosa grossolana con clasti angolosi da 0,2 ad 8 cm da biancastri a rossi
8,50	10,00	Scaglia Rossa	Calcari rossi e rosati estremamente fratturati, tettonizzati ed alterati

Sondaggio S.6			
da m	a m	Formazione	Litologia
0,00	1,00	Detrito	Ghiaia con limo poco addensata con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a 7 cm da angolosi a subarrotondati e frammenti vegetali
1,00	4,00	Depositi alluvionali	Ghiaia con limo poco addensata con clasti angolosi eterometrici da 0,2 a 7 cm da angolosi a subarrotondati
4,00	9,00		Ghiaia con limo moderatamente addensata con clasti calcarei eterometrici da 0,2 a >10 cm e frammenti di selce da angolosi a subarrotondati
9,00	17,00	Scaglia Rossa	Calcari rosati con selce rossa in strati da 5 a 30 cm e interstrati centimetrici pelitici rosso scuri con inclinazione circa 30°

Dalle foto delle cassette catalogatrici è stato valutato un RQD nei calcari pari al 40%.

Per le Prove Penetrometriche Dinamiche, eseguite con penetrometro super pesante DPSH (Dynamic Penetration Super Heavy) sono stati rielaborati i diagrammi N° colpi – profondità, esposti nelle seguenti Figure 6.1, 6.2 e 6.3.

Figura 6.1 – Prove DPSH - PP.1 e PP.2

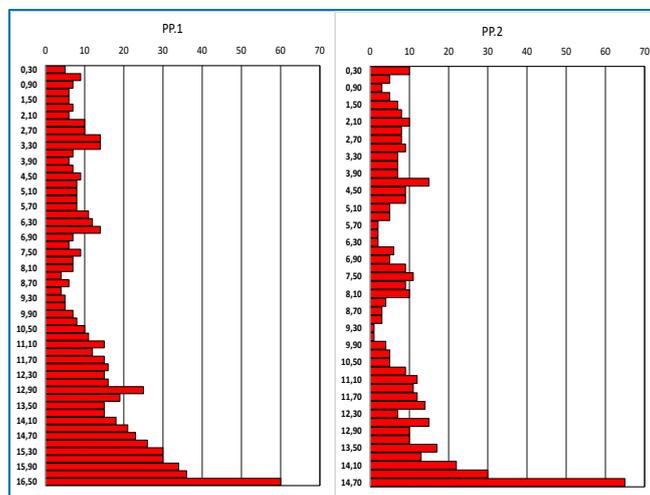


Figura 6.2 – Prove DPSH - PP.3 e PP.4

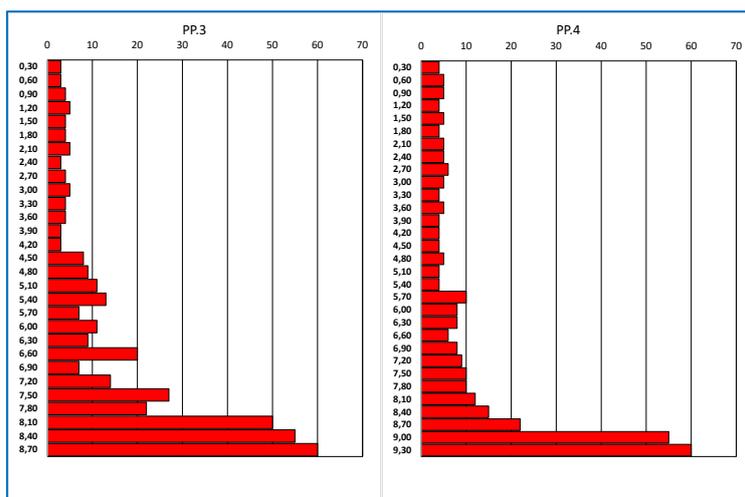
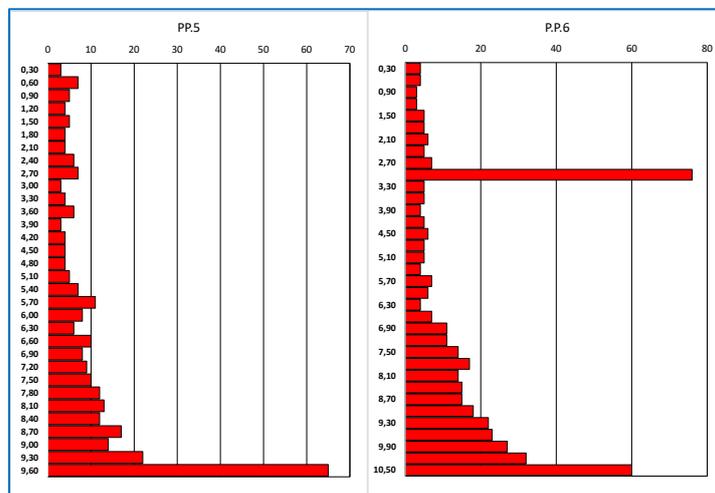


Figura 6.3 – Prove DPSH - PP.5 e PP.6



I risultati delle prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono stati rielaborati ed i risultati sono esposti nelle figure 6.4 e 6.5, da cui risulta che per le NTC2018:

- le MASW 1 e 2 individuano suoli di tipo C, essendo $V_{s,eq} < 360$ m/sec
- le MASW 3 e 4 individuano suoli di tipo B, essendo $360 < V_{s,eq} < 800$ m/sec

Figura 6.4 – Interpretazione delle MASW 1 e 2

MASW. 1					MASW. 2				
Profondità	Spessore Hi	Vs	Hi/Vs	$V_{s,eq}$	Profondità	Spessore Hi	Vs	Hi/Vs	$V_{s,eq}$
m	m	m/sec			m	m	m/sec		
				269,92					269,92
0,30	0,30	80	0,00375		0,30	0,30	80	0,00375	
0,80	0,50	200	0,00250		0,80	0,50	200	0,00250	
2,80	2,00	250	0,00800		2,80	2,00	250	0,00800	
6,80	4,00	280	0,01429		6,80	4,00	280	0,01429	
10,80	4,00	300	0,01333		10,80	4,00	300	0,01333	
15,80	5,00	300	0,01667		15,80	5,00	300	0,01667	
22,80	7,00	800	0,00875		22,80	7,00	800	0,00875	
32,80	10,00	800	0,01250		32,80	10,00	800	0,01250	
72,80	40,00	800	0,05000		72,80	40,00	800	0,05000	
Bedrock					Bedrock				

Figura 6.5 – Interpretazione delle MASW 3 e 4

MASW. 3					MASW. 4				
Profondità	Spessore Hi	Vs	Hi/Vs	$V_{s,eq}$	Profondità	Spessore Hi	Vs	Hi/Vs	$V_{s,eq}$
m	m	m/sec			m	m	m/sec		
				519,83					542,21
0,30	0,30	80	0,00375		0,30	0,30	80	0,00375	
0,80	0,50	200	0,00250		0,80	0,50	300	0,00167	
2,80	2,00	350	0,00571		1,80	1,00	500	0,00200	
4,80	2,00	400	0,00500		3,80	2,00	600	0,00333	
8,80	4,00	500	0,00800		7,80	4,00	700	0,00571	
13,80	5,00	500	0,01000		12,80	5,00	700	0,00714	
20,80	7,00	700	0,01000		19,80	7,00	800	0,00875	
30,80	10,00	700	0,01429		29,80	10,00	800	0,01250	
70,80	40,00	800	0,05000		69,80	40,00	800	0,05000	
Bedrock					Bedrock				

Sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nel corso delle perforazioni sono state eseguite le analisi geotecniche di laboratorio evidenziate nella Tabella 6.4.

Tabella 6.4 – Analisi geotecniche di laboratorio eseguite

CAMPIONI RIMANEGGIATI																				
DATI DEL CAMPIONE					Denominazione Geotecnica	Prove sulle terre														
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato R Rimaneggiato L		Umidità naturale	Peso di volume γ	Peso specifico dei granuli γ_s	Limiti di Atterberg			Caratteristiche granulometriche				Taglio CD		Triassiale CD		Prova ELL, UU
									Limite liquido LL	Limite plastico LP	Indice plastico IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Coesione C	Angolo di attrito ϕ	Coesione C	Angolo di attrito ϕ	
S.3	C1	2,00	2,50	I	Limo argilloso-sabbioso con ghiaia	19,00	20,40	26,40	45,40	22,80	22,60	28,00	17,70	33,00	21,30	22,000	28,000			101,35
S.3	CR1	7,40	7,80	R	Limo con argilla	29,00		26,40	58,20	28,30	29,90	0,00	4,10	54,60	41,30					
S.1	CR1	11,20	11,70	R	Limo ghiaioso deb. sabbioso con argilla	28,60	19,60	25,00	56,20	26,00	30,20	23,60	12,00	33,90	30,50	20,000	25,000			

Sono state effettuate delle prove Point Load Test su blocchi di roccia calcarea, i cui risultati sono esposti nelle seguenti Tabelle 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8.

Tabella 6.5 – Campioni “A” di roccia di Scaglia Rossa

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "A" - SCAGLIA ROSSA									
DATI DEL CAMPIONE					γ_s	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapideo		Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test	
					Resistenza alla compressione monoassiale			Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta
					kN/m^3	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
								Is50	
A	Campioni a forma di blocco			L	26,20			2,207	53,85
				L				3,416	80,27
				L				2,563	50,49
				L				3,930	69,24
				L				3,295	60,74
				L				2,244	56,58
				L				5,794	117,29
				L				3,673	73,70
				L				4,293	83,41
				L				4,273	84,56
VALORE MEDIO =									73,01

Tabella 6.6 – Campioni “C” di roccia di Scaglia Rossa

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "C" - SCAGLIA ROSSA									
DATI DEL CAMPIONE					γ_s	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapideo		Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test	
					Resistenza alla compressione monoassiale			Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta
					kN/m^3	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
								Is50	
C	Campioni a forma di blocco			L	25,90			6,152	122,31
				L				3,900	81,42
				L				4,488	80,71
				L				5,465	100,74
				L				3,030	79,95
				L				3,099	70,30
				L				4,361	79,61
				L				3,731	77,89
				L				4,275	86,92
				L				3,833	71,90
VALORE MEDIO =									85,18

Tabella 6.7 – Campioni “D” di roccia di Scaglia Variegata

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "D" - SCAGLIA VARIEGATA									
DATI DEL CAMPIONE					γ_s	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapideo I R		Peso di volume kN/m^3	Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test
					Resistenza alla compressione monoassiale		Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta	Indice di resistenza alla punta
						Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
						Is50			
D	Campioni a forma di blocco			L	25,70			1,490	30,16
				L				4,484	90,35
				L				4,616	96,36
				L				6,654	130,49
				L				3,072	65,23
				L				3,929	80,24
				L				3,498	68,59
				L				3,868	80,05
				L				5,252	103,94
		L			4,936	100,37			
VALORE MEDIO =								84,58	

Tabella 6.8 – Campioni “F” di roccia di Scaglia Variegata

PROVE SU BLOCCHI - CAMPIONI "F" - SCAGLIA ROSSA									
DATI DEL CAMPIONE					γ_s	Prove sulle rocce			
Sondaggio	Denominazione Campione	da m	a m	Indisturbato Rimameggiato L Lapideo I R		Peso di volume kN/m^3	Prova di compres.	Prova Brasiliana	Point Load Test
					Resistenza alla compressione monoassiale		Resistenza alla trazione indiretta	Indice di resistenza alla punta	Indice di resistenza alla punta
						Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
						Is50			
F	Campioni a forma di blocco			L	25,90			3,933	30,1679,97
				L				2,275	53,05
				L				2,012	43,08
				L				3,255	59,12
				L				3,162	59,15
				L				3,101	57,45
				L				5,933	109,90
				L				2,668	60,51
				L				4,360	102,04
		L			4,159	93,58			
VALORE MEDIO =								70,88	

7 ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Nell'unico campione indisturbato prelevato Nel Sondaggio S3 nell'ambito dell'Unità litotecnica DA2 sono state eseguite le seguenti analisi geotecniche di laboratorio:

Sondaggio S.3 – Campione CI1 da m 2,00 ÷ 2,50

- Peso di volume $\gamma = 20,40 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei granuli $\gamma_s = 26,40 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto in acqua $W_n = 19,00 \%$
- Limite Liquido $WL = 45,40 \%$
- Limite Plastico $WP = 22,80 \%$
- Indice Plastico $IP = 22,60 \%$
- Analisi granulometrica
 - ⇒ Ghiaia $G = 28,00 \%$
 - ⇒ Sabbia $S = 17,70 \%$
 - ⇒ Limo $L = 33,00 \%$
 - ⇒ Argilla $A = 21,30 \%$
- Prova di Taglio Diretto CD
 - ⇒ Coesione $C' = 22 \text{ kPa}$
 - ⇒ Angolo di attrito interno $\phi' = 28^\circ$
- Prova di Espansione Laterale Libera
 - ⇒ Coesione non drenata $C_u = 101,35 \text{ kPa}$

Sono stati analizzati anche N° 2 campioni rimaneggiati (prelevati dal carotaggio) sempre nell'Unità litotecnica DA2, con i seguenti risultati:

Sondaggio S.3 – Campione CR1 da m 7,40 ÷ 7,80

- Peso specifico dei granuli $\gamma_s = 26,40 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto in acqua $W_n = 29,00 \%$
- Limite Liquido $WL = 58,20 \%$
- Limite Plastico $WP = 28,30 \%$
- Indice Plastico $IP = 29,90 \%$
- Analisi granulometrica
 - ⇒ Ghiaia $G = 00,00 \%$
 - ⇒ Sabbia $S = 4,10 \%$
 - ⇒ Limo $L = 54,60 \%$
 - ⇒ Argilla $A = 41,30 \%$

Sondaggio S.1 – Campione CR1 da m 11,20 ÷ 11,70

- Peso di volume $\gamma = 19,60 \text{ kN/m}^3$
- Peso specifico dei granuli $\gamma_s = 25,00 \text{ kN/m}^3$
- Contenuto in acqua $W_n = 28,60 \%$
- Limite Liquido $WL = 56,20 \%$
- Limite Plastico $WP = 26,00 \%$
- Indice Plastico $IP = 30,20 \%$
- Analisi granulometrica

- ⇒ Ghiaia $G = 23,60 \%$
- ⇒ Sabbia $S = 12,00 \%$
- ⇒ Limo $L = 33,90 \%$
- ⇒ Argilla $A = 30,50 \%$
- Prova di Taglio Diretto CD
 - ⇒ Coesione $C' = 20 \text{ kPa}$
 - ⇒ Angolo di attrito interno $\phi' = 25^\circ$

L'Unità Litotecnica DA2 si presenta, quindi, con una facies granulometrica fine, in cui l'associazione limo + argilla è prevalente, come esposto in Tabella 7.1.

Tabella 7.1 – Frazione granulometriche fina nei campioni analizzati

Sondaggio	Campione	Associazione granulometrica	Percentuale
N°	N°		%
S.3	CI1	Limo + Argilla	54,30
S.3	CR1	Limo + Argilla	95,90
S.1	CR1	Limo + Argilla	64,60

Si nota inoltre che nel campione indisturbato (S.3 – CI1) il contenuto naturale in acqua W_n è inferiore al limite plastico LP, condizione che caratterizza un terreno allo stato semisolido;

Nei campioni rimaneggiati (S.3 – CR1 ed S.1 – CR1), che sono stati a contatto con l'acqua della perforazione, il contenuto naturale in acqua W_n è maggiore del limite plastico LP, condizione che caratterizza terreni allo stato plastico.

Su blocchi di roccia calcarea sono state effettuate delle prove Point Load Test, con i seguenti risultati esposti nelle Tabelle 7.2 e 7.3

Tabella 7.2 – Prove Point Load Test – Unità Litotecnica SR (Scaglia Rossa)

UNITA' LITOTECNICA SR (Scaglia Rossa)								
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale
	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa		Mpa	Mpa
	Is50	Is50		Is50	Is50		Is50	Is50
A	2,207	53,85	C	6,152	122,31	F	3,933	79,97
	3,416	80,27		3,900	81,42		2,275	53,05
	2,563	50,49		4,488	80,71		2,012	43,08
	3,930	69,24		5,465	100,74		3,255	59,12
	3,295	60,74		3,030	79,95		3,162	59,15
	2,244	56,58		3,099	70,30		3,101	57,45
	5,794	117,29		4,361	79,61		5,933	109,90
	3,673	73,70		3,731	77,89		2,668	60,51
	4,293	83,41		4,275	86,92		4,360	102,04
	4,273	84,56		3,833	71,90		4,159	93,58
VALORE MEDIO =	73,01			85,18			71,79	

Tabella 7.3 – Prove Point Load Test – Unità Litotecnica SV (Scaglia Variegata)

UNITA' LITOTECNICA SV (Scaglia Variegata)		
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale
	<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>
	<i>Is50</i>	
D	1,490	30,16
	4,484	90,35
	4,616	96,36
	6,654	130,49
	3,072	65,23
	3,929	80,24
	3,498	68,59
	3,868	80,05
	5,252	103,94
	4,936	100,37
		84,58

8 COMPORTAMENTO MECCANICO DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

A questa categoria di terreni appartengono le unità litotecniche SR e SV prevalentemente litoidi, per le quali il comportamento meccanico viene definito sulla scorta dei seguenti criteri:

- rilievi geostrutturali
- prove Point Load Test

Prima di sintetizzare i risultati dei rilievi geostrutturali, di fondamentale importanza per la definizione del comportamento meccanico d'insieme degli ammassi rocciosi, si ritiene utile richiamare alcuni concetti fondamentali di meccanica delle rocce, giacchè il comportamento meccanico è condizionato dalle discontinuità presenti, costituite da fessurazioni variamente orientate, che si rinvencono con interdistanza variabile.

La "massa rocciosa" va quindi intesa come un insieme di elementi "roccia" definiti, giustapposti e combacianti, di forma grossolanamente prismatica, parallelepipedica o appiattita, le cui proprietà meccaniche risultano decisamente inferiori a quelle del singolo elemento e dipendono da tanti fattori strutturali, legati alla dislocazione spaziale dei sistemi di discontinuità.

In genere le "famiglie" di discontinuità sono limitate, da 1 a 5, più frequentemente 3, e vengono indicate con:

K1, K2,Kn

Le superfici di stratificazione vengono invece indicate con altre sigle (es.: Ks).

Di ciascuna porzione di ammasso roccioso in esame vengono determinati i sottoelencati parametri:

e_2 *estensione bidimensionale*, che rappresenta la superficie (in m²) della discontinuità in oggetto; si ottiene anche moltiplicando la estensione monodimensionale (l) di un sistema di fratture in due piani all'incirca tra essi ortogonali:

$$e_2 = l_1 \times l_2 \text{ (m}^2\text{)}$$

le_2 *indice di estensione bidimensionale*, che è dato dal rapporto tra l'area (A) di tutte le discontinuità complanari e l'area totale della sezione rocciosa (As) in cui si effettua la misura:

$$le_2 = (AK_1 + AK_2 + \dots + AK_n) / A_s$$

Val la pena rammentare che:

$0,75 \leq le_2 \leq 1$ individua porzioni di roccia in cui, lungo le discontinuità analizzate, si mobilitano solo forze di attrito;

$le_2 \leq 0,75$ individua invece porzioni di roccia in cui, lungo le discontinuità analizzate, oltre alle forze di attrito si mobilitano anche forze di resistenza al taglio della roccia integra;

s *frequenza*: rappresenta il numero delle discontinuità presenti per unità di superficie analizzata; la frequenza si misura in piani ortogonali alle superfici di discontinuità;

d *spaziatura*: viene espressa in cm e rappresenta la distanza tra le discontinuità; si determinano una spaziatura massima, media e minima; il valore della spaziatura media è pari all'inverso della frequenza: $d = 1/s$;

e_3 *estensione tridimensionale*: si ottiene come prodotto dell'estensione bidimensionale per la frequenza:

$$e_3 = e_2 \times s$$

V_u *volume roccioso unitario*: rappresenta il più piccolo volume di roccia integra estraibile dalla porzione di ammasso roccioso considerata; si esprime in mc ed è anche ricavabile dalla seguente relazione:

$$V_u = (1/s_1) \times (1/s_2) \times (1/s_3)$$

Da quanto esposto deriva che si possono avere, per ciascuna formazione litoide, varie zone a diversa "omogeneità", ciascuna delle quali caratterizzata da differenti parametri.

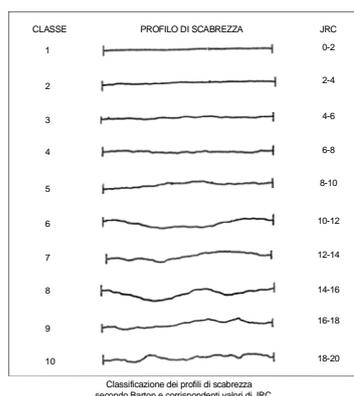
Altri fattori molto importanti nella determinazione del comportamento meccanico di un ammasso roccioso sono la "scabrezza" dei giunti ed il materiale di "riempimento" degli stessi.

La scabrezza dei giunti viene indicata distinguendo pareti di tipo: a scalini, ondulato, planare.

Ciascun tipo viene poi diviso in levigato, liscio, scabro.

Il profilo di ciascun giunto viene annotato sulla scorta della schematizzazione proposta da BARTON (1973), evidenziata nella Figura 8.1.

Figura 8.1 – Profili di scabrosità dei giunti



8.1 RILIEVI GEOSTRUTTURALI

Sono stati acquisiti i rilievi geostretturali effettuati, nell'area in studio, con il metodo della linea di scansione (scan line), che consiste nel raccogliere, lungo essa i dati relativi allo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso.

La linea di scansione viene definita tramite la posa di una rotella metrica lungo l'affioramento roccioso. Una volta determinata la lunghezza della linea di scansione, si definisce il verso di rilievo individuando il punto di partenza della stessa, che viene in questo modo a costituire lo zero iniziale.

Lungo la linea di scansione vengono individuate le discontinuità dell'ammasso, (piani di strato, giunti, faglie, ecc.), rilevandone l'assetto e la distanza dallo 0 iniziale. Le discontinuità vengono poi riunite in famiglie e codificate con un codice di riconoscimento (S, K1, K2; ecc.). Viene rilevata la distanza tra le discontinuità appartenenti alla medesima famiglia definendo così la spaziatura.

Per ogni famiglia di discontinuità vengono misurati:

- direzione di immersione delle discontinuità e inclinazione delle discontinuità, con bussola da geologo analogamente alla misura dei piani di strato;
- spaziatura delle diverse discontinuità (lungo la linea di scansione);
- misura del rimbalzo del martello di Schmidt (sclerometro da roccia).

Sono state acquisite N° 23 stazioni di rilievo, designate con le sigle SS1, SS2,SS23, la cui ubicazione viene riprodotta in apposito elaborato su base cartografica in scala 1:2.000.

Nella Tabella 8.1 vengono sintetizzati i dati di localizzazione delle suddette stazioni di rilievo.

Tabella 8.1 – Ubicazione delle stazioni di rilievo geostrutturale

Stazione N°	Latitudine N			Longitudine E			Orientamento (°)	Immersione Fronte (°)	Lunghezza (m)
	°	'	"	°	'	"			
SS.1	42	44	52.68	12	50	40.16	75 N	165/60	10,00
SS.2	42	44	54.23	12	50	41.22	20 E	110/74	2,00
SS.3	42	44	54.52	12	50	41.47	15 E	105/60	6,00
SS.4	42	44	54.79	12	50	41.90	10 E	90/85	7,50
SS.5	42	44	54.96	12	50	42.08	8 E	90/88	8.20
SS.6	42	44	55.16	12	50	42.37	342 E	72/55	9.3
SS.7	42	44	55.31	12	50	42.55	30 E	120/40	6.00
SS.8	42	44	55.25	12	50	42.73	140 W	230/70	6.80
SS.9	42	44	54.66	12	50	43.26	140 W	230/45	12.00
SS.10	42	44	53.74	12	50	43.71	135 S	225/40	20.00
SS.11	42	44	55.27	12	50	43.86	105 S	195/85	19.00
SS.12	42	44	55.87	12	50	44.32	94 S	184/85	8.00
SS.13	42	44	53.97	12	50	38.01	108 S	198/80	15.00
SS.14	42	44	53.92	12	50	38.89	100 S	190/70	10.00
SS.15	42	44	57.39	12	50	50.90	16 E	106/70	20.00
SS.16	42	44	55.45	12	50	50.93	20 E	110/85	20.00
SS.17	42	44	52.79	12	50	31.83	110 S	200/50	14.00
SS.18	42	44	50.84	12	50	30.85	50 S	140/70	65.00
SS.19	42	45	1.86	12	50	49.88	325 E	55/60	17.00
SS.20	42	44	58.67	12	50	37.88	25 E	115/40	15.00
SS.21	42	45	0.88	12	50	39.03	30 E	120/40	35.00
SS.22	42	44	52.11	12	50	35.51	75 S	165/70	106.00
SS.23	42	44	52.55	12	50	32.78	122 S	212/40	15.00

8.2 COMPORTAMENTO MECCANICO

Gli ammassi rocciosi sono stati classificati facendo riferimento al Rock Mass Rating (RMR; 1972-1989) di Z.T.Bieniawski.

I parametri geomeccanici per la determinazione del valore del RMR e della conseguente classe qualitativa dell'ammasso roccioso sono:

- R1: resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- R2: percentuale di recupero modificata (Rock Quality Designation: RQD);
- R3: spaziatura tra i piani di discontinuità principali;
- R4: condizioni delle superfici di discontinuità;
- R5: condizioni idriche in sottterraneo;

- R6: orientazione dei piani di discontinuità principali rispetto al tracciato di scavo.

Dalla somma del valore assunto per ciascuno dei sei parametri si ottiene il valore numerico del RMR, in funzione del quale all'ammasso roccioso viene assegnata una delle cinque classi geomeccaniche di Bieniawski.

Hoek e Brown hanno introdotto il loro criterio di rottura nel tentativo di fornire dei dati per le analisi necessarie alla progettazione di scavi sotterranei in roccia dura. Il criterio è stato derivato dai risultati della ricerca, sulla rottura fragile della roccia intatta, di Hoek e, su studi del modello del comportamento dell'ammasso roccioso giuntato, di Brown.

Il criterio è partito dalle proprietà della roccia intatta e ha introdotto dei fattori per ridurre queste proprietà sulla base delle caratteristiche dei giunti in un ammasso roccioso. Gli autori hanno cercato di collegare il criterio empirico ad osservazioni geologiche per mezzo di uno degli schemi di classificazione disponibili dell'ammasso roccioso e, a tal fine, hanno scelto la classificazione proposta da Bieniawski.

A causa della mancanza di alternative adeguate, il criterio è stato presto adottato dalla comunità della meccanica delle rocce ed il suo utilizzo si diffuse rapidamente al di là dei limiti originali usati nel derivare le relazioni per la riduzione della resistenza.

Di conseguenza, si è reso necessario riesaminare queste relazioni ed introdurre di volta in volta nuovi elementi in ragione della vasta gamma di problemi pratici a cui il criterio è stato applicato. Tipiche di questi miglioramenti sono state l'introduzione del concetto di ammassi rocciosi 'indisturbati' e 'disturbati' di Hoek e Brown, e l'introduzione di un criterio modificato per imporre a zero la resistenza a trazione dell'ammasso roccioso per gli ammassi di qualità molto scarsa (Hoek, Wood and Shah).

Una delle prime difficoltà derivava dal fatto che molti problemi geotecnici, in particolare problemi di stabilità dei pendii, sono più convenientemente affrontati in termini di tensioni tangenziali e normali piuttosto che con le relazioni della tensione principale del criterio originale di Hoek-Brown, definita con l'equazione:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^{0.5}$$

dove σ_1' e σ_3' sono rispettivamente la maggiore e minore tensione efficace a rottura principale, σ_{ci} è la resistenza alla compressione uniassiale del materiale roccioso intatto e m ed s sono costanti del materiale, dove s = 1 per la roccia intatta.

Una relazione esatta tra l'equazione e le tensioni a rottura normali e tangenziali è stata ottenuta da J. W. Bray e successivamente da Ucar e Londe.

Hoek ha discusso la derivazione di angoli di attrito equivalenti e forze coesive per varie situazioni pratiche. Queste derivazioni si basavano sulle tangenti all'involuppo di Mohr ottenuto da Bray. Hoek ha suggerito che la forza coesiva determinata inserendo una tangente all'involuppo curvilineo di Mohr è un valore limite superiore e può dare risultati ottimistici nei calcoli di stabilità. Di conseguenza, un valore medio, determinato dall'inserimento di una relazione lineare di Mohr-Coulomb con il metodo dei minimi quadrati, potrebbe essere più appropriato. In questo lavoro Hoek ha introdotto anche il concetto del Criterio Generalizzato di Hoek-Brown nel quale la forma del piano della tensione principale o

dell'inviluppo di Mohr poteva essere modificata per mezzo di un coefficiente variabile in luogo del termine della radice quadrata nell'equazione di cui sopra.

Hoek e Brown hanno cercato di consolidare tutti i precedenti miglioramenti in una presentazione completa del criterio di rottura e hanno dato un certo numero di esempi concreti per illustrare la sua applicazione pratica.

In aggiunta ai cambiamenti nelle equazioni, è stato anche riconosciuto che la classificazione dell'ammasso roccioso di Bieniawski non era più adeguata come veicolo di relazione tra il criterio di rottura e le osservazioni geologiche nel settore, in particolare per gli ammassi rocciosi molto deboli. Ciò ha comportato l'introduzione dell'indice GSI di Hoek, Wood e Shah, Hoek e Hoek, Kaiser e Bawden. Questo indice fu successivamente esteso per gli ammassi rocciosi deboli in una serie di articoli da Hoek, Marinos e Benissi, Hoek e Marinos e Marinos e Hoek.

Il Criterio Generalizzato di Hoek-Brown è espresso come

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove m_b è un valore ridotto della costante del materiale m_i e è dato da

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

s ed a sono costanti per l'ammasso roccioso date dalle seguenti relazioni:

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

D è un fattore che dipende dal grado di disturbo a cui la massa rocciosa è sottoposta dal danneggiamento dell'esplosione e dal rilassamento della tensione. Esso varia da 0 per masse rocciose in situ indisturbate a 1 per masse rocciose molto disturbate.

GSI (Geological Strength Index), che deriva da quello RMR (Rock Mass Rating) attraverso la relazione:

$$GSI = URMR - 5$$

Essendo $URMR = RMR$ calcolato con $R_5 = 15$ e $R_6 = 0$

La resistenza alla compressione uniassiale è ottenuta fissando

$$\begin{aligned} \sigma_3' &= 0 \\ \sigma_c &= \sigma_{ci} \cdot s^a \end{aligned}$$

e, la resistenza a trazione è data da:

$$\sigma_t = \frac{s \sigma_{ci}}{m_b}$$

Quest'ultima equazione è stata ottenuta impostando

$$\sigma_1' = \sigma_3' = \sigma_t$$

nell'equazione precedente del criterio generalizzato. Questa rappresenta una condizione di tensione biassiale. Hoek ha dimostrato che, per materiali fragili, la resistenza a trazione uniassiale è uguale alla resistenza a trazione biassiale.

Si noti che il 'passaggio' a $GSI = 25$ per i coefficienti s e a è stato eliminato nelle equazioni che danno transizioni continue uniformi per l'intera gamma dei valori di GSI . I valori numerici di a ed s , dati da queste equazioni, sono molto simili a quelli dati dalle precedenti equazioni.
 Le tensioni normali e tangenziali sono correlate alle tensioni principali attraverso le equazioni pubblicate da Balmer.

$$\sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3' - 1}}{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3' + 1}}$$

$$\tau = \sigma_1' - \sigma_3' \cdot \frac{\sqrt{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'}}}{\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'} + 1}$$

$$\frac{d\sigma_1'}{d\sigma_3'} = 1 + am_b \left(\frac{m_b \sigma_3'}{\sigma_{ci} + s} \right)^{a-1}$$

Il modulo di deformazione dell'ammasso roccioso è dato da:

$$E_m(\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{[(GSI-10)/40]}$$

L'equazione è valida per

$$\sigma_{ci} \leq 100\text{MPa}$$

Nel caso di $\sigma_{ci} > 100\text{MPa}$ si adotta la seguente equazione

$$E_m(\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot 10^{[(GSI-10)/40]}$$

Il fattore D consente di tener conto degli effetti dei danni provocati dalle esplosioni e del conseguente rilassamento della tensione.

Resistenza a compressione dell'ammasso roccioso

La resistenza d'ammasso è ottenibile dalle relazioni:

$$\sigma_c = \sigma_{ci} * s^a$$

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \cdot \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

ove:

σ_c = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso ottenuta dal criterio di rottura di Hoek-Brown (σ_1 per $\sigma_3=0$);

σ_{cm} = resistenza a compressione globale dell'ammasso roccioso.

La σ_{cm} esprime il comportamento globale di un ammasso roccioso in condizioni di scarso confinamento; le dimensioni della zona soggetta a tali condizioni risultano nella realtà pratica superiori a quelle della

zona localizzata in cui si ha effettivamente $\sigma_3=0$, per cui nell'insieme la resistenza (σ_{cm}) risulta maggiore a quello limite (σ_c).

Coesione, angolo di resistenza al taglio e dilatanza dell'ammasso roccioso

I valori dell'angolo di resistenza al taglio " φ " e della coesione " c " che esprimono la resistenza del materiale secondo il criterio di rottura lineare di Mohr-Coulomb sono espressi attraverso le seguenti relazioni suggerite dall'Autore:

$$\varphi = \text{sen}^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}](s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

ove:

$$\sigma_{3n} = \sigma_{3max} / \sigma_{ci}$$

$$\sigma_{3max} = \sigma_{cm} \cdot 0.47 \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94} \quad (H = \text{profondità})$$

La dilatanza " α " è ricavabile dalla correlazione empirica suggerita dagli Autori:

$$\alpha = \varphi / K$$

Per ammassi rocciosi quali quello in oggetto il coefficiente K può essere assunto pari a 8.

Modulo di Deformazione

Il valore del Modulo di deformazione dell'ammasso roccioso è ottenibile tramite la relazione:

$$E_D = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40} \right)} \quad [\text{GPa}]$$

Dal valore di RMRbase si derivano i parametri caratteristici dell'ammasso, che secondo Bieniawsky assumono il valore:

- - coesione di picco $c_p (\text{kPa}) = 5 \cdot RMR_b$
- - angolo di attrito di picco $\varphi_p = 0,5 \cdot RMR_b + 5$
- - modulo di deformazione $E(\text{GPa}) = 2 \cdot RMR_b - 100$

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMRb modificato secondo la:

$$RMR_b = RMR_{b,orig} - [0,2 \cdot RMR_{b,orig}] \quad (\text{Priest, 1983})$$

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di SERAFIM & PEREIRA (1983):

$$E(\text{GPa}) = 10^{(RMR_b - 10 / 40)}$$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

$$GSI = RMR - 5$$

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte ($A5 = 15$). Tale relazione è da ritenersi valida per $RMR > 23$.

Per i valori di resistenza alla compressione monoassiale si fa riferimento alle prove Point Load Test (PLT) effettuate su campioni di roccia, designate con le sigle Campioni "A", "C", "D" ed "F".

Per ciascuna famiglia di campioni sono state effettuate N° 10 determinazioni di PLT.

Per l'Unità litotecnica SR (Scaglia Rossa) si hanno i risultati esposti in Tabella 8.2.

Tabella 8.2 – Prove Point Load Test per l'Unità SR

UNITA' LITOTECNICA SR (Scaglia Rossa)								
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale	CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale
	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa		Mpa	Mpa
	Is50			Is50			Is50	
A	2,207	53,85	C	6,152	122,31	F	3,933	79,97
	3,416	80,27		3,900	81,42		2,275	53,05
	2,563	50,49		4,488	80,71		2,012	43,08
	3,930	69,24		5,465	100,74		3,255	59,12
	3,295	60,74		3,030	79,95		3,162	59,15
	2,244	56,58		3,099	70,30		3,101	57,45
	5,794	117,29		4,361	79,61		5,933	109,90
	3,673	73,70		3,731	77,89		2,668	60,51
	4,293	83,41		4,275	86,92		4,360	102,04
	4,273	84,56		3,833	71,90		4,159	93,58
VALORE MEDIO =		73,01			85,18			71,79

Per l'Unità litotecnica SV (Scaglia variegata) si hanno i risultati esposti in Tabella 8.3.

Tabella 8.3 – Prove Point Load Test per l'Unità SV

UNITA' LITOTECNICA SV (Scaglia Variegata)		
CAMPIONI	Indice di resistenza alla punta	Resistenza a Compressione monoassiale
	Mpa	Mpa
	Is50	
D	1,490	30,16
	4,484	90,35
	4,616	96,36
	6,654	130,49
	3,072	65,23
	3,929	80,24
	3,498	68,59
	3,868	80,05
	5,252	103,94
	4,936	100,37
		84,58

Per ciascuna delle 23 stazioni di rilievo geostrutturale sono stati calcolati i valori RMR di Bieniawski ed i parametri di Hoek-Brown, in cui i valori di "mi" suggeriti da Hoek sono stati desunti dalla Tabella 8.4.

Tabella 8.4 – Valori di mi

ROCCE SEDIMENTARIE			
	Roccia	mi	±
1	Conglomerato	21	3
2	Arenaria	17	4
3	Siltite	7	2
4	Argillite	4	2
5	Argilloscisto	6	2
6	Chalk	7	2
7	Breccia	20	2
8	Calcere cristallino	12	3
9	Calcere sparitico	10	5
10	Calcere micritico	8	3
11	Dolomia	9	3
12	Marna	7	2
13	Gesso	10	2
14	Anidride	12	2
15	Granito	32	3
16	Granodiorite	29	3
17	Diorite	25	5
18	Gabbro	27	3
19	Norite	20	5
20	Dolerite	16	5
21	Riolite	25	5
22	Dacite	25	3
23	Peridotite	25	5
24	Porfiritite	20	5
25	Andesite	25	5
26	Basalto	25	5
27	Diabase	15	5
28	Ossidiana	19	3
29	Marmo	9	3
30	Cornubianite	19	4
31	Metaquarzite	20	3
32	Quarzite	20	3
33	Migmatite	29	3
34	Anfibolite	26	6
35	Gneiss	28	5
36	Scisti argillosi	7	4
37	Scisti	10	3
38	Filladi	7	3

Analogamente la valutazione del fattore "D" che descrive lo stato di "disturbo" dell'ammasso roccioso viene ricavato dai valori della Tabella 8.5, in cui sono distinti le applicazioni per gallerie e per versanti.

Tabella 8.5 – Valori di "D"

APPLICAZIONE	CONDIZIONI DELL'AMMASSO	D
Gallerie	Scavo con esplosivo con microritardi o scavo con TBM	0
Gallerie	Scavo meccanizzato in ammassi di scarsa qualità senza uso di esplosivo	0
Gallerie	Idem in presenza di rocce spingenti o rigonfianti	0,5
Gallerie	Utilizzo di esplosivo non controllato in rocce ompetenti	0,8
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche controllate	0,7
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato	1
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione con uso di esplosivo	1
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione a scavo meccanizzato	0,7
Versanti	Scarpate naturali non disturbate da faglie o zone di taglio	0

Alla fine per ogni stazione di rilievo sono state elaborate delle schede sintetiche in cui sono riportati i dati salienti secondo le classificazioni di Bieniawski ed Hoek & Brown, di cui nelle Tabelle 8.6 e 8.7 si riporta l'esempio per la stazione SS.1.

Tabella 8.6 – SS.1 - Parametri di Bieniawski

LOCALITA'			
S.S. N° 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE" STRALCIO 1 - DAL KM 49+300 AL KM 51+500			
STAZIONE RILIEVO		SS.1	
SCAGLIA VARIEGATA			
BIENIAWSKI			
R1 = Resistenza a compressione monoassiale			7,81
R2 = R.Q.D.			0,09
R3 = Spaziatura delle discontinuità			12,64
R4 = Condizione dei giunti			31,50
R5 = Condizioni acqua			15
R6 = Indice di correzione			25
	RMR _{base} =		67,04
	RMR _{corretto} =		42,04
GSI			39,2
Angolo di attrito interno	(°)	φ' =	38,52
Coesione	MPa	c' =	0,34
Modulo di elasticità	MPa	E =	34.076,55

Tabella 8.7 – SS.1 - Parametri di Hoek & Brown

HOEK & BROWN			
Resistenza a compressione monoassiale roccia intatta	Mpa	σ _{cl} =	80,0
Fattore disturbo		D =	0,5
Parametro roccia		m _i =	7,0
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		GSI =	39,2
Peso di volume	kN/m ³	γ	0,03
Altezza del pendio	m	H	15,00
Angolo di attrito interno	(°)	φ' =	52,89
Coesione	MPa	c' =	0,20
Modulo di elasticità	MPa	E =	3.608,38

8.3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEI LITOTIPI INTERESSATI DALLO SCAVO IN GALLERIA

La definizione dei parametri geotecnici caratteristici viene effettuata per le unità interessate dallo scavo in galleria tenendo conto di tutte le indagini geotecniche effettuate in situ ed in laboratorio, esposte nel precedente capitolo. A ciascuna unità litotecnica verranno assegnati i parametri geotecnici caratteristici, da considerare giustamente cautelativi.

a) *Unità Litotecnica SV (Scaglia Variegata)*

Sulla scorta delle determinazioni ed interpretazioni geomeccaniche, basate sia sui rilievi geostrutturali che sulle prove Point Load Test, alla suddetta unità litotecnica si possono affidare i seguenti parametri geotecnici caratteristici.

UNITA' LITOTECNICA SV – Scaglia variegata

Peso di volume	γ	kN/m ³	=	26,0	
Resistenza alla compressione uniassiale	σ_c	MPa	=	80,0	÷ 84,0
GSI	-		=	30	÷ 40
Angolo di attrito interno	ϕ	(°)	=	40	÷ 45
Coesione efficace	C'	MPa	=	0,20	÷ 0,40
RMR	-		=	60	÷ 85
RMR _{corretto}	-		=	45	÷ 55
Modulo elastico	E	GPa	=	10,0	÷ 15,0

b) *Unità Litotecnica SR (Scaglia Rossa)*

Anche per questa unità litotecnica i parametri geotecnici caratteristici vengono individuati dalla base dei rilievi geostrutturali e delle prove Point Load Test.

SCAGLIA ROSSA SR – Scaglia rossa

Peso di volume	γ	kN/m ³	=	26,0	
Resistenza alla compressione uniassiale	σ_c	MPa	=	72,0	÷ 76,0
GSI	-		=	27	÷ 34
Angolo di attrito interno	ϕ	(°)	=	32	÷ 38
Coesione efficace	C'	MPa	=	0,15	÷ 0,25
RMR	-		=	57	÷ 62
RMR _{corretto}	-		=	30	÷ 35
Modulo elastico	E	GPa	=	2,0	÷ 5,0

9 CARATTERIZZAZIONE CON HOEK BROWN DEI LITOTIPI E PARAMETRI DI PROGETTO

I parametri di progetto delle Formazioni interessate dallo scavo della galleria sono stati elaborati con codice di calcolo RocLab (Rocscience Inc.), nel quale è implementato il criterio di rottura non lineare alla Hoek-Brown calcolata per una copertura massima di 50 m sopra calotta.

9.1 PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA ROSSA CON VALORI DI PICCO

I calcoli sono stati svolti considerando le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci} = 76$ MPa
- GSI (Geological Strength Index) = 34
- mi costante del materiale = 7
- D fattore di disturbo = 0.5
- γ peso di volume = 26 kN/m³

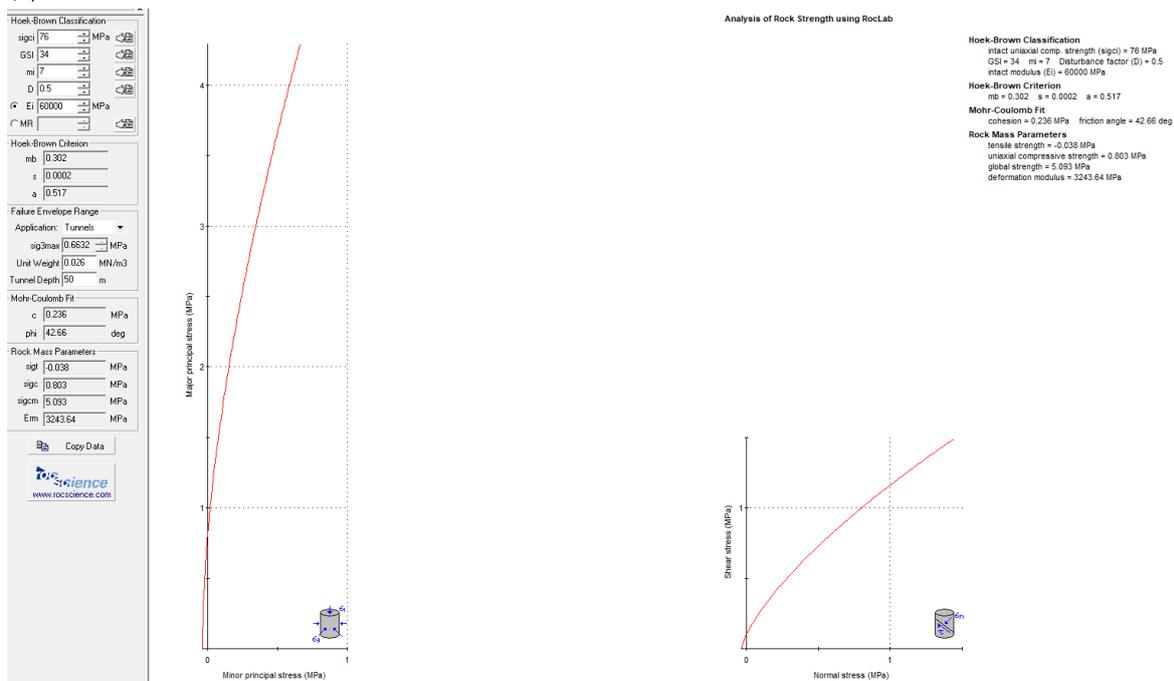


Figura 9.1 – Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso della Formazione della Scaglia Rossa con criterio Hoek-Brown (RocLab, Rocscience Inc.) per valori di picco

Si riportano i principali parametri geotecnici drenati di progetto della Formazione della Scaglia Rossa calcolati con valori di picco:

- peso di volume $\gamma = 26$ kN/m³
- angolo di attrito interno $\phi' = 42.66^\circ$
- coesione efficace $c' = 236$ kPa
- modulo elastico $E = 3243.64$ MPa
- coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$

9.2 PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA ROSSA CON VALORI RESIDUI

I calcoli sono stati svolti considerando le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci} = 72$ MPa
- GSI (Geological Strength Index) = 27
- m_i costante del materiale = 7
- D fattore di disturbo = 0.5
- γ peso di volume = 26 kN/m³

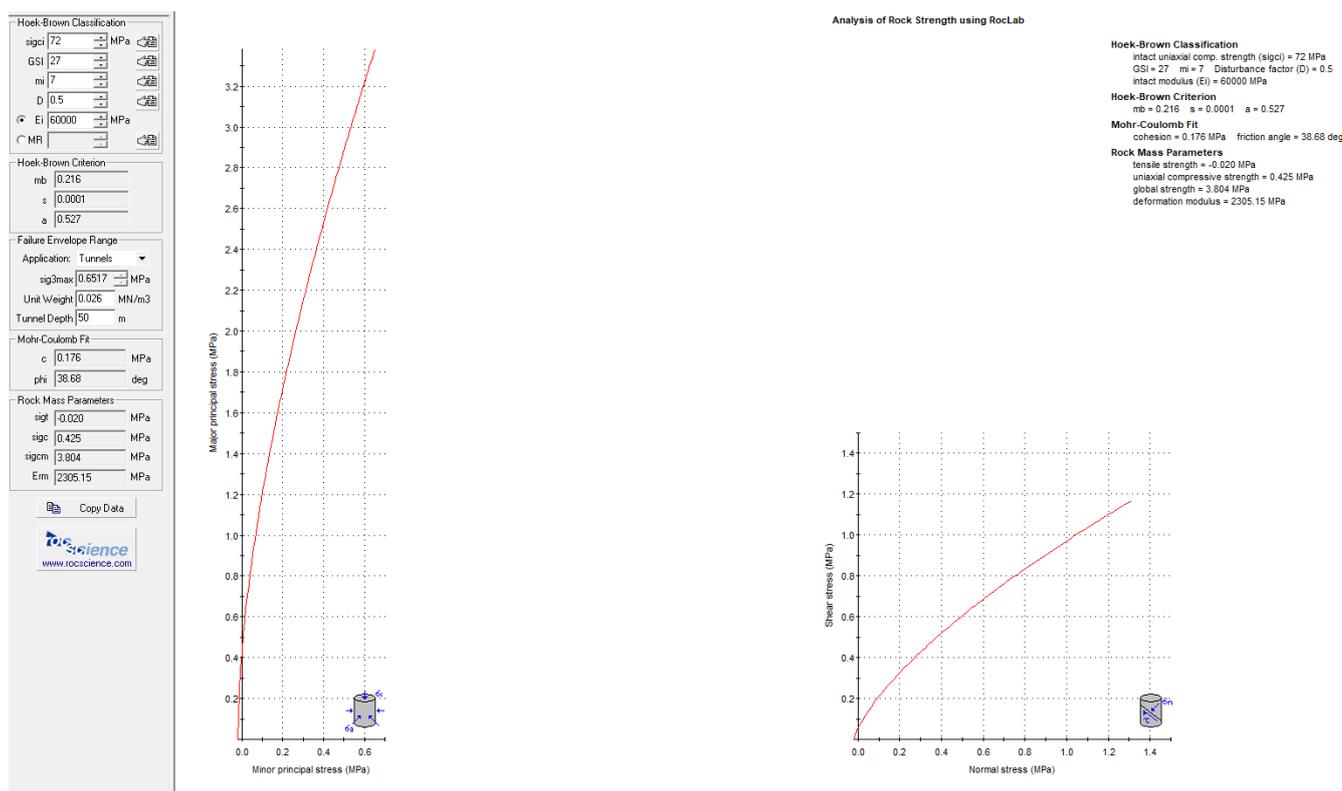


Figura 9.2 – Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso della Formazione della Scaglia Rossa con criterio Hoek-Brown (RocLab, Rocscience Inc.) con valori residui

Si riportano i principali parametri geotecnici drenati di progetto della Formazione della Scaglia Rossa calcolati con valori residui:

- peso di volume $\gamma = 26$ kN/m³
- angolo di attrito interno $\phi' = 38.68^\circ$
- coesione efficace $c' = 176$ kPa
- modulo elastico $E = 2305.15$ MPa
- coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$

9.3 PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA VARIEGATA CON VALORI DI PICCO

I calcoli sono stati svolti considerando le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci} = 84$ MPa
- GSI (Geological Strength Index) = 40
- m_i costante del materiale = 7
- D fattore di disturbo = 0.5
- γ peso di volume = 26 kN/m³

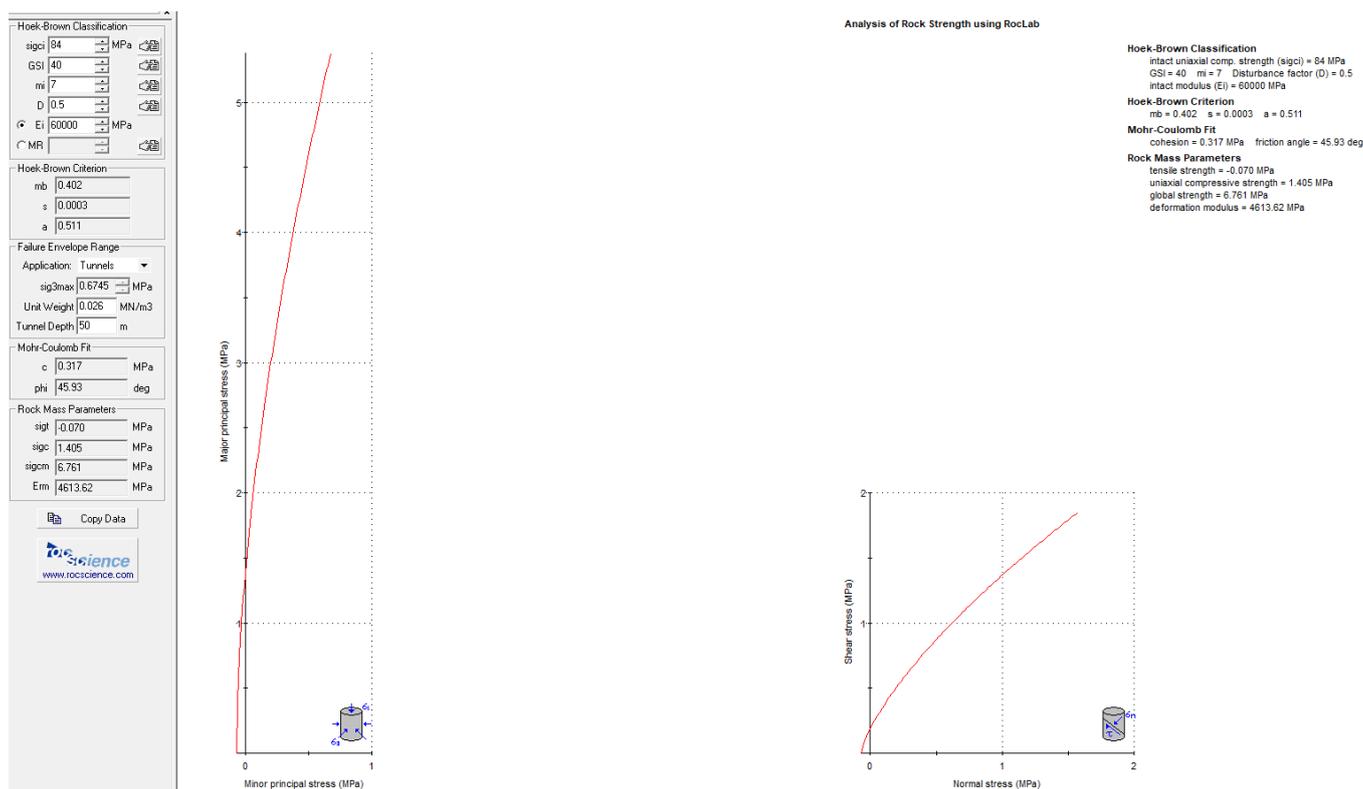


Figura 9.3 – Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso della Formazione della Scaglia Variegata con criterio Hoek-Brown (RocLab, Rocscience Inc.) per valori di picco

Si riportano i principali parametri geotecnici drenati di progetto della Formazione della Scaglia Variegata calcolati con valori di picco:

- peso di volume $\gamma = 26$ kN/m³
- angolo di attrito interno $\phi' = 45.93^\circ$
- coesione efficace $c' = 317$ kPa
- modulo elastico $E = 4613.62$ MPa
- coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$

9.4 PARAMETRI DI PROGETTO PER LA FORMAZIONE DELLA SCAGLIA VARIEGATA CON VALORI RESIDUI

I calcoli sono stati svolti considerando le seguenti caratteristiche dell'ammasso:

- Resistenza a compressione monoassiale $\sigma_{ci} = 80$ MPa
- GSI (Geological Strength Index) = 30
- m_i costante del materiale = 7
- D fattore di disturbo = 0.5
- γ peso di volume = 26 kN/m³

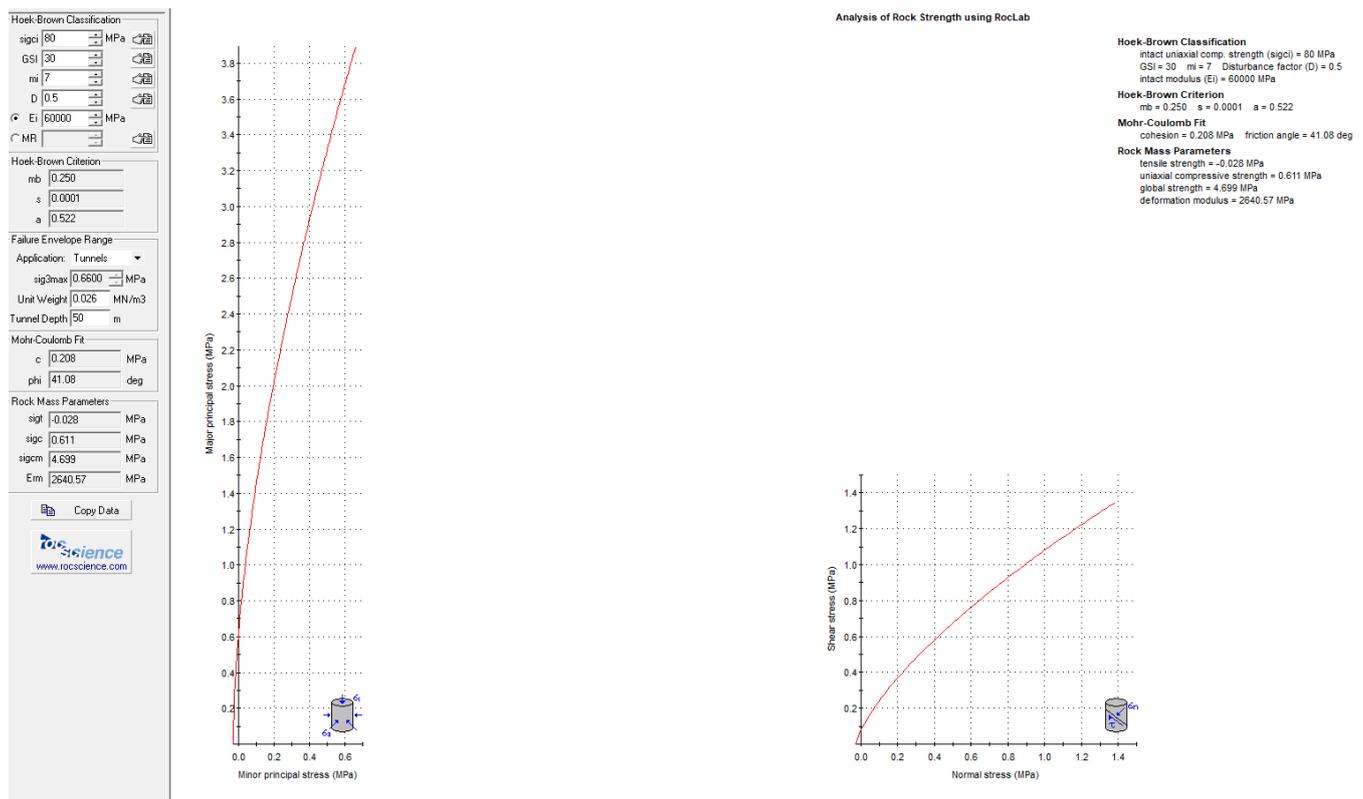


Figura 9.4 – Caratterizzazione geomeccanica ammasso roccioso della Formazione della Scaglia Variegata con criterio Hoek-Brown (RocLab, Rocscience Inc.) con valori residui

Si riportano i principali parametri geotecnici drenati di progetto della Formazione della Scaglia Variegata calcolati con valori residui:

- peso di volume $\gamma = 26$ kN/m³
- angolo di attrito interno $\phi' = 41.08^\circ$
- coesione efficace $c' = 208$ kPa
- modulo elastico $E = 2640.57$ MPa
- coefficiente di Poisson $\nu = 0.3$

9.5 PARAMETRI DI CALCOLO DELLE FORMAZIONI INTERESSATE DALLO SCAVO DELLA GALLERIA

Nella Tabella 9.1 sono inseriti i parametri di caratterizzazione geotecnica delle Formazioni interessate dagli scavi in galleria di riferimento per la progettazione della galleria naturale.

PARAMETRI DI CALCOLO PER LA GALLERIA NATURALE CASTEL SAN FELICE					
FORMAZIONE	γ kN/mc	C kPa	ϕ	E MPa	ν
SCAGLIA VARIEGATA VALORI DI PICCO	26	317	45.93	4613.62	0.3
SCAGLIA VARIEGATA VALORI RESIDUI	26	208	41.08	2640.57	0.3
SCAGLIA ROSSA VALORI DI PICCO	26	236	42.66	3243.64	0.3
SCAGLIA ROSSA VALORI RESIDUI	26	176	38.68	2305.15	0.3

Tabella 9.1 – Caratterizzazione geotecnica in sede di Progetto Esecutivo di riferimento per la progettazione delle gallerie naturali.