

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio**

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

*Ing. VINCENZO MARZI
Ordine Ingegneri di Bari n. 3594*

IL GEOLOGO

*Geol. FRANCESCO MATALONI
Ordine Geologici del Lazio n. 725*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Arch. GIOVANNI MAGARO'
Ordine Architetti di Roma n. 16183*

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI

PROTOCOLLO

DATA:

**Geologia e Gestione Materie
Relazione Geologica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE				
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GE00GEORE01						
L	07	02	M	D	1801	CODICE ELAB.	T00GE00GEORE01	B	varie
D									
C									
B	AGGIORNAMENTO				Luglio 19				
A	EMISSIONE				Giugno 2018				
REV.	DESCRIZIONE				DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	7
4.	CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI	8
4.1.	<i>FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA</i>	8
4.2.	<i>TERRENI DI COPERTURA</i>	14
4.3.	<i>ASPETTI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI (TRATTO DI COLLEGAMENTO LATO-UMBRIA)</i>	16
5.	CARATTERISTICHE TETTONICHE E GIACITURALI	20
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE (2018)	27
7_	ASPETTI GEOSTRUTTURALI (RILIEVI GEOMECCANICI LATO – UMBRIA)	29
7.1	<i>PREMESSA</i>	29
7.2	<i>METODO DI RILIEVO ED ANALISI</i>	29
7.3	<i>RISULTATI DELLE STAZIONI GEOMECCANICHE</i>	39
7.3.1	Nota metodologica	39
7.3.2	Ubicazione delle stazioni e Tabella di sintesi dei risultati	39
7.3.3	Stazione Geomeccanica 1	41
7.3.4	Analisi cinematica SG1	46
7.3.5	Stazione Geomeccanica 2	50
7.3.6	Analisi cinematica SG2	57
8	OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE	62
8.1	<i>INQUADRAMENTO GENERALE</i>	62
8.2	<i>PRINCIPALI CARATTERI GEOMORFOLOGICI</i>	62
8.3	<i>AREE A RISCHIO FRANA O ESONDAZIONE – IL P.A.I. (PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO)</i>	65
8.3.1	Tratto di collegamento lato-Marche (fine 3° Lotto)	65
8.3.2	Tratto di collegamento lato-Umbria	67
9	IDROGEOLOGIA	70
9.1	<i>CARATTERI IDROGEOLOGICI DEI TERRENI</i>	70

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

9.2	<i>SCHEMA IDROGEOLOGICO</i>	71
9.3	<i>INTERFERENZA ACQUIFERI - OPERA</i>	73
9.3.1	Galleria (cunicolo)	73
9.3.2	Tratto di collegamento lato-Umbria	75
9.3.3	Tratto di collegamento lato-Marche	75
10	<i>PRESENZA DI GAS – PRODUZIONE DI POLVERI CON SILICE LIBERA CRISTALLINA</i>	76
10.1	<i>PRESENZA DI GAS</i>	76
10.2	<i>PRESENZA DI SILICE LIBERA NELLE POLVERI PRODOTTE DALLE OPERAZIONI DI SCAVO</i>	77
11	<i>SISMICITÀ</i>	77
11.1	<i>ASPETTI SISMOGENETICI</i>	77
11.2	<i>SORGENTI SISMOGENETICHE – FAGLIE “CAPACI”</i>	78

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riferisce sulla situazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica della zona interessata dal progetto di collegamento funzionale provvisorio tra i Lotti II e III della E78 "SGC Grosseto-Fano", e la viabilità esistente.

Le nuove opere previste dal progetto, in particolare, riguardano:

- la realizzazione del collegamento provvisorio, lato Umbria, tra l'uscita dalla galleria e la SP 200 in prossimità di Parnacciano;
- la realizzazione del collegamento provvisorio, lato Marche, tra il III Lotto, già realizzato, e la strada comunale all'abitato di Mercatello sul Metauro.
- Interventi di manutenzione, adeguamento ed impiantistica lungo l'esistente tracciato del 2° e 3° Lotto;

Viene demandata ad una fase successiva, con apposita progettazione, la realizzazione di un cunicolo di fuga parallelo alla galleria della Guinza (che costituisce il II Lotto) già realizzata.

Le caratteristiche geologiche della zona sono state desunte da rilevamenti geologici eseguiti sia nella presente occasione, sia nel corso delle precedenti fasi progettuali ed esecutive. In particolare, sono stati considerati gli elaborati geologici allegati al progetto esecutivo del 2° Lotto redatto da Geodata SpA. Questi dati sono stati revisionati, ampliati ed approfonditi da un rilevamento geologico mirato, in particolare nel territorio attraversato dalla galleria della Guinza.

Per lo studio dei terreni interessati dalle opere è stata programmata una campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, eseguita nel 2018.

Inoltre nel presente studio si fa riferimento ai risultati di una campagna di indagine geognostica eseguita nel 1999 durante la fase di realizzazione del Lotto 3 e riportati nella TAV. T00GE00GEORE05B.

Costituiscono parte integrante della presente relazione i seguenti documenti:

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

- TAVV. T00GE00GEOCG01B, 02B, 03B, 04B (CARTA GEOLOGICA 1, 2, 3, 4)
- TAVV. T00GE00GEOCG04B, 05B, 06B, 07B, 08B (CARTA GEOMORFOLOGICA 1, 2, 3, 4)
- TAVV. T00GE00GEOCI01B, 02B, 03B, 04B (CARTA IDROGEOLOGICA 1, 2, 3, 4)
- TAVV. T00GE00GEOFG01B, 02B, 03B, 04B (PROFILO GEOLOGICO LONGITUDINALE 1, 2, 3, 4)
- TAV. T00GE00GEOFG05B (PROFILO GEOLOGICO DI DETTAGLIO LATO UMBRIA)
- TAV. T00GE00GEOFG06B (PROFILO GEOLOGICO DI DETTAGLIO LATO MARCHE)
- TAV. T00GE00GEORE01B (RELAZIONE GEOLOGICA)
- TAV. T00GE00GEORE02B (DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE)
- TAV. T00GE00GEORE03B (DOCUMENTAZIONE PROVE DI LABORATORIO)
- TAV. T00GE00GEORE04B (DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOFISICHE)
- TAV. T00GE00GEORE05B (DOCUMENTAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE 1999)

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le opere da realizzare per l'adeguamento del tracciato esistente e per i collegamenti alla viabilità esistente, si sviluppano attraverso lo spartiacque appenninico fra Marche (Provincia di Pesaro e Urbino) e Umbria (provincia di Perugia).

Nella zona attraversata dalla galleria, le quote massime raggiunte dalla dorsale appenninica si aggirano sui 900 m s.l.m., dividendo il bacino del Metauro (Marche) da quello dell'alta valle del Tevere (Umbria)

Il collegamento alla viabilità esistente sul lato Umbria (SP 200) avviene nel territorio comunale di San Giustino, nei pressi della frazione Parnacciano, all'uscita dalla galleria.

Sul lato marchigiano, il tracciato all'aperto è stato già realizzato (III Lotto), ed il collegamento alla viabilità esistente avverrà alla fine del III Lotto nei pressi dell'abitato di Mercatello sul Metauro.

Le quote di imbocco sui due lati della galleria sono di 581 m circa sul lato umbro, e di 556 m circa sul lato marchigiano; le coperture in calotta raggiungono un massimo di 310 m, mantenendosi in media fra i 150 e i 230 m.

Segue (Fig.1) una foto aerea con l'ubicazione del tracciato del 2° Lotto (galleria) e dei due collegamenti da realizzare con la viabilità esistente.

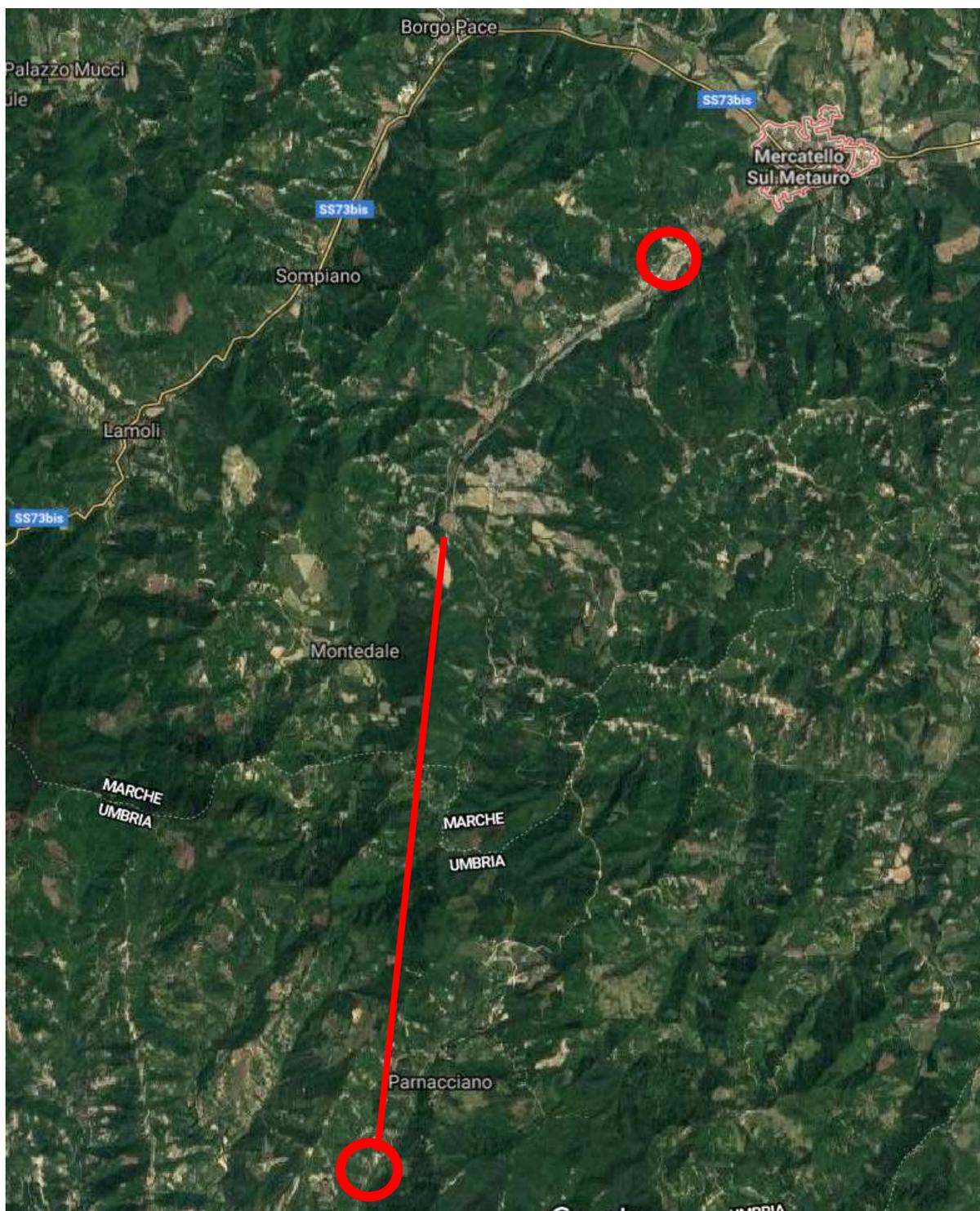


Fig. 1: Ubicazione su foto aerea del tracciato del cunicolo parallelo alla galleria Guinza (linea rossa) e dei due collegamenti provvisori alla viabilità esistente (cerchi rossi)

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Questo settore dell'Appennino è litologicamente costituito da una successione sedimentaria marina depositatasi su crosta di tipo continentale appartenente alla microplacca adriatica.

Il settore fu coinvolto nell'orogenesi alpina solo a partire dal Miocene medio con uno stile tettonico simile, anche se meno articolato, a quello della zona tosco-emiliana: in particolare l'area di studio è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti debolmente arcuati verso l'avanfossa padano-adriatica e con vergenza a NordEst.

La dorsale montuosa attraversata, è interamente costituita dalla Formazione Marnoso-Arenacea, tipica torbidite di notevole spessore (da 1600 a 2000 m) caratterizzata dalla fitta e persistente alternanza di strati arenacei e marnosi; al suo interno, comunque, sono individuabili membri distinti a seconda della predominanza dell'una o altra litologia, anche se tali suddivisioni hanno un significato importante dal punto di vista stratigrafico, ma più limitato dal punto di vista applicativo. Inoltre, sono individuabili dei veri e propri livelli-guida che marcano la posizione stratigrafica ("strato Contessa", "marker Guinza", "strato Val di Pierle").

La formazione venne deposta con ripetuti episodi di correnti di torbida, durante il Miocene. Le successioni torbiditiche si accumularono in una serie di bacini generati dalla migrazione verso Est dell'avanfossa; tutti questi bacini mostrano un'evoluzione nel tempo da una fase iniziale di avanfossa ad una fase finale di bacini satellitari (struttura a piggy-back)

A causa delle modalità deposizionali, la formazione presenta uno spessore abnorme, rispetto al tempo geologico relativamente breve, in cui essa venne deposta.

La Marnoso-Arenacea è interessata da vari fronti di sovrascorrimento, che suddividono la formazione in diversi elementi tettonici, scollati rispetto alla sottostante formazione dello Schlier.

4. CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI

Viene qui descritta la successione stratigrafica generale dei terreni interessati dal progetto, le loro caratteristiche litologiche, l'assetto stratigrafico-giaciturale.

Per una descrizione dettagliata della successione stratigrafica lungo il tracciato di progetto, si fa riferimento agli elaborati T00GE00GEOFG01B – 02B – 03B – 04B – 05B – 06B, che sono gli stralci del profilo geologico lungo l'asse principale e dei profili particolareggiati lungo le porzioni che riguardano i tratti di raccordo alla viabilità esistente sui due lati (Umbria – Marche).

Inoltre, si fa riferimento agli elaborati T00GE00GEORE02B – 03B – 04B – 05B che sono i report delle indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio eseguite in questa occasione.

4.1. FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA

In tutta l'area rilevata affiora diffusamente la sopra menzionata Formazione Marnoso-Arenacea: si tratta di una successione torbiditica data dall'alternanza di arenarie più o meno cementate e marne, solo raramente passanti ad argille, di età miocenica (dal Langhiano al Tortoniano).

Gli strati pelitici sono costituiti essenzialmente da marne, marne calcaree, marne argillose e marne siltose.

In affioramento la formazione assume un colore giallo ocra per ossidazione, favorita dalla degradazione fisica della roccia spinta sino ad alcuni metri di profondità. Spesso, sugli affioramenti, si osserva una caratteristica differenziazione cromatica tra gli strati arenacei e quelli marnosi, i primi giallastri per ossidazione, ed i secondi che mantengono il colore grigio in quanto la degradazione spinta ne causa la trasformazione in un insieme scaglie di detrito minuto continuamente rinnovantesi.

Il passaggio tra gli strati pelitici e quelli arenacei è sempre ben visibile poiché questi ultimi, specie sui versanti più acclivi e con giacitura a reggipoggio, sono in oggetto per una maggiore resistenza all'erosione. Gli strati pelitici sono interessati da una fitta rete di microfessure da ritiro che suddivide la roccia in

frammenti prismatici o a scaglie nei litotipi a maggiore contenuto in argilla, o in frammenti con superfici concave e convesse nei termini marnoso-calcarei.

Nei sondaggi la formazione presenta un colore grigio con tonalità che va dalla chiara, negli strati francamente arenacei e in quelli più marnoso - calcarei, a grigio scuro negli strati più argillosi. Il passaggio tra peliti e areniti è spesso meno netto rispetto a quanto si osserva negli affioramenti, ma più graduale ad eccezione dei casi in cui le arenarie sono ben cementate e prive, o quasi, di matrice limo - argillosa.

Intercalati negli strati pelitici si sono ritrovate saltuariamente sottili lenti di lignite. In letteratura sono stati già segnalati, anche in affioramento, ligniti nell'ambito della Formazione Marnoso Arenacea e, specificatamente nel territorio di Mercatello sul Metauro, in località La Noce presso Montedale nella valle del S. Antonio.

Come accennato, la Formazione ha un notevole spessore e presenta una certa uniformità di caratteristiche litologiche e stratigrafiche; tuttavia, all'interno della successione sono distinguibili:

- un membro inferiore (indicato con la sigla FMA4a negli elaborati grafici allegati alla presente Relazione), che coincide con la parte inferiore ("pre-Contessa" o "litofacies di Montelabreve") del "Membro di Galeata" (cfr. Note illustrative dei Fogli 278 Pieve S.Stefano e 289 Città di Castello) con predominanza di torbiditi silico-clastiche con paleo-correnti verso SudEst. Gli strati arenitici hanno spessore variabile tra 20 e 200 cm, ed il rapporto Arenaria/Pelite (A/P) è a favore della parte pelitica, con rapporti da $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{6}$. Questo membro affiora diffusamente a cavallo del confine Marche-Umbria, a partire dal contatto tettonico (sovrascorrimento) nei pressi del Monte La Casina, ed interessando in profondità gran parte del tratto umbro della galleria della Guinza (e dunque del costruendo cunicolo di emergenza). Lo spessore affiorante è di circa 400 m, ma quello ricostruito a partire dalle correlazioni geologico-stratigrafiche è decisamente superiore, fino a circa 1000 m.

- un membro intermedio (indicato con la sigla FMA4b negli elaborati grafici allegati alla presente Relazione), costituito da torbiditi arenaceo-pelitiche con rapporto A/P da $\frac{1}{1}$ a $\frac{1}{4}$, con notevole abbondanza di strati calcarenitici, spessi fino a 3 m, con clasti calcarei organogeni e silicatici, che si alternano ad areniti sottilmente stratificate. Verso la porzione sommitale, si osserva una generale diminuzione della componente arenitica, a vantaggio di quella pelitica, con rapporti A/P oscillanti tra $\frac{1}{6}$ e $\frac{1}{10}$; questa variazione di facies è marcata da

uno strato guida calcarenitico di circa 2,5 m di spessore, in letteratura noto come “strato Val di Pierle”, che è a sua volta associato ad un banco di arenaria di circa 4 m, posto una ventina di metri più in basso. Lo spessore è di circa 500 m. Affiora in due fasce ai lati della zona occupata dal membro FMA4a, più stretta quella dal lato marchigiano e molto più estesa quella sul lato umbro: questa differenza è indotta da motivi strutturali, in quanto sul lato umbro la stratificazione è piuttosto “tranquilla”, uniformemente immergente verso SudOvest con bassa inclinazione (10°-20°), mentre sul lato marchigiano è coinvolta nei motivi tettonici a pieghe e sovrascorrimenti, con giacitura verticale o anche rovesciata ma comunque ad alto angolo.

Questi due membri sono separati da un livello-guida (“strato Contessa”), banco arenaceo plurimetrico (6-7 m di spessore) accoppiato ad un orizzonte marnoso massivo di analogo spessore; questo strato si segue con continuità per centinaia di chilometri sia sul lato umbro che in quello marchigiano.

- un membro superiore ⁽¹⁾, noto come “Membro di Collina” (indicato con la sigla FMA5 negli elaborati grafici allegati alla presente Relazione), con torbiditi pelitico-arenacee con rapporto A/P tra ¼ e 1/6. Gli strati arenacei hanno colorazione beige-marroncina, mentre le peliti sono costituite da marne/siltiti grigie finemente stratificate. Il massimo spessore affiorante è di circa 300 m. Esso occupa in affioramento la parte finale (lato-Marche) del tracciato della galleria Guinza, a partire dai rilievi a sud di Pian Marzolino, nonché larga parte del 3° Lotto.

Seguono alcune immagini che illustrano le caratteristiche della formazione.

¹ Questo membro, in zone esterne all'area in esame, è invece eteropico con il FMA4b



Fig. 2: Affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (Membro FMA5) lungo il tratto iniziale della strada che da Guinza sale verso Cima Le Fienae. Sulla sommità della scarpata tendono a prevalere gli strati di arenaria (rapporto A/P da 1,5:1 a 1:1), piuttosto calcarea (calcarenite, i cui strati prendono localmente il nome di “colombine”), mentre nella parte bassa predominano le peliti, tipicamente soggette a rapida disgregazione.



Fig. 3: Strato marnoso calcareo con la tipica fratturazione concava – convessa

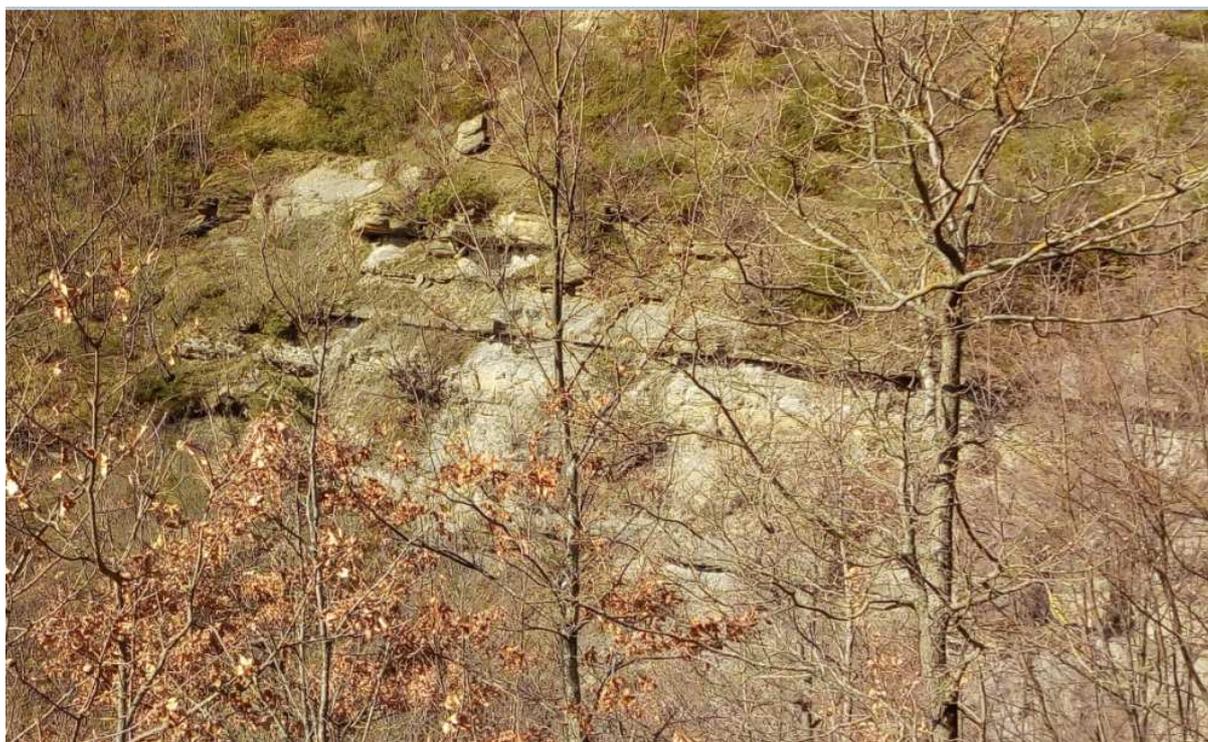


Fig. 4: Affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (Membro FMA5) lungo il Fosso della Guinza. Prevalenza di strati pelitici (rapporto A/P circa 1:4). L'erosione di questi ultimi isola gli strati arenacei favorendone lo scalzamento ed il crollo di blocchi, principalmente per ribaltamento, dato che la giacitura è sub-orizzontale a leggero reggipoggio.

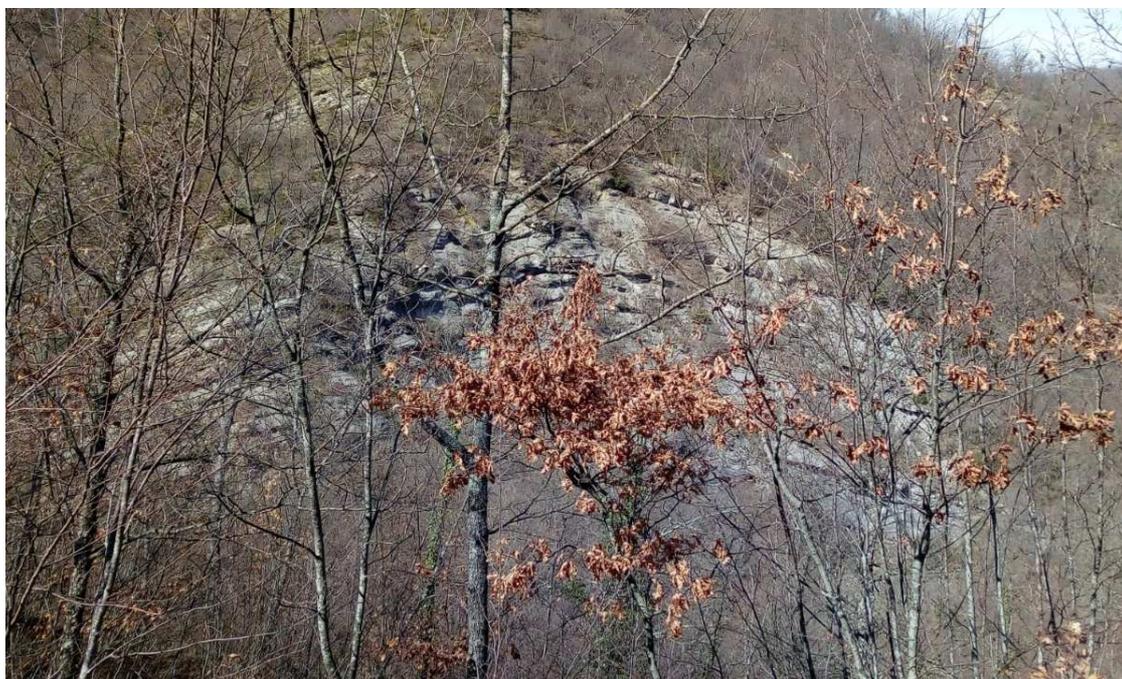


Fig. 5: Strati di Marnoso-Arenacea piegati ad anticlinale lungo il Fosso della Guinza.



Fig. 6: Esposizione di strati di Marnoso-Arenacea (Membro FMA4b) lungo il versante sinistro del Fosso della Guinza. Immersione degli strati N5°E, pend. 20°-25°. È evidenziato (freccia rossa) un bancone plurimetrico calcarenitico. Potrebbe trattarsi dello "strato di Val di Pierle", uno dei diversi livelli-guida definiti nella letteratura geologica sulla Marnoso-Arenacea. È molto probabile che si tratti del bancone calcarenitico incontrato in galleria tra le progr.ve 4735 e 4800 circa.



Fig. 7: Affioramento della Formazione Marnoso-Arenacea (Membro FMA4a) lungo la SP 200, nei pressi di Parnacciano. Prevalenza di strati pelitici (rapporto A/P circa 1:2 nella parte alta, e 1/6 nella parte bassa).

4.2. TERRENI DI COPERTURA

Con la dizione “terreni di copertura”, si intendono quei termini litologici sedimentari depositi in ambiente sub-aereo (continentale), e che, di conseguenza, non sono correlati stratigraficamente alla Formazione Marnoso-Arenacea, bensì sono ad essa sovrapposti con contatti eteropici. In realtà, in zona queste coperture sono sporadiche, molto discontinue, e non presentano spessori considerevoli, tranne in pochi casi; ciò fa sì che la loro importanza progettuale sia limitata alle opere all'aperto, mentre è pressoché inesistente nel caso delle opere in sotterraneo (cunicolo).

I depositi di copertura possono essere distinti in:

- Alluvioni recenti ed attuali di fondovalle, prevalentemente di natura ghiaiosa e sabbiosa con intercalate lenti limoso argillose. Sono presenti solo nella

parte bassa delle valli principali. Presentano spessori non rilevanti, da qualche metro fino ad un massimo di circa 10 m alla confluenza tra il S. Antonio ed il Metauro, nei pressi di Mercatello.

- Detriti di falda orlano il piede dei versanti vallivi dei due corsi d'acqua principali (Fosso della Guinza – Torrente S. Antonio e Fosso di Parnacciano) e nelle piccole valli tributarie. La natura è prevalentemente sabbioso limosa, talora più francamente argillosa, con frammenti lapidei arenacei. Gli spessori, alcuni direttamente accertati con i sondaggi geognostici, sono modesti e dell'ordine di alcuni metri.
- Depositi di conoide torrentizia sono frequenti allo sbocco delle valli laterali più ampie, in sinistra del Torrente S. Antonio. Sono generalmente formati da detriti eterogenei con granulometria variabile da ghiaiosa a sabbioso ghiaiosa. Ghiaie e ciottoli presenti nel sedimento sono caratterizzati da morfologia tabulare, a spigoli poco arrotondati. Essi formano corpi geologici tipicamente a "ventaglio", il cui apice è ubicato allo sbocco dei torrenti che confluiscono nella valle principale, mentre il limite esterno generalmente non è ben distinto dai sedimenti detritici ed alluvionali, con i quali sono a contatto in eteropia laterale di facies.
- Detriti di frana sono distribuiti sui versanti dei piccoli bacini tributari. Sono costituiti da materiale prevalentemente argilloso limoso-sabbioso, che ingloba frammenti lapidei di varie dimensioni, di natura quasi sempre arenacea. I maggiori accumuli si osservano lungo il versante in dx idrografica del Fosso Guinza-S. Antonio, all'inizio del 3° Lotto.



Fig. 8: Scarpata torrentizia lungo il S. Antonio nei pressi del termine del 3° Lotto. Sono visibili i depositi alluvionali.

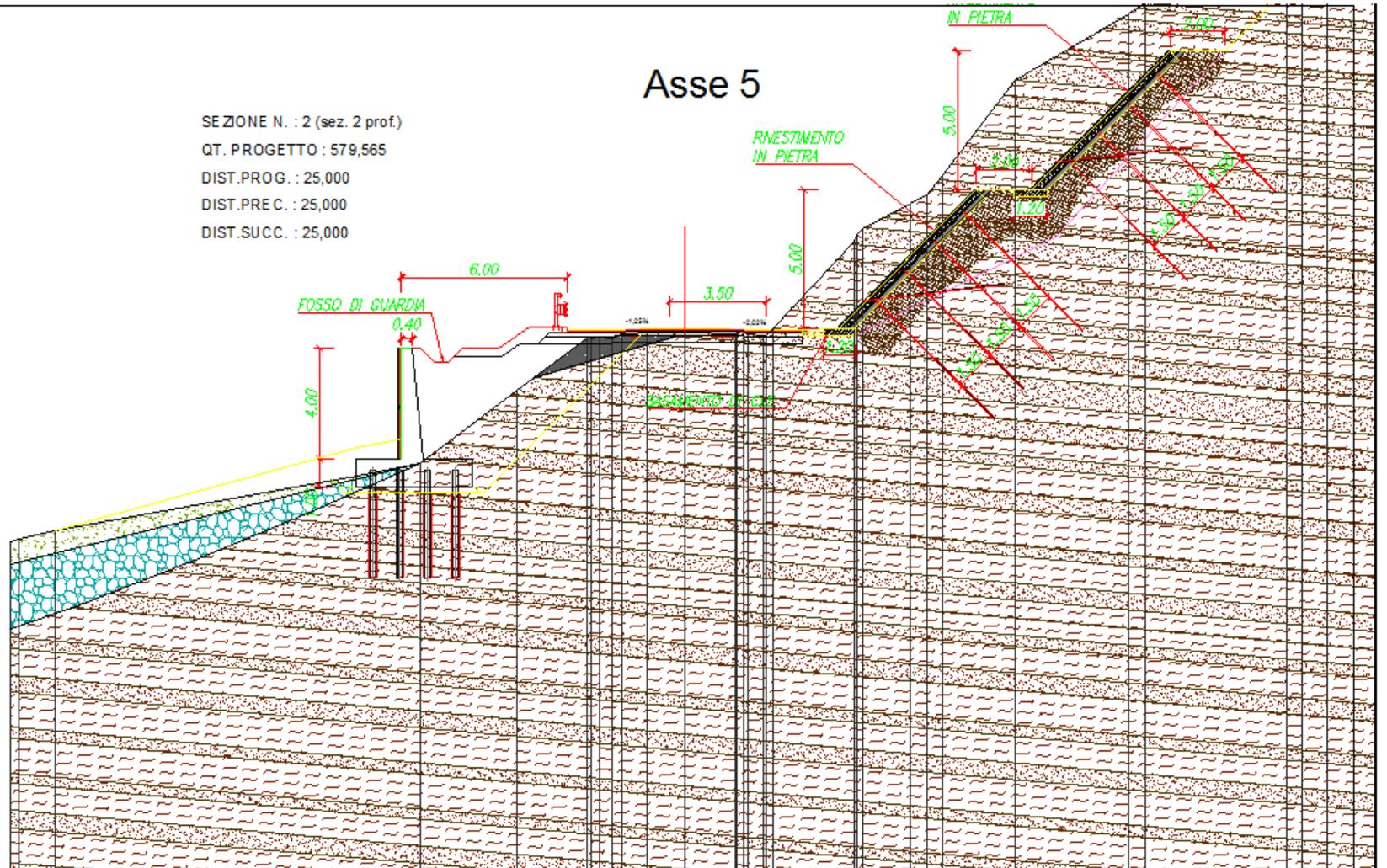
4.3. ASPETTI LITOSTRATIGRAFICI LOCALI (TRATTO DI COLLEGAMENTO LATO-UMBRIA)

Considerata la maggiore complessità delle opere da realizzare per il collegamento lato-Umbria, rispetto a quelle lato-Marche, si riportano alcune sezioni geologiche trasversali agli assi di progetto sul lato – Umbria.

Inoltre, nel Cap. 6 verranno illustrati i rilievi geomeccanici eseguiti su affioramenti nella stessa area.

Asse 5

SEZIONE N. : 2 (sez. 2 prof.)
 QT. PROGETTO : 579,565
 DIST.PROG. : 25,000
 DIST.PREC. : 25,000
 DIST.SUCC. : 25,000



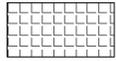
SCALA 1:200

QT.RIF. 560,000

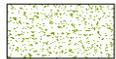
QUOTE TERRENO	571,973 572,249		574,691	577,318	579,197 579,235 579,202 579,243 579,224 579,267 579,349 579,381 579,381 579,369 579,417 579,450 579,365 579,306 579,304 579,571 582,706 582,924 583,170 584,054 584,555 585,075	588,530	580,915 591,301	591,616 591,522 591,812 591,794	597,860				
DIST.PARZIALI TERRENO	1,314	13,222	3,486	2,528	0,400 0,593 1,362 1,821	2,931	1,689	2,623	4,110	0,598	5,093	0,526 0,940	1,692
QUOTE PROGETTO					579,472 579,512 579,524		579,565		579,499 579,479 579,439				

LEGENDA

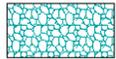
TERRENI DI COPERTURA



RIPORTO STRADALE

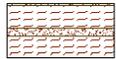


COLLUVIUM E DETRITO DI VERSANTE
Limi sabbiosi prevalenti, talora limi argillosi,
con frequenti clasti eterometrici di natura arenacea



ALLUVIONI TERRAZZATE
Ghiaie sabbiose con intercalazioni di lenti argillose.

SUBSTRATO (FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA)



"Membro di Galeata inf.": Torbiditi silico-clastiche con rapporto A/P da $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{6}$.
Strati pelitici c.s. Strati arenacei di spessore variabile da 20 cm a 2 m.



Fig. 9 – 10 – 11 – 12: Sezioni geologiche trasversali sul lato Umbria, con legenda ed ubicazione (rappresentata con linee magenta)

5. CARATTERISTICHE TETTONICHE E GIACITURALI

Viene qui descritto l'assetto geostrutturale generale e locale del substrato formazionale (in pratica: della Formazione Marnoso-Arenacea), ricostruito in base ai rilevamenti svolti nella presente occasione, nonché alla consultazione e revisione critica degli studi allegati ai progetti eseguiti in precedenza.

Per una descrizione dettagliata dell'assetto geostrutturale lungo il tracciato di progetto, si fa riferimento agli elaborati T00GE00GEOFG01B – 02B – 03B – 04B – 05B – 06B.

La formazione Marnosa Arenacea umbra, come quella romagnola di cui rappresenta la continuazione, è caratterizzata, secondo il Selli², *"...da lunghi blocchi ad orientamento NW-SE, relativamente stretti (3-8 km) e con un generale assetto monoclinale a pendenze dolci verso SW o talora pianeggianti. Ogni blocco presenta al margine NE una brusca "ginocchiatura" con strati raddrizzati o anche ribaltati verso NE, la quale in profondità passa a una faglia inversa. Cioè si tratta in definitiva di una serie di gradini inclinati verso SW e fra loro compensantisì"*.

Il tracciato in galleria attraversa due di questi blocchi strutturali, denominati "Elemento di Pietralunga" ed "Elemento di Borgo Pace".

Le principali ginocchiature o pieghe rovesciate che delimitano a NE i singoli blocchi affioranti nel bacino del Metauro sono le seguenti (da SW a NE):

- Anticlinale che orla a NE dell'Alpe della Luna-Bocca Trabaria.
- Anticlinale Montelabreve – Lamoli - Montemoricce- S. Giovanni a Vignole - Cima del Pietriccio - Sette Ducati (presso la strada Scheggia-Gubbio). È questo il più lungo asse strutturale della regione seguibile per una sessantina di km.
- Anticlinale di Apecchio.
- Anticlinale Mazziconiaia-Palazzi.
- Anticlinale M. dei Santi-Sorbetolo.

² R.Selli (1954): Il Bacino del Metauro, Giornale di Geologia, Serie 2°, Vol. XXIV - 1952

Il tracciato del 2° e del 3° Lotto si sviluppa tra l'elemento di Borgo Pace e quello di Pietralunga, e dunque attraversa il sovrascorrimento che separa i due elementi (quello di Pietralunga si accavalla su quello di Borgo Pace), e la struttura "a ginocchio" di Montelabreve-Lamoli etc... che si accompagna al sovrascorrimento.

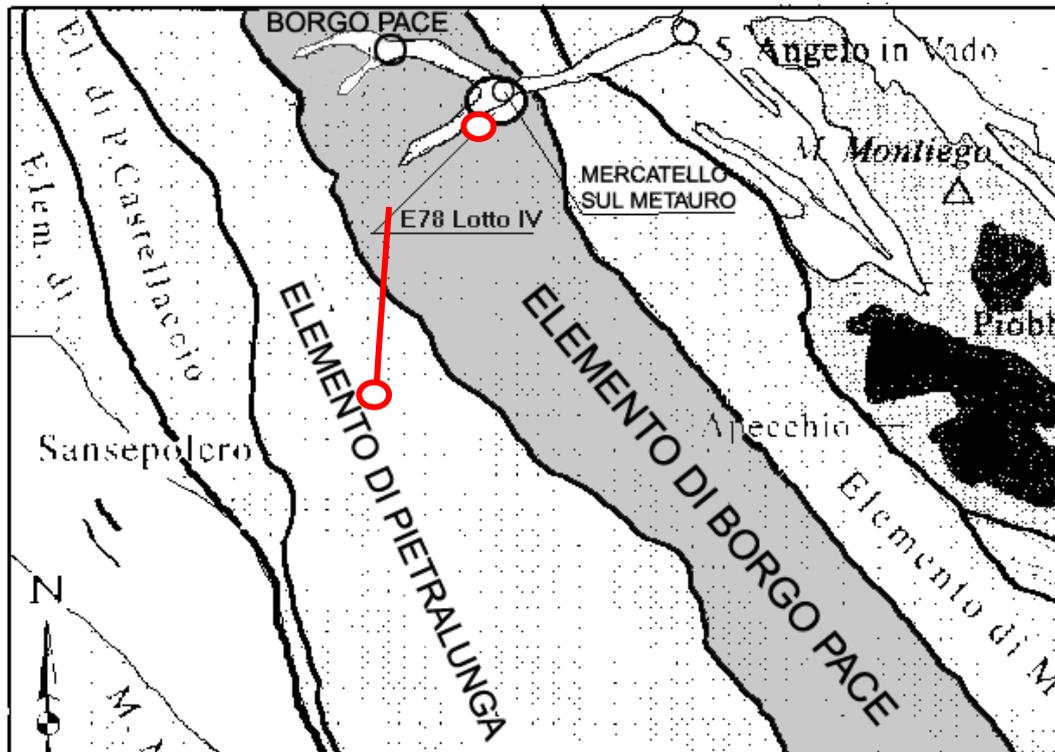


Fig. 13: Attuale rappresentazione dello schema tettonico delle Marche. Gli elementi tettonici indicati nello schema sono delimitati dalle strutture descritte da R. Selli nella sua monografia sulla Valle del F. Metauro. In rosso, è rappresentata l'ubicazione della galleria (2° Lotto) e le due aree interessate dai tratti di collegamento alla viabilità esistente (cerchi rossi)

Lungo il tracciato, si possono distinguere tre zone principali:

- Una zona relativamente poco deformata a sud (zona Umbra), caratterizzata da una tettonica essenzialmente fragile rappresentata da diverse faglie che suddividono quest'area in grandi placche monocliniche con stratificazione debolmente immergente verso Ovest-SudOvest, che tende a divenire suborizzontale verso il confine marchigiano;
- Una fascia centrale altamente tettonizzata separata dalla precedente tramite un brusco passaggio costituito da una estesa fascia cataclastica immergente verso SudOvest. Le faglie, da subverticali tendono ad inclinarsi e ad orientarsi parallelamente al sovrascorrimento, osservabile nei pressi del M.

La Casina e che attraversa in senso NordOvest-SudEst tutta l'area rilevata. La tipologia del sovrascorrimento è quella classica della piega-faglia (thrust), in cui si osserva un progressivo arcuamento degli strati fino alla verticalizzazione ed al rovesciamento della struttura. Il sovrascorrimento, vergente verso NordEst e a basso angolo di immersione, passa poco a nord dello spartiacque umbro-marchigiano e pone a contatto l'elemento di Pietralunga a Sud con quello di Borgo Pace a Nord. In particolare nella zona in studio è osservabile uno sdoppiamento della struttura. Associate a tali sovrascorrimenti vi sono estese fasce cataclastiche, non chiaramente identificabili in affioramento (anche perché mascherate da accumuli detritici e fasce boschive), ma molto evidenti in sotterraneo.

- Una zona caratterizzata da pieghe e qualche faglia a Nord (zona marchigiana): questa zona mostra una tettonica essenzialmente duttile e rare faglie dirette (una delle quali dà luogo al visibilissimo stacco di pendio a monte di Pian Marzolino, in corrispondenza del tratto finale -lato Marche-della galleria Guinza). La deformazione degli strati è comunque graduale, e determina alcune pieghe a grande scala, il cui asse resta parallelo a quello della catena.

Seguono alcune immagini con esempi delle evidenze in affioramento di alcuni degli aspetti geostrutturali appena descritti.



Fig. 14: Lungo la strada SP 200 nei pressi dell'imbocco della galleria lato-Umbria: Piccola faglia (A) che sblocca il regolare andamento degli strati di Marnoso-Arenacea immergenti a W-SW (250°)



Fig. 15: Ripresa lungo il versante sinistro del Fosso della Guinza. Le ellissi gialle evidenziano la forte inclinazione degli strati di Marnoso-Arenacea, sul fianco sud-ovest della sinclinale di muro ("footwall") sotto al sovrascorrimento dell'Elemento di Pietralunga su quello di Borgo Pace. La linea tratteggiata individua, approssimativamente, la traccia del piano assiale della sinclinale. Sullo sfondo, la serie di strati ripresi nella figura 6.



Fig. 16: In primo piano (A), strati verticali con tendenza al rovesciamento sulla sinistra, al tetto (“hanging wall”) del sovrascorrimento. L’erosione selettiva lascia in rilievo gli strati arenitici, più resistenti. In secondo piano (B), gli strati evidenziati nella fig. 15. Tra i due affioramenti, passa la linea (o fascia) di sovrascorrimento, all’incirca lungo la valle che li separa.



Fig. 17: La foto inquadra, da NW, l'area sotto cui si sviluppa la parte finale, lato-Marche, della galleria. È ben visibile (A) la scarpata, di probabile origine tettonica (faglia o importante diaclasi) e a direzione appenninica, che delimita il "glacis" di Pian Marzolino (a sinistra). Sono visibili strati di Marnoso-Arenacea ad imm. SW (244°) (C).

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE (2018)

Per lo studio dei terreni interessati dalle opere si fa particolare riferimento ai risultati del programma di indagini in sito ed in laboratorio pianificato ad hoc nell'ambito della corrente fase di progettazione del sito.

Tale piano di indagine, attuato nel periodo Maggio-Agosto 2018, è stato finalizzato all'identificazione dei modelli di sottosuolo (geologico, idrogeologico, geotecnico, sismico, ecc.) e alla definizione della caratterizzazione geotecnica e geomeccanica di riferimento dei terreni connessi con le opere di progetto.

Le indagini risultano localizzate sia in corrispondenza delle aree maggiormente interessate dalle opere geotecniche esterne di nuova realizzazione (collegamento lato Umbria, collegamento lato Marche), sia lungo il fornice esistente della galleria Guinza. I sondaggi in galleria, in particolare, sono stati eseguiti con inclinazione di 20° verso il basso a partire dal fronte dei by-pass trasversali esistenti da completare.

La Tabella seguente fornisce un quadro di sintesi dei n.7 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel corso di tale campagna, e riporta anche i piezometri installati, nonché le prove svolte e i campioni recuperati in avanzamento con la perforazione. I sondaggi sono stati spinti fino alla profondità massima di 20.0m. I sondaggi S1÷S4 sono, appunto, i fori suborizzontali eseguiti in galleria.

Sondaggio	Perforazione	Profondità metri	Camp. Rim.	Camp. Amb.	Camp. Amb. Rif.	Prove S.P.T.	Prove Lugeon	Prove Dilatom.	Strumentazione (m)
S1	Carotaggio*	20,00	2	1	1	-	1	-	-
S2	Carotaggio*	20,00	2	1	-	-	-	1	-
S3	Carotaggio*	20,00	2	1	1	-	-	-	-
S4	Carotaggio*	18,00	2	1	-	-	1	1	-
S10	Carotaggio	20,00	3	-	-	1	-	-	-
S12p	Carotaggio	16,70	3	2	-	1	-	1	Piezometro T.A. 2" a 16,70 m
S13p	Carotaggio	18,00	3	1	1	3	-	1	Piezometro T.A. 2" a 18,00 m

(*) Inclinati di 20° rispetto all'orizzontale.

Oltre ai sondaggi, sono state eseguite anche le seguenti indagini:

- n.1 stendimento geofisico con tecnica M.A.S.W. (M1);
- n.6 stendimenti geofisici con il metodo della sismica a rifrazione con rilievo delle onde di compressione P e di taglio polarizzate orizzontalmente SH;
- n. 4 pozzetti esplorativi di profondità compresa fra 1.0 e 2.0m, con l'effettuazione di n.4 prove di carico su piastra statiche.

La tabella seguente fornisce un quadro riassuntivo delle prospezioni a rifrazione.

ID	DESCRIZIONE	LUNGHEZZA TOT. STENDIMENTO
REF_R1_MONTE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R1_VALLE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R2_P	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 3,50 m	84 m
REF_R2_S	Prospezione sismica a rifrazione in onde S per distanza intergeofonica di 3,50 m	84 m
REF_R3_MONTE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m
REF_R3_VALLE	Prospezione sismica a rifrazione in onde P per distanza intergeofonica di 5 m	120 m

Inoltre nel presente studio si fa riferimento ai risultati di una campagna di indagine geognostica eseguita nel 1999 durante la fase di realizzazione del Lotto 3; l'ubicazione delle indagini è riportata nella carta geologica e nel profilo geostrutturale mentre le stratigrafie sono riportate in allegato.

7_ ASPETTI GEOSTRUTTURALI (RILIEVI GEOMECCANICI LATO - UMBRIA)

7.1 PREMESSA

Poiché la caratterizzazione geomeccanica della Formazione Marnoso-Arenacea riveste importanza per la progettazione delle opere all'aperto del tratto di collegamento alla viabilità esistente sul lato – Umbria, è stato eseguito un rilievo geomeccanico su due stazioni di rilievo (o *scan-lines*) ubicate lungo il tracciato.

Per caratterizzare un ammasso roccioso a comportamento rigido dal punto di vista meccanico è necessario eseguire una serie di operazioni che, nel loro insieme, costituiscono il rilievo geomeccanico, secondo questo sistema, la classificazione dell'ammasso roccioso utilizza i seguenti parametri:

Resistenza della roccia alla compressione monoassiale;

RQD (Rock quality designation);

Spaziatura delle discontinuità;

Condizioni delle discontinuità;

Condizioni idrogeologiche;

Orientamento delle discontinuità.

A ciascun punto sopra indicato equivale un valore numerico; valori più alti indicano migliori condizioni della roccia e quindi una maggiore stabilità del versante analizzato. Alla presente nota sono allegate tutte le schede che riportano i valori finali della qualità dell'ammasso roccioso e la disposizione degli elementi strutturali identificati nella fase di rilevamento svolto in campagna all'interno del reticolo di Schimdt.

7.2 METODO DI RILIEVO ED ANALISI

I rilievi sono stati condotti secondo la classificazione tecnica di Bieniawski (1989) che fornisce un valore numerico derivato dalla somma di indici parziali

stimati attraverso la valutazione qualitativa o quantitativa di parametri relativi allo stato dell'ammasso roccioso BRMR.

All'indice BRMR può essere applicato un indice correttivo che tiene conto dell'orientamento dei giunti rispetto all'opera ricavando quindi l'indice RMR.

PARAMETRI			INTERVALLI DI VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale(Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Non applicabile		
		Compressione monoassiale(MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Indice		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Indice		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI (m)		>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	<0,06		
	Indice		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia non alterate	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia leg.alterate	Superfici scabre. Apertura <1mm. Pareti roccia molto alterate	Superfici lisce o laminate o riempimento<5m m o apertura 1-5mm. Giunti continui	Riempimento tenero con spessore >5mm o giunti aperti>5 mm. Giunti continui		
	Indice		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m di lunghezza del tunnel (litri/min)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapporto Pressione acqua nei giunti/Pressione naturale in sito	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
		Condizioni generali	Giunti asciutti	Umidi	Bagnati	Stillicidio	Venute d'acqua		
	Indice		15	10	7	4	0		

Il valore di RMR può essere correlato al grado di qualità dell'ammasso secondo la classificazione proposta da Bieniawski:

RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITA'	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima

Ai fini della parametrizzazione geomeccanica, si farà riferimento all'indice **GSI** (*Geological Strength Index*) così definito:

$$GSI = BRMR-5 = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 - 5$$

dove:

A1 = resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta;

A2 = indice RQD (Rock Quality Designation);

A3 = spaziatura dei giunti;

A4 = condizioni dei giunti (alterazione delle pareti, scabrezza, persistenza, apertura e materiale di riempimento);

A5 = condizioni idrauliche dei giunti (valore posto sempre pari a 15).

Tale relazione è da ritenersi valida per $BRMR > 23$.

Il GSI, introdotto da Hoek nel 1994, rappresenta in forma più adeguata le caratteristiche dell'ammasso roccioso, non tenendo conto di quei parametri legati alle condizioni al contorno quali: fattori di correzione relativi all'orientamento delle discontinuità rispetto alla giacitura del versante o dovuti alla presenza d'acqua o ancora fattori di riduzione legati alle specifiche condizioni di carico presenti.

Il metodo propone quindi una tabella sintetica che fornisce il valore di GSI a partire dalla struttura della roccia e dalle condizioni delle superfici di discontinuità. L'indice può teoricamente variare tra il valore 10 (per rocce particolarmente scadenti) e 100 (per roccia intatta); un punteggio di GSI al di sotto di 25 identifica un ammasso roccioso di qualità molto scadente.

Nel 2000 e nel 2007, *Marinos* e *Hoek* hanno messo a punto uno schema in modo da facilitare la determinazione del Geological Strength Index di un ammasso costituito da rocce flyschoidi (quali quelle presenti nell'area rilevata), sempre in base alla struttura della roccia e dalle condizioni delle superfici di discontinuità.

Quella che segue è la versione del 2007.

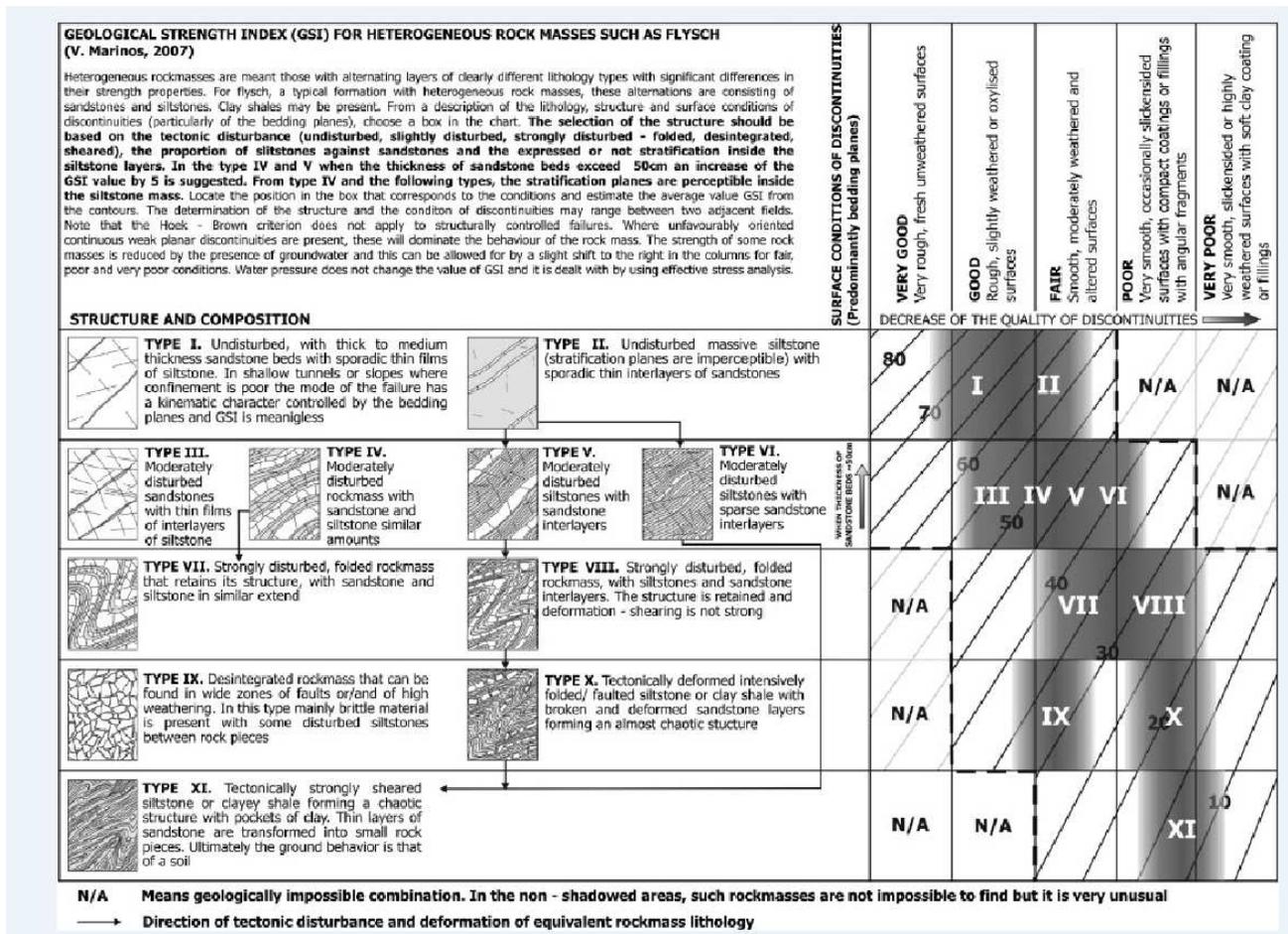


Fig. 18: Tabella sintetica per la determinazione speditiva dell'indice GSI, per rocce flyschiodi (Marinos, Hoek – 2007)

Per completezza, sono state comunque rilevate le giaciture dei sistemi di discontinuità, allo scopo di eseguire anche una analisi cinematica della possibilità di dissesto delle scarpate naturali o a seguito di scavo.

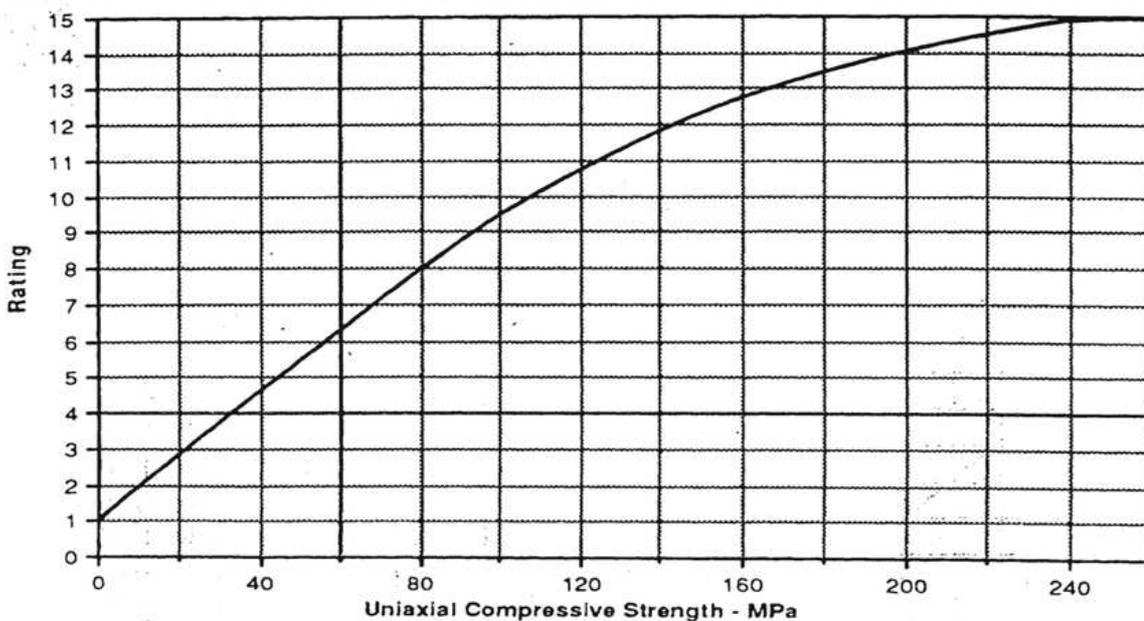
L'orientazione dei piani di discontinuità delle famiglie viene rappresentata attraverso opportune proiezioni stereografiche. È buona norma comunque, prima di iniziare l'esecuzione del rilievo dei dati, individuare subito i maggiori sistemi di discontinuità, in base al loro orientamento generale nello spazio, e misurare quindi le giaciture dei giunti procedendo famiglia per famiglia.

Per il valore dell'indice parziale A1 (Resistenza a compressione uniassiale), sono stati utilizzati sia i dati riportati nel progetto Geodata del 1993, sia quelli ottenuti nel corso della attuale campagna geognostica; questi ultimi sono stati considerati come dei limiti superiori, il valore scelto (tra 20 e 25 Mpa) tiene conto del fatto che la classificazione si riferisce ai metri più superficiali ed alterati.

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

Definita la resistenza a compressione è possibile ricavare il valore del primo parametro A1, è possibile utilizzare il grafico in alternativa delle formule da esso derivati (Fig. 19 e 20), proposti da Bieniawski (1989).

CHART A Ratings for Strength of Intact Rock



VALORE DI S_u (MPa)	EQUAZIONE
$\leq 44,5$	$A1 = \frac{4}{44,5} S_u + 1$
44,5 ÷ 93,75	$A1 = \frac{4}{49,25} S_u + 1,368$
93,75 ÷ 140	$A1 = \frac{3}{46,25} S_u + 2,919$
140 ÷ 180	$A1 = 0,0375 S_u + 6,75$
180 ÷ 240	$A1 = 0,025 S_u + 9$
> 240	$A1 = 15$

Fig. 19: Abaco per valutazione di A1 da compressione uniassiale e formule utilizzate

Qualora si utilizzi lo Standard ISRM si usa la tabella proposta da Bieniawski nell'ultima versione del sistema (1989):

S_u (MPa)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
COEFFICIENTE A1	15	12	7	4	2	1	0

Fig. 20: A1 da compressione uniassiale (Bieniawski, 1989)

Valore di A2 (RQD)

Se si effettuano sondaggi e possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente A2, dal recupero di percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

In mancanza di carote di sondaggio, RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura. Dalla relazione di Palmstrom (1982) si ha:

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

dove J_v è il numero di fratture per metro cubo di roccia.

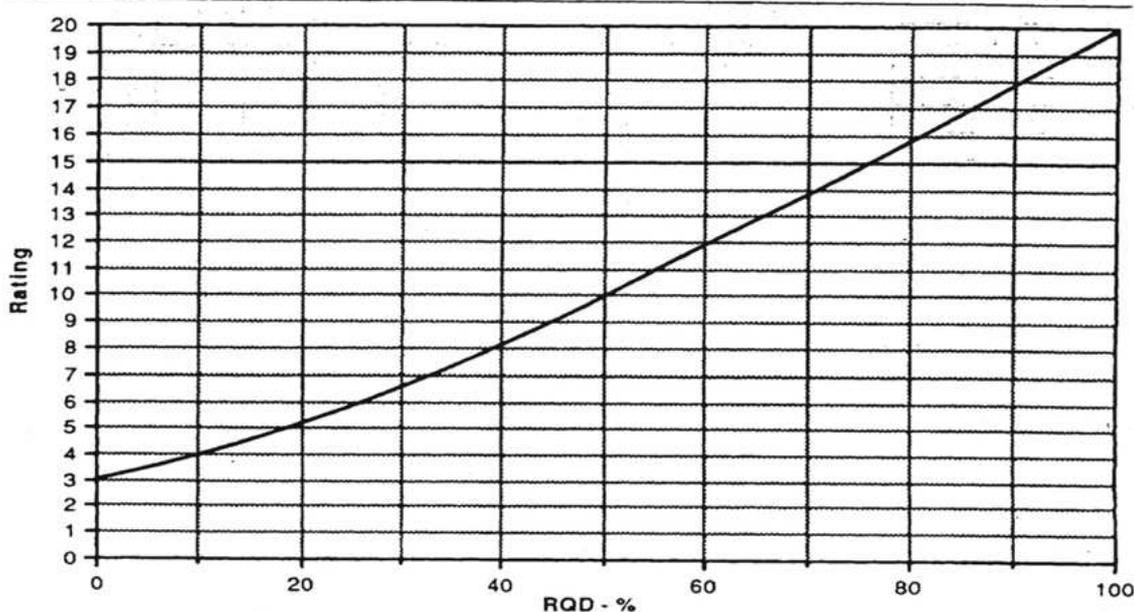
In forma alternativa RQD si può ricavare dalla formula di Priest e Hudson (1981):

$$RQD = 100 e^{(-0,1 n)} (0,1 n + 1)$$

con n numero medio di giunti per metro.

Calcolato RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente A2 il grafico proposto da Bieniawski (1989) o in alternativa mediante le equazioni che da esso derivano (Figura 21).

CHART B Ratings for RQD



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

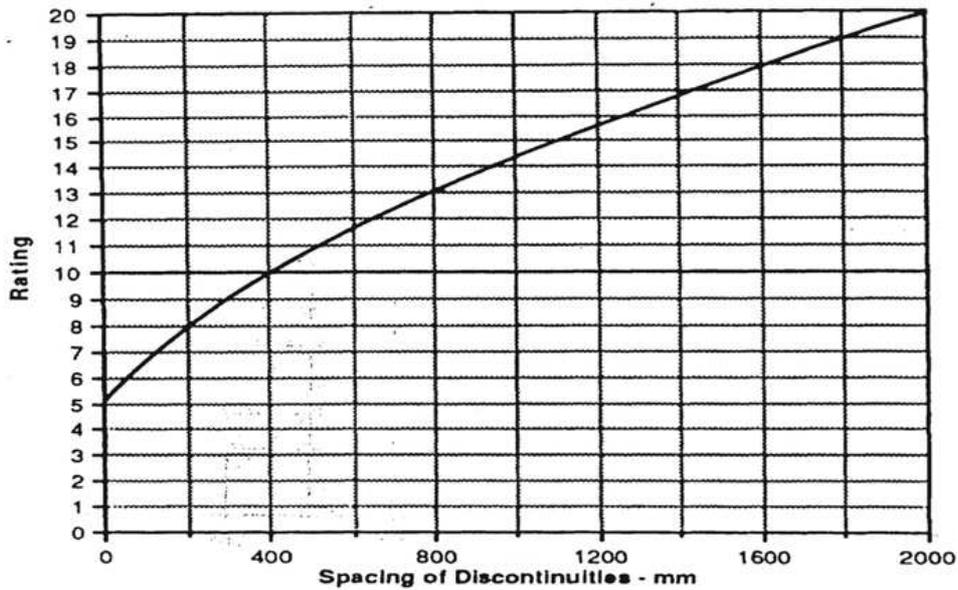
VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
<= 26,5	$A2 = \frac{3}{26,6} RQD + 3$
26,5 ÷ 39	$A2 = \frac{2}{12,4} RQD + 1,71$
39 ÷ 76,6	$A2 = \frac{7}{37,6} RQD + 0,739$
> 76,6	$A2 = \frac{5}{23,4} RQD - 1,367$

Fig. 21: Abaco per valutazione di A2 da RQD e relative formule

Valore di A3

Una volta calcolata la spaziatura media, cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti misurata perpendicolarmente alle discontinuità stesse, è possibile ricavare il valore del coefficiente A3, mediante il grafico in Figura 22 o in alternativa con le formule indicate.

CHART C Ratings for Discontinuity Spacing



SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
<= 0,2	$A3 = 15s + 5$
0,2 ÷ 0,4	$A3 = 10s + 6$
0,4 ÷ 0,66	$A3 = 7,752s + 5,9$
0,66 ÷ 0,94	$A3 = 7,067s + 7,35$
0,94 ÷ 1,6	$A3 = 6,07s + 8,288$
1,6 ÷ 2,0	$A3 = 5s + 10$
> 2,0	$A3 = 20$

Figura 22: Abaco per valutazione di A3 da spaziatura e relative formule

Valore di A4 (Condizioni delle discontinuità)

Determinare dalle tavole di classificazione di Bieniawski il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità, invece, risulta molto soggettivo. Perciò per valutare correttamente A4 conviene procedere sommando alcuni parametri numerici attribuibili alla persistenza del giunto, all'apertura del giunto, alla rugosità dello stesso, all'alterazione delle pareti, e al materiale di riempimento:

$$A4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

I valori da assegnare sono:

V1 - Persistenza del giunto

La persistenza è definita come il rapporto tra l'estensione reale della superficie di discontinuità e l'area complessiva sulla quale la medesima si sviluppa. Tale parametro è uno dei più importanti per le discontinuità, ma è anche uno dei più difficili da misurare, in quanto generalmente risulta difficoltosa la valutazione dell'estensione sul fronte di esposizione. Le superfici esposte sono piccole rispetto all'area o alla lunghezza della discontinuità; nel caso specifico la persistenza è stata approssimativamente quantificata osservando le lunghezze delle tracce delle discontinuità sulla superficie esposta.

Persistenza (m)	V1
<1	6
1÷3	4
3÷10	2
10÷20	1
>20	0

V2 - Apertura del giunto

L'apertura di una discontinuità è la distanza media che separa le due pareti di roccia sana. L'apertura dei giunti di solito è di pochi micron, aperture maggiori sono dovute ad alterazione vicino alla superficie, a dissoluzione da parte delle acque che hanno circolato nel giunto oppure nei fronti di scavo. Le aperture delle discontinuità sono in genere maggiori vicino alla superficie e diventano più serrate con l'aumento della profondità; questo fatto deve essere tenuto sempre ben presente in modo da non sottostimare le qualità degli ammassi in profondità.

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

Apertura (mm)	V2
Completamente Chiuso	6
<0.1	5
0.1÷1	4
1÷5	1
>5	0

V3 – Rugosità del giunto

Le caratteristiche geometriche delle pareti dei giunti condizionano le caratteristiche di resistenza al taglio. È possibile identificare nella rugosità, in relazione alla scala di osservazione, l'ondulazione dell'andamento del profilo (grande scala) e la scabrezza (piccola scala) che esprime l'irregolarità del profilo rispetto alla linea media che rappresenta l'ondulazione. Nel caso specifico, la scabrezza relativa alle superfici di discontinuità è stata riportata nelle schede relative agli stendimenti realizzati per il rilievo geostrutturale eseguito in sito.

Rugosità	V3
Molto rugosa	6
Rugosa	5
Leggermente rugosa	3
Liscia	1
Levigata	0

V4 – Alterazione delle pareti

Alterazione	V4
Non alterate	6
Leggermente alterate	5
Mediamente alterate	3
Molto Alterate	1
Decomposte	0

V5 – Riempimento delle discontinuità

Il riempimento è il materiale che occupa l'interno delle discontinuità, tra i suoi due lembi. Il materiale di riempimento generalmente presenta un chimismo simile a quello della roccia incassante – da cui deriva per processi di alterazione – ed è pertanto evidente come la resistenza meccanica dell'ammasso dipenda in gran parte dalle caratteristiche di tale materiale; il riempimento può anche essere legato della deposizione fisica o chimica delle acque circolanti. In genere presenta caratteristiche meccaniche maggiormente scadenti rispetto alla roccia intatta. Tipici materiali di riempimento sono sabbie, limi, argille, brecce, miloniti; talvolta sono presente vene di quarzo e calcite che sono "saldate" alla roccia in corrispondenza dei due lembi.

Riempimento (mm)	Riempimento	V5
-	Assente	6
<5	Compatto	4
>5	Compatto	2
>5	Soffice	2
>5	Soffice	0

Come sopra accennato, alla definizione dell'indice GSI non concorrono gli ulteriori parametri correttivi (A5 per le condizioni idrauliche, A6 per l'orientazione delle discontinuità); per meglio dire, l'indice A5 viene sempre posto pari a 15 (roccia asciutta).

Ai fini della determinazione dell'indice RMR di Bieniawski, questi due parametri assumono invece una grande importanza.

Valore di A5

La filtrazione dell'acqua nell'ammasso roccioso è rappresentata principalmente dal flusso idrico presente all'interno delle discontinuità. Il flusso idrico è condizionato dall'apertura delle discontinuità stesse e dalla tipologia del materiale di riempimento. Questo parametro è importante dal punto di vista della stabilità dei versanti, in quanto la presenza di acqua all'interno delle discontinuità può ridurre le caratteristiche di resistenza dell'ammasso roccioso.

L'entità della filtrazione può essere stimata sulla base di schemi descrittivi di natura qualitativa. Dalle tabelle fornite da Bieniawski si ottiene:

Condizioni generale dei giunti	Asciutti	Umidi	Bagnati	Stillicidio	Venute d'acqua
Coefficiente A5	15	10	7	4	0

Nel presente studio, benché la roccia si presentasse asciutta, ai fini della definizione dell'indice RMR, trattandosi di scarpate all'aperto, è stata comunque considerata la situazione a seguito di eventi piovosi, cioè con giunti bagnati.

Valore di A6

Per l'orientamento delle discontinuità si applica un coefficiente di correzione A6, per la stima del quale si può far riferimento alla seguente tabella:

Orientamento dei giunti		Molto Favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto Sfavorevole
Gallerie	Indice	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni		0	-2	-7	-15	-25
Versanti		0	-5	-25	-50	-60

I dati ricavati dal rilievo geomeccanico sono stati utilizzati per la determinazione della qualità dell'ammasso roccioso, esprimibile attraverso appositi indici, che hanno lo scopo di permettere una valutazione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso nel suo complesso.

7.3 RISULTATI DELLE STAZIONI GEOMECCANICHE

7.3.1 __ Nota metodologica

Per la determinazione di RMR, è molto importante una corretta valutazione degli indici che riguardano, direttamente o indirettamente, la frequenza e le condizioni delle discontinuità (A2, A3, A4).

Valore di A2

A2 dipende dallo RQD, per la cui determinazione ci si è avvalsi della relazione di Priest e Hudson (vedi par. 6.2). Il numero di giunti per metro lineare (n) deriva da una media dei giunti lungo le direzioni perpendicolare alle famiglie di giunti individuate. Avendo anche a disposizione il sondaggio S10 eseguito nei pressi delle stazioni geomeccaniche, si è notata una buona corrispondenza tra lo RQD calcolato e quello rilevato nel sondaggio, entro i primi 5 m di profondità.

Valore di A3

A3 è strettamente collegato ad A2, per come è stato ricavato quest'ultimo. È chiaro che la spaziatura media non è una media di quelle relative alle singole famiglie, ma sarà sempre minore, in quanto lungo qualsiasi direzione saranno presenti più famiglie di giunti; tuttavia, se la continuità dei giunti è minore di 1 m, e se essi riguardano solo alcune parti dell'affioramento (ad esempio, la famiglia k4, a giacitura "random", è limitata ai livelli marnosi ed è costituita da fratture di prevalente origine esogena, molto ravvicinate ma molto corte), tale effetto "peggiorativo" sarà mitigato.

Valore di A4

Poiché le diverse famiglie di giunti presentano condizioni leggermente diverse tra loro, il valore è mediato ponderatamente considerando la diversa gerarchia delle discontinuità (essendo la stratificazione il sistema più importante). Analoga considerazione va fatta per il coefficiente correttivo A6.

7.3.2 __ Ubicazione delle stazioni e Tabella di sintesi dei risultati

Nell'immagine seguente, è rappresentata l'ubicazione delle stazioni di rilievo geomeccanico, entrambe nell'area del collegamento lato – Umbria.



Fig. 23: Ubicazione delle stazioni di rilievo geomeccanico (innesto lato – Umbria)

La tabella che segue riassume i risultati delle 2 stazioni geomeccaniche eseguite, rimandando per il dettaglio delle stesse ai successivi paragrafi.

Stazione	Ubicazione	RMR BASE	RMR CORRETTO	CLASSE RMR	GSI	GSI (calc.)
SG1	Uscita Parnacciano progr. 115-135	47	42	III – Discreta	44-49	49
SG2	Uscita Parnacciano progr. 10 - 25	44	39	IV – Scadente	40-45	47

Si può comunque affermare che tutti gli ammassi presenti nell'area di interesse progettuale sono caratterizzati da qualità dell'ammasso in funzione del

valore RMR corretto, comprese tra le classi III (Discreta) e IV (Scadente); il GSI (Geological Strength Index) risulta essere compreso tra 40 e 49.

Si riportano allegate alla presente delle schede di sintesi con le caratteristiche geomeccaniche degli affioramenti rilevati.

7.3.3 __ Stazione Geomeccanica 1

La stazione geomeccanica SG1 è stata eseguita lungo una scan-line di 5 m, ubicata nei pressi dell'entrata nella futura rotatoria dello svincolo lato – Parnacciano. L'analisi di compatibilità cinematica è stata eseguita assumendo la attuale giacitura media della scarpata (direzione N20°E, immersione 110°/50°).

L'affioramento è costituito dalla Formazione Marnoso-Arenacea – membro FMA4b, con rapporto A/M = ¼; si presenta interessato da una stratificazione molto regolare, ad immersione 225°/20°; sono state individuate altre due famiglie di giunti (diaciasi), che interessano principalmente i livelli di arenaria e tendono ad esaurirsi all'interno dei livelli marnosi adiacenti; questi sono interessati da una famiglia di giunti "random" corti e ravvicinati.

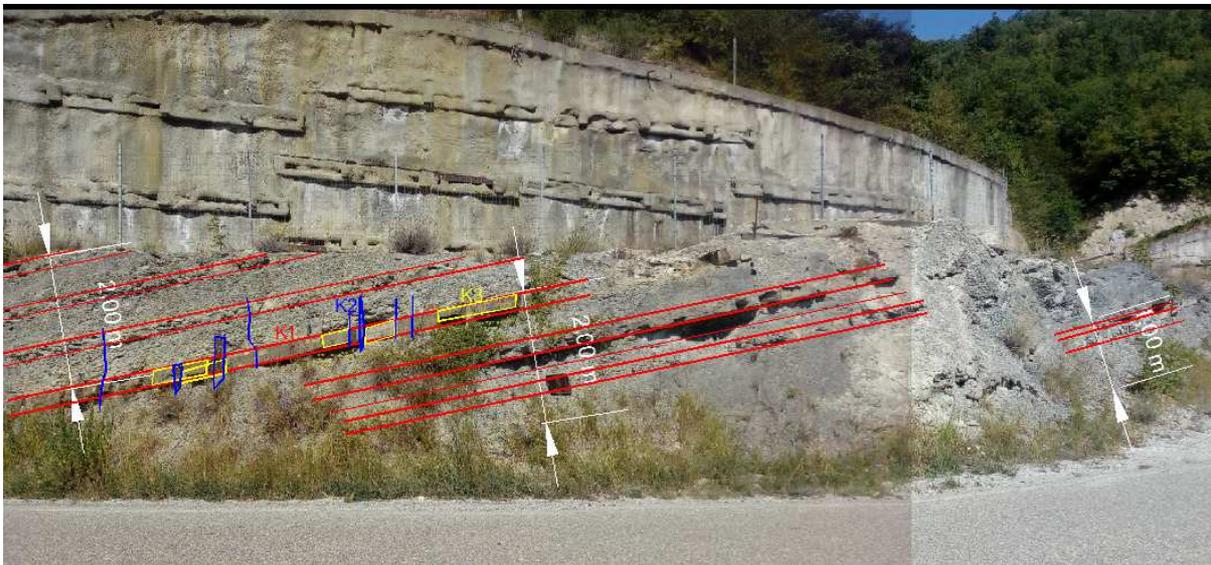


Fig. 24: Scan-Line della stazione SG1 (L = 5 m) con indicazione esemplificativa dei sistemi di giunti

Segue la tavola con la determinazione dell'indice GSI.

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

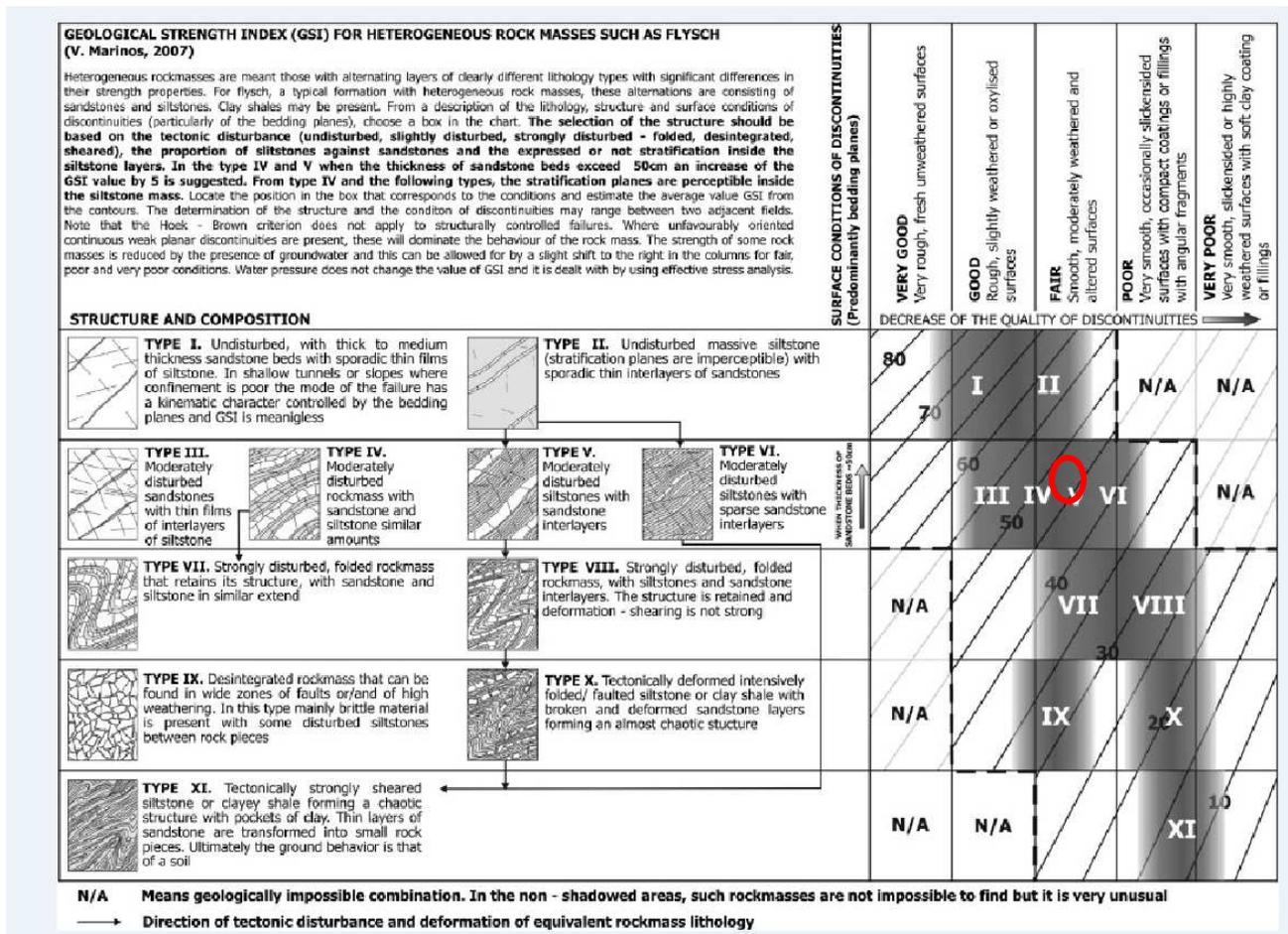


Fig. 25: Tabella sintetica per la determinazione speditiva dell'indice GSI, per la stazione SG1

Si riporta la scheda sintetica della determinazione degli indici di Bieniawski (RMR – BRMR)

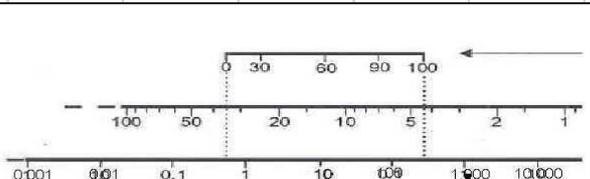
DESCRIZIONE
<p>Alternanza di marne siltose grigie e di arenarie grigio/giallastre per alterazione, in strati regolari. Le marne si presentano in banchi di spessore da 40 a 80 cm, sono alterate e superficialmente disfatte in elementi centimetrici. Le arenarie, a granulometria medio-fine con silt, si presentano in strati di spessore da 15 a 40 cm sono più competenti e, a causa della maggiore rigidità, sono attraversate da sistemi di fessurazione secondaria che talvolta proseguono nei limitrofi strati marnosi, dove scompaiono. Spesso il passaggio verso lo strato marnoso sottostante è segnato da un sottile livello di arenaria laminata. Il sistema di giunti più importante (stratificazione) presenta giacitura a favore di stabilità globale, mentre</p>

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

risultano potenzialmente instabili poliedri di dimensioni decimetriche (8 - 20 dmc).

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA						
Classe	R	σ_c (M Pa)	is 50 PLT		Coeff.	
Molto alta	> 59	> 250	> 10		15	3.5
Alta	43-58	100-250	4-10		10-15	
Medio - alta	30-42	50 - 100	2-4		6-10	
Moderata	16-29	25 - 50	1-2	x	3-6	
Bassa	0-15	5-25	<1		2-3	
Molto bassa	0	1-5			1	

R2 - RQD						
Qualità	%	s (cm)*		Coeff.		* Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	60-200		18-20	13.5	
Buona	75-90	20-60		15-18		
Discreta	50-75	10-20	x	10-15		
Bassa	25-50	6-10		6-10		
Molto bassa	<25	<6		3-6		



RQD%
(discontinuità/m3)
V.R.U. (dm3)

Correlazione tra RQD%, discontinuità per volume di ammasso roccioso (m3) e VRU (Volume Roccioso Unitario) da Palmstrom 2000

VOLUME ROCCIOSO UNITARIO (V.R.U.)			<input type="checkbox"/>	0,2-8 dm3 (sp 6-20 cm)	
<input type="checkbox"/>	> 200 m3 (sp > dcm)	<input type="checkbox"/>	0,2-8 m3 (sp 60-200 cm)	<input type="checkbox"/>	0,08-0,2 dm3 (sp 2-6 cm)
<input type="checkbox"/>	8-200 m3 (sp 200-600 cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	8-200 dm3 (sp 20-60 cm)	<input type="checkbox"/>	< 8 cm3 (sp < 2 cm)

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'										
				k1 - strat	k2	k3	k4 (rand.)		Coeff.	
Molto larga	sopra 2 m								20	6
Larga	0.6 - 2 m					x			12-19	
Moderata	20 - 60 cm			x	x		x		8-12	
Stretta	6-20 cm								6-8	
Molto stretta	< 6 cm								5	

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'										
<i>(i valori nell'ultima colonna sono mediati ponderatamente considerando la diversa gerarchia delle discontinuità)</i>										
				k1 - strat	k2	k3	k4 (rand.)		Coeff.	
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m			x	x	x		6	3.5
	Bassa	1 - 3 m							4	
	Media	3 - 10 m							2	
	Alta	10 - 20 m		x					1	
	Molto alta	> 20 m							0	
APERTURA	molto chiusi	nessuna							6	3.4
	chiusi	< 0.1 mm							5	
	moderat. aperti	0.1 -1.0 mm		x	x				4	
	aperti	1 - 5 mm				x			1	
	molto aperti	> 5 mm							0	
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20							6	3
	rugose	12-14 14-16		x	x	x			5	
	legg. rugose	8-10 10-12							3	
	piane	4-6 6-8							1	
	levigate	0-2 2-4							0	
RIEMPIMENTO	Nessuno				x				6	4.2
	Duro < 5mm			x					4	
	Duro > 5mm								2	
	Molle < 5mm					x			2	
	Molle > 5mm								0	
ALTERAZ.	Non alterata								6	2.6
	Leggermente alterata								5	
	Moderatamente alterata			x	x				3	
	Altamente alterata					x			1	
	Suolo residuale								0	
									tot R4	16.7

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

R6 - CORREZIONE PER L'ORIENTAZIONE					
Immersione		Inclinazione		Coeff.	
perpendicolare alla direzione scarpata	reggipoggio	45-90		0	-5
		20-45		-2	
	franapoggio	45-90		-5	
		20-45		-10	
parallela alla direzione scarpata		45-90		-12	
		20-45		-5	
Qualsiasi		<20		-5	
		Strat		-2	
		K2		-5	
		K3		-10	
		K4		-12	
**il valore è mediato ponderatamente considerando la diversa gerarchia delle discontinuità					

RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARAMETRI					COEFF.	
Resistenza roccia intatta					R1	4
Rock Quality Designation (R.Q.D.)					R2	14
Spaziatura discontinuità					R3	6
Condizioni delle discontinuità					R4	17
Presenza di acqua nella roccia					R5	7
Compensazione orientazione					R6	-5
RMR Corretto						42
CLASSE DI BIENIAWSKI						III
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.		
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20		

Fig. 26: Scheda con le tabelle per la determinazione dei coefficienti parziali e dell'indice RMR, per la stazione SG1

7.3.4 __ Analisi cinematica SG1

Il rilievo ha portato all'individuazione di 4 set di discontinuità:

	k1	k2	k3	k4
tipo	strati	diaciasi	diaciasi	fratt minute
dip dir./dip	225°/20°	215°/85°	304°/88°	<i>random</i>

Il set più importante e pervasivo è il k1 (stratificazione), mentre gli altri riguardano circa la metà del volume roccioso complessivo, in particolare nei livelli arenacei (k2 – k3) e marnosi (k4).

Le discontinuità sono rappresentate nella seguente proiezione stereografica, senza riportare le ciclografiche "medie" come sopra indicate.

In verde è rappresentata la ciclografica del fronte scarpata ed il relativo polo (F)

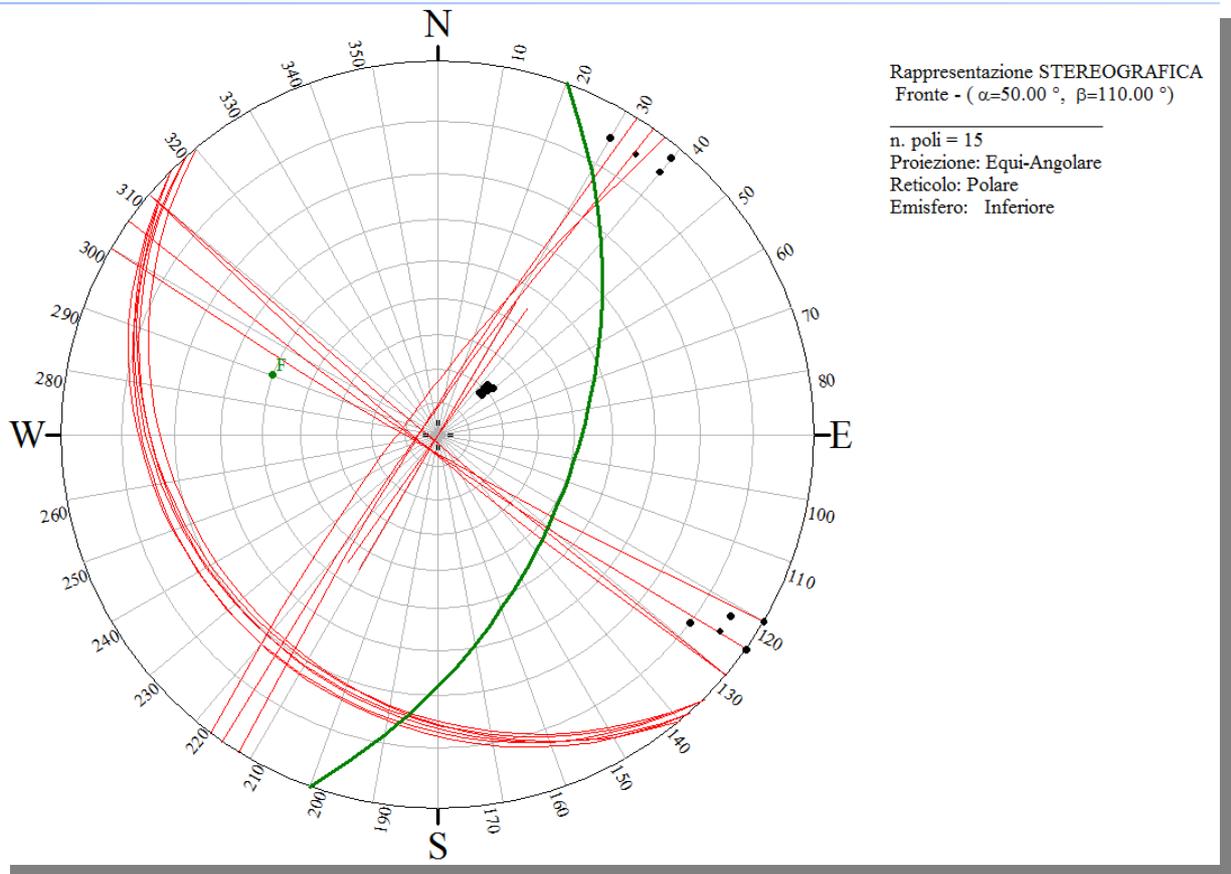


Figura 27: Orientazione delle discontinuità rilevate nella SG1.

L'analisi di instabilità, eseguita con il test di Markland per i meccanismi di scivolamento planare, scivolamento a cuneo e ribaltamento, ha evidenziato compatibilità cinematica per i soli fenomeni di ribaltamento, mentre gli scivolamenti, sia planari che a cuneo, risultano cinematicamente incompatibili.

In ogni caso, i volumi potenzialmente instabili risentono dello sviluppo delle discontinuità (volume elementare), e dunque risultano inferiori a 1 mc, poiché la stratificazione non è coinvolta.

Le analisi esposte si riferiscono ai fronti di scarpata ante-operam, o anche a fronti di scavo che mantengano l'orientazione e la pendenza originarie (cosa che effettivamente risulta dalle sezioni di progetto, all'incirca).

Per gli scivolamenti, è stato assegnato un angolo di resistenza a taglio (su giunto) di 26°, coerentemente con il dato ottenuto da prove sperimentali eseguite da Geodata.

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

Per lo scivolamento planare, si è assunto un angolo limite (tra le direzioni del fronte e della discontinuità) di 20°.

Per lo scivolamento a cuneo, si è assunto un angolo limite (rispetto all'immersione del fronte) di 40°.

Per il ribaltamento, si è assunto un angolo limite (rispetto all'opposto dell'immersione del fronte) di 20°.

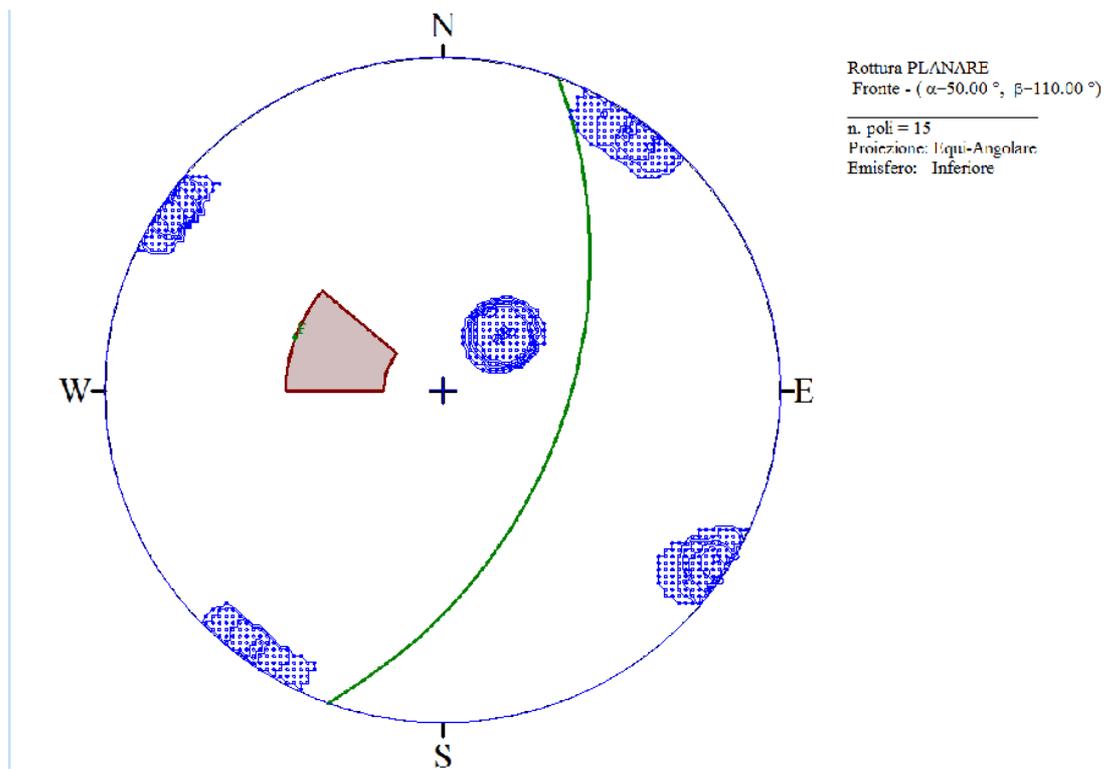


Fig. 28: Stazione SG1 - Compatibilità cinematica per fenomeni di scivolamento planare. I poli delle discontinuità ricadono tutti al di fuori dell'area critica.

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

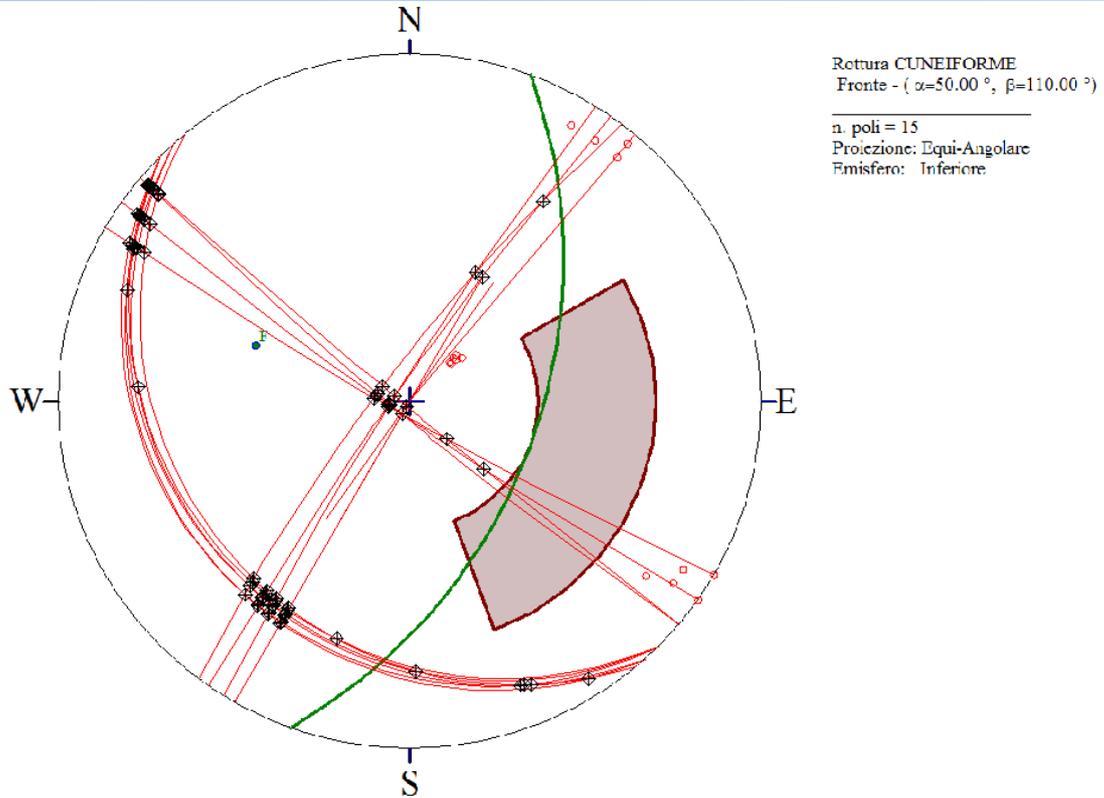


Fig. 29: Stazione SG1 - Compatibilità cinematica per fenomeni di scivolamento a cuneo. I segni neri individuano le intersezioni tra ciclografiche. Esse ricadono tutte esternamente all'area critica.

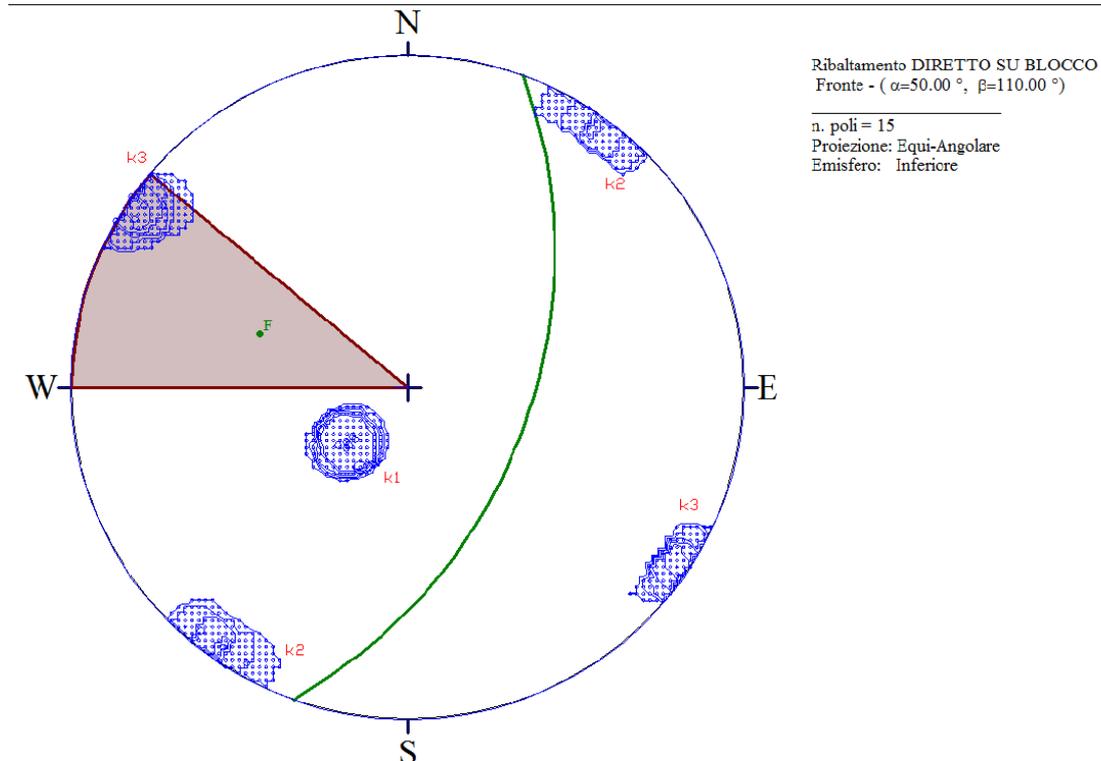


Figura 30: Stazione SG1 - Compatibilità cinematica per fenomeni di ribaltamento. È rappresentato l'addensamento dei reciproci dei poli delle discontinuità. Si ha possibilità di ribaltamento diretto lungo le discontinuità k3.

7.3.5 __ Stazione Geomeccanica 2

La stazione geomeccanica SG2 è stata eseguita lungo una scan-line di 7 m, ubicata lungo la SP 200, all'incirca all'altezza della progr.va 20 - 35 dell'asse principale di progetto. L'analisi di compatibilità cinematica è stata eseguita assumendo la attuale giacitura media della scarpata (direzione N16°E, immersione 106°/50°).

L'affioramento è costituito dalla Formazione Marnoso-Arenacea - membro FMA4b, con rapporto A/M = ¼; si presenta interessato da una stratificazione molto regolare, ad immersione 235°/20°; sono state individuate altre tre famiglie di giunti: due di diaclasi che interessano principalmente i livelli di arenaria e tendono ad esaurirsi all'interno dei livelli marnosi adiacenti, ed una di origine tettonica ("faglia"); è presente un ultimo set di giunti "random" corti e ravvicinati, negli strati marnosi.

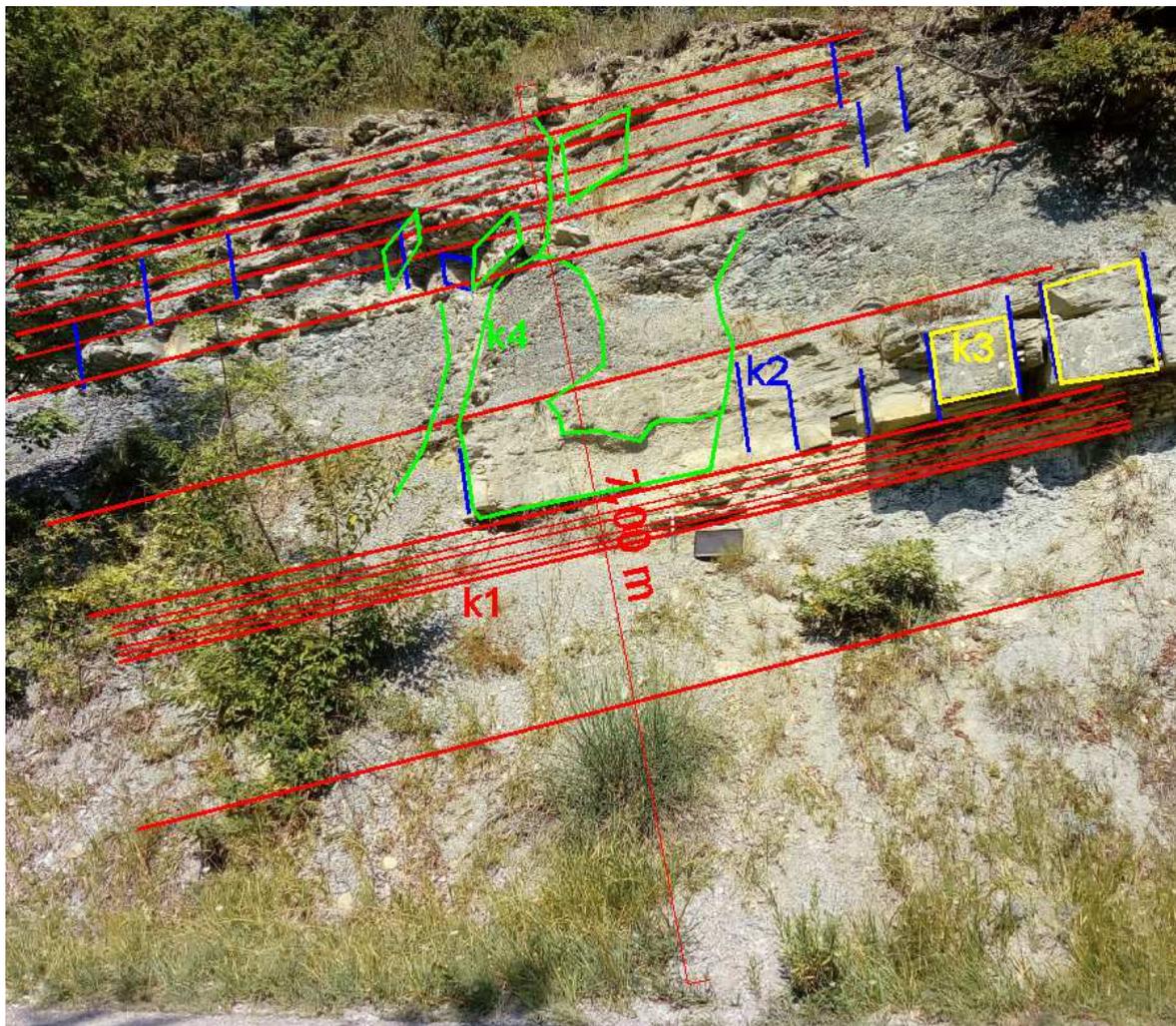


Fig. 31: Scan-Line della stazione SG2 (L = 7 m) con indicazione esemplificativa dei sistemi di giunti



Fig. 32: Particolare della foto precedente con evidenziazione di giunti tettonici pseudo-scistosi ("slickensides"), dalle tipiche strie e ricristallizzazioni calcitiche. Le strie sono indicative di un campo di stress in cui lo sforzo principale massimo era circa orizzontale (regime compressivo)

Segue la tavola con la determinazione dell'indice GSI.

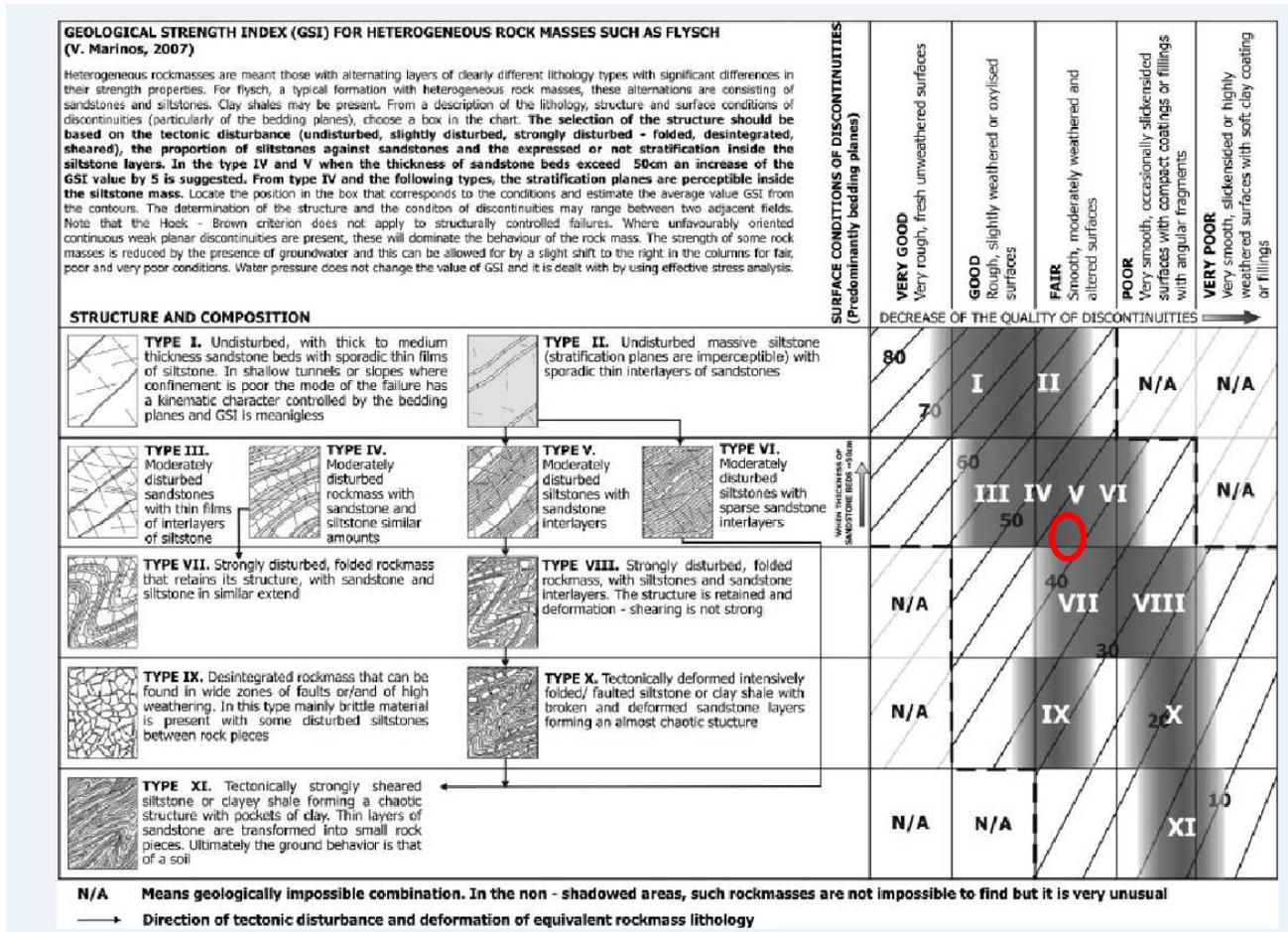


Fig. 33: Tabella sintetica per la determinazione speditiva dell'indice GSI, per la stazione SG2

Si riporta la scheda sintetica con le tabelle per la determinazione degli indici di Bieniawski (RMR – BRMR)

DESCRIZIONE

Alternanza di marne siltose grigie e di arenarie grigio/giallastre per alterazione, in strati regolari. Nella parte alta, fitta alternanza di strati spessi 15 – 20 cm. Nel settore medio-inferiore, le marne si presentano in banchi di spessore da 40 a 80 cm, sono alterate e superficialmente disfatte in elementi centimetrici. I livelli più sottili si presentano laminati. Le arenarie, a granulometria medio-fine con silt, si presentano in strati di spessore da 10 a 40 cm sono più competenti e, a causa della maggiore rigidità, sono attraversate da sistemi di fessurazione secondaria che talvolta proseguono nei limitrofi strati marnosi, dove scompaiono. Spesso il passaggio verso lo strato marnoso sottostante è segnato da un sottile livello di arenaria laminata. Presenza di un sistema di faglia, visibile nella parte alta della scarpata. Il sistema di giunti più importante (stratificazione) presenta giacitura a favore di stabilità globale,

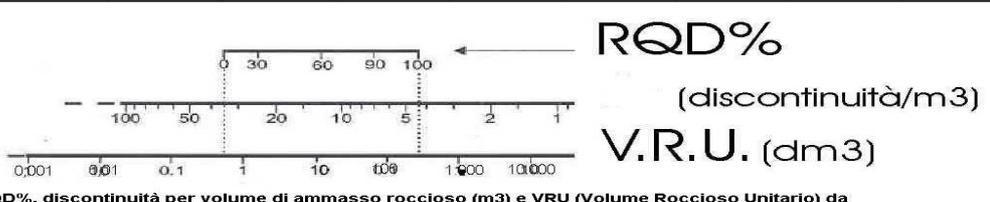
PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

mentre risultano potenzialmente instabili poliedri di dimensioni decimetriche (10 - 30 dmc).

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA					
Classe	R	σ_c (MPa)	is 50 PLT		Coeff.
Molto alta	> 59	> 250	> 10		15
Alta	43-58	100-250	4-10		10-15
Medio - alta	30-42	50 - 100	2-4		6-10
Moderata	16-29	25 - 50	1-2		3-6
Bassa	0-15	5-25	<1	x	2-3
Molto bassa	0	1-5			1

2.96

R2 - RQD					
Qualità	%	s (cm)*		Coeff.	* Priest & Hudson (1976)
Eccellente	90-100	60-200		18-20	14.05
Buona	75-90	20-60		15-18	
Discreta	50-75	10-20	x	10-15	
Bassa	25-50	6-10		6-10	
Molto bassa	<25	<6		3-6	



RQD%
(discontinuità/m3)
V.R.U. (dm3)

Correlazione tra RQD%, discontinuità per volume di ammasso roccioso (m3) e VRU (Volume Roccoso Unitario) da Palmstrom 2000

<input type="checkbox"/> > 200 m3 (sp > dcm)	<input type="checkbox"/> 0,2-8 m3 (sp 60-200 cm)	<input type="checkbox"/> 0,08-0,2 dm3 (sp 2-6 cm)	<input type="checkbox"/> 0,2-8 dm3 (sp 6-20 cm)
<input type="checkbox"/> 8-200 m3 (sp 200-600 cm)	<input checked="" type="checkbox"/> 8-200 dm3 (sp 20-60 cm)	<input type="checkbox"/> < 8 cm3 (sp < 2 cm)	

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'									
			k1 - strat	k2	k3	k4	k5 (rand.)	Coeff.	
Molto larga	sopra 2 m							20	6.34
Larga	0.6 - 2 m				x			12-19	
Moderata	20 - 60 cm		x	x				8-12	
Stretta	6-20 cm		x			x		6-8	
Molto stretta	< 6 cm						x	5	

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'									
<i>(i valori nell'ultima colonna sono mediati ponderatamente considerando la diversa gerarchia delle discontinuità)</i>									
			k1 - strat	k2	k3	k4	k5 (rand.)	Coeff.	
PERSISTENZA	Molto bassa	< 1 m		x	x		x	6	3.3
	Bassa	1 - 3 m				x		4	
	Media	3 - 10 m						2	
	Alta	10 - 20 m	x					1	
	Molto alta	> 20 m						0	
APERTURA	molto chiusi	nessuna						6	2
	chiusi	< 0.1 mm						5	
	moderat. aperti	0.1 - 1.0 mm	x	x				4	
	aperti	1 - 5 mm			x	x		1	
	molto aperti	> 5 mm						0	
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20						6	2.3
	rugose	12-14 14-16						5	
	legg. rugose	8-10 10-12	x	x		x		3	
	piane	4-6 6-8						1	
	levigate	0-2 2-4			x			0	
RIEMPIMENTO	Nessuno			x				6	4
	Duro < 5mm		x			x		4	
	Duro > 5mm							2	
	Molle < 5mm				x			2	
	Molle > 5mm							0	
ALTERAZ.	Non alterata							6	2.3
	Leggermente alterata							5	
	Moderatamente alterata		x	x		x		3	
	Altamente alterata				x			1	
	Suolo residuale							0	
								tot R4	13.9

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO					
Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	σ_w/σ_h		Coeff.	
Asciutta	nessuna	0		15	7
Umida	<10	<0.1		10	
Bagnata	10-25	0,1-0,2		7	
Stillicidio	25-125	0,2-0,5		4	
Venute	>125	>0,5		0	
R6 - CORREZIONE PER L'ORIENTAZIONE					
Immersione		Inclinazione		Coeff.	
perpendicolare alla direzione scarpata	reggipoggio	45-90		0	-5
		20-45		-2	
	franapoggio	45-90		-5	
		20-45		-10	
parallela alla direzione scarpata		45-90		-12	
		20-45		-5	
Qualsiasi		<20		-5	
		Strat		-2	
		K2		-5	
		K3		-10	
		K4		-12	
**il valore è mediato ponderatamente considerando la diversa gerarchia delle discontinuità					
RMR - BIENIAWSKI (1989)					
PARAMETRI					COEFF.
Resistenza roccia intatta	R1				3
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2				14
Spaziatura discontinuità	R3				6
Condizioni delle discontinuità	R4				14
Presenza di acqua nella roccia	R5				7
Compensazione orientazione	R6				-5
RMR Corretto					39
CLASSE DI BIENIAWSKI					III
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.	
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20	

Fig. 34: Scheda con le tabelle per la determinazione dei coefficienti parziali e dell'indice RMR, per la stazione SG2

7.3.6 __ Analisi cinematica SG2

Il rilievo ha portato all'individuazione di 6 set di discontinuità:

	k1	k2	k3	k4	k5	k6
tipo	strati	diaciasi	diaciasi	slickenside	faglia	fratt minute
dip dir./dip	235°/20°	215°/85°	320°/85°	280°/75°	140°/70°	<i>random</i>

Il set più importante e pervasivo è il k1 (stratificazione), mentre gli altri riguardano circa la metà del volume roccioso complessivo, in particolare nei livelli arenacei (k2 – k3) e marnosi (k4).

Le discontinuità sono rappresentate nella seguente proiezione stereografica, senza riportare le ciclografiche "medie" come sopra indicate.

In verde è rappresentata la ciclografica del fronte scarpata ed il relativo polo (F)

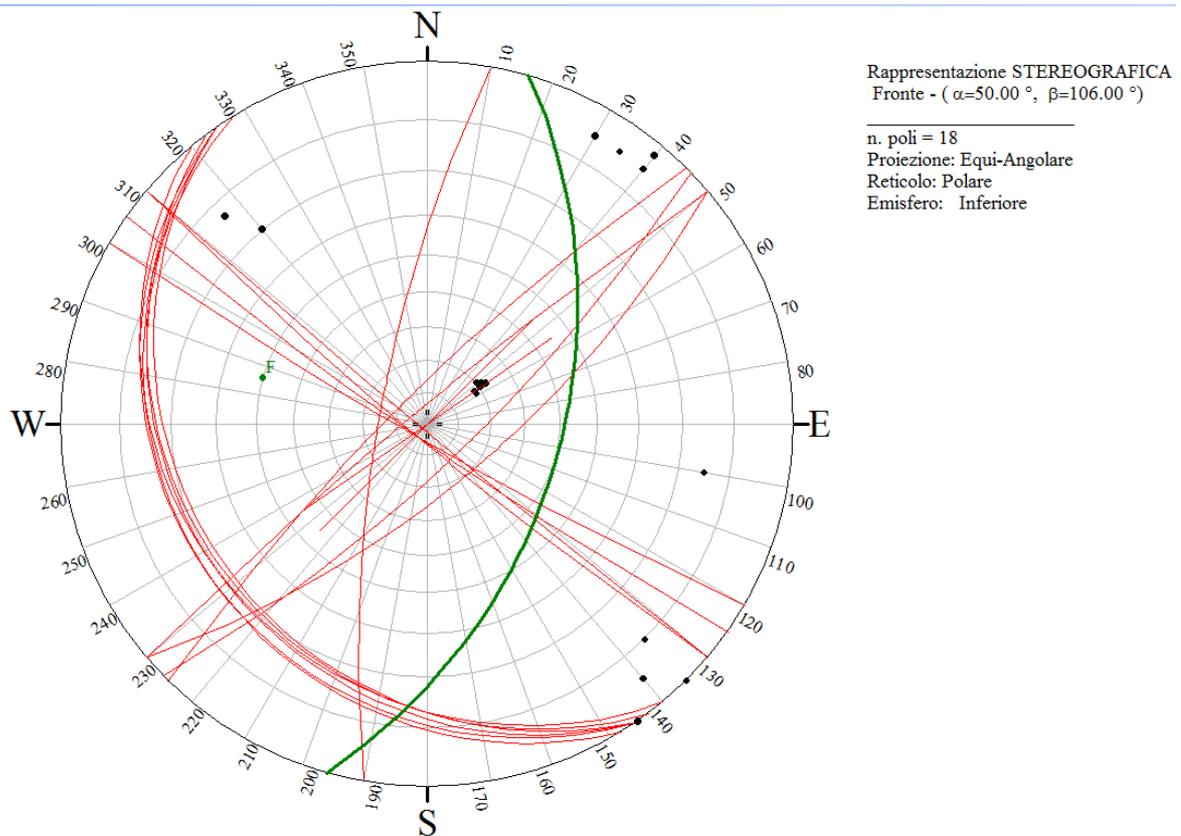


Figura 35: Orientazione delle discontinuità rilevate nella SG2.

L'analisi di instabilità, eseguita con il test di Markland per i meccanismi di scivolamento planare, scivolamento a cuneo e ribaltamento, ha evidenziato compatibilità cinematica per i soli fenomeni di ribaltamento, mentre gli scivolamenti, sia planari che a cuneo, risultano cinematicamente incompatibili.

In ogni caso, i volumi potenzialmente instabili risentono dello sviluppo delle discontinuità (volume elementare), e dunque risultano inferiori a 1 mc, poiché la stratificazione non è coinvolta.

Le analisi esposte si riferiscono ai fronti di scarpata ante-operam, o anche a fronti di scavo che mantengano l'orientazione e la pendenza originarie (cosa che effettivamente risulta dalle sezioni di progetto, all'incirca).

Per gli scivolamenti, è stato assegnato un angolo di resistenza a taglio (su giunto) di 26° , coerentemente con il dato ottenuto da prove sperimentali eseguite da Geodata.

Per lo scivolamento planare, si è assunto un angolo limite (tra le direzioni del fronte e della discontinuità) di 30° .

Per lo scivolamento a cuneo, si è assunto un angolo limite (rispetto all'immersione del fronte) di 40° .

Per il ribaltamento, si è assunto un angolo limite (rispetto all'opposto dell'immersione del fronte) di 20° .

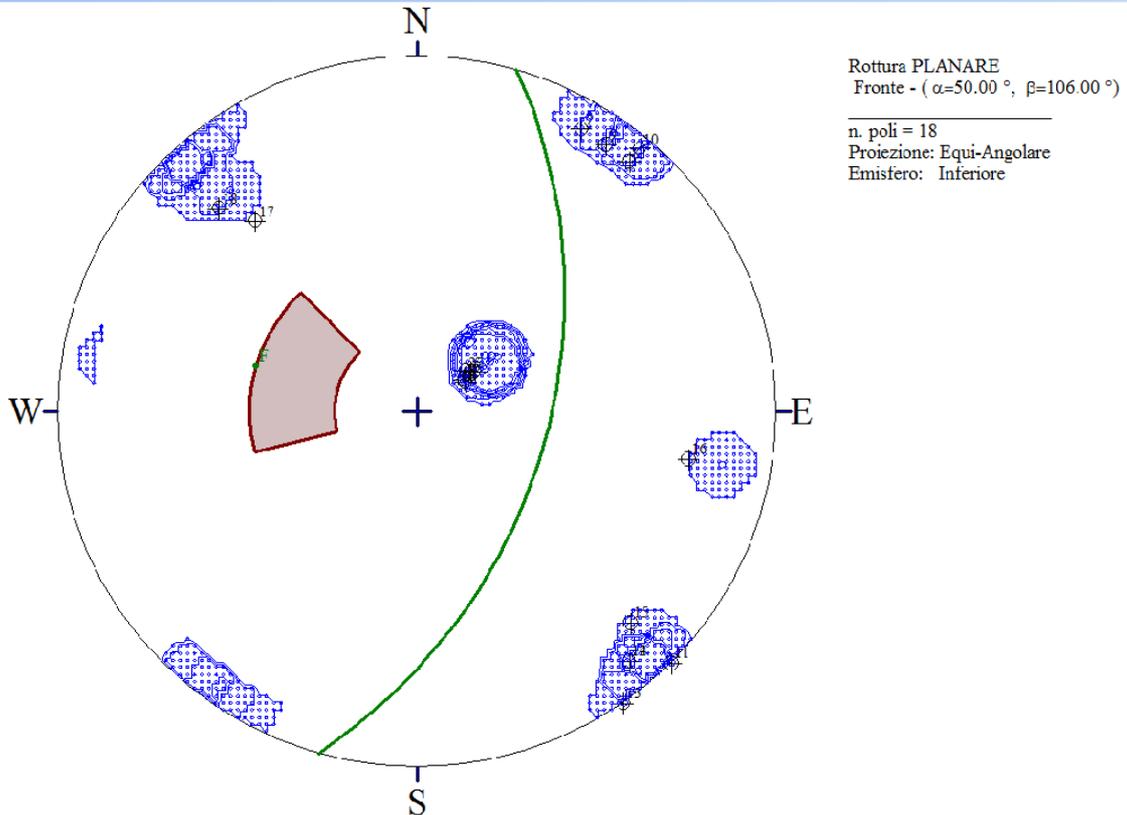


Fig. 36: Stazione SG2 - Compatibilità cinematica per fenomeni di scivolamento planare, considerando un angolo limite (fronte-discontinuità) di 30° . I poli delle discontinuità ricadono tutti al di fuori dell'area critica.

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA

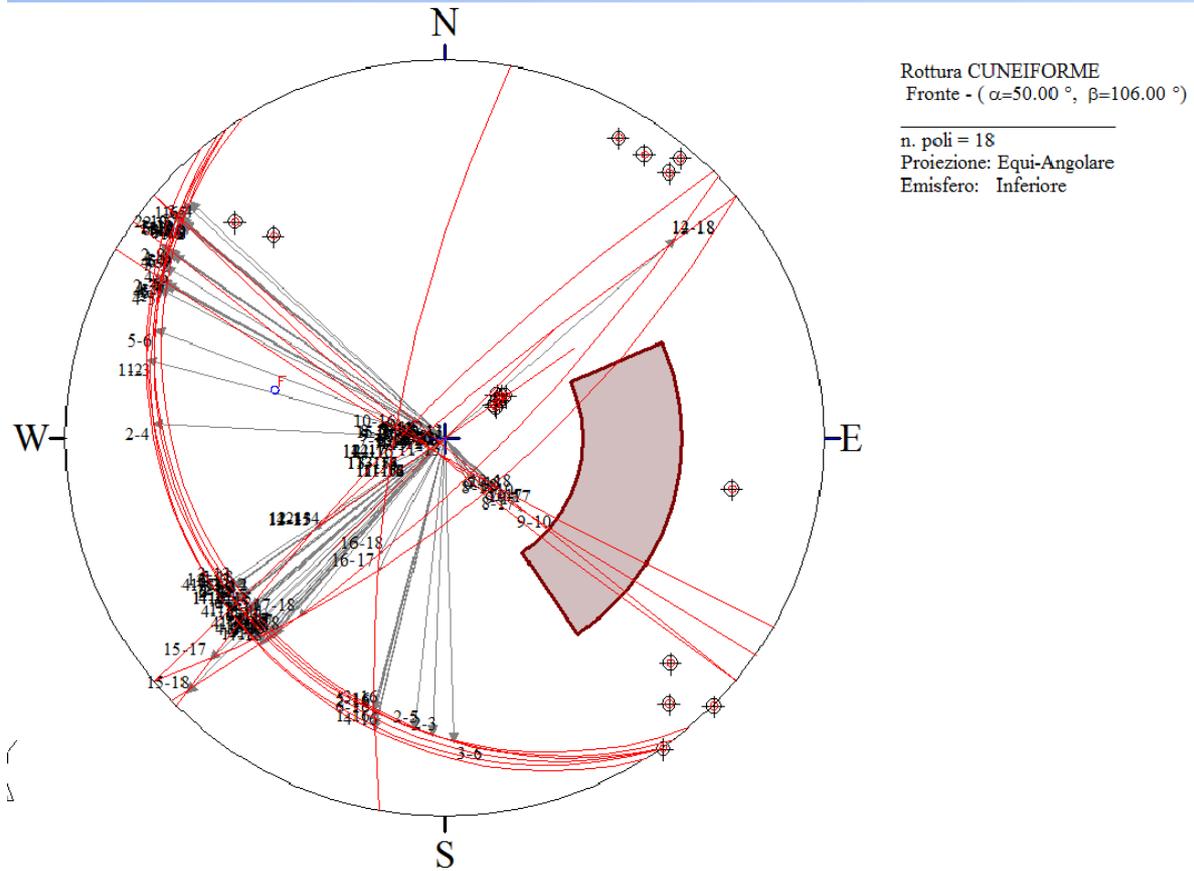


Fig. 37: Stazione SG2 - Compatibilità cinematica per fenomeni di scivolamento a cuneo, considerando un angolo limite (fronte-intersezioni discontinuità) di 40°. Le frecce ed i relativi numeri individuano le intersezioni tra ciclografiche. Esse ricadono tutte esternamente all'area critica.

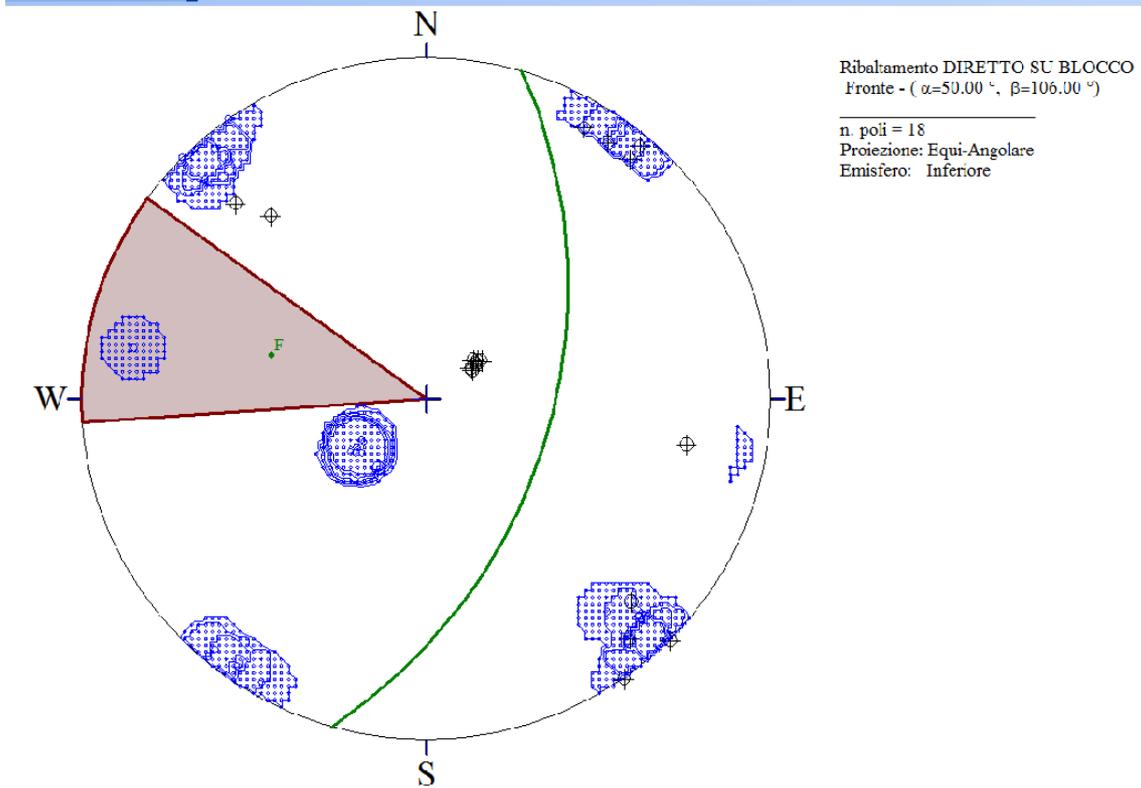


Figura 38: Stazione SG2 - Compatibilità cinematica per fenomeni di ribaltamento, considerando un angolo limite (fronte-discontinuità) di 20°. È rappresentato l'addensamento dei reciproci dei poli delle discontinuità. Si ha possibilità di ribaltamento diretto lungo la discontinuità k4; si può considerare anche una possibilità di ribaltamento lungo il sistema k3, i cui reciproci sono limitrofi all'area critica.

8 __ OSSERVAZIONI GEOMORFOLOGICHE

8.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'intero Appennino Umbro-Marchigiano è interessato tutt'ora da un deciso sollevamento: situazione evidente anche nell'area studiata, come dimostrato dalle profonde incisioni che tutti i corsi d'acqua modellano sul territorio; ad esempio, in corrispondenza del termine del III Lotto il torrente S. Antonio ha inciso tutto lo spessore (peraltro non grande) delle proprie alluvioni terrazzate, ed attualmente scorre sulla sottostante Formazione Marnoso-Arenacea. Tuttavia, mentre l'evoluzione dei corsi d'acqua adriatici è stata piuttosto continua nel tempo, mantenendo una direzione "sovrimposta" e trasversale agli assi appenninici, il deflusso tirrenico è stato profondamente condizionato dalla presenza di depressioni tettoniche e dai processi di colmamento delle stesse.

L'area in esame si trova a cavallo dello spartiacque Tirreno-Adriatico, di modo che è possibile osservare entrambe le situazioni. Infatti, nella parte marchigiana, i rilievi vengono intagliati da tutti i corsi d'acqua con profonde valli a "V" sovrimposte. In corrispondenza dello spartiacque e ad Ovest di esso, la morfologia appare condizionata dall'assetto tettonico della zona, come nel caso dello sdoppiamento di cresta in corrispondenza del sovrascorrimento dell'elemento di Pietralunga su quello di Borgo Pace, e dell'impostarsi di vari elementi morfologici (una valle, una fascia collinare) parallelamente all'asse appenninico e strutturale.

Nel settore marchigiano, si notano forme strutturali dovute alla persistente giacitura degli strati formazionali, rielaborate da processi esogeni che le hanno trasformate, in tutto o in parte, in glacis (paleosuperfici) di sedimentazione.

8.2 PRINCIPALI CARATTERI GEOMORFOLOGICI

La morfologia dell'area presenta settori con rilievi dalla notevole acclività e valli strette, alternati ad altri in cui la morfologia si addolcisce, in dipendenza dell'affiorare di litologie a maggiore erodibilità.

Sono degni di nota alcuni settori semipianeggianti o blandamente ondulati, attribuibili a lembi relitti di antiche superfici d'erosione/deposizione. Successivamente, la "paleosuperficie" sarebbe stata smembrata da una intensa tettonica distensiva quaternaria che la avrebbe dislocata in senso verticale e laterale. L'esempio più spettacolare si ha a cavallo tra il II ed il III Lotto: il torrente Guinza-S.Antonio separa due settori blandamente ondulati (l'area tra Guinza-Valpiana-Cà Guiducci ad Est, in destra idrografica, e il Pian Marzolino ad Ovest) che sembrano raccordarsi altimetricamente in modo da costituire un'unica paleo-superficie successivamente disarticolata e ricoperta da depositi di versante e probabilmente di frana; sul lato Est questa morfologia sfuma verso monte in una spettacolare superficie strutturale che praticamente coincide con una o poco più superfici di strato della Marnoso-Arenacea, messe a nudo da fenomeni erosivi e probabilmente di frana (infatti la parte media e bassa del versante presentano spessori di detrito caotico via via maggiori verso la base, mentre salendo lungo il versante tendono a ridursi e a scomparire lasciando il posto alle superfici di strato denudate, con poche "isole" di detrito superstiti); questa superficie strutturale sembra poi ripetersi in sinistra idrografica dando luogo al pianoro inclinato di Pian Marzolino (sopra il tratto terminale della galleria Guinza), in cui però la forte copertura detritica è ancora presente.



Fig. 39: Immagine di Pian Marzolino, area a morfologia addolcita tra il Fosso della Guinza e il Fosso di Montedale, caratterizzata da un forte spessore di depositi detritici di versante, forse correlabile all'area di Guinza, sul versante opposto (visibile sullo sfondo, nella parte sinistra della foto).

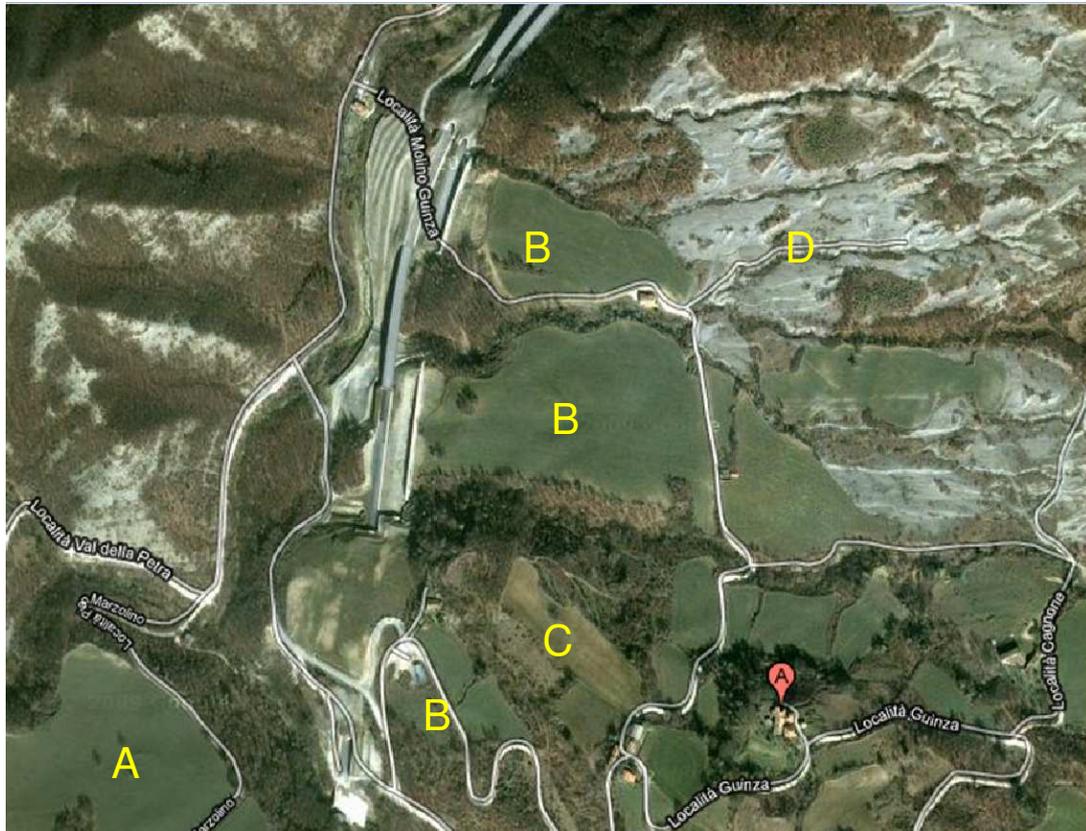


Fig. 40: Immagine aerea del settore di confine tra il 2° e 3° lotto. Sono visibili: il “glacis” di Pian Marzolino (A); le aree occupate da depositi di versante o paleofrana (B), con spessori superiori a 20 m che diminuiscono verso monte; il lembo relitto di superficie di spianamento correlabile con quella di Pian Marzolino (C); la superficie strutturale con giacitura coincidente con la stratificazione, denudata dai processi erosivi (D).

I versanti, o porzioni di essi, con influenza strutturale, in cui la superficie topografica ha la stessa giacitura degli strati della Formazione Marnoso-Arenacea, sono altresì presenti, a settori limitati, in altre zone dell’area studiata.

Alcune aree a morfologia addolcita si sono impostate su movimenti franosi oppure in corrispondenza dell’affioramento di orizzonti stratigrafici più argillo-marnosi.

Fenomeni gravitativi minori sono pur presenti, e tipicamente sono condizionati dall’alternanza di livelli arenacei e marnosi; essi si sviluppano lungo le superfici di strato, risultando peraltro di tipo superficiale (pochi metri di spessore); il livello marnoso, più facilmente disgregabile, risulta in affioramento completamente disfatto e funge da superficie di scivolamento, in ciò agevolato dalla lubrificazione indotta dalla locale presenza di acqua. Sono altresì presenti settori in fase di erosione concentrata e diffusa. Quest’ultima si sviluppa,

essenzialmente, in corrispondenza di estese fasce cataclastiche o quando la topografia si imposta parallelamente agli strati formazionali. In quest'ultimo caso, piuttosto frequente, si osserva il tipico fenomeno di erosione diffusa su vaste aree quando affiora un livello pelitico, concentrata quando le acque iniziano ad erodere un livello pluridecimetrico arenaceo.

In corrispondenza del settore finale del III Lotto, uno degli elementi geomorfologici più evidenti del territorio esaminato è la presenza di terrazzi fluviali antichi e recenti lungo il Torrente S. Antonio. Il corso d'acqua è in un'accentuata fase erosiva, l'alveo ha infatti eroso le alluvioni di fondovalle ed ora incide il substrato marnoso arenaceo. Il fondovalle è pianeggiate e corrisponde alla superficie superiore del terrazzo più recente. Lembi di alluvioni terrazzate si riscontrano anche nelle vallecole laterali in destra Metauro, solcate da torrenti, pensili una ventina di metri sopra l'alveo principale, e profondamente incisi nei sedimenti delle coperture detritiche e nel substrato. Le alluvioni si fondono con le fasce detritiche che ammantano il piede delle pendici dei rilievi che, con la loro elevata pendenza, contrastano e caratterizzano il paesaggio.

8.3 AREE A RISCHIO FRANA O ESONDAZIONE - IL P.A.I. (PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO)

La potenziale interferenza delle opere di progetto con aree caratterizzate da dissesto per frana o per esondazione, riguardano esclusivamente i due collegamenti alla viabilità esistente, in quanto le opere in sotterraneo (cunicolo) sono situate a profondità non interessate dai suddetti fenomeni.

8.3.1 __ Tratto di collegamento lato-Marche (fine 3° Lotto)

Il contesto geomorfologico è di tipo pedecollinare, al confine tra la fascia occupata da depositi di versante e quella di pertinenza fluvio-torrentizia.

È un settore caratterizzato dalla coalescenza di diverse falde-conoidi alimentate dagli apporti provenienti da due impluvi lungo il versante nord-ovest.

In realtà, nessuno dei due processi geomorfologici appare attualmente interessare il sito di progetto, ma piuttosto settori ad una certa distanza.

Considerata la modesta dimensione dei rilevati e degli sbancamenti previsti, nonché la morfologia regolare in dolce pendenza del terreno, non si ravvisano particolari problemi di carattere geologico.

Anche le pendici del versante sovrastante il tracciato, e ad esso parallelo, non presentano segni di dissesto né sono da prevederne nel futuro poiché il piede del rilievo non sarà interessato dall'opera.

Comunque, sarà bene assicurare un efficace smaltimento delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti a NordOvest.

Il vicino torrente è attualmente in un'accentuata fase erosiva. L'alveo ha eroso le alluvioni di fondovalle ed ora incide il substrato marnoso arenaceo. Il fondovalle è pianeggiante e corrisponde alla superficie superiore del terrazzo più recente.

Per completezza di trattazione, si è preso in considerazione il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), a cura dell'ex-Autorità di Bacino della Regione Marche. Il P.A.I. disciplina, in generale, l'uso del territorio, nell'ambito delle "aree sottoposte a tutela per pericolo idrogeologico", indicando le varie situazioni di rischio, per frana o per esondazione. Nell'ambito del P.A.I., il settore in studio appartiene al bacino del Metauro. La Figura seguente riprende uno stralcio della Cartografia PAI, in cui è riportata l'ubicazione dell'area di progetto.

Come si vede, questa non interferisce con alcuna delle aree classificate dal P.A.I. a rischio frana o esondazione.

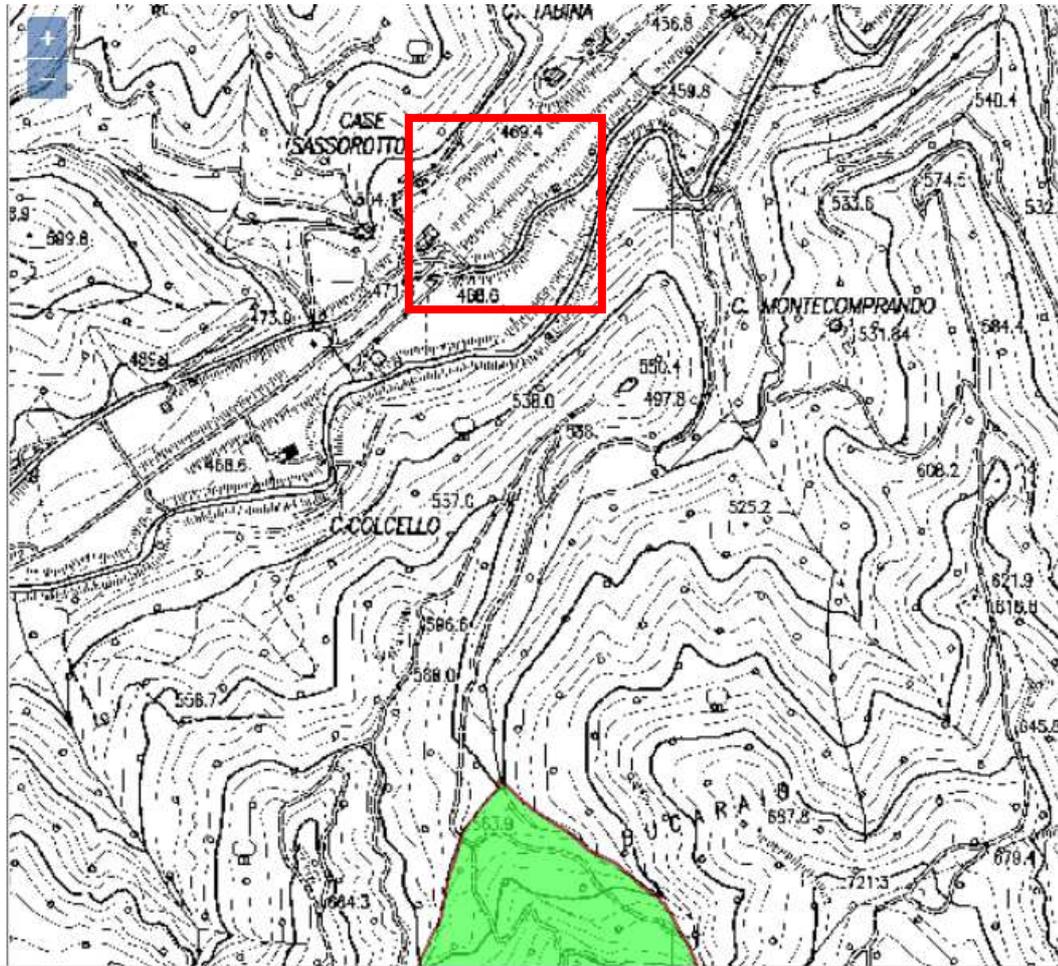


Fig. 41: Stralcio dalla carta delle aree a rischio frana o esondazione del P.A.I. dell'ex-Autorità di Bacino delle Marche. Il rettangolo rosso circonda l'area interessata dal progetto

8.3.2 __ Tratto di collegamento lato-Umbria

Il contesto geomorfologico è di media montagna, caratterizzato da un versante a media acclività, che tende ad aumentare verso la base (a valle della SP 200).

Il versante appare globalmente stabile, ma i tagli stradali ed in genere gli sbancamenti non protetti, sono soggetti a lento deterioramento a causa della matrice marnosa della maggior parte della formazione affiorante, nonché a distacchi di elementi litoidi.

Oltre ai suddetti fenomeni, appaiono attivi processi di dilavamento e trasporto che interessano l'impluvio del Fosso del Casale, a monte dell'area di progetto; in particolare, sul versante sinistro dell'impluvio è presente un accumulo detritico,

che lambisce l'imbocco della galleria, forse generato anche da uno o più movimenti franosi.

Comunque, sarà bene assicurare un efficace smaltimento delle acque di ruscellamento provenienti dai versanti ad Ovest.

Occorre poi valutare la possibile erosione al piede, ad opera del Fosso di Parnacciano.

Per completezza di trattazione, si è preso in considerazione il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Il P.A.I. disciplina, in generale, l'uso del territorio, nell'ambito delle "aree sottoposte a tutela per pericolo idrogeologico", indicando le varie situazioni di rischio, per frana o per esondazione.

La Figura seguente riprende uno stralcio delle Tavole di dettaglio dell'Inventario dei fenomeni franosi a Cartografia PAI, in cui è riportata l'ubicazione dell'area di progetto.

Come si vede, questa non interferisce direttamente con fenomeni franosi censiti, ma è limitrofa ad un fenomeno franoso presunto, di tipo scivolamento, che occupa il versante sinistro del Fosso del Casale, a monte dell'area in esame.

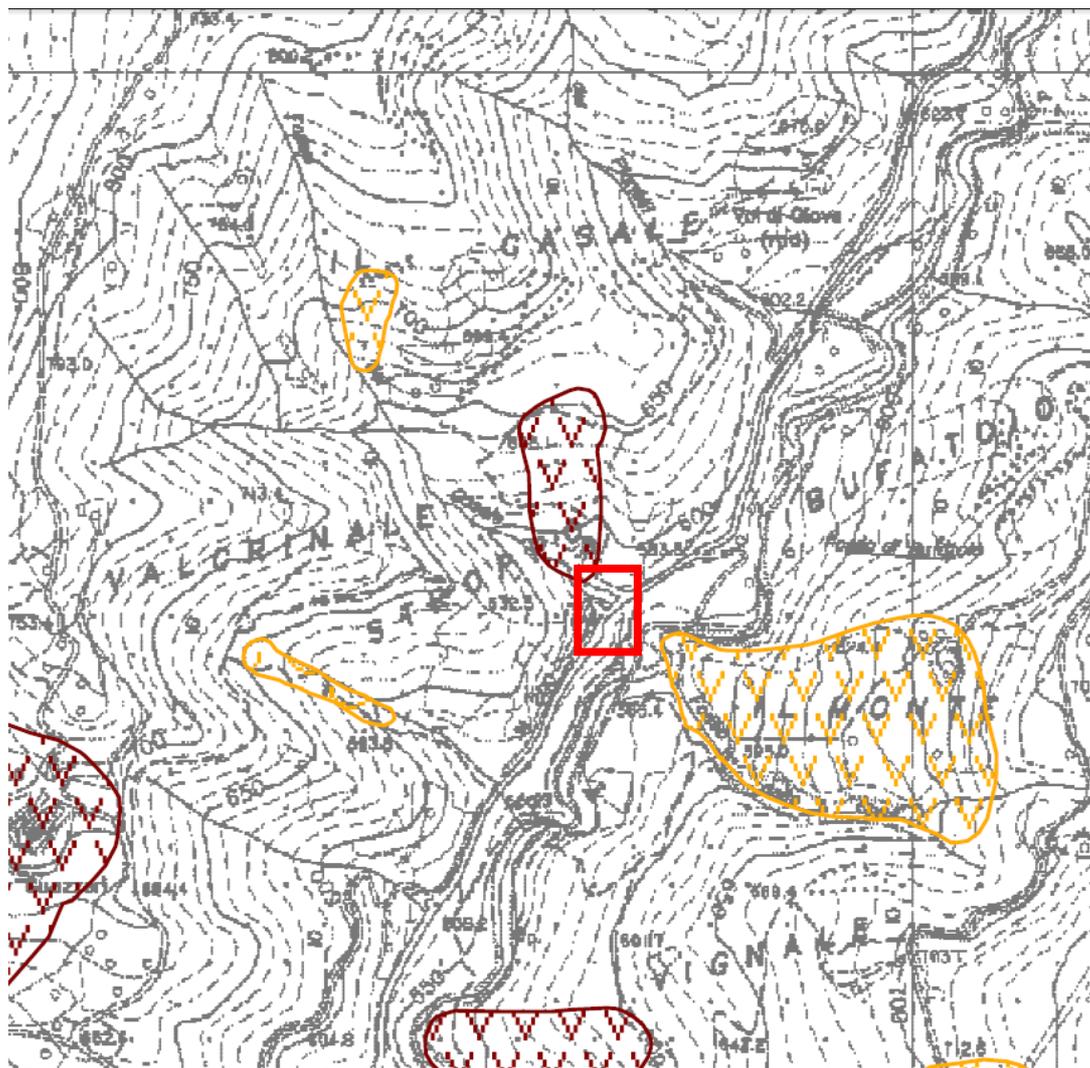


Fig. 42: Stralcio dalla carta Tavole di dettaglio dell'Inventario dei fenomeni franosi del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Il rettangolo rosso circonda l'area interessata dal progetto

9 __IDROGEOLOGIA

9.1 CARATTERI IDROGEOLOGICI DEI TERRENI

Passando ad esaminare sinteticamente le caratteristiche idrogeologiche che caratterizzano l'area di studio, possiamo indicare quanto segue. I complessi idrogeologici presenti sono essenzialmente di quattro tipi.

Depositi colluviali e detritici di versante

Hanno permeabilità per porosità di valore basso a causa dell'elevata presenza di matrice limosa nei depositi. Possono esistere locali circolazioni idriche negli orizzonti più grossolani. In questi corpi geologici sono quindi possibili le manifestazioni sorgentizie, non rilevanti perché, a causa delle dimensioni areali e di spessore limitate, scarso è il volume immagazzinato.

Depositi alluvionali

Sono caratterizzati da una permeabilità per porosità di valore da medio ad elevato, costituiti da depositi ciottoloso - ghiaiosi potenti pochi metri. Si tratta di un acquifero continuo, ma povero di risorsa, drenato dal torrente S. Antonio e dal F. Metauro. Trova una limitata utilizzazione con alcuni pozzi privati.

Depositi di frana

Sono costituiti prevalentemente da materiale argilloso limoso che ingloba frammenti lapidei. Essi sono dotati di elevata porosità ma bassissima permeabilità. Sono da considerare saturi per gran parte dell'anno, poiché il drenaggio naturale è difficile.

Formazione Marnoso Arenacea

Nel suo insieme, almeno rispetto alle altre formazioni, questa si può considerare impermeabile; però la varietà delle rocce che la costituiscono determinano un comportamento idrologico complesso, che va dall'impermeabilità più tipica, alla permeabilità più facile.

Le marne e le argille marnose in parte arenacee, che predominano nella formazione, sono tipicamente impermeabili; quando le arenarie contengono una matrice marnosa o sono molto cementate, hanno un'impermeabilità acquisita; nelle arenarie più fortemente cementate e con basso tenore marnoso si può avere invece permeabilità per fessurazione.

Considerata la netta anisotropia strutturale (fitta alternanza di strati a diversa permeabilità), si può affermare che la permeabilità è, in queste rocce, una grandezza nulla, quando il deflusso avviene in direzione normale agli strati, massima (compatibilmente con la permeabilità degli strati più lapidei) quando il deflusso avviene in direzione parallela agli strati.

La prevalenza della componente pelitica e il fatto che in profondità le fratture tendono ad essere maggiormente serrate, escludono una circolazione idrica profonda significativa. Modesti accumuli idrici esistono nelle zone deformate e fratturate da accidenti tettonici dove, in alcuni casi, sono stati misurati valori del k di permeabilità dell'ordine dei 10-5 cm/sec.

Tuttavia per avere degli accumuli idrici sotterranei debbono esserci favorevoli condizioni al contorno (ad esempio pieghe a sinclinale).

Una certa circolazione idrica uniforme, anche se a carattere essenzialmente stagionale, è presente nell'orizzonte superficiale della formazione costituito dalla copertura detritica colluviale e dalla zona di alterazione e degradazione. Tale orizzonte è comunque di modesto spessore (mediamente 2 - 3 m) e ben drenato da fossi e incisioni torrentizie.

Si segnala infine la presenza di acque sulfuree nella formazione Marnoso-Arenacea di facies umbra, la cui genesi è attribuita alla scomposizione di solfuri (pirite, marcassite) presenti nella formazione. In letteratura è segnalata la sorgente Cà Costantino nel territorio di Mercatello sul Metauro³.

9.2 SCHEMA IDROGEOLOGICO

La geologia di quest'area, con la costante e pervasiva presenza di litotipi appartenenti alla Formazione Marnoso-Arenacea, fa sì che non esistano estesi sistemi acquiferi; L'intera zona, infatti, è costituita da rocce a bassa permeabilità d'insieme, ma con discreta capacità d'immagazzinamento: i livelli marnosi rappresentano degli orizzonti a bassissima permeabilità così che, anche se nei

³ R. Selli, opera citata

partimenti arenacei vi è la presenza di acqua, essa riesce a permeare l'ammasso roccioso solo molto lentamente. Pertanto, la circolazione sotterranea è diffusa, di tipo "compartimentato", ma quantitativamente limitata. Dove le arenarie sono più fratturate e dove si è più sviluppata la coltre di alterazione superficiale, si trovano acquiferi epidermici discontinui, i quali alimentano piccole sorgenti e sostengono il deflusso di base dei corsi d'acqua a regime prevalentemente stagionale. Altra situazione favorevole all'immagazzinamento è quella in cui estese fasce cataclastiche interessano l'ammasso roccioso: in questi casi il flusso idrico può aumentare notevolmente, come conseguenza dell'aumento della permeabilità secondaria, in virtù della fratturazione spinta e pervasiva. Alcune di queste fasce sono state intercettate dal cunicolo pilota e dal successivo allargo della esistente galleria.

Ad ogni modo, data la lunghezza della galleria, che attraversa lo spartiacque Tirreno-Adriatico con andamento rettilineo e pressoché unica pendenza, i vari afflussi intercettati, per quanto limitati, si sommano e determinano, all'imbocco marchigiano della galleria, un efflusso variabile da 5 a 20 litri/sec.

Nella zona, inoltre, sono segnalate alcune sorgenti ed opere di captazione per acqua idropotabile. In particolare, si riportano quelle per le quali sono disponibili dei dati di portata.

- sorgente Parnacciano (Comune di San Giustino) Q = 1,5 litri/sec
- sorgente Ca' Renzetti (Comune di San Giustino) Q = 0,6 litri/sec
- sorgente Ciarella (Comune di Mercatello sul Metauro) Q = 0,5 - 1,0 litri/sec
- sorgente sulfurea Ca' Costantino (" " ") Q = 1,5 - 2,5 litri/sec

Oltre quest'ultimo caso, sono da segnalare altre sorgenti sulfuree, confermate da venute in galleria di acque della stessa composizione.

È da segnalare, inoltre, una captazione superficiale ubicata presso il Pian Marzolino, lungo il Fosso della Guinza, con una portata di circa 5 litri/sec.

9.3 INTERFERENZA ACQUIFERI - OPERA

9.3.1 __ Galleria (cunicolo)

Trattandosi di un tracciato interamente sviluppantesi all'interno della Marnoso-Arenacea, formazione per lo più a bassa permeabilità e priva di sistemi acquiferi estesi, le interferenze con eventuali falde acquifere sono ridotte, come si è anche verificato nei lavori di costruzione della galleria. Come eccezioni, sono stati segnalati, nel corso dei lavori, alcuni tratti in cui si osservano venute d'acqua sia dalla calotta che dai piedritti, rispettivamente nei tratti fra le progressive: 1750-1850, 1950-1990, 2900-3030 (riferite all'imbocco lato Marche). In effetti si tratta di apporti che si concentrano ai bordi della zona di sovrascorrimento, sia sul lato umbro (in corrispondenza alla località Campolungo) che su quello marchigiano (La Pianaccia – Monte La Casina).

Localmente, ed in particolare tra le progr.ve 3250 e 3270 circa (riferite all'imbocco lato-Umbria, corrispondenti alle prog.ve 2670 – 2690 dal lato-Marche), alle venute d'acqua si associa la presenza di idrogeno solforato: tale apporto è da considerarsi legato alla dissoluzione di minerali quali pirite e marcassite, presenti nella compagine rocciosa, ma considerata la ubicazione, non è da escludersi la risalita dal basso, veicolata dalle linee di sovrascorrimento che "pescano" da circuiti idrici profondi, negli stessi livelli che ospitano sacche di gas metano.

Pertanto, si evidenzia come le uniche venute d'acqua consistenti si concentrano lungo le faglie o le fasce cataclastiche; in corrispondenza di tali strutture, in galleria è possibile un afflusso puntuale anche notevole di acqua che può riflettersi in una diminuzione di portata nelle eventuali sorgenti collegate idrodinamicamente a queste zone. È però da considerare che l'effetto drenante della galleria esistente ha già influito su tali circuiti sotterranei, per cui il cunicolo non potrà che comportare un effetto assai meno sensibile.

Nel profilo geologico allegato al presente progetto, sono comunque indicate tutte le tratte caratterizzate da afflussi d'acqua, di qualsivoglia entità.

Le acque comunque intercettate dalla galleria esistente, fuoriescono tramite uno scarico di fondo in corrispondenza dell'imbocco lato-Marche, con un flusso continuo di portata variabile da 5 a 20 litri/sec.

In corrispondenza dell'imbocco lato-Umbria, si nota uno stillicidio-debole venuta d'acqua, semi-permanente, attraverso la esistente paratia di imbocco (vedi foto di Fig. 18).

Si tratta di un esempio di locale falda confinata all'interno della Formazione Marnoso-Arenacea; l'andamento del flusso sembra condizionato dalla giacitura della formazione, che in questo settore immerge a W-SW. Il flusso poi alimenta il Fosso del Casale, e riemerge a valle della strada provinciale, tramite un tombinamento (fig. 44).



Fig. 43: Imbocco della galleria Guinza lato-Umbria, con la paratia di micropali tirantati attraverso cui è visibile l'afflusso idrico permanente (o semi-permanente). A meno del "disturbo idrogeologico" ed effetto drenante indotto dagli scavi e dalle fessurazioni secondarie, i punti di afflusso sembrano allineati all'incirca lungo l'immersione (linea gialla tratteggiata, componente lungo la paratia) della stratificazione della Marnoso-Arenacea.



Fig. 44: Uscita dell'attraversamento idraulico sotto la strada provinciale, con flusso limitato ma comunque presente.

9.3.2 __ Tratto di collegamento lato-Umbria

Nel tratto immediatamente adiacente l'imbocco della galleria, non è da sottovalutare l'interferenza con l'acquifero drenato dal Fosso del Casale, a regime semi-permanente, di cui si ha testimonianza anche dagli stillicidi permanenti in corrispondenza della berlinese all'imbocco della galleria (Fig. 43).

Sono in corso indagini geognostiche con installazione di piezometri, per completare la definizione del quadro idrogeologico.

9.3.3 __ Tratto di collegamento lato-Marche

Le opere per la realizzazione del collegamento con la viabilità esistente, sono di limitato impatto dal punto di vista geologico, geotecnico, e anche idrogeologico, in quanto comportano limitati movimenti terra prevalentemente in rilevato.

La falda di base è drenata dal Torrente S. Antonio, ed è contenuta nei depositi alluvionali, che lungo l'alveo si presentano erosi quasi sempre fino alla base, costituita dalla Formazione Marnoso-Arenacea.

10 _PRESENZA DI GAS – PRODUZIONE DI POLVERI CON SILICE LIBERA CRISTALLINA

10.1 PRESENZA DI GAS

Nell’ambito della Formazione Marnoso-Arenacea, sotto alte coperture, si possono rinvenire sacche di gas metano. A più riprese, durante lo scavo del cunicolo pilota, la lavorazione è stata sospesa a causa di venute di gas: in particolare, sono state segnalate alle progr.ve (dall’imbocco lato-Marche) 3480, da 3200 a 2600, 2360 e 1720,

Se riportate lungo il profilo geologico, tali zone corrispondono rispettivamente:

- all’estesa fascia cataclastica presente tra Campolungo e Il Puntone
- alla zona tettonizzata sul lato umbro del sovrascorrimento del Monte La Casina
- localmente nella zona marchigiana in associazione alle faglie principali.

Tali ubicazioni non differiscono di molto da quanto riportato a proposito delle venute d’acqua in galleria; è ragionevole ipotizzare, anche in questo caso, una risalita dei gas da livelli più profondi lungo linee di debolezza rappresentate da faglie, sovrascorrimenti e zone cataclastiche, ed una locale formazione di sacche in corrispondenza di “trappole” che più facilmente possono crearsi al nucleo di strutture plicative sbloccate da linee di faglia.

È da segnalare, comunque, che durante lo scavo di allargò della galleria vera e propria, le venute di gas sono state molto minori, quasi inesistenti, segno che la gran parte di esse sia stata smaltita dal cunicolo, essendosi le sacche “svuotate”.

Comunque, sarà bene mantenere le precauzioni e procedure di sicurezza relativamente alla possibilità di incontrare sacche di gas in tutta la tratta fra le progr.ve 2500 e 4300 (dall’imbocco lato Umbria).

10.2 PRESENZA DI SILICE LIBERA NELLE POLVERI PRODOTTE DALLE OPERAZIONI DI SCAVO

Gli effetti sulla salute umana dell'inalazione di silice libera cristallina (SLC) sono ampiamente documentati nella letteratura medico-scientifica, alla quale si rimanda per approfondimenti.

In Italia non esiste un limite di riferimento ufficiale per l'esposizione professionale a SLC adottato ai sensi della normativa per la tutela della salute e sicurezza dei lavoratori sul luogo di lavoro (leggasi D.Lgs. 81/2008). Al riguardo, il TLV dell'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) viene spesso adottato sia nei contratti collettivi nazionali di lavoro, sia dagli organi di controllo quale riferimento per la valutazione della salubrità degli ambienti di lavoro. L'ACGIH assume come TLV-TWA per la polvere di SLC respirabile (peso/volume di aria) il valore di 0,025 mg/m³. Le varie normative europee stabiliscono limiti da 0,05 a 0,15 mg/m³.

La Formazione Marnoso-Arenacea è tra quelle le cui polveri sono maggiormente ricche in SLC, come risulta sia da considerazioni mineralogiche, sia dall'esame di studi quali ad esempio "Valutazione dell'esposizione a silice libera cristallina nello scavo di gallerie dell'Appennino umbro-marchigiano" (INAIL – 2011).

Da esso risulta che negli scavi di gallerie all'interno della Formazione Marnoso-Arenacea, si sono registrati valori di SLC al 90° percentile (cioè la concentrazione al di sotto della quale si situa il 90% delle misure) di 0,175 mg/m³, e al 50° percentile pari a 0,060 mg/m³.

11 SISMICITÀ

11.1 ASPETTI SISMOGENETICI

Il territorio in esame si colloca tra la fascia appenninica ad alta sismicità e la fascia pede-appenninica adriatica a bassa o bassissima sismicità. La sismicità del centro Italia (P.F.G. - C.N.R.) è collegata a meccanismi distensivi della catena interna e trascorrenti della fascia pede-appenninica adriatica.

In particolare, sono state individuate diverse sorgenti sismogenetiche disposte lungo il margine estensionale occidentale dell'Appennino settentrionale. Gli studi di Neotettonica indicano per l'area di studio un sollevamento pressoché continuo nel Pliocene e nel Quaternario e un sollevamento tardivo, a partire dal Pliocene superiore. Tale differenziazione potrebbe aver provocato tensioni tettoniche nella zona di passaggio. Il campo macrosismico delineato dalle isoiste generalmente presenta andamento "appenninico".

Tra le strutture sismogenetiche più importanti, il "Sistema dell'Etruria" (noto in letteratura anche come "*Faglia Altotiberina*") è una faglia normale di estensione regionale, riconosciuta tramite evidenze di campo (Boncio et al., 1998) e dati di sottosuolo (Anelli et al., 1994; Barchi et al., 1998). Questo sistema raggiunge profondità di 12-14 km sotto la fascia a pieghe/sovrascorrimenti tra Umbria e Marche (Boncio et al., 1998 and 2000). I numerosi studi geologici e sismologici indicano l'attività della zona estensionale, suggerendone un ruolo nello scollamento basale delle faglie normali sismogenetiche immergenti ad Ovest.

Nella storia recente i massimi eventi sismici che hanno interessato la provincia di Pesaro-Urbino hanno avuto anche effetti notevoli stimati equivalenti al X° grado della scala M.C.S. (es. presso Cagli nel 1781).

11.2 SORGENTI SISMOGENETICHE – FAGLIE "CAPACI"

Entrando più nel dettaglio, per quanto riguarda le faglie attive in generale, cioè quelle strutture che possono generare eventi sismici di significativa entità, il riferimento ufficiale è il DISS (Database of Individual Seismogenetic Sources) che è una banca dati continuamente aggiornata, a cura dell'INGV (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia).

Il DISS, consultabile online, fornisce una rappresentazione cartografica della presenza di faglie considerate attive allo stato attuale nell'area di interesse; inoltre può essere interrogato per dare informazioni sulle varie sorgenti sismogenetiche.

Nella rappresentazione, le sorgenti sismogenetiche sono distinte in:

IS (individual source): sorgente sismogenetica individuale; in pratica, una singola faglia con un set di parametri ben definiti (direzione, immersione, inclinazione, lunghezza, velocità di deformazione, deformazione attesa per singolo evento, magnitudo attesa

CS (composite source): sorgente sismogenetica composita; struttura ipotizzata in base a dati geologici, costituita da diverse linee di faglia o comunque una fascia all'interno della quale possono generarsi sismi che, pur non essendo originati dalla medesima faglia, sono collegati ed interdipendenti; in genere, una CS include diverse IS catalogate.

DS (debated source): sorgente sismogenetica dibattuta: faglie attive che sono state proposte in letteratura come potenziale sorgenti sismogenetiche, ma che non sono considerate ancora abbastanza "sicure" (ad esempio: faglie con scarsa evidenza in superficie documentata; faglie basate su evidenze geologiche ambigue; faglie su cui ci sono interpretazioni contrastanti; faglie presenti in aree scarsamente sismiche; faglie dai caratteri contrastanti con quelli delle faglie circostanti).

Nella rappresentazione cartografica, le strutture sismogenetiche sono delle campiture associate a dei rettangoli; si tratta, grosso modo, della rappresentazione planimetrica di piani, o gruppi di piani, di faglia la cui orientazione ed immersione sono simboleggiate dai rettangoli gialli.

La figura seguente, tratta dal DISS, rappresenta le strutture sismogenetiche interferenti con il progetto.

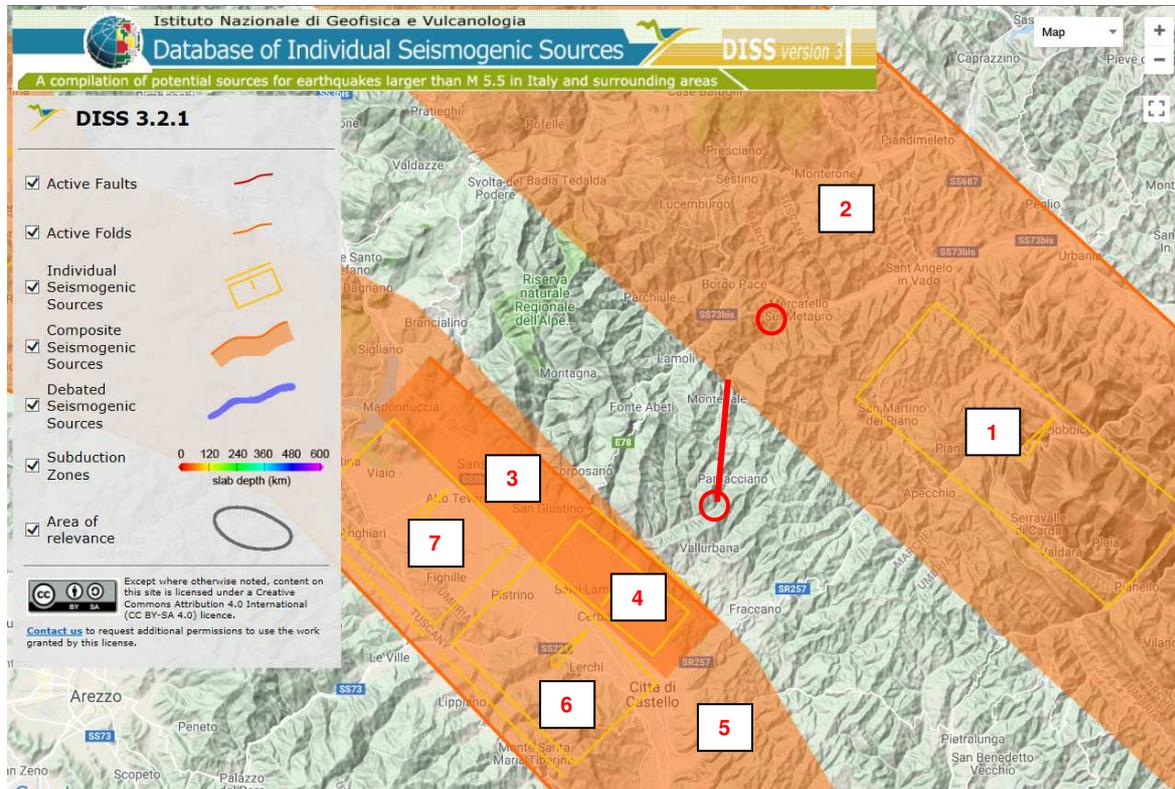


Figura 45: Strutture sismogenetiche presenti nell'area di interesse: 1) ITIS047 Cagli; 2) ITCS027 Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga; 3) ITCS041 Sansepolcro; 4) ITIS065 Selci Lama; 5) ITCS037 Mugello-Citta' di Castello-Leonessa; 6) ITIS063 – Monterchi; 7) ITIS064 – Anghiari. (fonte: INGV). La linea rossa rappresenta il tracciato in galleria, i cerchi rossi le aree di collegamento alla viabilità esistente.

1
ITIS047: Cagli (SS individuale)
<i>Profondità: 17 – 20,8 km</i> <i>Magnitudo max associata: 6.2</i>
2
ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga (SS composita)
<i>Profondità: 12 – 22 km</i> <i>Magnitudo max associata: 6.2</i>

3
ITCS041: Sansepolcro (SS composita)
<i>Profondità: 1 – 5 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.5</i>

4
ITIS065: Selci Lama (SS individuale)
<i>Profondità: 1 – 4 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.5</i>

5
ITCS037 Mugello-Citta' di Castello-Leonessa (SS composita)
<i>Profondità: 0,5 – 8 km</i> <i>Magnitudo max associata: 6.2</i>

6
ITIS063 – Monterchi (SS individuale)
<i>Profondità: 0,5 – 4 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.8</i>

7
ITIS064 – Anghiari (SS individuale)
<i>Profondità: 0,5 – 4 km</i> <i>Magnitudo max associata: 5.8</i>

Si nota che l'area in esame è, in parte, direttamente interferente con sorgenti sismogenetiche, ed inoltre sotto il "tiro incrociato" di possibili sollecitazioni sismiche provenienti da diverse sorgenti poste nelle vicinanze, con magnitudo all'origine comprese tra 5.5 e 6.2.

Faglie "capaci"

L'IAEA (Agenzia internazionale per l'energia nucleare) ha, per prima, introdotto nel 1991 la definizione di "faglia capace" (capable fault) per indicare una faglia attiva che può generare spostamenti in superficie, rimobilizzando una superficie esistente o creando una nuova superficie di rottura. In realtà, la definizione

viene estesa anche al caso in cui la deformazione avvenga in modo continuo e senza scosse avvertibili (scorrimento asismico).

A parere dello scrivente, sarebbe più aderente al reale stato delle conoscenze ed in particolare nel caso presente, parlare di “segmenti” capaci, in quanto si tratta di porzioni inserite nelle strutture sismogenetiche di cui al punto precedente (DISS).

Anche in questo caso, come per il DISS, esiste un database denominato ITHACA – (*ITaly HAZard from CAPable faults*), stavolta a cura dell'ISPRA. Esso fornisce lo stato delle conoscenze sulla distribuzione nel territorio nazionale della fagliazione attiva superficiale: informazioni relative a queste faglie, tra cui giacitura, geometria, cinematica, terremoti associati e tasso di deformazione medio, e una cartografia di dettaglio gestita in ambiente GIS.

Le dislocazioni lungo le faglie capaci sono in grado di produrre danneggiamenti, anche rilevanti, alle strutture antropiche che le attraversano.

L'informazione sull'ubicazione e sulle caratteristiche delle faglie capaci è di grande importanza pratica per la pianificazione territoriale, che ne dovrebbe tenere adeguatamente conto; le strutture antropiche (infrastrutture, costruzioni) dovrebbero essere collocate possibilmente ad adeguata distanza da queste o essere progettate con opportuni accorgimenti tecnici.

Naturalmente, le informazioni fornite da ITHACA sono complementari a quelle fornite dal DISS trattate nel punto precedente; si tratta, in fondo, di un'articolazione del medesimo quadro sismotettonico, con un'informazione aggiuntiva, molto importante ai fini applicativi.

Rispetto alla cartografia DISS (che individua le strutture sismogenetiche), quella ITHACA ubica delle strutture lineari, che rappresentano l'andamento in superficie di segmenti di faglia; di conseguenza sono le linee di possibile rottura superficiale, e non corrispondono (se non in caso di faglie verticali) alla localizzazione dei relativi epicentri in caso di eventi sismici; si pensi, ad esempio, al massimo evento della recente sequenza sismica nel Centro-Italia, cioè la scossa di $M = 6.5$ del 30 ottobre 2016: l'epicentro è ubicato a circa 8 km ad ovest rispetto all'emersione in superficie della faglia, dove si sono avute le manifestazioni più notevoli degli spostamenti.

La figura seguente è tratta dalla cartografia di ITHACA ed inquadra l'area in cui si inserisce il progetto (individuato dalla linea gialla e dai cerchi gialli).

Si nota che il progetto, fortunatamente, non interferisce con alcuna delle faglie attive capaci ad oggi individuate, essendo la più vicina situata ad almeno 6 km più a sud-ovest.

Pertanto, la fattibilità non è a rischio, nel senso che non deve prevedere la possibilità di dover sopportare dislocazioni dovute a scorrimenti sismici, ma “solo” le sollecitazioni dovute alla propagazione delle onde sismiche generate altrove e in profondità.

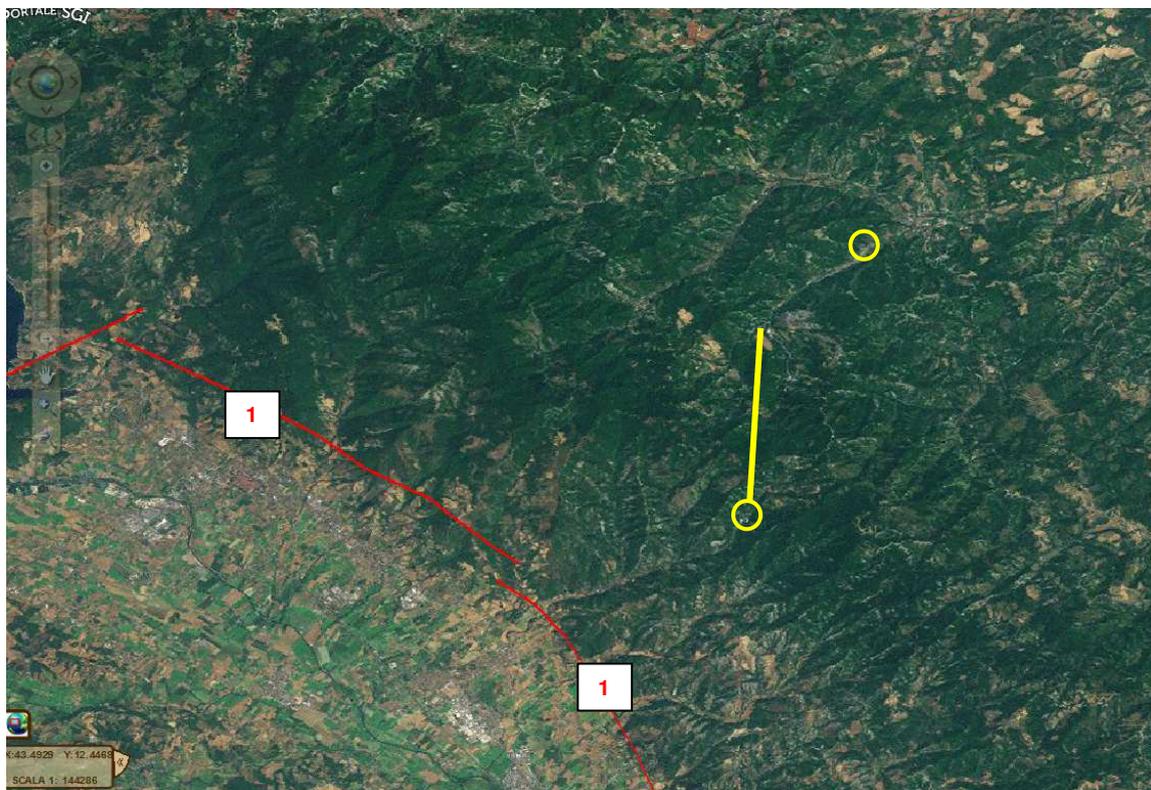


Figura 46: Stralcio cartografico Progetto ITHACA con indicazione delle faglie capaci (fonte ISPRA-SGI). 1: Upper Tiber Valley (sistema di faglie dirette).