

PNC – PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009–2016, Sub–misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 78 Amandola – Mozzano Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale – da Comunanza ad Amandola – 1° Stralcio
CUP F21B23000120001

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Ing. Luigi Iovine</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A1537		I PROGETTISTI SPECIALISTICI <i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657	PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)  cooprogetti (Mandante)  GPI INGEGNERIA <i>GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</i>  rpa (Mandante)
IL GEOLOGO  <i>Dott. Geol. Adriano Loffredo</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 2040		<i>Ing. Isidoro Guerrini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15764	
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Marco Mancina</i>		<i>Ing. Marco Rasimelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632	
PROTOCOLLO	DATA	IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 127) <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035 	

GEOLOGIA GEOTECNICA
PARTE GENERALE
Relazione Geologica

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV.PROG. ANNO <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		NOME FILE T01GE00GEORE01B		REVISIONE	SCALA
CODICE ELAB.		<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		<input type="text"/>	-
D					
C					
B	Aggiornamento a seguito CdS	Dic. '23	D.S.Barletta	A.Loffredo	G.Guiducci
A	Emissione	Ottobre'23	D.S.Barletta	A.Loffredo	G.Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

<u>1.</u>	<u>PREMESSA.....</u>	<u>2</u>
<u>2.</u>	<u>NORMATIVA PRINCIPALE DI RIFERIMENTO</u>	<u>2</u>
<u>3.</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</u>	<u>3</u>
3.1.	GEOLOGIA.....	3
3.1.1.	<i>Sintema del Musone</i>	6
3.1.2.	<i>Sintema di Matelica</i>	7
3.1.3.	<i>Supersintema di Colle Ulivo-Colonia Montani.....</i>	7
3.1.4.	<i>Formazione della Laga.....</i>	7
3.1.5.	<i>Marne a Pteropodi.....</i>	8
3.1.6.	<i>Successione Calcarea e/o Marnosa Cretacico Miocenica Umbro Marchigiana.....</i>	9
3.2.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E INTERFERENZE PAI	9
3.3.	IDROGEOLOGIA.....	12
<u>4.</u>	<u>SISMICA</u>	<u>15</u>
4.1.	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	15
4.2.	PERICOLOSITÀ SISMICA	18
4.3.	ASPETTI SIMOGENETICI	20
4.4.	MICROZONAZIONE SISMICA.....	21
4.4.1.	<i>Indagini MS.....</i>	25
<u>5.</u>	<u>RILIEVO GEOLOGICO DI DETTAGLIO.....</u>	<u>26</u>
5.1.	RILIEVO GEOMECCANICO-GEOSTRUTTURALE.....	32
5.1.1.	<i>Metodo di rilievo ed analisi</i>	32
5.1.2.	<i>Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.....</i>	32
5.1.3.	<i>Valore di <i>rmr</i> (rock mass rating) e parametri caratteristici dell'ammasso</i>	38
5.1.4.	<i>Volume dei blocchi</i>	40
5.1.5.	<i>Stazioni geomeccaniche</i>	41
<u>6.</u>	<u>INDAGINI PROGRAMMATE</u>	<u>42</u>
<u>7.</u>	<u>ANALISI DEL TRACCIATO.....</u>	<u>45</u>

1. PREMESSA

La presente relazione geologica è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica 3° Stralcio dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. n. 78 "Picena" – tra Amandola e Comunanza (Lotto 1).

I lavori ricompresi nella 3^a fase fanno parte del quadro delle iniziative inquadrato nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) integrato dal Piano Nazionale Complementare (PNC) e dai fondi MIMS CdP ANAS.

Sono inoltre stati eseguiti, al fine di perfezionare il modello geologico, rilievi geologici di campo, con particolare attenzione agli aspetti geomorfologico-gravitativi e geostrutturale-geomeccanici.

La documentazione facente parte del presente lavoro è costituita dai seguenti elaborati, compresa la presente relazione e gli elaborati della sezione Sismica, sono riportati i codici degli elaborati di cui si farà riferimento nella seguente relazione e le scale per gli elaborati grafici.

CODICE ELABORATO	TITOLO ELABORATO	SCALA
T01GE00GEORE01	Relazione Geologica	-
T01GE01GEOCO01	Carta Geologica e Strutturale di inquadramento	1:10.000
T01GE01GEOCO02	Carta Aree PAI	1:5.000
T01GE01GEOCG01	Carta geologica	1:2.000
T01GE01GEOCG02	Carta geomorfologica	1:2.000
T01GE01GEOCI01	Carta idrogeologica	1:2.000
T01GE01GEOFG01	Profilo geologico	1:2.000/2.000
T01GE01GEOSG01	Sezioni geologiche	1:200
T01GE03GEORE01	Relazione Sismica	-
T01GE03GEOCS01	Carta di microzonazione sismica	1:10.000

2. NORMATIVA PRINCIPALE DI RIFERIMENTO

La presente relazione e gli studi ad essa associati sono redatti in conformità a quanto previsto dalla normativa legislativa e tecnica vigente; di seguito sono elencati i principali riferimenti:

- D.M. 11/03/88: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce.";
- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM17/01/2018;
- UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali. Versione in lingua italiana della norma europea EN1997-1;
- UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo. Versione in lingua italiana della norma europea EN1997-2;
- UNI EN 1998:2005 Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici. Versione in lingua italiana della norma europea EN1998.

- AGI – Associazione Geotecnica Italiana (2005) “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica”;
- A.G.I. (1977). “Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche”;
- A.G.I. (1994). “Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio”;
- D.L. 11/05/99 n. 152: “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della Direttiva CEE 91/271 e 91/676”;
- D.L. 18/08/2000 n. 258: “Disposizioni correttive ed integrative del D.L. 152/99”;
- D.L. 03/04/2006 n. 152: “Norme in materia ambientale”;
- D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120 “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo [...]”
- Capitolato Speciale di Appalto ANAS “Esecuzione di Indagini Geognostiche”;
- Capitolato Speciale di Appalto ANAS “Indagini prove in situ e di laboratorio”;

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L’area di studio ricade nel settore centrale dell’Appennino *umbro-marchigiano*, una catena a pieghe e sovrascorrimenti che occupa le zone esterne dell’Appennino Settentrionale.

I dati riferiti sono al momento desunti dalla bibliografia esistente e da altre informazioni disponibili a vario titolo sul territorio, oltre che il risultato di un rilievo geologico di dettaglio. Dovranno necessariamente essere verificati e confermati sulla base dei risultati di una specifica e campagna di indagini programmata i cui dettagli sono riportati nello specifico capitolo (**Indagini programmate**).

Per il modello geotecnico del sito si rimanda alla relazione geotecnica.

Nell’ambito dello studio condotto è stata svolta una ricerca bibliografica sugli studi e le indagini pregresse che hanno interessato sia l’area in esame che quella contigua.

In particolare, sono state consultate:

- Cartografie disponibile nel sito della Regione Marche;
- Cartografia e dati di Ispra, PAI, IFFI, INGV;
- Fotointerpretazione;
- Consultazione del catalogo ITHACA.

Lo scopo del presente studio è quello di ricostruire il modello geologico e l’assetto geologico-stratigrafico e tettonico dell’area.

3.1. GEOLOGIA

La successione stratigrafica umbro-marchigiana riflette l’evoluzione del margine di Adria a partire dal Trias. La sequenza inferiore, essenzialmente carbonatica (Trias - Eocene), con le sue variazioni verticali e laterali, è riferibile alla individuazione ed evoluzione di un margine passivo da un ambiente di tipo continentale a uno di piattaforma carbonatico-evaporitica, a uno di tipo pelagico. La sequenza emipelagica che segue, il cui tetto è via via più giovane verso l’esterno, segna l’inizio della flessurazione della litosfera dell’avampaese, identificando la rampa che lega quest’ultimo all’avanfossa. Le sequenze torbiditiche che chiudono la successione sono anch’esse gradualmente più giovani verso l’esterno e segnano la progressiva migrazione della deformazione compressiva.

Nel corso del Miocene il bacino umbro-marchigiano è raggiunto dalle compressioni che, in rapida progressione da ovest verso est, ne modificano la morfologia del fondo (Cantalamesa et al., 1986).

PROGETTAZIONE ATI:

Esso assume via via i caratteri di un'avanfossa torbidityca (bacino della Marnoso-arenacea, bacino marchigiano interno e bacino marchigiano esterno) migrante verso est a spese dell'avampaese ed ubicata sul fronte della catena appenninica in evoluzione. Le torbiditi poggiano quindi sulle emipelagiti di avampaese (Formazioni del Bisciario, Schlier, Marne con cerrognana, ecc.), con le quali in alcuni casi sono anche lateralmente eteropiche.

Le successioni mioceniche delle Marche, ad esclusione della loro parte basale, sono quindi diverse da zona a zona; per questa ragione i bacini principali dell'avanfossa torbidityca sopra elencati sono suddivisi in letteratura in ulteriori sottobacini.

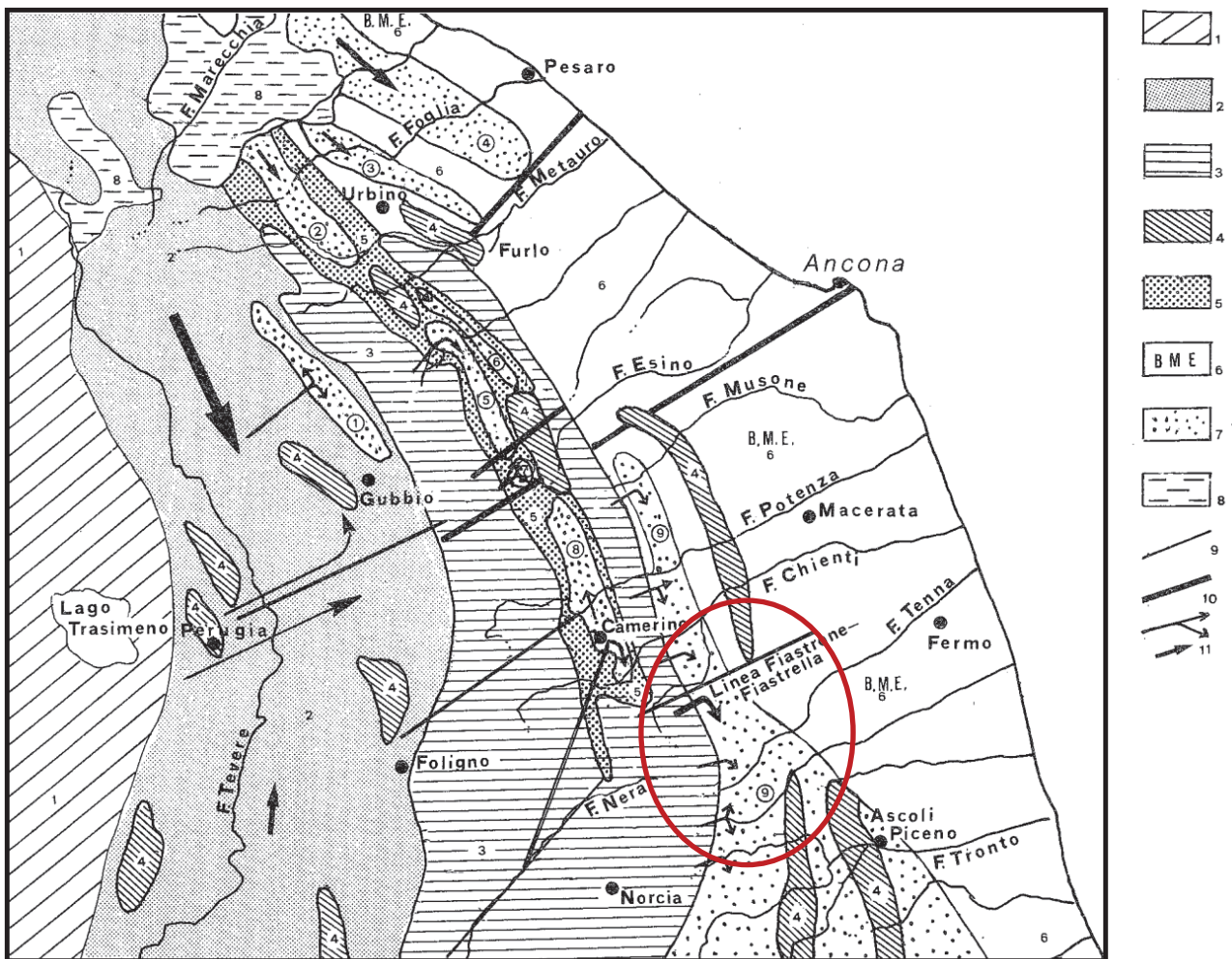


Figura 3-1 G. Cantalamessa, E. Centamore, U. Chiocchini, A. Micarelli, M. Potetti, con la collaborazione di L. Di LORITO (1986) - Il Miocene delle Marche, 35-55.

In particolare, le litologie presenti nell'area del tracciato appartengono al bacino Marchigiano esterno. Si tratta di un bacino complesso nel quale si riconoscono i seguenti bacini minori:

- bacino di Montecalvo in Foglia;
- Isola del Piano;
- bacino di Monte Luro - Monte delle Forche;
- bacino della Laga.

In quest'ultimo bacino minore, nella sua propagine più settentrionale, ricade gran parte del tracciato.

Il bacino della Laga è il più grande dei "bacini minori" umbro-marchigiani. Sin dal Miocene inferiore-medio la morfologia del fondo marino, in continua evoluzione, era articolata in una serie di dorsali e depressioni longitudinali, interrotte da faglie trasversali. Le dorsali più importanti sono quelle di Cingoli, di Acquasanta e della Montagna dei Fiori. Tra le faglie trasversali, assume particolare importanza la linea Fiastrone-Fiastrella, che suddivide in due parti il bacino, con un'area settentrionale più rialzata ed un'area meridionale più subsidente (Figura 3-1) La prima, di maggiore interesse per il presente progetto, è caratterizzata da questa successione:

- Bisciario;
- Schlier;
- Membro preevaporitico della Formazione della Laga;
- Formazione gessoso-solfifera;
- Argille a colombacci, parzialmente eteropiche del Membro postevaporitico della Formazione della Laga.

Nella regione marchigiana il Pliocene inizia quasi generalmente con una trasgressione particolare: ai depositi messiniani di lago-mare (Argille a colombacci) succedono peliti grigio-azzurre di ambiente batiale; solo nella parte del bacino della Laga ubicata a sud del F. Tronto, continua la deposizione torbiditica di mare profondo con le stesse caratteristiche del membro postevaporitico della Formazione della Laga messiniana.

Successivamente la sedimentazione torbiditica interessa anche l'area centro-settentrionale, con apporti da W, lungo "canali strutturali".

Nel Pliocene inferiore la tetto-genesi appenninica raggiunge la sua acme ed anche l'area marchigiana esterna viene corrugata (Cantalamesa et al., 1986 a).

Riprende la sedimentazione marina nell'avanfossa plio-pleistocenica: ulteriori successive compressioni, legate probabilmente alla riattivazione dei *thrust* del Pliocene inferiore, ne condizionano l'evoluzione sedimentaria creando, tra l'altro, delle depressioni longitudinali. Faglie trasversali, talora con caratteri di trascorrenza, oltre a favorire lo scorrimento dei flussi gravitativi verso il bacino, provocano lo smembramento dell'avanfossa marchigiana in tre aree principali: area settentrionale (a nord del F. Esino), area centrale anconetana (tra il F. Esino e il F. Musone) e area meridionale (a sud del Musone).

In quest'ultima area, dopo la trasgressione marina caratterizzata da depositi di ambiente litorale, si instaura per tutto il Pliocene medio-superiore un'attiva subsidenza lungo una fascia ad andamento longitudinale, prossima alla catena, con sedimentazione continua in ambiente fino a epibatiale. Dal margine interno appenninico vengono convogliati attraverso "canali strutturali" trasversali, e successivamente smistati verso NW, sedimenti torbiditici anche grossolani, che si "insaccano" nella depressione con giaciture *onlap*.

Tra la parte alta del Pliocene superiore ed il Plei-stocene inferiore, dopo la fine della fase compressiva precedentemente descritta, la subsidenza differenziale si attenua e le depressioni sono pressochè colmate.

L'area centrale, pur essendo relativamente profonda, come è indicato dal rinvenimento di forme batiali, costituisce un alto strutturale, in quanto non è raggiunta dalla sedimentazione torbiditica, che caratterizza invece le aree settentrionale e meridionale. Il depocentro settentrionale rappresenta la

propaggine del tratto padano-romagnolo dell'avanfossa appenninica, mentre quello meridionale corrisponde al tratto marchigiano-abruzzese, individuatosi nel Miocene superiore (bacino della Laga) e migrato poi nell'Adriatico.

La continuità dell'avanfossa è pertanto interrotta nell'area centrale anconetana da un "alto", entro cui si sviluppano depressioni o "sinclinali" minori.

I depositi del "Pleistocene glaciale" ben sviluppati a S dell'Esino, con vari indicatori di "bassa energia"; questi ultimi depositi indicano, più o meno direttamente, innalzamenti del livello di base, connessi con periodi a clima più caldo.

Nel Pleistocene medio-superiore si sviluppano movimenti verticali differenziati lungo faglie trasversali, sia tra le tre aree principali, sia all'interno di queste ultime. Nell'insieme si osserva una disposizione a gradinata, in cui l'area settentrionale costituisce l'elemento più rialzato e l'area meridionale quello più ribassato. In particolare alternativamente all'interno di quest'ultimo è possibile individuare blocchi ribassati e rialzati, ad andamento antiappenninico.

Tale assetto strutturale ha condizionato vistosamente la sedimentazione nell'area in questione, con la deposizione di sequenze diverse da zona a zona e l'impostazione dell'attuale reticolo idrografico.

Il territorio oggetto di studio rientra nel Bacino marchigiano esterno s.l., e più precisamente, nel settore centro-occidentale dello stesso, caratterizzato in affioramento dalla presenza di terreni sedimentari appartenenti ad una successione marina mio-plio-pleistocenica e da depositi continentali quaternari (depositi alluvionali, coltri eluvio-colluviali, accumuli di frana, ecc.). La successione stratigrafica è caratterizzata da varie unità litologiche, distinte in unità della copertura e del substrato. Vengono nei successivi sottoparagrafi descritte le unità litologiche che interessano le aree interessate dal progetto, sviluppando la descrizione secondo lo schema stratigrafico della carta geologica regionale (Carta Geologica delle Marche 1:10.000) e rappresentate nell'allegato cartografico "Carta Geologica e Strutturale di inquadramento" con Codice T01GE00GEOCO01.

3.1.1. SINTEMA DEL MUSONE

- **Depositi di versante (olocene) MUSa**

Depositi eterometrici, angolosi, con matrice in quantità variabile, a luoghi stratificati e/o cementati. Spessore: 2-20m.

- **Depositi di frana con indizi di evoluzione (olocene) MUSa1**

Frane di diverse tipologie con evidenze di movimenti in atto o recenti. Depositi eterogenei più o meno caotici la cui composizione varia con il substrato interessato. Le dimensioni variano dai blocchi a clasti di piccole dimensioni, con matrice variabile.

- **Depositi di frana senza indizi di evoluzione (olocene) MUSa1q**

Frane di diverse tipologie senza evidenze di movimenti. Depositi eterogenei più o meno caotici la cui composizione varia con il substrato interessato. Le dimensioni variano dai blocchi a clasti di piccole dimensioni, con matrice variabile.

- **Depositi eluvio colluviali (olocene) MUSb2**

Depositi eterometrici, spesso siltoso-sabbiosi, generalmente privi di strutture sedimentarie e non cementati. Spessore: 2-10m.

- **Depositi alluvionali attuali (olocene) MUSb**

Depositi alluvionali dei fondivalle attuali, eterometrici (dalle ghiaie alle argille in proporzioni variabili), che costituiscono le forme di letto dei fiumi e che vengono rimaneggiati durante gli eventi alluvionali principali. Spessore: 0-10m.

- **Depositi alluvionali terrazzati (olocene) MUSbn**

Ghiaie, sabbie, silt e argille, in proporzioni variabili, in riempimenti di canali e corpi tabulari, spesso con strutture sedimentarie (stratificazione incrociata, concava o piano parallela). Livelli torbosi discontinui e suoli organici sepolti o relitti poco evoluti. Spessore: 0-10m.

3.1.2. SINTEMA DI MATELICA

- **Depositi alluvionali terrazzati (pleistocene superiore) MTIbn**

Ghiaie, sabbie, silt e argille in riempimenti di canali e corpi tabulari, spesso con strutture sedimentarie (stratificazione incrociata, concava o piano parallela). Livelli torbosi discontinui e suoli organici sepolti o relitti poco evoluti. Spessore massimo: 15-30m.

- **Travertino (pleistocene superiore) MTIf1**

Accumuli di travertino generalmente associati a risorgive minerali o a sistemi di fratture, localmente molto cementati. Spessore: 0-10m.

3.1.3. SUPERSINTEMA DI COLLE ULIVO-COLONIA MONTANI

- **Depositi alluvionali terrazzati di Colle Ulivo (pleistocene medio – medio sommitale) ACbn3**

Ghiaie e, subordinatamente, sabbie, silt e argille in riempimenti di canali e corpi tabulari, spesso con strutture sedimentarie. Localmente suoli relitti argillificati e rubefatti al tetto dell'unità. Spessore: 2-20m.

3.1.4. FORMAZIONE DELLA LAGA

Membro post-evaporitico (messiniano p.p.)

Associazione torbidityca prevalentemente pelitico-arenacea, con intercalati numerosi orizzonti dell'associazione pelitica, arenaceo-pelitica, e arenacea, corrispondenti a litofacies. La sequenza di Bouma è di tipo T_{c-e} subordinatamente T_{d-e} e T_{b-}. Spessore circa 300 metri

Nella porzione superiore è presente il livello guida vulcano derivato (a) rappresentato nella presente banca dati come elemento poligonale. È costituito da ceneri vulcaniche in 2 o 3 strati amalgamati, di spessore variabile da 0,5 a 2 metri e datato 5,5 mln di anni (corrisponde al livello guida vulcano derivato segnalato, in forma lineare, nella Formazione di San Donato.

Nel membro sono state cartografate le seguenti litofacies:

- **Litofacies pelitico-arenacea LAG3e**

Generalmente costituita da peliti fittamente stratificate, costituite da silt argilloso e, più raramente, solo da silt o argilla di colore grigiastro, con intercalazioni arenacee, consistenti in arenarie gialle e talora grigie a granulometria da fine a finissima, di spessore variabile da 2-3cm a 25-30cm. La sequenza di Bouma è prevalentemente di tipo T_{bc/e}, e subordinatamente di tipo T_{cde} e T_{de}.

- **Litofacies arenaceo-pelitica LAG3d**

Alternanze di strati arenacei, da medi a spessi, e da strati sottili di peliti marnoso-siltose di colore grigio-azzurro. La frazione arenacea presenta una granulometria da fine a media e strati di colore grigio-marrone a geometria tabulare, a luoghi lenticolare, con strutture trattive e controimpronte basali. La sequenza di Bouma è prevalentemente di tipo T_{a-e}, e T_{b-e}, subordinatamente T_{c-e}.

Membro evaporitico (messiniano p.p.)

PROGETTAZIONE ATI:

Arenarie da medio-grossolane a fini, scarsamente cementate a stratificazione da molto spessa a media con a luoghi livelli pelitici. Spessore affiorante oltre 500 metri. Nel membro sono state cartografate le seguenti litofacies:

- **Litofacies renaceo-pelitica LAG2d**

Alternanze di strati, da sottili a medio-spessi, di arenarie e peliti. Le prime presentano una colorazione giallastra e granulometria da medio a fine con rari livelli grossolani. La frazione pelitica è costituita da materiale argilloso-siltoso. La sequenza di Bouma è di tipo Tabcd, Tab/de.

- **Litofacies arenacea LAG2c**

Arenarie torbiditiche silicoclastiche, sporadicamente gessose, in strati molto spessi, spessi e medi, di colore grigio-azzurro e giallastro, a granulometria grossolana e fine, con intercalazioni sottili, a volte discontinue, di peliti marnoso-siltose azzurre. La stratificazione è lenticolare e/o tabulare. Nel complesso si osservano sequenze di Bouma complete o tronche dell'intervallo "a". Verso la base del Membro evaporitico, nell'associazione arenacea è presente l'orizzonte guida gessarenitico g.

- **Livello guida gessarenitico g**

L'orizzonte gessarenitico è costituito, per uno spessore di 30-70m, da areniti gessose bluastre e/o grigie, ad alto contenuto silicoclastico, in strati da medi a spessi, separati da sottili interstrati di marne scure euxiniche.

Membro pre-evaporitico (messiniano p.p.)

Torbiditi prevalentemente arenacee e subordinatamente arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee. Lo spessore massimo può essere valutato attorno ai 350 metri. Nel membro sono state cartografate le seguenti litofacies:

- **Litofacies arenaceo-pelitica LAG1d**

Strati arenacei spessi e strati pelitici sottili. I primi mostrano una granulometria media mentre i secondi sono costituiti da argille marnose e siltose grigio-azzurre e brune. La geometria degli strati è generalmente tabulare con strutture trattive date da laminazione piano-parallela e incrociata a scala *ripple*. Sono presenti sequenze complete di Bouma T_{a-e} o tronche degli intervalli inferiori (T_{b-e} e subordinatamente T_{c-e}).

- **Litofacies arenacea LAG1c**

Costituita da strati arenacei da molto spessi a massicci caratterizzati da granulometria grossolana e geometrie lenticolari. Talvolta gli strati sono separati da sottili e discontinui livelli pelitico-marnosi grigi; rare sono le controimpronte basali (*flute cast*, *groove cast*) indicanti una generale direzione delle paleocorrenti. Subordinatamente si osservano strati con sequenze di Bouma tronche T_{a-c}, T_{b-e}.

3.1.5. MARNE A PTEROPODI

- **Marne a pteropodi MAP (tortoniano p.p. – messiniano p.p.)**

Questa formazione si rinvia solo alla base della Formazione della Laga. Essa consiste in sedimenti pelitici, in strati sottili e molto sottili e si riconoscono due membri non cartografabili per l'esiguità dello spessore. L'inferiore è caratterizzato dall'alternanza di marne grigio-verdoline, e marne argillose grigiastre intensamente bioturbate, e da rari e sottili strati calcario-marnosi e calcarenitici. Quello superiore è composto quasi esclusivamente da peliti scure bituminose e, a luoghi, da arenarie fini grigiastre, in strati medi e sottili, che rappresentano le parti più fini e distali dei flussi torbiditici della Formazione della Laga che si depositavano nelle zone più depresse. Lo spessore delle Marne a Pteropodi è di circa 40-50m nelle aree meridionali, mentre in quelle settentrionali si assottiglia fino a scomparire all'altezza della linea Fiastrone-Fiastrella.

3.1.6. SUCCESSIONE CALCAREO E/O MARNOSA CRETACICO MIOCENICA UMBRO MARCHIGIANA

- **Marne Con Cerroigna CRR (burdigaliano p.p.-ortoniano)**

Questa formazione affiora nella parte meridionale delle Marche, alla base delle Marne a Pteropodi. È costituita da alternanze di marne, marne calcaree, marne argillose, di colore grigio-chiaro, con frequenti intercalazioni di calcareniti torbiditiche, in strati da medi a spessi. La stratificazione è spesso mascherata da un diffuso clivaggio ed un'intensa bioturbazione. Frequenti sono gli *slumpings*. Le torbiditi carbonatiche, provenienti dall'erosione della piattaforma laziale-abruzzese, come indicano le direzioni di scorrimento ricavate in base a *groove* e *flute casts*, diminuiscono procedendo verso nord e sulle zone di alto strutturale. Lo spessore degli strati varia da 80 a 300 metri.

3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E INTERFERENZE PAI

L'intervento attraversa un'area collinare in sinistra idrografica del Torrente Vetremastro, affluente del Fiume Tenna. I principali dislivelli sono generati dal corso d'acqua e dai suoi affluenti in sinistra i quali incidendo i rilievi costituiti dalla Formazione della Laga, generano sponde acclivi. Queste aree vengono bypassate attraverso due viadotti.

L'area in esame è prevalentemente collinare con versanti che raggiungono quote al di sotto dei 500 m s.l.m. con acclività media intorno ai 25° i quali risultano incisi da corpi idrici minori che confluiscono nel T. Vetremastro e F.so delle Chiuse. Il pattern di drenaggio del corso d'acqua principale risulta essere variabile tra il meandriforme e il rettilineo con un alveo principale, contenuto nella piana alluvionale incisa, di larghezza moderata con variazioni laterali contenute. In alcune zone del reticolo idrografico a regime erosivo ha generato diverse scarpate di approfondimento fluviale molto marcate che superano anche i 10 m.

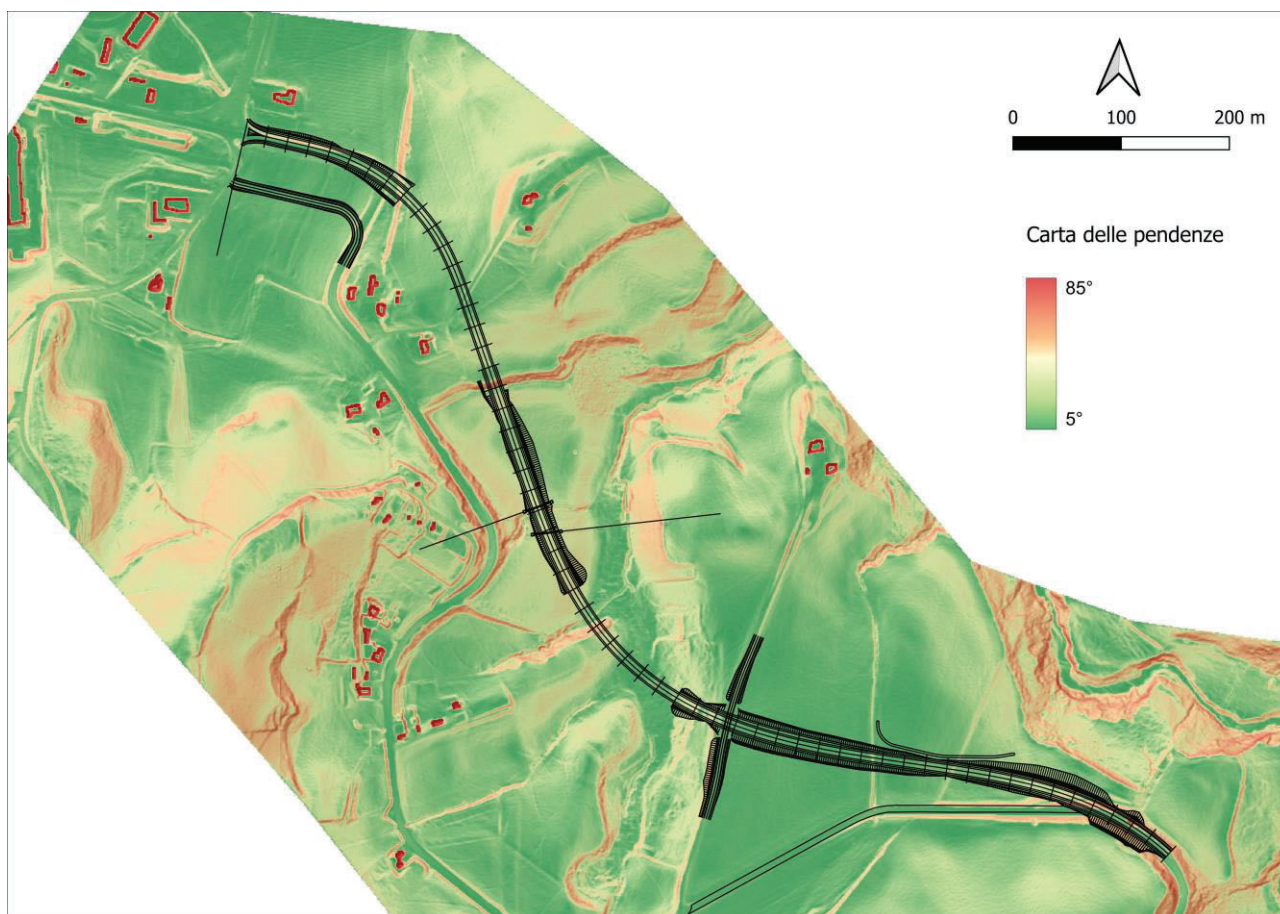


Figura 3-2 Carta delle pendenze.

Nell'area di interesse sono presenti depositi di frana da colamento e scivolamento come visibile dalla Carta Inventario frane IFFI, tuttavia essi non intercettano il tracciato di Progetto.

Gli interventi previsti non presentano interferenze con le aree PAI relative al rischio geomorfologico. Le cartografie sono fornite da Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale delle Marche. La cartografia del PAI Marche vigente è aggiornata alla data del 10/05/2022 (pubblicazione del DPCM 14/03/2022 nella GU Serie Generale n. 108).

L'ultima modifica ordinaria alle aree è intervenuta con Decreto Segretariale n. 22 del 09/02/2023.

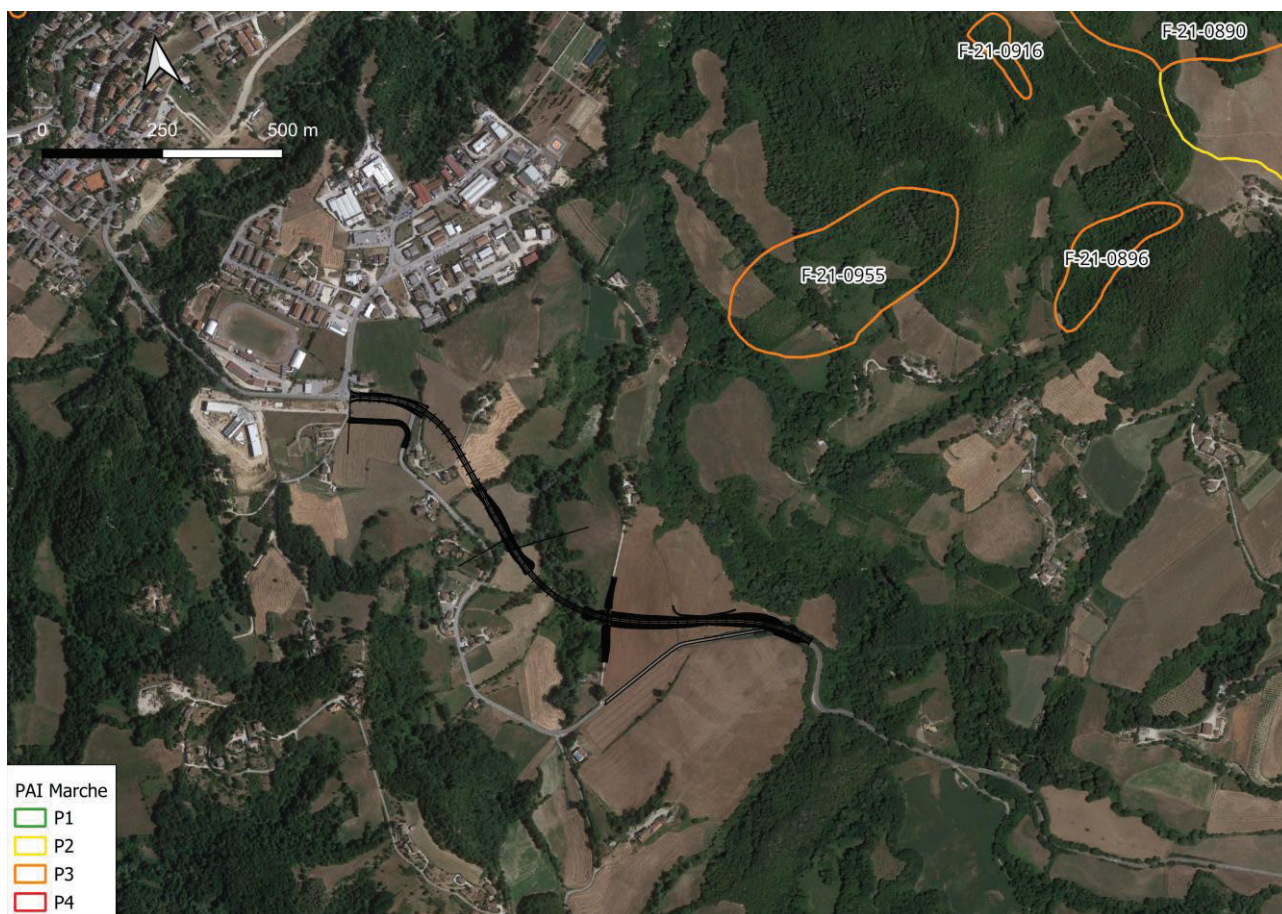


Figura 3-3 Interferenze aree PAI.

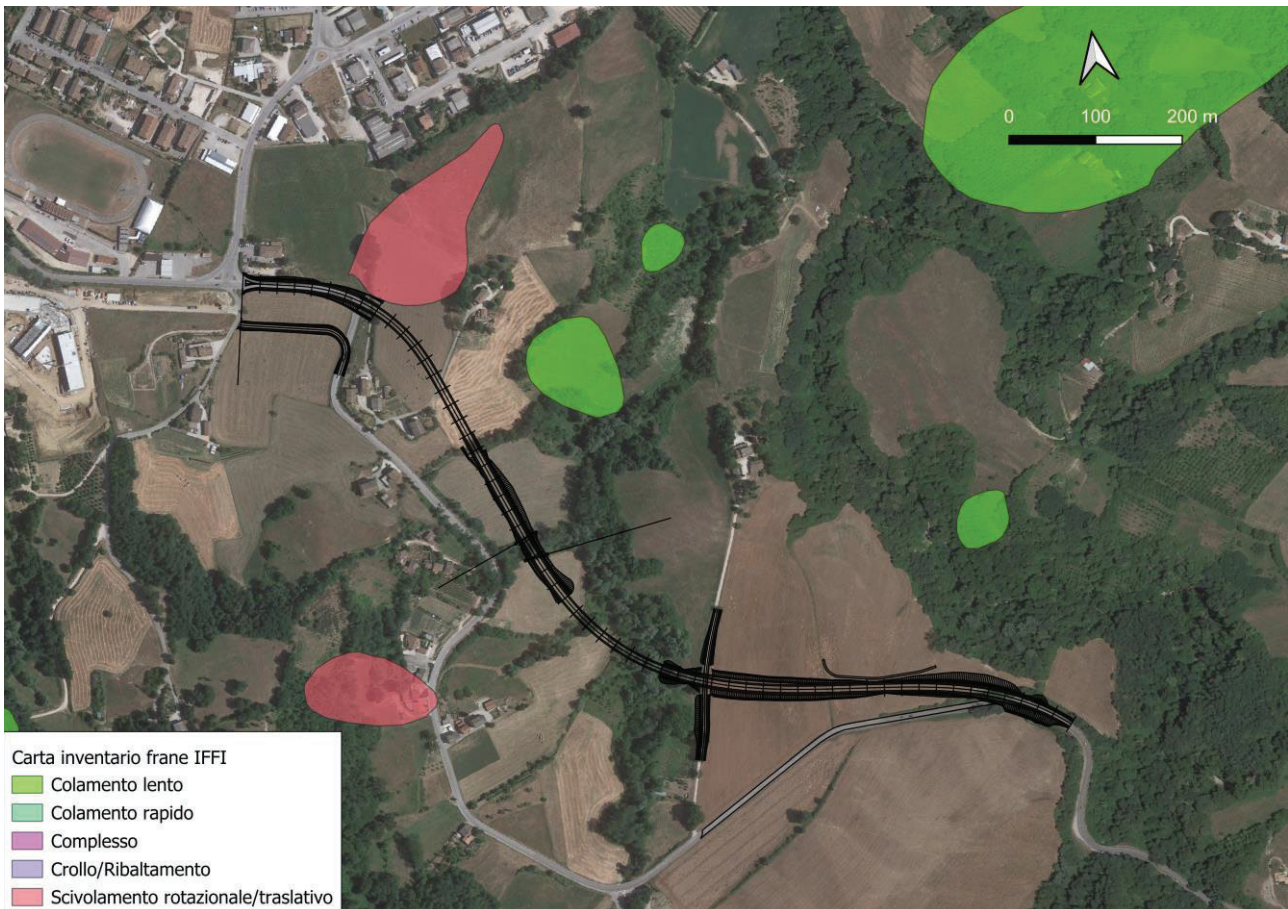


Figura 3-4 Stralcio inventario frane - IFFI.

3.3. IDROGEOLOGIA

Nello schema idrogeologico regionale fornito dal PTA delle Marche vengono individuati quattro complessi idrogeologici che presentano sia permeabilità primaria per porosità che permeabilità secondaria per fessurazione.

In linea generale i depositi presenti nell'area possono essere raggruppati in quattro complessi idrogeologici caratterizzati da diverso grado di permeabilità:

1. *Complesso idrogeologico dei depositi detritici e alluvionali;*
2. *Complesso idrogeologico dei travertini;*
3. *Complesso idrogeologico dei depositi marnosi e marnoso-calcarei dello Schlier, Bisciario e Scaglia cinerea;*
4. *Complesso idrogeologico dei depositi terrigeni della Formazione marnoso-arenacea e dei bacini minori intrappenninici.*

I primi due complessi idrogeologici comprendono i terreni di copertura più recenti, mentre gli altri comprendono le rocce del substrato:

- Complesso idrogeologico dei depositi detritici e alluvionali. Depositi tipicamente eterogenei derivanti dalle formazioni della successione umbro-marchigiana affiorante nell'area. Prevalentemente costituiti da materiale clasti grossolani, ghiaie e sabbie, immerso in una matrice limoso-argillosa. La permeabilità risulta di tipo primario da bassa a media, localmente sono presenti anche falde libere a forte escursione annua. Le sorgenti presenti hanno portata modesta e sono soggette ad una forte escursione annuale.
- Complesso idrogeologico dei travertini. La permeabilità prevalente è di tipo secondario connessa al grado di fratturazione delle rocce, il quale, data la tettonica dell'area, risulta generalmente medio-alto. Grazie all'elevata capacità di immagazzinamento, in questo complesso sono presenti modeste falde di interesse locale.
- Complesso idrogeologico dei depositi marnosi e marnoso-calcarei dello Schlier, Bisciario e Scaglia cinerea. Di questo complesso fanno parte le formazioni propriamente marnose e argillose delle Successioni Umbro-Marchigiana e Umbro-Marchigiana-Romagnola. La permeabilità di tale complesso risulta sempre bassa o molto bassa ed è strettamente connessa al grado di fessurazione della roccia. Le sorgenti sono presenti nelle aree intensamente fratturate.
- Complesso idrogeologico dei depositi terrigeni della Formazione marnoso-arenacea e dei bacini minori intrappenninici. Di questo complesso fanno parte i membri della Formazione della Laga costituiti da alternanze arenaceo-pelitiche. La permeabilità di questo complesso è molto variabile poiché è costituito da formazioni caratterizzate da alternanze tra arenarie e marne o argille. Per questo motivo la circolazione idrica può risultare compartimentata di tipo secondario ed esclusiva degli strati arenacei, l'alterazione di questi depositi ha sempre permeabilità molto bassa. Le sorgenti presenti sono a regime stagionale con portate basse e sono connessi ai membri arenacei di questo complesso. L'infiltrazione efficace è limitata ai corpi arenacei. Inoltre, questo complesso include depositi evaporitici caratterizzati da una modesta circolazione idrica che permette l'esistenza di sorgenti sulfuree a basse portate.

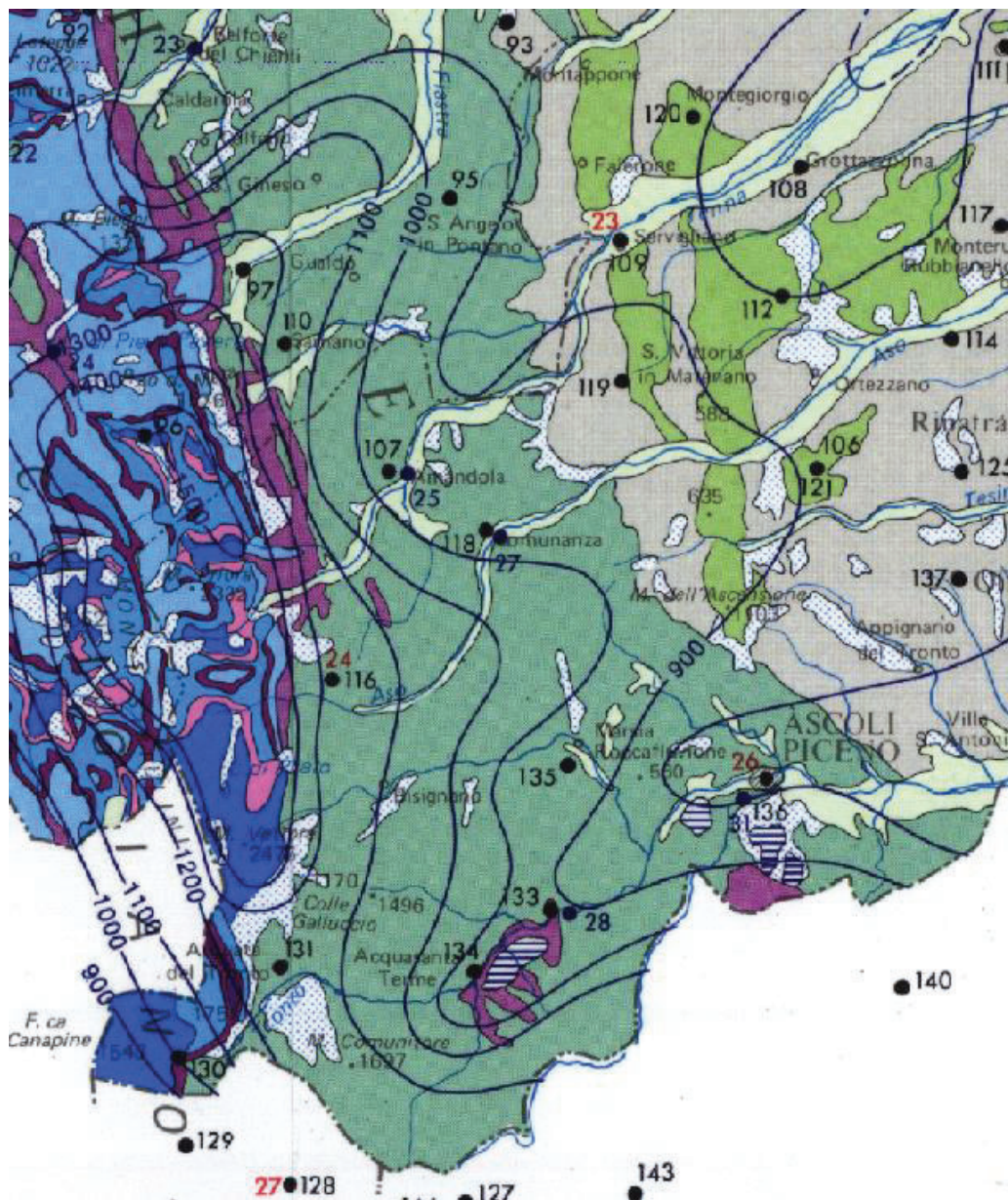


Figura 3-5 Stralcio schema idrogeologico della Regione Marche.

A scala di progetto si è vista la necessità di variare lo schema regionale proposto. All'interno dell'area di studio entro cui si sviluppa il tracciato di Progetto, sono stati classificati i seguenti complessi idrogeologici rappresentati nell'allegato cartografico T01GE00GEOCI01:

- Complesso C1 - Complesso idrogeologico dei depositi eluvio-colluviali, detritici e di versante. In prevalenza depositi continentali sciolti di fondo valle e coltri detritiche costituiti da inclusi in matrice argilloso-limosa e argilloso-sabbiosa a media permeabilità. Questi depositi sono localizzati lungo il bordo delle dorsali, nelle zone di raccordo con le piane alluvionali, e nelle aree affette da instabilità gravitativa. La permeabilità è di tipo primario per porosità ed ha un grado medio-basso. Le falde in questi depositi sono caratterizzate da una forte escursione stagionale.

- Complesso C2 - Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali, delle alluvioni terrazzate e depositi morenici. Costituito da alluvioni terrazzate antiche e recenti della pianura alluvionale. I litotipi sono ghiaie, sabbie e ghiaie limose intercalate a lenti argilloso-limose e sabbioso limose. In questi depositi sono presenti falde monostrato a superficie libera utilizzate per l'approvvigionamento idrico, oppure acquiferi multistrato con falde confinate. La permeabilità varia tra i 10^{-4} l/s e 10^{-6} l/s con una elevata infiltrazione totale presso le pianure alluvionali, di tipo primario per porosità ed è di grado medio-alto.
- Complesso C3 - Complesso idrogeologico dei depositi arenacei, calcarei, evaporitici e travertinosi. Questo complesso è costituito dai membri arenacei della Formazione della Laga e il livello gessarenitico. La permeabilità prevalente è di tipo secondario, anche se nei membri arenacei quella di tipo primario può raggiungere tenori importanti. La permeabilità è strettamente connessa al grado di fratturazione delle rocce, che, data la tettonica dell'area, risulta generalmente medio alto.

CLASSI DI PERMEABILITA' - AFTES

MOLTO ALTA - ALTA $K > 10^{-4}$ m/s	ALTA - MEDIA 10^{-4} m/s > $K > 10^{-6}$ m/s	MEDIA - BASSA 10^{-6} m/s > $K > 10^{-8}$ m/s	BASSA - MOLTO BASSA $K > 10^{-9}$ m/s	COMPLESSO IDROGEOLOGICO
				Complesso idrogeologico dei depositi eluvio-colluviali, detritici e di versante
				Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali, delle alluvioni terrazzate e depositi morenici
				Complesso idrogeologico dei depositi arenacei, calcarei, evaporitici e travertinosi.

Figura 3-6 Classi di permeabilità.

4. SISMICA

4.1. CLASSIFICAZIONE SISMICA

La valutazione dei diversi gradi di sismicità che caratterizzano la fascia di territorio attraversata dal Tracciato, è stata basata principalmente sull'analisi di:

- Carta delle "Massime Intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani" elaborata dal GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) e dal SSN (Servizio Sismico Nazionale) per il Dipartimento della Protezione Civile;
- Classificazione Sismica dei Comuni Italiani aggiornata al 2022.

La Carta delle "Massime Intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani" illustra le massime intensità macrosismiche (I_{max}) dei terremoti, elencati nel Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (di ING/SGA), che hanno colpito i territori comunali attraversati dal tracciato in esame. Questo indice descrive la misura degli effetti di un terremoto sulle costruzioni, sull'uomo e sull'ambiente, classificandoli in dodici gradi attraverso la scala Mercalli.

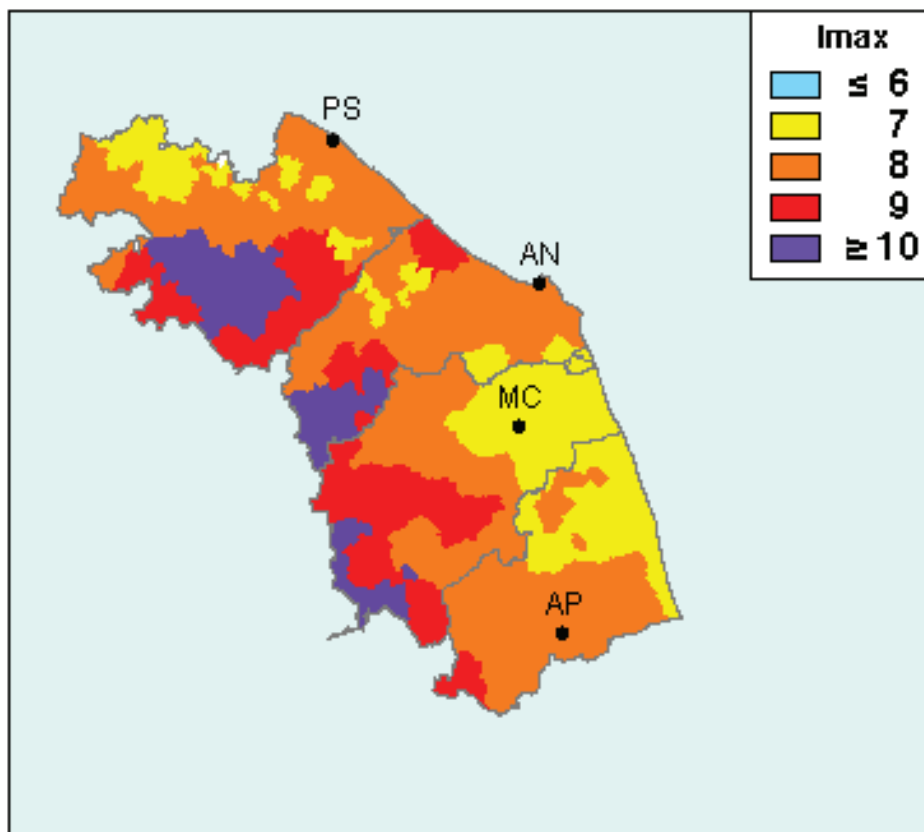


Figura 4-1 Stralcio della carta delle massime intensità macrosismiche della Regione Marche (INGV).

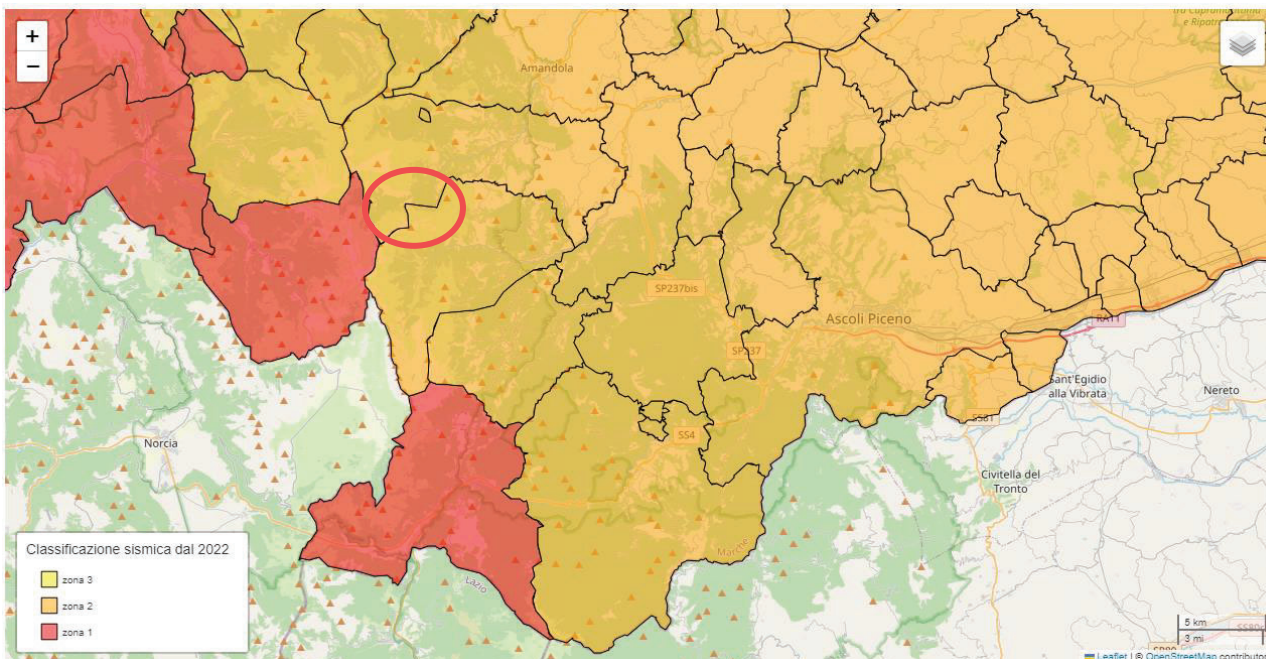


Figura 4-2 Classificazione sismica della Regione Marche aggiornata al 2023.

AMANDOLA	11	44	4	42.97982	13.35698	8
MONTEFORTINO	11	44	37	42.94222	13.34215	8

Figura 4-3 Valori di intensità macrosismiche dei comuni tra Amandola e Montefortino.

Il territorio interessato dall'opera di progetto, ricade in una fascia caratterizzata da I_{max} di 8 (intensità macrosismica media) che include tutti i piccoli comuni attraversati dal tracciato proposto.

Questi stessi comuni sono classificati tutti come **Zona Sismica 2** secondo la Classificazione sismica dei Comuni italiani individuata secondo i valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni secondo lo schema seguente:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) (a_g/g)
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

Tabella 4-1 Definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio.

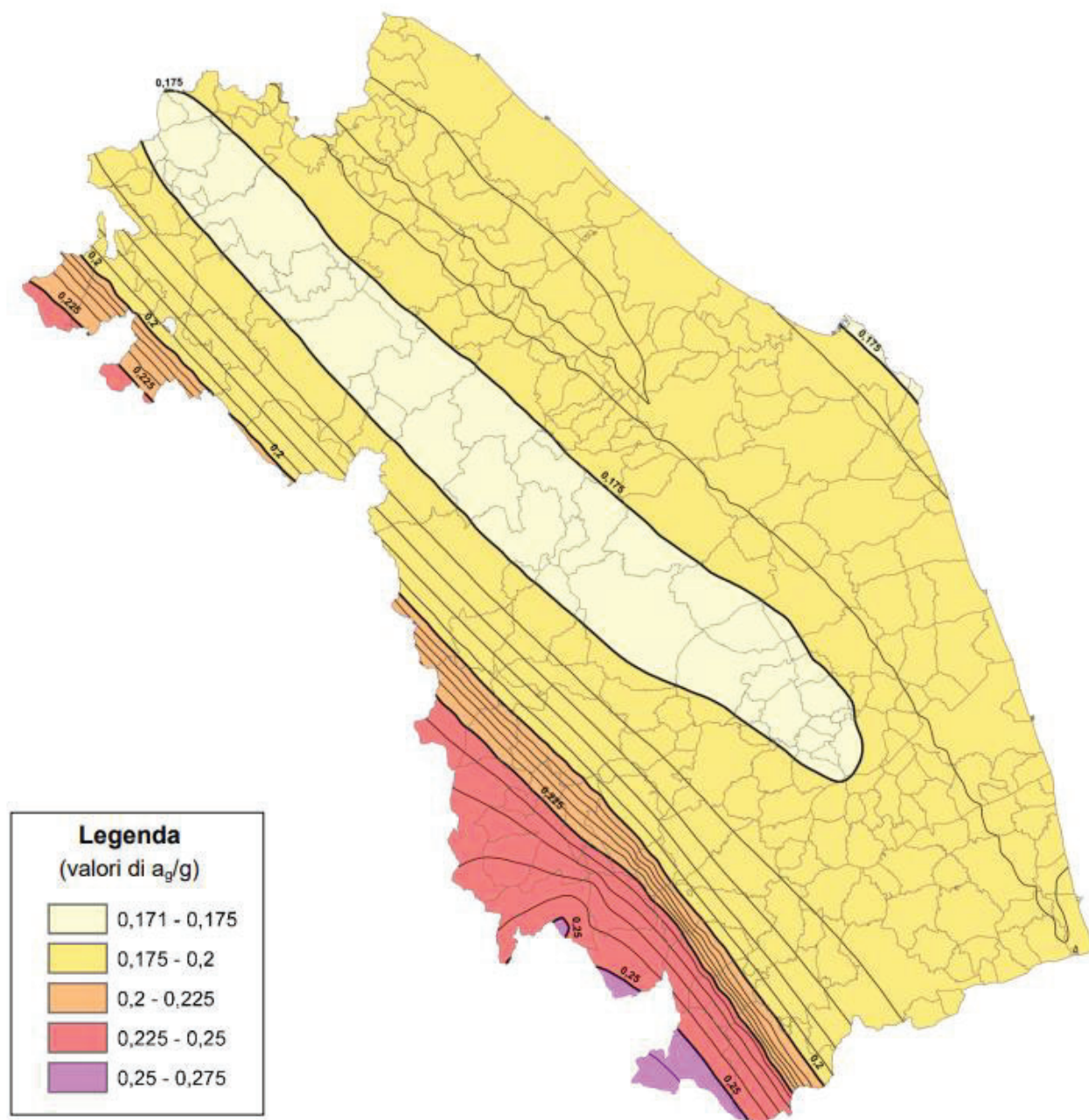


Figura 4-4 Mappa delle accelerazioni massime del suolo a_g/g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferite a suolo rigido ($V_{seq} > 800$ m/s) della Regione Marche.

4.2. PERICOLOSITÀ SISMICA

Secondo l'OPCM n. 3519/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", è stata adottata la mappa di Pericolosità sismica alla quale ogni Regione fa riferimento.

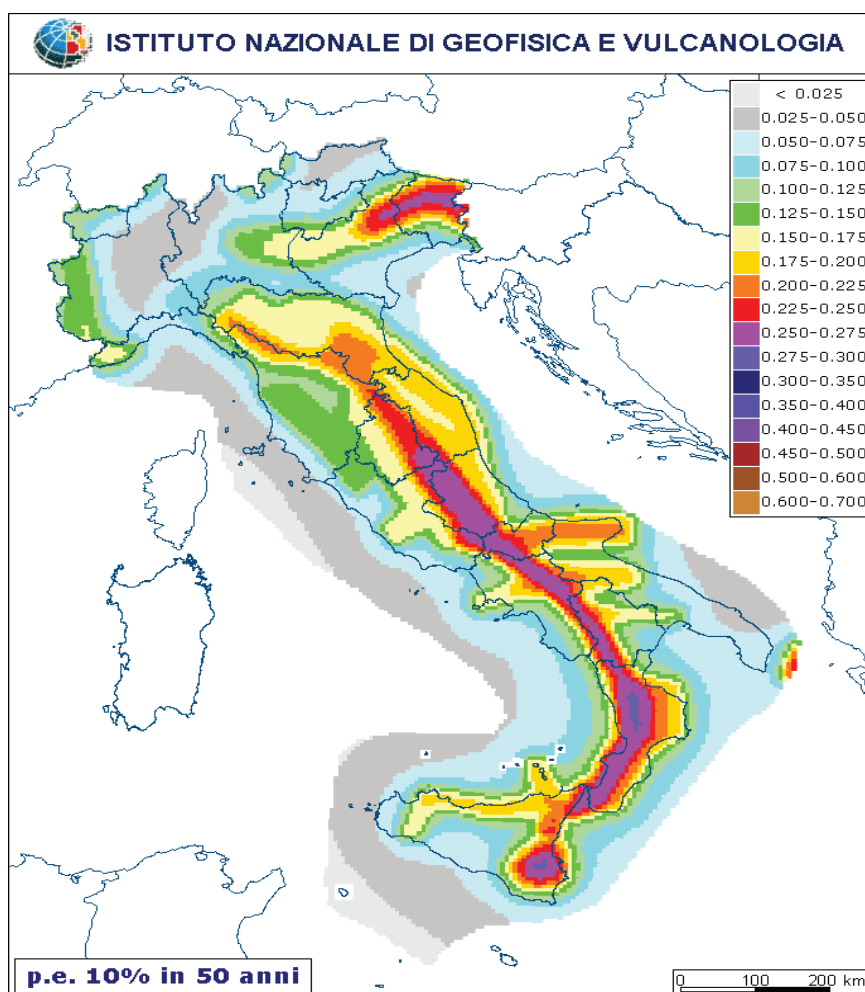


Figura 4-5 Mappa della Pericolosità Sismica sul territorio nazionale (OPCM 3519/2006).

La pericolosità sismica, ovvero l'accelerazione massima orizzontale, viene rappresentata mediante una mappa nazionale di pericolosità che indica il valore di scuotimento PGA (Peak ground acceleration) atteso su suolo rigido.

Nello specifico, tramite applicazione Webgis consultabile on line sul sito dell'I.N.G.V. all'indirizzo <http://esse1-gis.mi.ingv.it>, è possibile in maniera interattiva esaminare le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale. Di seguito sono riportati i valori di pericolosità rilevati entro l'area in esame. L'accelerazione di picco del suolo attesa con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, $V_s E_q > 800$ m/s), espressa in termini di g, (accelerazione di gravità).

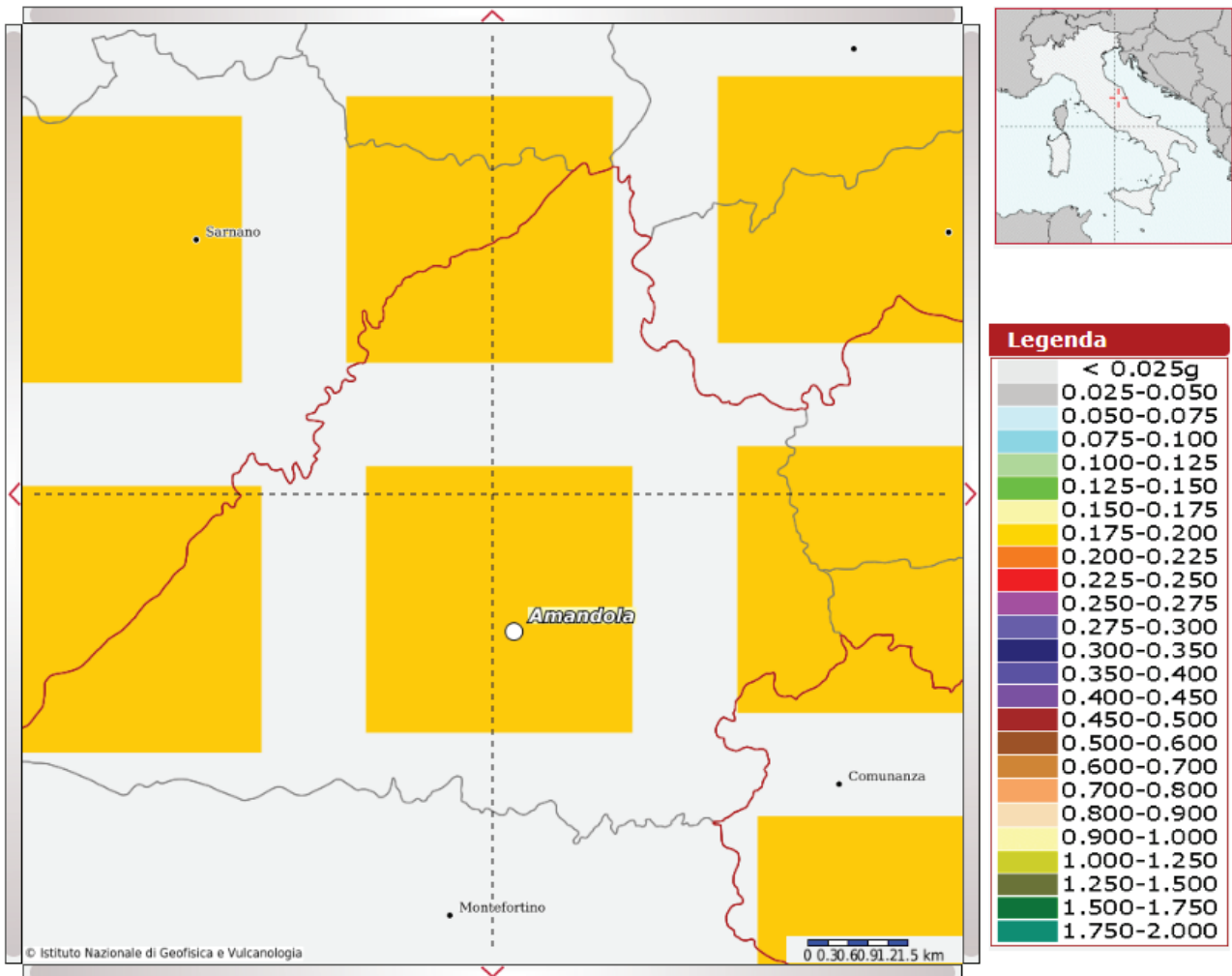


Figura 4-6 Stralcio dei valori di Pericolosità sismica (OPCM 3519/2006) per i Comune di Amandola attraversato dal tracciato di progetto.

4.3. ASPETTI SISMOGENETICI

Le informazioni disponibili per i terremoti storici, quelle di tipo paleosismologico e quelle geologico-strutturali di un'area permettono di individuare le cosiddette "Faglie Capaci", definite come "faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie". L'elenco delle faglie attive e capaci del catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) evidenzia che non sono presenti tali strutture in prossimità del tracciato.



Figura 4-7 Estratto dal portale *Webgis* dell'ISPRA (ITHACA – CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI - <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>), modificata con l'indicazione dei codici identificativi del catalogo.

4.4. MICROZONAZIONE SISMICA

Premesso che si rimane in attesa di una campagna indagini volta a chiarire l'assetto geologico dell'area in esame, si espongono di seguito i dati bibliografici relativi alla Microzonazione Sismica forniti dal Comune di Amandola.

L'intervento in progetto ricade all'interno del Comune di Amandola. La microzonazione sismica, fornita dal Comune di Amandola e datata 2016, copre l'intero territorio comunale. Il tracciato rientra interamente nella perimetrazione della MOPS (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), attraversando diverse zone stabili suscettibili ad amplificazione.

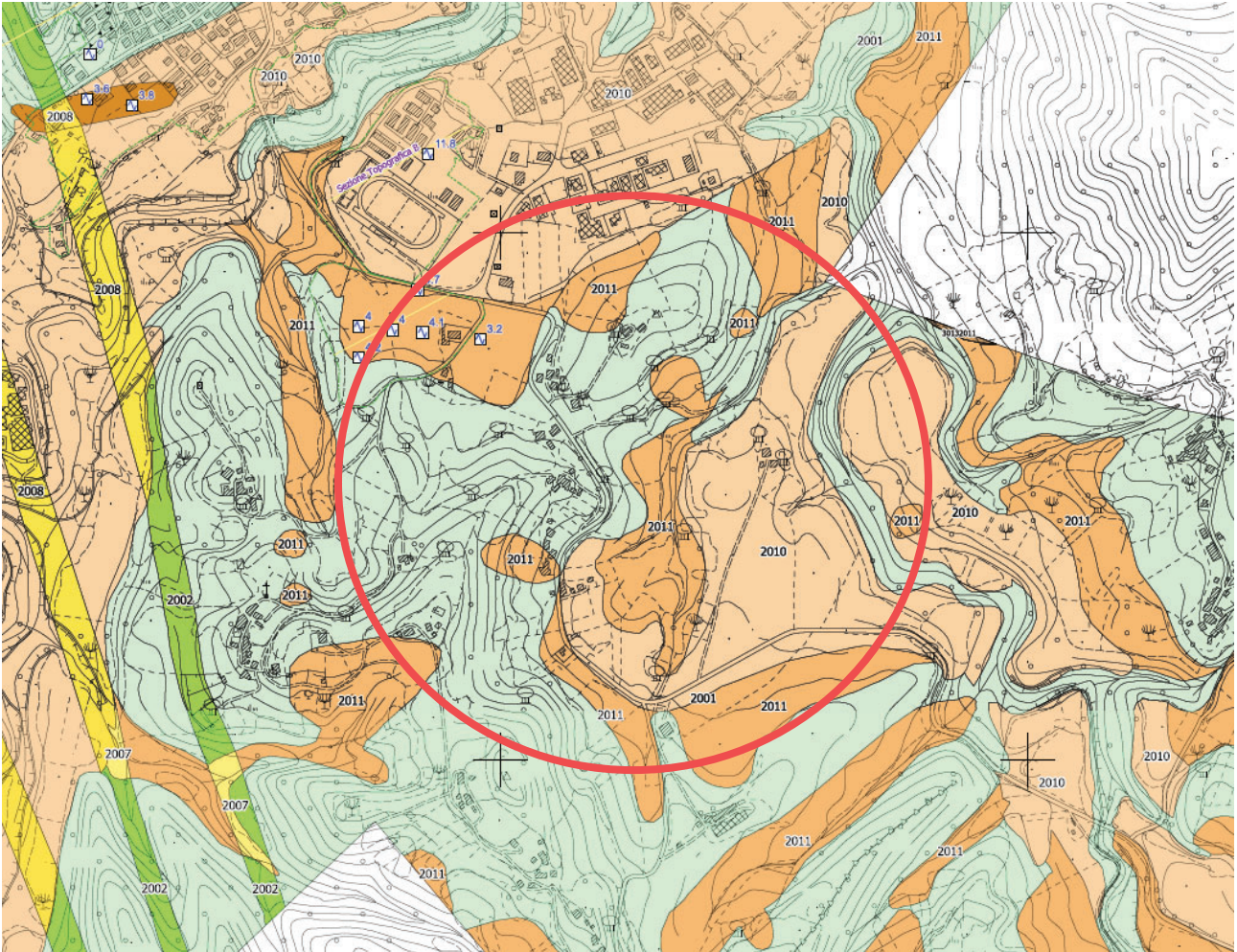
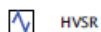


Figura 4-8 Stralcio MOPS Comune di Amandola.

Legenda

Punto di misura di rumore ambientale



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

	Zona 1 (2001)
	Zona 2 (2002)
	Zona 3 (2003)
	Zona 4 (2004)
	Zona 5 (2005)
	Zona 6 (2006)
	Zona 7 (2007)
	Zona 8 (2008)
	Zona 9 (2009)
	Zona 10 (2010)
	Zona 11 (2011)
	Zona 12 (2012)
	Zona 13 (2013)
	Zona 14 (2014)
	Zona 18 (2018)

Zone di attenzione per instabilità

	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 2
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 3
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 4
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 6
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 7
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 9
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 11
	ZA fr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 17

Figura 4-9 Legenda MOPS.

Di seguito si riportano degli estratti della relazione relativi alla descrizione delle zone stabili suscettibili di amplificazione e i relativi schemi litotecnici.

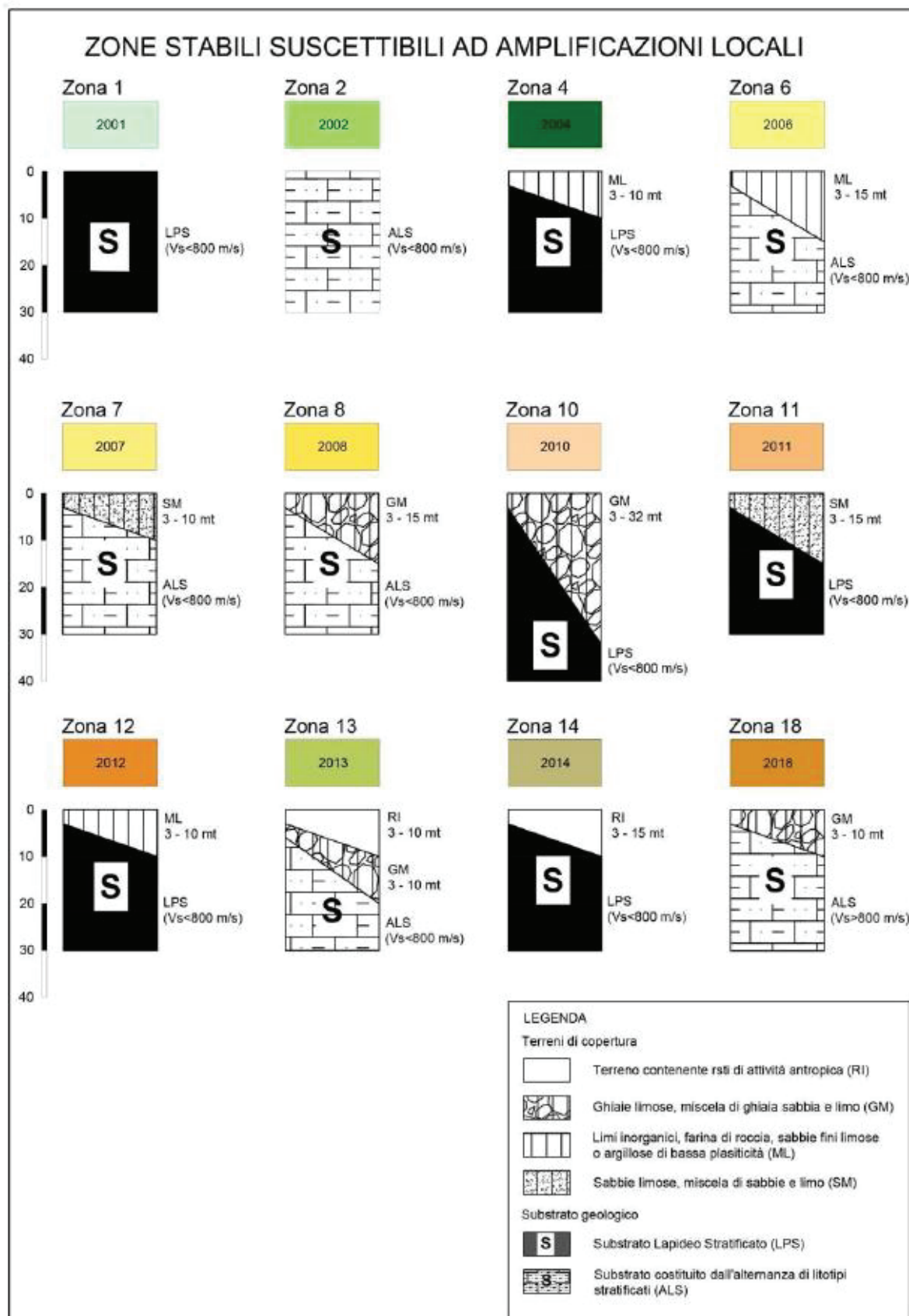


Figura 4-10 Schema litotecnico delle zone stabili suscettibili di amplificazione.

Unità di copertura:

RI: Terreni a granulometria eterogenea, variabile sia orizzontalmente che verticalmente, depositi sciolti o poco addensati a spessore variabile compreso tra 3 e 10 m.

SMec: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (depositi eluvio-colluviali OLOCENE) Tali depositi rappresentano la porzione più corticale dei terreni di copertura presenti nell'area in esame; trattasi di sabbie limose e limi sabbiosi avana-giallastri da scarsamente a mediamente addensati con calcinelli biancastri nella fascia più superficiale.

SMtf: sabbie limose, miscela di sabbia e limo (depositi alluvionali terrazzati Pleistocene medio-sup.) Tali materiali di colore giallastro sovrastano i depositi ghiaiosi alluvionali; sono caratterizzati da un buon grado di addensamento tanto da presentare localmente cenni di stratificazione.

GMec: Ghiaie in matrice limoso-sabbiosa a luoghi abbondante e prevalente (GM/ec – Depositi eluvio-colluviali).

GMtf: Ghiaie, ghiaie sabbiose e ghiaie limoso-sabbiose con a luoghi livelli limoso-sabbiosi (GM/tf – Depositi alluvionali terrazzati).

MLec: Limi sabbiosi e limi sabbioso-argillosi con rari inclusi calcarei ed arenacei eterometrici (ML/ec – Depositi eluvio-colluviali).

Unità del substrato geologico:

LPS: arenarie con stratificazione da molto spessa a media con intercalazioni di sottili livelli pelitici (Messiniano - LAG1c Litofacies arenacea). Gli strati arenacei si presentano in affioramento di colore variabile dal giallo-grigiastro al grigio, poco fratturati.

ALS: alternanze di strati arenacei e sottili livelli di peliti grigio-azzurre a luoghi fittamente laminate (Form. della Laga Membro post-evaporitico - Litofacies arenaceo-pelitica LAG3d - Messiniano p.p.); Peliti fittamente stratificate grigie con rare intercalazioni arenacee di spessore variabile (Form. della Laga Membro post-evaporitico Litofacies pelitico-arenacea - LAG3e - Messiniano p.p.); Marne, marne calcaree, marne argillose, di colore grigio chiaro, con frequenti intercalazioni di calcareniti torbiditiche (Form. delle Marne con Cerroghna - CRR - Tortoniano medio - Burdigalliano superiore p.p.).

4.4.1. INDAGINI MS

Per la microzonazione sismica del Comune di Amandola sono state programmate e realizzate delle indagini geognostiche e geofisiche integrative allo scopo di puntualizzare e dettagliare le conoscenze acquisite nella I fase e colmare le carenze di dati geofisici in zone significative del territorio in esame. Per quanto riguarda l'area di interesse per il passaggio del tracciato di Progetto, sono state effettuate n. 4 prove HVSR durante l'anno 2017.



Figura 4-11 Posizione delle indagini geotecniche per la MZS del Comune di Amandola.

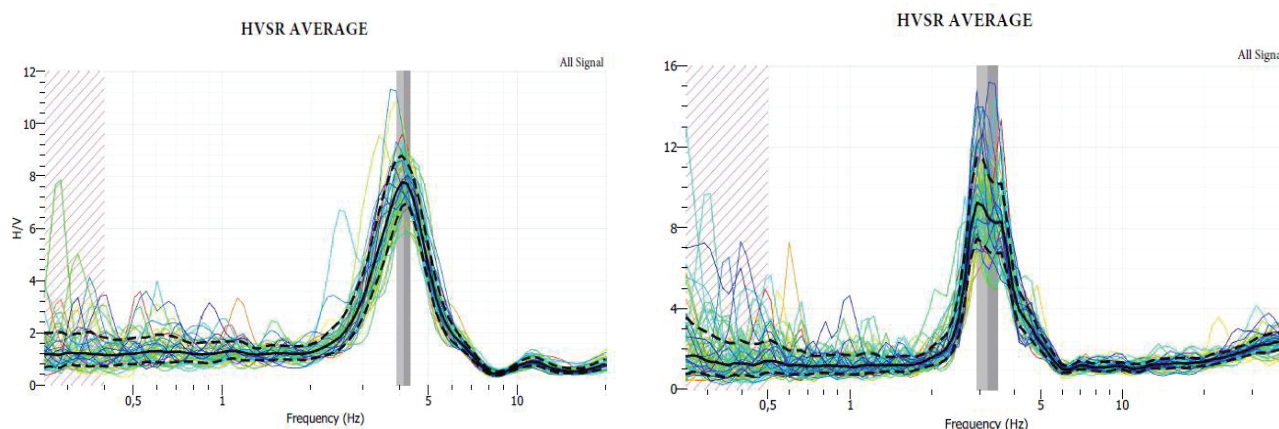


Figura 4-12 Prove sismiche HVSR eseguite nel Comune di Amandola.

5. RILIEVO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

L'area oggetto di studio è ubicata presso il settore centrale dell'Appennino umbro-marchigiano, nello specifico entro la successione di bacino della Laga. Nell'area interessata dal tracciato di Progetto nell'area di intervento di Ciaraglia, si rilevano le seguenti formazioni geologiche e rappresentate nell'allegato cartografico T01GE00GEOCG01:

Formazione della LAGA

PROGETTAZIONE ATI:

Membro evaporitico (messiniano p.p.)

- **Litofacies arenacea LAG2c**

Arenarie torbiditiche silicoclastiche, sporadicamente gessose, in strati molto spessi, spessi e medi, di colore grigio-azzurro e giallastro, a granulometria grossolana e fine, con intercalazioni sottili, a volte discontinue, di peliti marnoso-siltose azzurre. La stratificazione è lenticolare e/o tabulare. Nel complesso si osservano sequenze di Bouma complete o tronche dell'intervallo "a". Verso la base del Membro evaporitico, nell'associazione arenacea è presente l'orizzonte guida gessarenitico g.



Figura 5-1 Litofacies arenacea della Formazione della Laga (LAG2c).

- **Livello guida gessarenitico g**

L'orizzonte gessarenitico è costituito da areniti gessose bluastre e/o grigie, ad alto contenuto silicoclastico, in strati da medi a spessi, separati da sottili interstrati di marne scure euxiniche. Lo spessore di questo livello varia tra i 30 e i 70 m.

Sintema di Matelica

- **Depositi alluvionali terrazzati (pleistocene superiore) MTIbn**

Questi depositi sono costituiti da ghiaie poligeniche prevalentemente di natura calcarea incluse in matrice sabbioso-siltosa massive o a stratificazione incrociata. Si osservano intercalazioni di Livelli torbosi discontinui e suoli organici sepolti o relitti poco evoluti. Lo spessore massimo varia tra i 15-30 m.

PROGETTAZIONE ATI:

Sintema del musone

- **Depositi di frana con indizi di evoluzione (olocene) MUSa1**

Messi in posto ai piedi dei versanti costituiti da depositi da frana in assetto caotico e di dimensioni molto variabili. La natura dei clasti è strettamente legata al tipo di substrato da cui provengono.

- **Depositi eluvio colluviali (olocene) MUSb2**

Depositi tessituralmente eterogenei che includono detriti angolosi frammisti a sedimenti sabbiosi e componente vegetale. Includono localmente orizzonti di suolo calcareo con noduli e lenti più o meno indurite. Non si osservano strutture sedimentarie e lo spessore varia tra i 2 e i 10 m.

Supersintema di Colle Ulivo-Colonia Montani

- **Depositi alluvionali terrazzati di Colle Ulivo (pleistocene medio – medio sommitale) ACbn3**

Depositi terrazzati prevalentemente ghiaiosi con matrice sabbioso-limosa e a luoghi lenti sabbioso-siltose. Gli inclusi risultano poligenici ed eterometrici ed arrotondati. Lo spessore complessivo non supera i 20 m.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area in cui si sviluppa il tracciato di Progetto del Lotto 1 di Ciaraglia rappresentata nell'allegato cartografico T01GE00GEOCG02, rientra all'interno delle valli dei corsi d'acqua del T. Vetremastro e F.so delle Chiuse i quali scorrono nel Comune di Amandola. I rilievi collinari sono costituiti dal membro evaporitico della Formazione della Laga, nello specifico dalla litofacies arenacea (LAG2c). L'area in esame rientra all'interno del Comune di Amandola, è prevalentemente collinare con versanti che raggiungono quote intorno ai 400 m s.l.m. con acclività media intorno ai 25° i quali risultano incisi da corpi idrici minori che confluiscono nel T. Vetremastro e F.so delle Chiuse.

Il pattern di drenaggio del corso d'acqua principale risulta essere variabile tra il meandriforme e il rettilineo con un alveo principale, contenuto nella piana alluvionale incisa del Comune di Amandola. Il T. Vetremastro ha carattere prevalentemente erosivo lungo il suo alveo principale, infatti si osservano evidenti prove di approfondimento dell'alveo mentre le sue variazioni laterali risultano contenute. Il corso d'acqua principale, incide i depositi eluvio-colluviali generando delle scarpate di erosione fluviale che raggiungono localmente i 10 m, come è stato possibile osservare dal rilievo fatto sul campo (Figura 5-2).



Figura 5-2 Scarpata instabile.

Nelle aree ai piedi dei versanti collinari, in corrispondenza dei depositi eluvio-colluviali, si osservano superfici di dilavamento diffuso e fenomeni di soliflusso, o *creep* della coltre colluviale (Figura 5-3). I depositi alluvionali identificati nell'area fanno parte dei depositi terrazzati (MTIbn e ACbn3) costituiti da depositi eterometrici di ghiaie in matrice siltoso-sabbiosa.



Figura 5-3 Fenomeni di dilavamento diffuso sui versanti collinari.



Figura 5-4 Depositi alluvionali terrazzati.

Per ciò che concerne i fenomeni gravitativi all'interno dell'area di studio, sono state cartografate diverse frane a differente cinematisimo. Come illustrato nell'elaborato cartografico di dettaglio T01GE00GEOCG02.

PROGETTAZIONE ATI:

In particolare durante le fasi di rilievo geologico è stato individuato un potenziale fenomeno gravitativo compreso tra le progressive 0+380 e 0+460 circa. Il fenomeno riconosciuto in campo come colamento è stato successivamente cartografato con l'utilizzo del modello di elevazione digitale, in particolare attraverso le pendenze, nel quale si riconosce chiaramente il coronamento individuato nelle fasi di rilievo.



Figura 5-5 Coronamento colamento.



Figura 5-6 Ricostruzione fenomeno gravitativo con carta delle pendenze.

PROGETTAZIONE ATI:

Il fenomeno gravitativo risulta essere sicuramente attivo, non si può, allo stato attuale definire la potenza dei depositi coinvolti. Sarà necessario attendere i risultati della campagna geognostica per definire al meglio le geometrie della frana.

5.1. RILIEVO GEOMECCANICO-GEOSTRUTTURALE

Per il presente studio è stata impiegata 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.

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; 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 idrauliche

A ciascun punto sopraindicato equivale un valore numerico. Valori più alti indicano migliori condizioni della roccia e di conseguenza una maggiore stabilità del versante analizzato. A questa relazione 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 sul reticolo di Schimdt.

5.1.1. METODO DI RILIEVO ED ANALISI

Al fine di individuare le caratteristiche principali dell'ammasso, gli elementi geologici più importanti (aspetti stratigrafici e tettonici e la relativa evoluzione e successione deformativa) che definiscono l'assetto strutturale, la geometria e la cinematica dell'area è stato svolto un rilevamento di superficie di dettaglio.

Sono stati raccolti i dati relativi al grado di alterazione dell'ammasso. In particolare sono state studiate le linee di discontinuità, andando ad individuare le loro caratteristiche di comportamento meccanico e di resistenza, la loro disposizione nello spazio e la loro frequenza e persistenza.

Nel corso del rilevamento strutturale sono state eseguite misure di giacitura di elementi strutturali piani o ad andamento rettilineo. Le misure relative all'orientazione delle strutture a scala maggiore sono state riportate in apposite schede prestampate nelle quali sono state riportate le misure di giacitura degli elementi strutturali planari o lineari singolari, considerati come non pervasivi o realmente tali, per ciascuno dei quali può essere sufficiente anche una sola misura e di elementi pervasivi della cui orientazione si vuol conoscere la frequenza relativa. Una volta raccolti tutti gli elementi per la singola stazione strutturale è stato utilizzato il reticolo di Schmidt per rappresentare la giacitura di piani e rette in proiezione stereografica.

5.1.2. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Per ammasso roccioso si intende una struttura costituita da blocchi di roccia separati tra loro da discontinuità, ovvero zone a minor resistenza con due dimensioni prevalenti sulla terza. Tali

discontinuità possono essere riempite di materiale di diversa natura e con caratteristiche meccaniche maggiormente scadenti rispetto alla roccia incassante, condizionando pertanto il comportamento meccanico dell'intera struttura. La classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, si pone come obiettivo l'individuazione dei principali parametri caratteristici, al fine di fornire indicazioni qualitative dell'ammasso stesso (suddivisione in classi). Dagli indici ricavati è possibile stimare, mediante l'utilizzo di determinate relazioni, i parametri di resistenza delle rocce prevedendo il comportamento dell'ammasso roccioso su pendii o in gallerie.

Le classificazioni di Bieniawsky (1973 e successive modifiche) consente di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano, essa si basa sul rilievo di campagna ed analisi di laboratorio che determinano sei parametri:

- A1 = resistenza a compressione uniassiale;
- A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
- A3 = spaziatura delle discontinuità;
- A4 = condizioni delle discontinuità;
- A5 = condizioni idrauliche;

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Bieniawsky)

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5;$$

5.1.2.1. Descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso.

Sono state descritti gli elementi strutturali (pieghe, faglie ed eteropie), lo stato di alterazione dell'ammasso roccioso e le caratteristiche geologiche generiche (nome formazionale, litologia, particolari strutture sedimentarie, ecc.).

5.1.2.2. Orientamento nello spazio.

In funzione della complessità strutturale dell'ammasso roccioso è necessario effettuare un certo numero di misure di immersione ed inclinazione delle famiglie di discontinuità presenti. Il numero di misure da effettuare dovrà essere in funzione del grado di fratturazione dell'ammasso e dell'estensione areale dell'affioramento. Si va quindi da poche decine di misure per situazioni strutturali semplici, in indagini di tipo speditivo, a parecchie centinaia per situazioni strutturali complesse per indagini di dettaglio.

L'orientazione dei piani di discontinuità delle famiglie andrà rappresentata attraverso opportune proiezioni stereografiche (vedi capitolo successivo). 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 misurarne le giaciture dei giunti procedendo famiglia per famiglia.

5.1.2.3. Valore di A1 (Resistenza a compressione uniassiale)

Per la valutazione della resistenza meccanica della roccia intatta è stato utilizzato il martello di Schmidt di tipo N sulle superfici delle diverse famiglie di discontinuità. La misura è stata ripetuta per dieci volte per ogni famiglia, mediando il valore delle cinque misure più alte. I valori ricavati sono stati corretti in funzione dell'orientazione dello strumento di misura, come mostrato in tabella 1.

RIMBALZO	VERSO IL BASSO		VERSO L'ALTO		ORIZZONTALE
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	
10	0	-0,8	---	---	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4,0	-3,3	-1,7

Tabella 5-1 Correzione rimbalzi per orientazione

Il valore di resistenza a compressione semplice per singola famiglia è stato ottenuto attraverso il software freeware distribuito da geologi.it "JCS calculator". Dal valore di resistenza a compressione semplice si ottiene il coefficiente A1.

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

Tabella 5-2 A1 da compressione uniassiale (Beniawsky, 1989)

5.1.2.4. Valore di A2 (RQD)

Se si effettuano sondaggi è 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):

In base al valore RQD si ha una prima stima della qualità dell'ammasso roccioso secondo la classificazione di Deere:

R.Q.D. (%)	Qualità della roccia
0 - 25	molto scadente
26 - 50	scadente
51 - 75	discreta
76 - 90	buona
91 - 100	eccellente

Tabella 5-3 Stima qualitativa ammasso roccioso da RQD.

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

CHART B Ratings for RQD

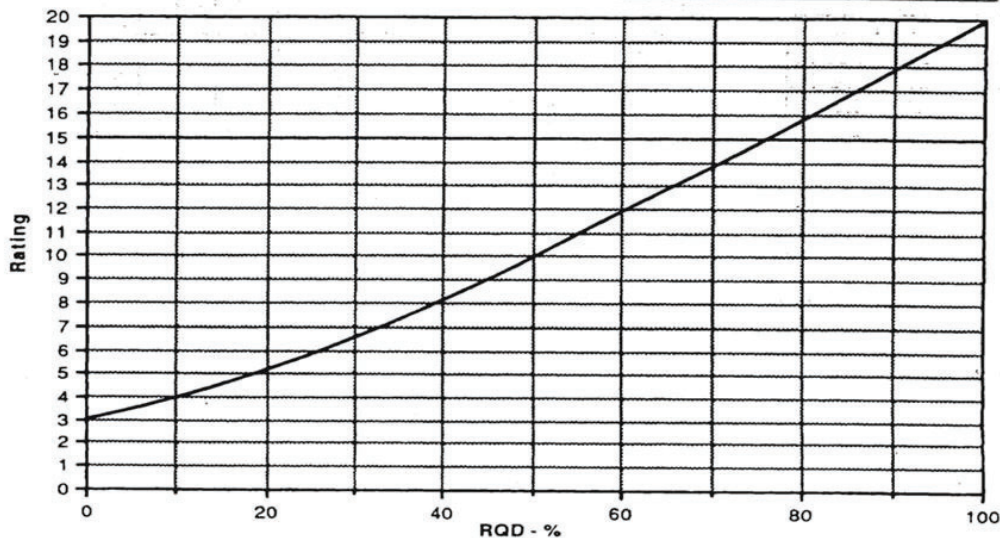


Tabella 5-4 Abaco per valutazione di A2 da RQD.

5.1.2.5. 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.

CHART C Ratings for Discontinuity Spacing

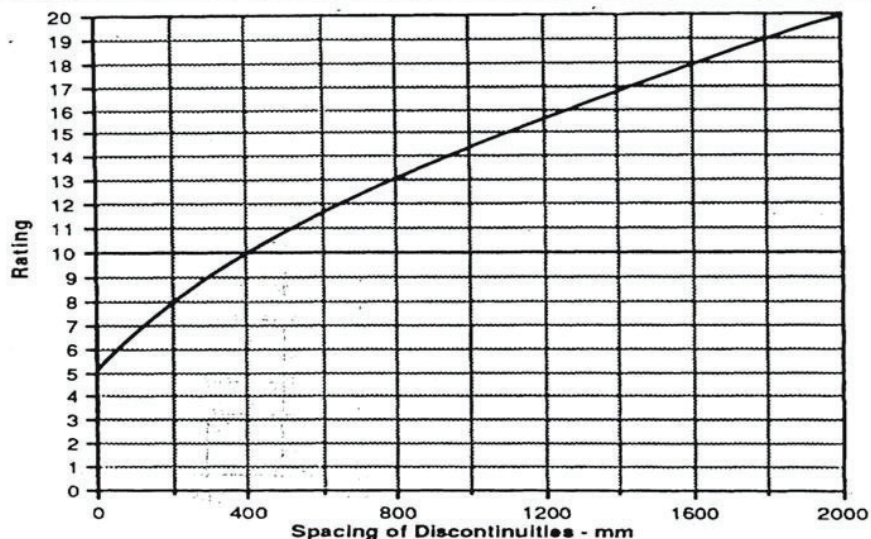


Tabella 5-5 Abaco per valutazione di A3 da spaziatura.

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

Tabella 5-6 Formule per valutazione di A3 da spaziatura.

5.1.2.6. Valore di A4 (Condizioni delle discontinuità)

Determinare dalle tavole di classificazione di Beniawsky il valore numerico relativo alla condizione delle discontinuità 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 ed 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
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
> 20	0

Tabella 5-7 V1 persistenza giunto.

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 o ad alterazione vicino alla superficie o a dissoluzione da parte delle acque che hanno circolato nel giunto 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.

Apertura (mm)	V2
Completamente Chiuso	6
$< 0,1$	5
$0,1 \div 1$	4
$1 \div 5$	1
> 5	0

Tabella 5-8 V2 apertura giunto.

V3 – Rugosità del giunto

PROGETTAZIONE ATI:

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 stesso rispetto alla linea media che rappresenta l'ondulazione. In particolare il valore V3 è associato ad un valore JRC (Joint Roughness Coefficient), tale parametro viene determinato confrontando il profilo di rugosità del giunto con dei profili teorici proposti da Barton e Choubey. Per ricavare il JRC si appoggia il profilometro (pettine di Barton, Figura 5-8) su di una superficie di discontinuità esercitando una leggera pressione in maniera da prendere un'impronta del profilo, che verrà confrontato con i profili teorici (Figura 5-7).

Rugosità	JRC	V3
Molto rugosa	16-18 18-20	6
Rugosa	12-14 14-1+	5
Leggermente rugosa	8-10 10-12	3
Piana	4-6 6-8	1
Levigata	0-2 2-4	0

Tabella 5-9 V3 rugosità giunto.

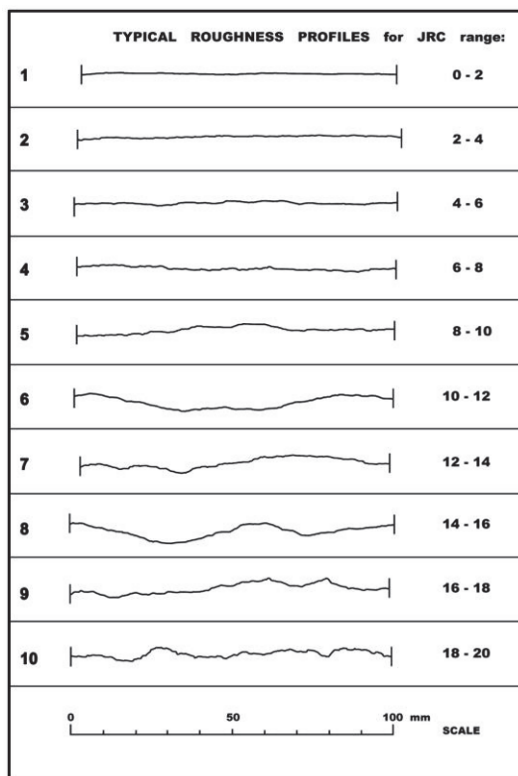


Figura 5-7 Profili teorici



Figura 5-8 Misura con pettine di Barton

V4 – Alterazione delle pareti

Le discontinuità costituiscono sempre una via preferenziale di circolazione delle acque e quindi spesso le pareti sono interessate da fenomeni di alterazione più accentuati che nel restante materiale roccioso; ciò influisce sulla resistenza delle asperità lungo cui le due facce della discontinuità vengono a contatto e quindi sulla resistenza al taglio della discontinuità. Con il valore V4 si tiene in considerazione questa variabile.

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

Tabella 5-10 V4 alterazione giunto.

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

Tabella 5-11 V5 riempimento discontinuità.

5.1.2.7. 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 Beniawsky si ottiene:

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

Tabella 5-12 valore A5.

5.1.3. VALORE DI RMR (ROCK MASS RATING) E PARAMETRI CARATTERISTICI DELL'AMMASSO

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.

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<5mm 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		

Tabella 5-13 tabella riassuntiva BRMR.

Per il presente studio è stata impiegata la classificazione tecnica di Bieniawski (1989). Come descritto nel paragrafo precedente, essa 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. Una sintesi di tale schematizzazione è riportata nella Tabella 5-14 classificazione di Bieniawski.

Il valore di BRMR 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

Tabella 5-14 classificazione di Bieniawski.

Ai fini della parametrizzazione geomeccanica, nel presente studio, 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.

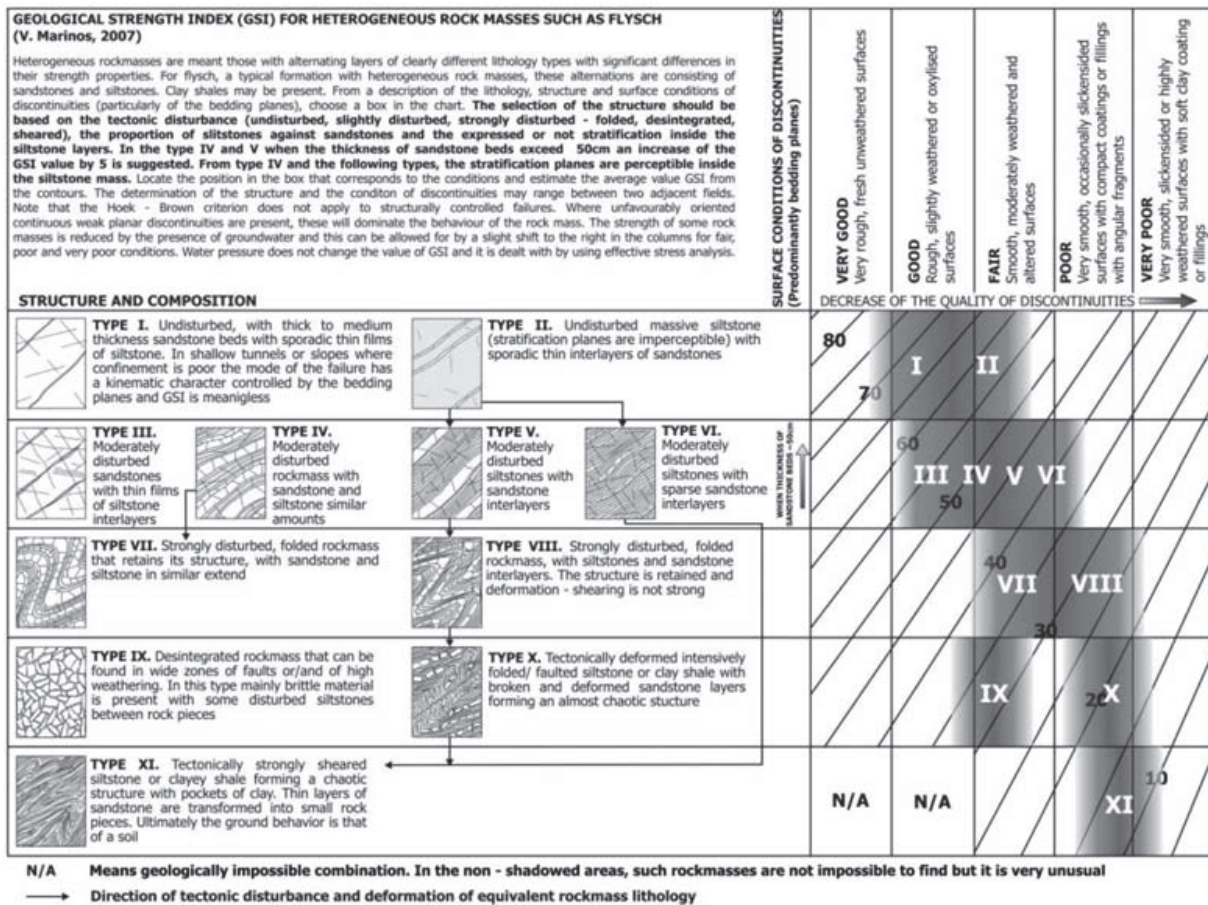


Tabella 5-15 Classificazione GSI.

Il Geological Strength Index (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 all'asse della galleria o dovuti alla presenza d'acqua od 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.

5.1.4. VOLUME DEI BLOCCHI

La determinazione del volume di blocco risulta essere uno dei più importanti parametri necessari per la caratterizzazione di un ammasso roccioso. L'intersezione delle discontinuità porta spesso alla formazione di volumi molto eterogenei, non sempre visibili e accessibili. Nella valutazione del volume dei blocchi è stato utilizzato il metodo che tiene in considerazione l'indice Jv (volumetric joint count) definito come numero di fratture che intersecano un volume pari a 1 m³ (Palmstrom, 1996); in presenza di famiglie di discontinuità definite questo può essere calcolato con la formula

$$Jv = \frac{1}{S1} + \frac{1}{S2} + \dots + \frac{1}{Sn}$$

Dove S1, S2 e Sn sono le spaziature medie di ogni famiglia di discontinuità.

Il legame evidenziato in Palmstrom, 1996 tra J_v e il volume dei blocchi V_b è dato da

$$V_b = \beta \times J_v^{-3}$$

Dove β è il fattore forma del blocco, il cui valore dipende dal rapporto tra le dimensioni massime e minime dello spigolo del solido o in altre parole dalla spaziatura delle discontinuità, che può essere calcolato.

$$\beta = 20 + 7 \times \frac{3}{n_j} \times \frac{S_{max}}{S_{min}}$$

Dove S_{max} e S_{min} sono rispettivamente la più grande e la più piccola spaziatura rilevata, mentre n_j assume valori diversi a seconda del numero di famiglie di discontinuità rilevate.

3 famiglie + discontinuità casuali	$n_j = 3,5$
3 famiglie	$n_j = 3$
2 famiglie + discontinuità casuali	$n_j = 2,5$
2 famiglie	$n_j = 2$
1 famiglia + discontinuità casuali	$n_j = 1,5$
1 sola famiglia	$n_j = 1$

Tabella 5-16 definizione n_j .

L'utilizzo di questo metodo fornisce una stima di V_b semplicemente a partire dalle spaziature delle famiglie rilevate, i risultati di tale analisi sono riportati in allegato.

Per ogni stazione geomeccanica eseguita è stato definito un volume massimo del blocco nell'intorno, misurando il blocco isolato di dimensioni più grandi.

Questi due valori possono essere sostanzialmente differenti perché la tettonizzazione dell'area, seppur sempre spinta ed evidente, è disomogenea, pertanto i valori dei blocchi misurati possono essere di diversi ordini di grandezza superiori.

5.1.5. STAZIONI GEOMECCANICHE

Durante le fasi di rilievo geologico di dettaglio, eseguito nel mese di ottobre del 2023, è stata realizzata, in corrispondenza della futura opera in sottoterraneo n°1 stazione geomeccanica-strutturale, ubicata nell'elaborato T01GE00GEOCG01A.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i dati gps e i risultati. Le schede di campo e di analisi sono riportate nell'allegato 1 del presente elaborato.

Stazione	Coordinate		Quota (mslm)	RMRb	GSI
	X	Y			
SG1	13,35927	42,96848	471	66	61

Tabella 5-17 Tabella riassuntiva ubicazione stazioni geostrutturali e risultati.

5.1.5.1. Stazione geomeccanica-geostrutturale SG1

La stazione SG01 è ubicata in corrispondenza dell'asse dell'imbocco sud della galleria naturale in progetto. L'affioramento si trova lungo una scarpata strutturale orientata ONO-ESE ed è costituita dal flysch della Laga (litofacies arenacea, membro evaporitico).

L'ammasso risulta nel complesso alterato, poco fratturato, asciutto, ed è costituito da un banco spesso 2 m di arenaria beige a grana grossolana, massiva e a tratti laminata, poggiante su un pacco di peliti bianche, laminate e fogliettate, spesso almeno 40 cm.

Oltre alla stratificazione, con giacitura $350^{\circ}/49^{\circ}$ (immersione /inclinazione), sono state riconosciute due famiglie di discontinuità sistematiche; la prima (famiglia 2) immerge a medio-alto angolo verso SSE, con spaziatura medio-alta e alta persistenza, la seconda (famiglia 3), sub-verticale e con direzione NNE-SSO, presenta spaziatura medio-alta e spaziatura media.

Nell'area sono stati rilevati blocchi isolati con un volume pari fino a circa 0,2 m³, compatibili con i volumi teorici calcolati attraverso il Jv che oscillano tra 0,13 e 0,5 dm³.

Stimando i parametri medi dell'ammasso roccioso è stato possibile definire i valori di RMRb e GSI che sono rispettivamente 66 e 61.

6. INDAGINI PROGRAMMATE

Allo scopo di definire al meglio il modello geologico di dettaglio dell'area di Progetto del Lotto 1 destinato all'intervento denominato "Ciaraglia", sono state programmate una serie di indagini specifiche che sono elencate nella seguente tabella:

*sondaggio eseguito nei giorni 24,25,26 ottobre 2023, di cui al momento della stesura degli elaborati si dispone esclusivamente delle foto delle cassette				
Sondaggio	Progressiva	Perforazione	Lunghezza (m)	Piezometro (m)
BH01p	0+156	CC	20	20
BH02p*	0+280	CC	30	30
BH03d	0+340	CC	35	-
BH04d	0+550	CC	35	-
BH05p	0+620	CC	15	15
BH06p	0+750	CC	20	20
BH07p	1+320	CC	35	35

Tabella 6-1 Elenco sondaggi a carotaggio continuo previsti.

Sondaggio	Progressiva	Profondità (m)
HV1	0+160	-
HV2	0+630	-
HV3	0+720	-
HV4	1+220	-
MW1	0+160	-
MW2	0+630	-
MW3	0+720	-
MW4	1+220	-
BH03d (Down-hole)	0+340	35
BH04d (Down-hole)	0+550	35

Tabella 6-2 Elenco indagini sismiche previste.

Pozzetto	Progressiva	Profondità (m)
PZ1	0+070	2

Tabella 6-3 Pozzetti geognostici previsti.

Durante l'attuale fase progettuale è stato eseguito il BH02p, ubicato in corrispondenza dell'opera in sotterraneo, di cui al momento si hanno a disposizione esclusivamente le foto delle cassette, che hanno permesso di definire l'effettivo spessore della coltre eluvio colluviale e l'effettiva natura del bedrock. Ne risulta uno spessore dei depositi eluvio colluviali di poco superiore al metro e di una porzione di arenaria alterata di circa 3 m. Per quanto concerne la natura del bedrock si tratta di una successione prevalentemente arenacea con interstrati sottili di peliti. Questi dati hanno permesso

una migliore definizione del profilo geologico nella porzione di progetto interessata dall'indagine (T01GE01GEOFG01).

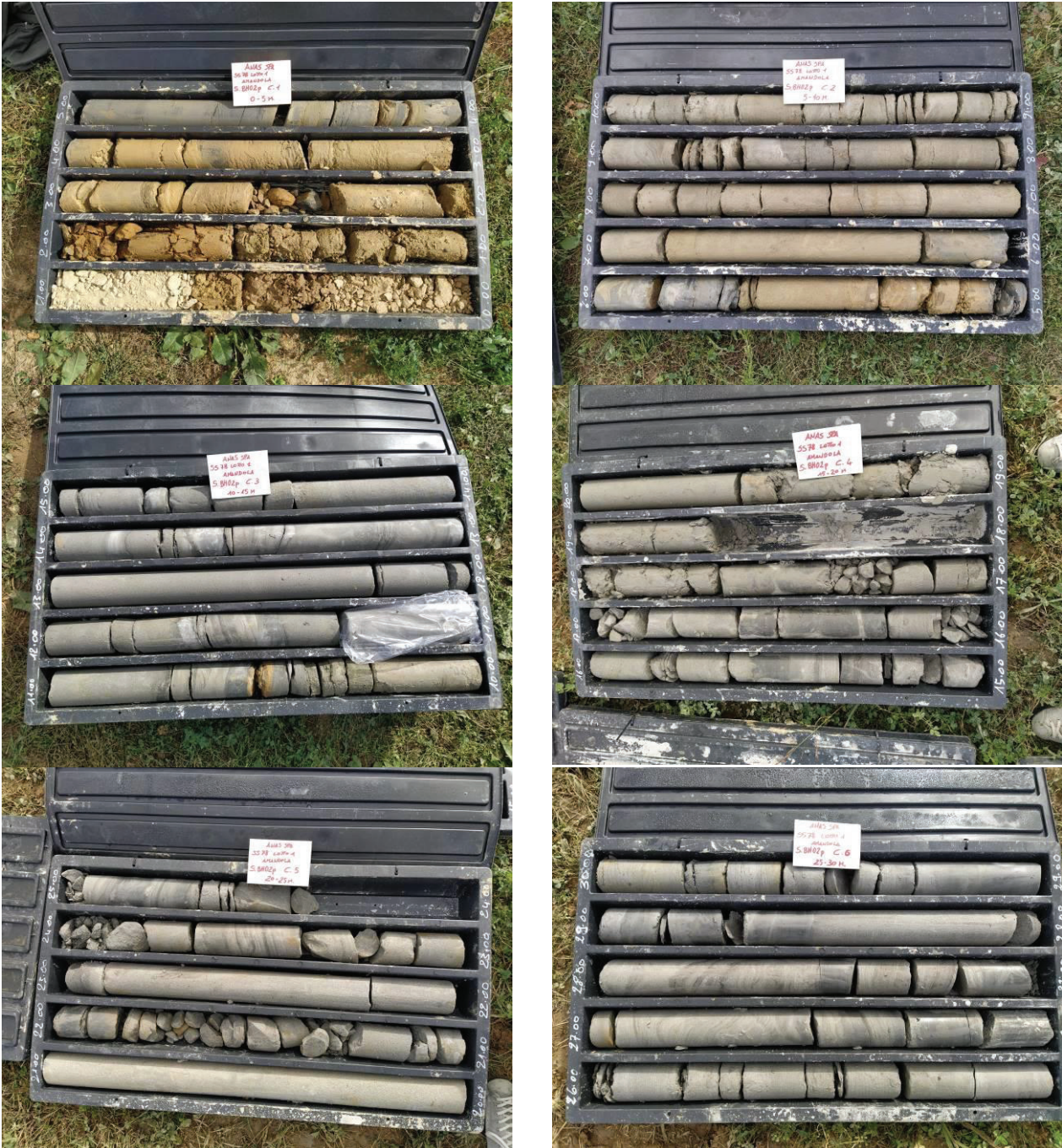


Figura 6-1 Foto cassette BH02p.



Figura 6-2 Indagini programmate per l'intervento di Ciaraglia Lotto 1.

7. ANALISI DEL TRACCIATO

Il tracciato di Progetto è parte del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica 3° Stralcio dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. n. 78 "Picena" – tra Amandola e Comunanza (Lotto 1).

Il tracciato attraversa superficialmente una serie di depositi di varia natura che includono i depositi alluvionali del T. Vetremastro cartografati nella Carta Geologica di dettaglio elaborata avente codice T01GE00GEOCG01.

Nello specifico, nel tratto tra le p.k. 0+0.000 e la p.k. 0+160.00 sono presenti depositi terrazzati di Colle Ulivo (ACbn3) costituiti da ghiaie in matrice sabbioso-limoso associati al T. Vetremastro e ai corsi d'acqua superficiali minori che vi confluiscono. La quota in questo tratto varia tra i 465 m s.l.m. e i 476 m s.l.m..



Figura 7-1 Foto panoramica area dell'imbocco nord secondo il tracciato di Progetto.

Subito dopo, dove comincia il tratto in sotterraneo in corrispondenza della p.k. 0+160.00 fino alla p.k. 0+340.00, sono stati cartografati depositi eluvio colluviali (MUSb2) eterogenei e detritici frammisti a sabbie. Il substrato roccioso è stato intercettato ad una profondità di 3 m dal piano campagna come è stato osservato durante il sondaggio a carotaggio continuo BH02p descritto nel dettaglio nel Paragrafo 6, e come rappresentato nell'elaborato T01GE00GEOFG01. La quota in questo tratto rimane piuttosto costante intorno ai 487 m s.l.m..



Figura 7-2 Postazione del sondaggio geognostico BH02p.

Alla p.k. 0+360.00, in corrispondenza dell'imbocco sud della galleria, il substrato è osservabile in superficie, grazie alla presenza di una scarpata di origine, presumibilmente strutturale/litologica. Sull'affioramento è stata eseguita una stazione geomeccanica-strutturale (SG1) al fine di caratterizzare la formazione rocciosa. Il substrato in questo punto è rappresentato da dalla litofacies arenacea del membro evaporitico della Formazione della Laga. Il LAG2c include arenarie torbiditiche silicoclastiche con sottili intercalazioni di peliti marnoso-siltose. Nel breve tratto di trincea tra le p.k. 0+360.00 e 0+380.00 si osservano nuovamente i depositi eluvio colluviali (MUSb2).



Figura 7-3 Area imbocco sud, evidente l'affioramento di LAG2c in corrispondenza della scarpata

Il tracciato di Progetto intercetta un corpo di frana da colamento dalla p.k 0+380.00 alla p.k. 0+460.00 nel tratto in rilevato, come è stato cartografato sia nella Carta geomorfologica prodotta T01GE00GEOCG01, che nella Carta geologica T01GE00GEOCG02. Questo deposito (MUSa1) è caratterizzato da depositi caotici poligenici. Il fenomeno franoso è stato cartografato anche mediante l'utilizzo della carta delle pendenze estratta dal modello di elevazione digitale che ha consentito di individuare chiaramente il coronamento del fenomeno. Allo stato attuale, considerando le evidenze colte durante il rilievo in campo, il fenomeno gravitativo è da considerarsi attivo.



Figura 7-4 Foto del deposito di frana da colamento tra le p.k. 0+380.00 e p.k. 0+460.00.

Tra le p.k. 0+460.00 e 0+740.00 si intercettano depositi eluvio colluviali (MUSb2) attraversati da incisioni di corpi d'acqua superficiali che incidono il versante collinare. Il tracciato di Progetto si sviluppa su un viadotto di lunghezza complessiva di 140 m tra le p.k. 0+560.00 e 0+700.00 proprio al di sopra di questi depositi.



Figura 7-5 Area di passaggio del viadotto

PROGETTAZIONE ATI:

Dalla p.k. 0+740.00 fino alla fine del tracciato si attraversano terrazzati di Colle Ulivo (ACbn3) su una tratta sviluppata in trincea su quote tra i 466 m s.l.m e i 453 m s.l.m. a fine tracciato. Questi depositi risultano fortemente antropizzati come è stato osservato durante il sopralluogo in campo.



Figura 7-6 Terrazzo alluvionale a fine lotto

ALLEGATO

1



BANCO DI ARENARIA ~~DELETA~~ GROSSOLANA MASSIVA, A TOTTI LAMINATA, SPESSE 2 m, SU ~~PIEDISTALLI~~ ~~PIEDISTALLI~~
 PRATICO BANCHE CON LAMINAZIONE SPESSE ~~ALTEZZA~~ 10 cm FOLGIATE

Località ANA/DOLO

Data 24/10/23

Stazione SG01

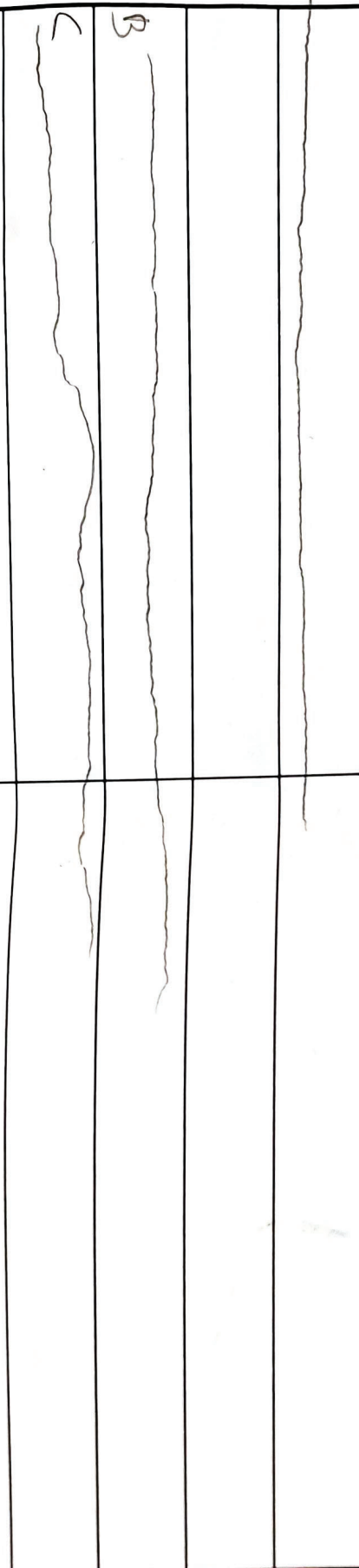
Dati GPS (x,y,z) 43,96846 13,35927

12,96883

Fronte 16570

Giunto	Tipo	Giacitura	Spaziatura	Persistenza	Apertura	Rugosità	Riempimento	Alterazione	Filtrazione	NOTE	Prove sclerometriche							
											pos	roccia intatta	famiglia 1	famiglia 2	famiglia 3	famiglia 4	famiglia 5	famiglia 6
1	S	350.49	50cm 2R6	720	40-44	A	rettili	A	///		1	21						
2	S	155.59	50cm	720	///	B	///	A	///		2	24						
3	S	290.84	50cm	5m	///	C	///	A	///		3	26						
											4	21						
											5	25						
											6	26						
											7	24						
											8	24						
											9	22						
											10	21						

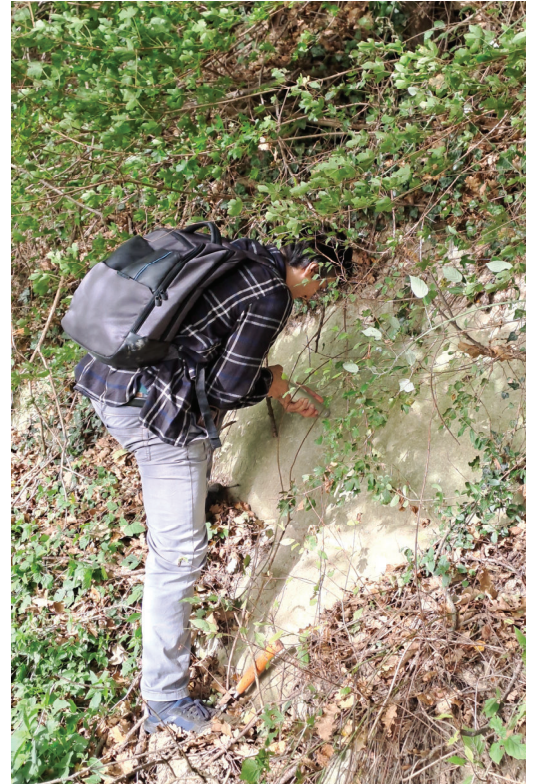
Profili di Barton



RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

*QUOTA DA DEM

STAZIONE	SG1	SCHEDA DI RILIEVO N°	1	DATA ESECUZIONE	24/10/2023
GIACITURA FRONTE	165/70 (IMM)	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 42,96848 X: 13,35927	QUOTA*	471 m.s.l.m.



NOTE

Per i valori di JRC e JCS sono stati utilizzati rispettivamente Pettine di Barton e Martello di Schmidt.
Vengono nella seguente scheda riportate le giaciture e le caratteristiche medie delle tre famiglie rappresentative dell'affioramento

DESCRIZIONE AFFIORAMENTO

La stazione SG01 è ubicata in corrispondenza dell'asse dell'imbocco sud della galleria naturale in progetto. L'affioramento si trova lungo una scarpata strutturale orientata ONO-ESE ed è costituita dal flysch della Laga (litofacies arenacea, membro evaporitico).
L'ammasso risulta nel complesso alterato, poco fratturato, asciutto, ed è costituito da un banco spesso 2 m di arenaria beige a grana grossolana, massiva e a tratti laminata, poggiate su un pacco di peliti bianche, laminate e fogliettate, spesso almeno 40 cm.
Oltre alla stratificazione, con giacitura 350°/49° (immersione /inclinazione), sono state riconosciute due famiglie di discontinuità sistematiche; la prima (famiglia 2) immerge a medio-alto angolo verso SSE, con spaziatura medio-alta e alta persistenza, la seconda (famiglia 3), sub-verticale e con direzione NNE-SSO, presenta spaziatura medio-alta e spaziatura media.
Nell'area sono stati rilevati blocchi isolati con un volume pari fino a circa 0,2 m³, compatibili con i volumi teorici calcolati attraverso il Jv che oscillano tra 0,13 e 0,5 dm³.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

Classe	R	qc (MPa)	$\frac{15 \cdot R}{qc}$	Coeff.
Molto alta	> 99	> 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	2-3
Molto bassa	0	1-5		1

prove sclerometriche*

orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
Arenaria intatta	21	21	21	22	24	24	24	25	26	26	24
Laboratorio											

*le misure sono ordinate in ordine crescente, vengono scartate le cinque più basse

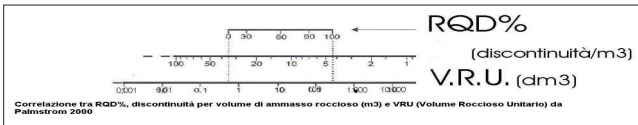
R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.
Eccellente	90-100	60-200	18-20
Buona	75-90	20-60	15-18
Discreta	50-75	10-20	10-15
Bassa	25-50	6-10	6-10
Molto bassa	<25	<6	3-6

* Priest & Hudson (1976)

R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

Condizioni generali	Venute d'acqua per 16 m di lunghezza (l/min)	σ_w/oh	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	15
Umidità	<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



R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.
Molto larga	sopra 2 m					20
Larga	0.6 - 2 m	X				12-19
Moderata	20 - 60 cm		X	X		8-12
Stretta	6-20 cm					6-8
Molto stretta	< 6 cm					5

R4 - CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'

	Fam. 1	Fam. 2	Fam. 3	Fam. 4	Fam. 5	Coeff.
PERSISTENZA	Molto bassa	<1 m				6
	Bassa	1 - 3 m				4
	Media	3 - 10 m		X		2
	Alta	10 - 20 m				1
	Molto alta	> 20 m	X	X		0
APERTURA	molto chiusi	nessuna	X	X	X	6
	chiusi	< 0.1 mm				5
	moderat. aperti	0.1 - 1.0 mm				4
	aperti	1 - 5 mm				1
	molto aperti	> 5 mm				0
RUGOSITA'	molto rugose	16-18 18-20				6
	rugose	12-14 14-16		X		5
	legg. rugose	8-10 10-12				3
	plane	4-6 6-8		X		1
	levigate	0-2 2-4	X			0
RIEMPIMENTO	Nessuno		X	X	X	6
	Compatto < 5mm					4
	Compatto > 5mm					2
	Sciolto < 5mm					2
	Sciolto > 5mm					0
ALTERAZ.	Non alterata					6
	Leggermente alterata					5
	Moderatamente alterata					3
	Altamente alterata	X	X	X		1
	Suolo residuale					0

RMR - BIENIAWSKI (1989)

PARAMETRI	R1	COEFF.
Resistenza roccia intatta	R1	4
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2	20
Spaziatura discontinuità	R3	12
Condizioni delle discontinuità	R4	15
Presenza di acqua nella roccia	R5	15
Compensazione orientazione	R6	0
RMR Corretto		
66		
CLASSE DI BIENIAWSKI		
IV		
I ottima	II buona	III discreta
100-81	80-61	60-41
IV scadente		V molto scad.
40-21		< 20

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Hartono, 2007)

Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alternations are consisting of sandstone and siltstone. Clay shales may be present. From a description of the structure, composition and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, disintegrated, sheared), the orientation of sandstone against sandstone and the presence of soil stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 150m an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the center. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent beds. Note that the rock - brown reference does not apply to structurally controlled failures. Where unfavorably oriented continuous weak plane discontinuities are present, these will govern the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.

STRUCTURE AND COMPOSITION

- TYPE I:** Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstone. In shallow tunnels or dips where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless.
- TYPE II:** Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstone.
- TYPE III:** Moderately disturbed siltstone with thin film of siltstone and siltstone similar amounts.
- TYPE IV:** Moderately disturbed siltstone with sandstone interlayers.
- TYPE V:** Moderately disturbed siltstone with coarse sandstone interlayers.
- TYPE VI:** Moderately disturbed siltstone with coarse sandstone interlayers.
- TYPE VII:** Strongly disturbed, folded siltstone with sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong.
- TYPE VIII:** Strongly disturbed, folded siltstone or clay shales with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure.
- TYPE IX:** Dismembered rockmass that can be found in wide zones of faults or land of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstone between rock pieces.
- TYPE X:** Technically strongly sheared siltstone or clay shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil.

DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES

PREPARE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES

VERY GOOD: Very rough, highly weathered or oxidized surfaces.

GOOD: Rough, slightly weathered or oxidized surfaces.

FAIR: Moderately weathered and altered surfaces.

POOR: Smooth, unweathered, polished surfaces with compact coatings of fillings with irregular fragments.

VERY POOR: Very smooth, slickensided or highly polished surfaces with soft clay coating.

N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual

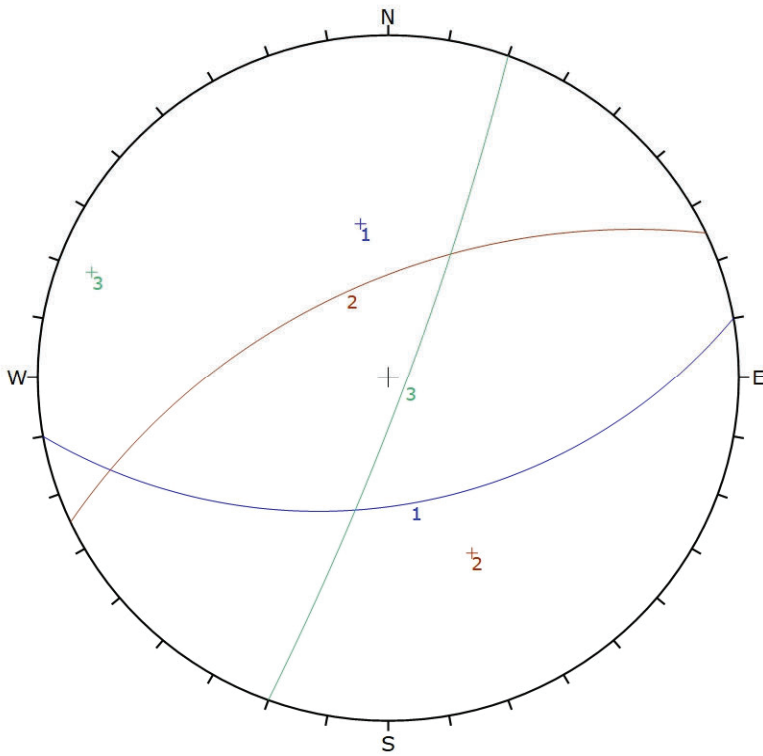
→ Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology

RMR base	66
GSI = RMR base (secco) - 5 =	61

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	49	350	S
2	59	155	J
3	84	290	J



	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Blue	49	350	
2	Red	59	155	
3	Green	84	290	
		Plot Mode	Pole Vectors	
		Vector Count	0 (0 Entries)	
		Hemisphere	Upper	
		Projection	Equal Angle	

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count Jv	4,8		Volume blocchi affioramento Vb	0,5 < vb < 0,13 m ³
Rock Quality Designation RQD (da Palmstrom, 1982)	99		Volume max rilevato nell'area Vb_{max}	0,2 m³