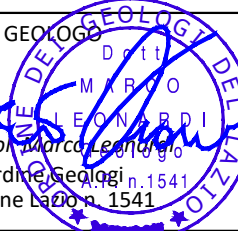






E45 - SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA
Tratto Madonna del Piano - Collestrada

PROGETTO DEFINITIVO

PG 372

ANAS - DIREZIONE TECNICA

<p>IL GEOLOGO</p>  <p>Dott. Geol. Marco Leonardini Ordine Geologi n. 1541 Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria) GP INGENGNERIA <i>GESTIONE PROGETTI INGENGNERIA srl</i></p> <p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)  cooprogetti</p> <p>(Mandante)  engeko</p> <p>(Mandante)  AIM <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Giovanni C. Alfredo Dalenz Cultrera</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14069</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> 
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Alessandro Micheli</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

STUDI ED INDAGINI
Geologia e geotecnica
Geologia

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00GE01GEORE01_B			
D T P G 3 7 2	D	22	CODICE ELAB. T 0 0 G E 0 1 G E O R E 0 1		B	-
D						
C						
B	Rev. a seguito istruttorie Prot. U.0834569 e U.0862037	Gen. '23	Barletta	Leonardi	Guiducci	
A	Emissione	Ottobre'22	Barletta	Leonardi	Guiducci	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

INDICE

<u>1</u>	<u>PREMESSA.....</u>	<u>3</u>
<u>2</u>	<u>DESCRIZIONE DELL'OPERA.....</u>	<u>3</u>
<u>3</u>	<u>QUADRO NORMATIVO</u>	<u>3</u>
<u>4</u>	<u>BIBLIOGRAFIA PRINCIPALE.....</u>	<u>4</u>
<u>5</u>	<u>ATTIVITA' GEOLOGICHE PER IL PROGETTO DEFINITIVO</u>	<u>4</u>
<u>6</u>	<u>INDAGINI.....</u>	<u>6</u>
6.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	7
6.2	INDAGINI GEOFISICHE	21
6.2.1.	<i>Prospezioni sismica passiva H.V.S.R.....</i>	21
6.2.2.	<i>Prospezioni sismiche MASW.....</i>	23
6.2.3.	<i>Prospezioni sismiche a rifrazione SRT.....</i>	23
6.2.4.	<i>Prospezioni sismiche ibride.....</i>	24
6.2.5.	<i>Prove downhole</i>	24
6.3	DATI GEOGNOSTICI E GEOTECNICI PRECEDENTI	27
6.4	RILEVAMENTO GEOMECCANICO	27
6.4.1.	<i>Metodo di classificazione degli ammassi.....</i>	29
6.4.2.	<i>Metodo di rilievo ed analisi.....</i>	29
6.4.3.	<i>Descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso.....</i>	30
6.4.4.	<i>Stima dei parametri per la valutazione dell'RMR di Bieniawski.....</i>	30
6.4.5.	<i>Correzione per l'orientamento delle discontinuità (R6)</i>	37
6.4.6.	<i>Valore di RMR (Rock Mass Rating) e parametri caratteristici dell'ammasso.....</i>	38
6.4.7.	<i>Valore dell'indice GSI (Geological Strength Index) dell'ammasso roccioso</i>	39
<u>7</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</u>	<u>42</u>
7.1	TETTONICA.....	42
7.2	IL SUPERSINTEMA TIBERINO	44
7.3	ANALISI GEOLITOLOGICA DEL TRACCIATO	45
7.4	CARATTERI GEOLITOLOGICI DEI DEPOSITI SUPERFICIALI E DELLE FORMAZIONI DEL SUBSTRATO	49
7.4.1.	<i>Litologie del substrato</i>	49
7.4.2.	<i>Depositi continentali plio-quadernari.....</i>	50
<u>8</u>	<u>LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA.....</u>	<u>54</u>
8.1	PERICOLOSITÀ E RISCHIO GEOMORFOLOGICO	57
8.2	RISCHIO FRANA	58

8.3	RISCHIO IDRAULICO	65
8.4	MONITORAGGIO INCLINOMETRICO	66
9	<u>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</u>	69
9.1	SUPERFICIE PIEZOMETRICA	69
9.2	CLASSI DI PERMEABILITÀ	71
9.2.1.	<i>Corpi ad elevata permeabilità primaria per porosità (EPP)</i>	<i>72</i>
9.2.2.	<i>Corpi a ridotta permeabilità primaria per porosità (RPP)</i>	<i>72</i>
9.2.3.	<i>Corpi a ridotta permeabilità secondaria per fessurazione (RPF).....</i>	<i>72</i>
9.3	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO	73
10	<u>INQUADRAMENTO SISMICO</u>	74
	<u>ALLEGATI.....</u>	79

1 PREMESSA

La presente relazione ha come finalità la caratterizzazione lito-stratigrafica, geomorfologica, idrogeologica e lito-tecnica delle unità dei terreni e delle rocce presenti nelle aree interessate dal Progetto Definitivo denominato “E45 – Sistemazione stradale del Nodo di Perugia Tratto Madonna del Piano – Collestrada, ed individua le problematiche legate all’interazione tra la medesima ed il territorio.

Il lavoro è stato svolto in ottemperanza al D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, ed è stata eseguita una ricerca bibliografica di eventuali studi specialistici riguardanti la zona in esame presso gli Enti, i Comuni e le Regioni interessati al territorio dell’intervento.

2 DESCRIZIONE DELL’OPERA

L’intervento costituisce parte del cosiddetto Nodo di Perugia; nello specifico rappresenta il tratto compreso tra Madonna del Piano e Collestrada, di fatto una variante alla E45 in ambito Ponte San Giovanni. L’opera riveste fondamentale importanza per la viabilità di scorrimento intorno all’area perugina, in quanto consente di separare i flussi di traffico locale da quelli di attraversamento regionale ed interregionale che gravitano sul nodo di Perugia ove confluiscono quattro arterie stradali particolarmente trafficate: la E45 Orte-Ravenna, il raccordo autostradale Perugia-Bettolle, la Perugia-Ancona e la Perugia-Foligno-Flaminia.

L’intervento in oggetto si localizza sul settore meridionale del territorio comunale di Perugia, ed in parte di quello di Torgiano, dalla variante alla E45 tra la località Madonna del Piano, nei pressi dello svincolo di Montebello, e lo svincolo di Collestrada, per uno sviluppo complessivo di circa 7 km, prevedendo la realizzazione di 2 svincoli, all’inizio e alla fine della variante. Le opere principali che costituiscono l’intervento sono, muovendosi da ovest verso est, un viadotto di circa 660 m sul Fiume Tevere (Viadotto Tevere), una galleria naturale per uno sviluppo di circa 1,2 km, preceduta ad ovest da un breve tratto di galleria artificiale in località Ferriera (circa 100 m) e seguita a est da una galleria artificiale in ambito Collestrada di circa 1 km (Galleria Collestrada), ed un viadotto di circa 300 m nell’area di raccordo tra la galleria artificiale e l’attuale E45 (viadotto Collestrada).

3 QUADRO NORMATIVO

- UNI ENV 1997-1. “Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 1: Regole generali”;
- UNI ENV 1997-2. “Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 2: Progettazione assistita da prove di Laboratorio”;
- UNI ENV 1997-3. “Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica. Parte 3: Progettazione assistita con prove in sito”;
- UNI ENV 1997-3. “Eurocodice 8. Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture– Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnica”;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, Dipartimento della protezione civile, Roma;

PROGETTAZIONE ATI:

- Decreto Ministero Infrastrutture 17/01/2018 “Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»”;
- Circolare 21/01/2019 n.7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- Riferimenti di Enti Formatori italiani e stranieri inerenti all’esecuzione di indagini dirette ed indirette, prove in sito ed in laboratorio (CNR, UNI, ASTM, ISRM, BS, SMRE, AASHTO ecc.);
- Capitolato Speciale di Appalto ANAS “Esecuzione di Indagini Geognostiche”;

4 BIBLIOGRAFIA PRINCIPALE

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE – Relazione Generale (1999);

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE - Inventario dei fenomeni franosi e situazioni a rischio di frana (sc. 1:10.000);

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE – Piano stralcio di assetto idrogeologico – Fasce fluviali e zone a rischio;

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE – UFFICIO PIANI E PROGRAMMI, Prima elaborazione del Progetto di Piano di Bacino – Allegato A – vol. 1 15;

CARTA IDROGEOLOGICA DELLA REGIONE UMBRIA IN SCALA 1:100.000, A. Boscherini, R. Checcucci, G. Natale, N. Natali (Servizio Geologico Sismico Regionale);

INGV – Cartografia tematica;

ISPRA – Note illustrative della carta geologica d’Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 311 PERUGIA;

Piano Regolatore Generale, Parte Strutturale, del Comune di Perugia (2013);

Piano Regolatore Generale, Parte Strutturale, del Comune di Torgiano (2021);

Variante al PRG del Comune di Perugia – parte strutturale, Canile Pubblico di Collestrada - “Sezione Sanitaria” Dott. ssa Geologo G. Antonini (2013).

EUROPEAN GROUND MOTION SERVICE (EGMS) – M. Costantini et al., 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, pp. 3293-3296 (2021).

5 ATTIVITA’ GEOLOGICHE PER IL PROGETTO DEFINITIVO

Lo studio eseguito è consistito nelle seguenti attività:

- approfondita ricerca dei dati bibliografici esistenti sulla tratta;
- acquisizione delle cartografie tematiche disponibili presso autorità di bacino (PAI), comuni (Studi urbanistici comunali e Studi di Microzonazione sismica), Ispra (cartografia geologica tecnica e archivio fenomeni franosi);

PROGETTAZIONE ATI:

- accurato rilevamento geologico e geomeccanico di campagna eseguito nel luglio 2022 lungo un corridoio a cavallo del tracciato autostradale;
- analisi ed interpretazione dei risultati di campagne di indagini pregresse eseguite in passato sul tracciato autostradale fra il 1999 e il 2008, relativamente a dati piezometrici;
- analisi ed interpretazione dei risultati di una nuova campagna di indagini geognostiche geofisiche e geotecniche eseguita tra il 2020 ed il 2021.

A seguito del rilevamento geologico, geomorfologico e geomeccanico, dello studio bibliografico e cartografico, dell'acquisizione degli elaborati delle precedenti fasi progettuali e dell'analisi dei risultati, delle indagini geognostiche e geofisiche e tramite l'ausilio di tecniche di telerilevamento, per l'area interessata dai lavori in oggetto e nei suoi dintorni è stato possibile individuare i litotipi affioranti, la presenza di strutture tettoniche sepolte, gli elementi geomorfologici legati all'instabilità gravitativa dei versanti e all'erosione operata dalle acque superficiali e la geometria della superficie freatica.

Tali elementi sono illustrati nelle carte geologica, geomorfologica e idrogeologica, nel profilo geologico e nelle sezioni geologiche, parti integranti del presente elaborato (tabellati di seguito).

Tutta la documentazione relativa alle campagne di indagine eseguite è contenuta in appositi elaborati allegati al presente progetto (T00GE00GEORE01-03). Di seguito sono riportati gli elaborati geologici realizzati nell'ambito del presente studio con i relativi codici.

elaborato	scala	codice elaborato
Carta geologica - Tav.1 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG01
Carta geologica - Tav.2 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG02
Carta geologica - Tav.3 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG03
Carta geologica - Tav.4 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG04
Carta geomorfologica - Tav.1 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG05
Carta geomorfologica - Tav.2 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG06
Carta geomorfologica - Tav.3 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG07
Carta geomorfologica - Tav.4 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG08
Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico - Tav.1 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG09
Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico - Tav.2 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG10
Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico - Tav.3 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG11
Carta della pericolosità e del rischio geomorfologico - Tav.4 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCG12
Carta idrogeologica - Tav.1 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCI01
Carta idrogeologica - Tav.2 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCI02
Carta idrogeologica - Tav.3 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCI03

PROGETTAZIONE ATI:

elaborato	scala	codice elaborato
Carta idrogeologica - Tav.4 di 4	1:2.000	T00GE01GEOCI04
Profilo geologico - Asse SX - Tav. 1 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG01
Profilo geologico - Asse SX - Tav. 2 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG02
Profilo geologico - Asse SX - Tav. 3 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG03
Profilo geologico - Asse SX - Tav. 4 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG04
Profilo geologico - Asse DX- Tav. 1 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG05
Profilo geologico - Asse DX - Tav. 2 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG06
Profilo geologico - Asse DX - Tav. 3 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG07
Profilo geologico - Asse DX - Tav. 4 di 4	1:2.000/1:200	T00GE01GEOFG08
Sezioni geologiche - Tav.1 di 2	1:500 / 1:500	T00GE01GEOSG01
Sezioni geologiche - Tav.2 di 2	1:500 / 1:500	T00GE01GEOSG02

Tabella 5.1 Elenco degli elaborati allegati alla presente relazione.

6 INDAGINI

Tra i mesi di novembre 2020 e aprile 2021, a supporto del progetto in esame, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche a cura della Geo Gav srl, su incarico di ANAS S.p.A. Struttura territoriale Umbria.

La campagna ha compreso le seguenti attività:

- N°21 sondaggi verticali a carotaggio continuo o a parziale distruzione di nucleo, di cui:
 - N°7 equipaggiati con strumentazione *downhole*;
 - N°1 equipaggiato con inclinometro e strumentazione *downhole*;
 - N°12 equipaggiati con piezometro a tubo aperto.
- N°79 prove SPT in foro;
- N°2 prove di permeabilità Lugeon in foro;
- N°6 prove pressiometriche Menard in foro;
- N°6 prove dilatometriche DRT in foro;
- N°90 campionamenti di terreno dai sondaggi, di cui:
 - N°27 campioni rimaneggiati;
 - N°63 campioni indisturbati;
- prove di laboratorio sui campioni di terreno;

PROGETTAZIONE ATI:

- N°9 pozzetti geognostici, spinti fino ad un massimo di 2 m di profondità, su ciascuno dei quali è stata eseguita una prova di carico su piastra.

Per le informazioni di dettaglio e la documentazione tecnica relative alla campagna geognostica si rimanda agli allegati specifici (Documentazione indagini geognostiche – Sondaggi geognostici e prove in sito, T00GE00GEORE01).

I sondaggi geognostici con le relative prove di laboratorio rivestono una rilevante importanza ai fini della ricostruzione del modello geologico; pertanto, al successivo paragrafo si riporta una breve sintesi dei risultati ottenuti.

Al fine di definire il modello sismo-stratigrafico dell'area, mediante l'individuazione della profondità del *bedrock* sismico e la discretizzazione della velocità delle onde S per la definizione del parametro $V_{s,eq}$ (NTC2018), nel mese di dicembre 2021, nell'ambito del medesimo progetto e sempre a cura della Geo Gav srl, sono inoltre state eseguite:

- N° 4 indagini di sismica passiva HVSR;
- N° 2 indagini a sismica MASW;
- N° 11 stendimenti sismici a rifrazione SRT;
- N° 3 stendimenti sismici ibridi;
- N° 8 prove *downhole*.

Per le informazioni di dettaglio e la documentazione tecnica relativa alla campagna di indagini geofisiche, si rimanda agli allegati specifici (Documentazione indagini geognostiche - Sondaggi geognostici, prove in sito ed indagini geofisiche, T00GE00GEORE01).

6.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Lungo il tracciato, è stato eseguito un totale di N°21 sondaggi a carotaggio continuo, spinti a profondità comprese tra 15 e 105 m da p.c., con esecuzione di prove SPT, prove di permeabilità *Lefranc*, prove pressiometriche *Menard* e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati. L'ubicazione dei sondaggi è riportata di seguito.



Figura 6.1 Ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo con indicazione del tracciato (linea rossa) (dalla relazione tecnica della Geo Gav, modificata).

La tabella seguente riporta le attività eseguite nel corso delle perforazioni, le loro coordinate e le quote altimetriche, quest'ultime estrapolate dal rilievo topografico svolto nell'ambito del presente progetto, e le attività eseguite nel corso della perforazione:

Id. Sondaggio	Profon. (m)	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Metodo	Campioni Prelevati		Strumentazione Installata	Prove in foro	Coordinate geografiche WGS84 (gradi decimali)	
				Rim.	Ind.			N	E
S01	15,0	182,3	Carotaggio continuo	1	2	Piezometro in PVC 3"	n° 3 Prove SPT	43.062057°	12.414683°
S02	30,0	181,8	Carotaggio continuo	1	4	Piezometro in PVC 3"	n° 5 Prove SPT	43.063079°	12.417461°
S03	35,0	182,7	Carotaggio continuo	1	4	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT	43.063809°	12.414511°
S04	35,0	181,6	Carotaggio continuo	1	4	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT	43.064533°	12.420188°
S06	15,0	180,7	Carotaggio continuo	1	2	Piezometro in PVC 2"	n° 3 Prove SPT	43.072929°	12.432100°
S07	50,0	183,1	Carotaggio continuo	1	4	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT	43.074308°	12.433404°
S08	45,0	182,1	Carotaggio continuo	2	3	Piezometro in PVC 3"	n° 3 Prove SPT	43.077126°	12.441165°
S09	50,0	180,0	Carotaggio continuo	1	5	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT	43.076391°	12.438872°
S10	45,0	181,5	Carotaggio continuo	1	4	Piezometro in PVC 2"	n° 5 Prove SPT	43.076293°	12.440451°
S11	35,0	199,1	Carotaggio continuo	3	2	Tubazione per Down Hole	n° 2 Prove SPT	43.077747°	12.448204°
S12	45,0	234,0	Distruzione di nucleo da 0,0 a 15 m, Carotaggio continuo da 15 a 45 m	4	-	Piezometro in PVC 2"	n°3 Dilatometriche, n°1 permeabilità Lugeon	43.079278°	12.451832°
S13	105,0	304,0	Distruzione di nucleo da 0,0 a 75 m, Carotaggio continuo da 75, a 105 m	4	-	Piezometro in PVC 2"	n°3 Dilatometriche, n°1 permeabilità Lugeon.	43.081099°	12.457281°
S15 bis	30,0	198,0	Carotaggio continuo	-	3	Piezometro in PVC 2"	n° 3 Prove SPT	43.084993°	12.465622°
S15	14,0	205,0	Carotaggio continuo	-	3	Piezometro in PVC 3"	n° 2 Prove SPT, n° 2 pressiometriche.	43.084609°	12.465690°
S16	35,0	203,0	Carotaggio continuo	1	4	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT, n° 2 pressiometriche.	43.085033°	12.467090°
S17 bis	25,0	232,8	Carotaggio continuo	-	-	Piezometro in PVC 2"	n° 4 Prove SPT, n° 2 pressiometriche.	43.084892°	12.470510°
S17	35,0	235,0	Carotaggio continuo	1	4	Tubo Inclino metrico	n° 5 Prove SPT	43.084933°	12.470821°
S18	25,0	204,1	Carotaggio continuo	1	3	Piezometro in PVC 3"	n° 4 Prove SPT	43.087852°	12.472590°

PROGETTAZIONE ATI:

Id. Sondaggio	Profon. (m)	Quota boccaforo (m s.l.m.)	Metodo	Campioni Prelevati		Strumentazione Installata	Prove in foro	Coordinate geografiche WGS84 (gradi decimali)	
				Rim.	Ind.			N	E
S19	35,0	196,7	Carotaggio continuo	1	4	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT	43.089272°	12.474046°
S20	35,0	201,3	Carotaggio continuo	1	4	Tubazione per Down Hole	n° 5 Prove SPT	43.088400°	12.476727°
S21	35,0	197,0	Carotaggio continuo	1	4	Piezometro in PVC 3"	n° 5 Prove SPT	43.090680°	12.474200°

Tabella 6.1 Sintesi dei sondaggi e delle prove svolte in foro.

Seguono una sintesi delle litologie incontrate con le relative profondità da bocca-foro e le foto delle cassette dei carotaggi.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
S01	-0,50 m	Suolo agrario giallo bruno, molto umido, con resti vegetali.
	-1,70 m	Argille limose, brune umide, omogenee, dure con cementazione da dura a moderata.
	-6,00 m	Alluvioni grossolane poco umide, dure con elementi da centimetrici a decimetrici, appiattiti da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbioso limosa da biancastra brunastra; a 4,50 m livelli sabbioso-limosi sciolti poco addensati.
	-15,00 m	Argille limose grigiastre, umide, omogenee, da molto consistenti a dure, con cementazione debole.
S02	-0,20 m	Suolo agrario bruno, umido con resti vegetali.
	-1,00 m	Limo argilloso debolmente sabbioso bruno, umido con clasti sub arrotondati millimetrici mediamente addensato.
	-8,80 m	Ghiaie poligeniche di dimensioni variabili da millimetrici a decimetrici da sub arrotondate ad arrotondate in matrice sabbiosa fine avana-ghiaiosa. Da 5,00 m matrice sabbiosa limosa giallastra. Alluvioni alternanti a ghiaie sottili e strati centimetrici di limo sabbiosi poco addensati di colore da giallastro a grigio nel tratto compreso tra 9,10 e 9,20 m; presenza di resti vegetali di colore nero (carbonizzati).
	-13,60 m	Argille Limose con frazione sabbiosa variabile nei tratti 10,00 - 10,20 m e 11,90 -12,10 m, di colore grigio azzurrastro, poco umide, da molto consistente a dura con cementazione da 13,50 m. Presenta sporadiche lenti nerastre.
	-25,10 m	Livello sabbioso nel tratto 23,80-25,10 m di colore grigiastro.
	-30,00 m	Argille di colore grigio azzurro con frazione limosa variabile, da molto consistente a dure, bassa umidità quasi assente; nel tratto 28,50-29,00 m in aumento frazione sabbioso limosa.
S03	- 0,50 m	Suolo agrario giallo bruno, molto umido con resti vegetali.
	-1,80 m	Alluvioni costituite da limo più o meno sabbioso, umido omogeneo, bruno-giallastro, da sciolto a consistente.
	-5,70 m	Alluvioni costituite da ghiaia con sabbia limosa, omogenea, da

PROGETTAZIONE ATI:

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
		sciolte a poco addensate, umide, con elementi poligenici centimetrici con spigoli da vivi a sub-arrotondati.
	-35,00 m	Argille limose grigiastre, umide, omogenee, da molto consistenti a dure, con cementazione debole. Da 15,00 a 15,50 m livello sabbioso. Da 15,50 m, inclusioni di clasti giallastri. Da 28,00 m, presenza di lenti metriche nerastre. Da 29,00m presenza di inclusi millimetrici giallastri.
S04	-0,30 m	Suolo agrario bruno, umido con resti vegetali.
	-1,35 m	Limo sabbioso debolmente argilloso nel tratto da 0,30 a 0,60 m, di colore bruno e marrone, umido, da mediamente a molto addensato; presenza di materiale organico nerastro.
	-7,40 m	Alluvioni costituite da ghiaie con sabbia limosa di colore bruno e marrone, omogenee, da sciolte a poco addensate, con elementi sub-arrotondati e arrotondati di dimensioni da millimetriche a centimetriche.
	-7,80 m	Sabbie limose da poco a mediamente addensate, umide ed omogenee.
	-10,40 m	Limi sabbiosi con fraz. sabbiosa variabile, colore grigio da sciolti ad addensati, umidi, omogenei; presenza di resti vegetali neri.
	-15,60 m	Argille limose di colore grigio azzurro, omogenee, da mediamente a molto consistenti; presenza locale di inclusi nerastri (materia organica).
	-18,00 m	Limi sabbiosi con frazione argillosa variabile, da poco a mediamente addensati, omogenei, di colore grigio, umidi.
	-35,00 m	Argilla limosa di colore grigio azzurro, omogenea, da molto consistente a dura con cementazione; presenza di lenti nerastre millimetriche. Nel tratto 21,00-27,00 m presenza di inclusi biancastri millimetrici (concrezioni carbonatiche). Nel tratto 31,00-34,00 m presenza di laminazioni; il tratto 31,00-32,00 m risulta essere meno addensato.
S06	-0,40 m	Misto granulometrico di natura ghiaiosa con frazione sabbiosa fine.
	-5,20 m	Limo sabbioso, con frazione sabbiosa variabile, di colore bruno, omogeneo, da poco a mediamente addensato, presenza sporadica di resti vegetali.
	-7,30 m	Ghiaie eterometriche (da millimetriche a centimetriche) da sub-arrotondate a spigoli vivi, in matrice sabbiosa fine di colore marrone chiaro, debolmente addensate ed eterogenee. (Alluvioni)
	-12,50 m	Alternanza di limi sabbiosi di colore marrone ocraceo e sabbie limose, di colore marrone chiaro, umide (frazione limosa in aumento nei tratti 7,30-7,70 e 10,00-11,90 m) eterogenei; presenza costante di ghiaietto di dimensioni da millimetriche a centimetriche con rari inclusi decimetrici di forma da sub-arrotondata a spigoli vivi.
	-15,00 m	Limi argillosi di colore grigio con frazione sabbiosa variabile (in aumento verso il basso, in particolare da 14,00 m), eterogenei, da mediamente a molto addensati.

PROGETTAZIONE ATI:

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
S07	-0,50 m	Suolo agrario bruno, omogeneo, umido, sciolto, con resti vegetali.
	-1,50 m	Sabbie limose (con frazione limosa in aumento verso il basso) di colore bruno da sciolte a mediamente addensate, omogenee.
	-7,20 m	Limi sabbiosi di colore marrone chiaro (con frazione sabbiosa in aumento da 3,60 m) omogenei, mediamente addensati, presenza costante di materiale organico nerastro di dimensioni millimetriche.
	-10,50 m	Ghiaie poligeniche eterometriche (da millimetriche a centimetriche raramente decimetriche) da sub-arrotondate a spigoli vivi, in matrice sabbiosa debolmente limosa, di colore marrone, eterogenee sciolte.
	-20,00 m	Argille limose debolmente sabbiose di colore grigio-azzurro, frazione sabbiosa variabile e in aumento nei tratti 13,0-14,0, 16,0-16,5 e 19,0-20,0 m; terreni da mediamente a molto compatti con locale presenza di ghiaietto millimetrico, di forma sub-arrotondata e con presenza di materiale organico di colore nerastro di dimensioni millimetriche.
	-21,30 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi di colore grigio, omogenei e mediamente addensati.
	-48,00 m	Argille limose alternate a limi argillosi, di colore grigio-azzurro con frazione sabbiosa variabile (localmente in aumento). Terreni da mediamente a molto compatti, presenza sporadica di ghiaietto di dimensioni millimetriche. Da 24,0 a 24,50 m, livello più sabbioso. Da 26,0 a 28,0 m, in aumento presenza di ghiaietto di dimensioni millimetriche, sub-arrotondato. Da 28,0 a 31,0 m, livello più sabbioso di colore grigio da chiaro a scuro, presenza di materiale organico nerastro. Da 33,0 a 37,0 m, in aumento presenza di ghiaietto di dimensioni millimetriche sub-arrotondato. Da 40,5 a 42,0 m, livello più sabbioso e compatto di colore grigio. Da 43,6 a 45,0 m, in aumento componente organica nerastra, argille limose molto compatte di colore grigio scuro ed omogenee. Da 46,5 m, frazione sabbiosa in aumento.
	-50,00 m	Limi sabbiosi con frazione sabbiosa in aumento verso il basso, sciolti, di colore grigio, umidi.
S08	-1,20 m	Suolo agrario bruno, di natura limo sabbioso, omogeneo, mediamente addensato, con resti vegetali.
	-6,00 m	Sabbie fini debolmente limose (frazione limosa variabile) di colore marrone, eterogenee, da sciolte a poco addensate, umide nel tratto finale (da 4,60 m).
	-8,00 m	Materiale alluvionale costituito da ghiaie poligeniche ed eterometriche principalmente a spigoli vivi (raramente sub-arrotondate) in matrice sabbio limosa fine, marrone.
	-12,00 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi (con frazione argillosa variabile) di colore grigio, omogenei e mediamente addensati.
	-19,00 m	Limi argillosi di colore grigio (debolmente sabbiosi fino a 15,00 m) omogenei da mediamente a molto addensati, rilevata presenza sporadica di livelli torbiosi di dimensioni centimetriche.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-24,00 m	Limi argillosi di colore grigio con gradazioni nerastre date dalla presenza abbondante di materiale organico di natura torbosa (fino a 24,00 m) mediamente addensati con sporadica presenza di clasti millimetrici sub-arrotondati.
	-29,00 m	Alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi di colore grigio, da mediamente a molto addensati, presenza sporadica di clasti millimetrici, a spigoli vivi, in aumento verso il basso.
	-33,20 m	Argilliti di colore grigio, da poco a mediamente fratturate, alternate a livelli decimetrici limo argillosi grigi, mediamente compatti.
	-45,00 m	Alternanza di arenarie da poco a nulla fratturate di colore grigio, con marne e marne siltitiche grigie, da mediamente a molto fratturate. Riempimento delle fratture prevalentemente di natura argillitico-marnosa. Frazione argillitica in aumento nei tratti 37,00-38,40, 39,00-40,00 e 47,00-43,30 m, con presenza costante di inclusi a spigoli vivi di dimensioni da millimetriche a centimetriche.
S09	-1,80 m	Suolo agrario bruno, omogeneo, umido, da sciolto a poco addensato, di natura sabbioso-limosa, presenti resti vegetali.
	-6,00 m	Sabbie limose (con frazione limosa in aumento nel tratto 1,80-2,80m) di colore bruno da sciolte a poco addensate, omogenee ed eterogenee.
	-11,60 m	Alluvioni del F. Tevere costituite da clasti eterometrici (da millimetrici a centimetrici) principalmente sub-arrotondati in matrice sabbio-limosa di colore Ocraceo (in aumento nel tratto 8,70-9,50 m). Si riscontrano trovanti quarzarenitici di colore grigio nel tratto 7,00-7,40 (probabile materiale di riporto).
	-14,00 m	Limi argillosi di colore grigio e bruno (nel tratto 11,60-12,00 m), omogenei, da mediamente a molto compatti, abbondante presenza di materiale organico fino a 12,00 m (poi in diminuzione). Da 12,00 m presenza sporadica di concrezioni carbonatiche.
	-15,00 m	Livello limo sabbioso di colore grigio, mediamente addensato eterogeneo ed umido.
	-16,00 m	Limi argillosi con abbondante presenza di materiale <i>torboso</i> bruno.
	-21,40 m	Alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi (da 17,00 m) di colore grigio, da mediamente a poco addensati, frazione sabbiosa in aumento nel tratto 20,00-21,40 m.
	-24,20 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi di colore grigio, umidi, eterogenei, poco addensati; presenza di clasti sub-arrotondati prevalentemente millimetrici, in minor misura centimetrici.
	-26,00 m	Limi argillosi di colore grigio, con livelli <i>torbosi</i> di colore bruno nel tratto 24,20-24,90. Da mediamente a molto compatti.
	-30,00 m	Limi sabbiosi con frazione argillosa variabile, di colore grigio, eterogenei, da mediamente a poco addensati, umidi.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-38,40 m	Sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, da sciolti a poco addensati; nel tratto 30,00-31,00 m presenti livelli <i>torbosi</i> decimetrici di colore bruno. Presenza ricorrente di ghiaietto arrotondato di dimensioni millimetriche.
	-46,20 m	Limi argillosi e argille limose debolmente sabbiose di colore grigio (frazione sabbiosa variabile), da mediamente a molto compatti, omogenei. Presenza locale di concrezioni carbonatiche e di ghiaietto millimetrico sub-arrotondato.
	-50,00 m	Limi sabbiosi con frazione sabbiosa in aumento nel tratto 47,00-47,80 m, di colore grigio e grigio scuro, da poco addensati a sciolti. Presenza ricorrente di livelli <i>torbosi</i> decimetrici, nei tratti 46,20-47,00 e 49,00-50,00 m. Sporadica presenza di ghiaietto di dimensioni millimetriche.
S10	-0,10 m	Suolo vegetale bruno con resti vegetali, sciolto.
	-06,00 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi (frazione argillosa in aumento nel tratto 7,20-7,40 m) di colore dal marrone al grigio, umidi, da poco addensati a sciolti, eterogenei.
	-13,70 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi (frazione argillosa in aumento nel tratto 7,20-7,40 m) di colore dal marrone al grigio, umidi, da poco addensati a sciolti, eterogenei.
	-19,00 m	Limi argillosi, talora sabbiosi (nei tratti 13,70-13,90 e 17,40-18,00 m) di colore grigio con gradazioni di bruno (17,00-17,60 m livelli <i>torbosi</i>) eterogenei, da mediamente a molto addensati.
	-25,00 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa variabile (in aumento nel tratto 23,00-23,50 m) di colore da grigio chiaro a scuro, mediamente addensati, presenza locale di materiale organico di dimensioni centimetriche, nerastro.
	-32,50 m	Limi argillosi di colore grigio scuro, eterogenei, mediamente addensati, presenza ricorrente di livelli <i>torbosi</i> di dimensioni decimetriche (fino a 30,20 m).
	-40,65 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi di colore grigio (frazione argillosa in aumento verso il basso) eterogenei, umidi, da mediamente a poco addensati. nel tratto 38,00-40,00 m, presenza ricorrente di ghiaietto sub-arrotondato di dimensioni millimetriche.
	-45,00 m	Limi argillosi (frazione argillosa variabile, in aumento verso il basso) di colore grigio scuro, omogenei, da mediamente a molto compatti, presenza ricorrente (in aumento verso il basso) di ghiaietto di dimensioni millimetriche, sub-arrotondato e di concrezioni carbonatiche.
S11	-0,15 m	Suolo agrario bruno, umido con resti vegetali.
	-2,00 m	Alluvioni costituite da limi sabbiosi di colore marrone giallastro omogenee, da mediamente a molto addensate; rari inclusi millimetrici sub-arrotondati.
	-6,00 m	Limi argillosi con frazione argillosa in aumento verso il basso, marrone e bruni, da mediamente a molto addensati. omogenei; fino a 3,50 m presenza di clasti da sub-arrotondati a arrotondati millimetrici e concrezioni carbonatiche.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-10,75 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa variabile in aumento nel tratto 6-7m, di colore marrone-olivastro omogenei, presenza ricorrente di inclusi (concrezioni carbonatiche e materiale organico nerastro), rara presenza di clasti millimetrici sub-arrotondati, umida, mediamente a poco addensati
	-12,50 m	Alluvioni costituite da limi sabbiosi di colore marrone giallastro omogenee, da mediamente a molto addensate; rari inclusi millimetrici sub arrotondati.
	-15,00 m	Clasti arenacei da millimetrici a centimetrici alternati a blocchi decimetrici di arenaria da fine a media di colore grigio, compatti con nessun segno di alterazione e fratturazione.
	-19,50 m	Alla profondità di 15,00-15,50 m si riscontra un livello marnoso di colore grigio compatto; alternanza di livelli marnosi e arenacei da grigio chiaro a grigio scuro, poco o nulla fratturato con nessun segno di alterazione evidente. Tra 19 e 19,50 m, livello marnoso-siltoso grigio, debolmente fratturato.
	-25,00 m	Alternanza di arenarie e siltiti (peliti), da poca fratturazione ad assente; tratto 23-23,80 m fratturato; nessun segno di alterazione evidente.
	-35,00 m	Alternanza di livelli decimetrici di siltiti e marne siltitiche a livelli arenacei fini nei tratti 25,60-26 m, 26,90-26,60, 28,30-28,70 e 34,65-34,75 m, poco o nulla fratturati di colore da grigio chiaro a grigio scuro; nessun segno di alterazione evidente, presenza di blocchi massivi.
S12	-15,00 m	Sondaggio a distruzione: materiale limo sabbioso cementato di colore marrone.
	-18,00 m	Alternanza di argille limose di colore grigio da mediamente a molto coesive (dure cementate) a livelli di argille decimetriche da poco a mediamente fratturati, argille in particolare nei tratti 15,50-16,60 e 17,70-18,10 m.
	-25,00 m	Alternanza di marne di colore grigio da poco a mediamente fratturate con arenarie fini di colore grigio, compatte; presenza sporadica di livelli argillitici decimetrici nei tratti 20,70-21,50 e 22,40 m. Nessun segno di alterazione evidente.
	-27,00 m	Marne da poco a mediamente fratturate di colore grigio con frequente riempimento argillitico-marnoso; nessun segno di alterazione evidente.
	-30,00 m	Arenarie da poco a mediamente fratturate di colore grigio, con riempimento nelle fratture di argillite; presenza di livelli argillitici in particolare nel tratto 29,70-30,00 m.
	-32,00 m	Arenarie da poco a mediamente fratturate di colore grigio; presenza di quarzo a 30,30 m (quarzarenite), riempimento delle fratture di argillite.
	-35,00 m	Alternanza di arenarie e peliti di colore grigio, da mediamente a molto fratturate nel tratto 33,00-34,00 m; resta presente la componente argillitico-marnosa.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-39,00 m	Alternanza di arenarie e marne di colore grigio da poco a mediamente fratturate nei tratti 37,70-38,00 e 38,60-39,00m; livello marnoso da mediamente a molto fratturato.
	-41,00 m	Marne alternate a sottili livelli argillitici di colore grigio, spessori marnosi decimetrici poco o nulla fratturati.
	-44,70 m	Alternanza di arenarie (sabbia fine) di colore grigio a livelli decimetrici argillitici, da poco a mediamente fratturati; nel tratto 42,80-43,00 m presenza di quarzo.
	-45,00 m	Livello marnoso intercalato a livelli argillitici centimetrici da mediamente a poco fratturati.
S13	-75,00 m	Sondaggio a distruzione: strato superficiale costituito da materiale terrigeno limo-sabbioso debolmente argilloso; più in profondità alternanza di arenarie (in prevalenza) e marne con sottili livelli argillitici.
	-77,50 m	Alternanza di marne argillitiche grigie, da mediamente a molto fratturate con livelli di arenaria grigia compatta, poco o per niente fratturata, nessun segno di alterazione evidente.
	-81,00 m	Alternanza di siltiti e marne siltitiche di colore grigio da poco fratturate a fratturate nei tratti 78,0-78,7 e 80,0-80,9 m, a molto fratturate con presenza di livelli decimetrici arenacei fini nel tratto 79,0-80,0 m e di riempimento argillitico-marnoso da 80,5 m.
	-82,20 m	Marne e marne argillitiche da poco a mediamente fratturate di colore grigio, frazione argillitica in aumento nel tratto 81,30-81,60 m.
	-86,00 m	Calcareniti di colore grigio, poco fratturate (con fratture in prevalenza sub-orizzontali) con presenza di inclusi centimetrici, arrotondati, presenti ad intervalli regolari. Frazione in aumento nei tratti 84,5-84,7 e 85,0-85,3 m.
	-87,20 m	Calcareniti di colore grigio, molto fratturate (in particolare nel tratto 86,8-87,0 m) con presenza di argillite.
	-88,70 m	Alternanza di marne argillitiche grigie poco fratturate con ciottoli arenacei (87,7-88,0m), frazione argillitica in aumento verso il basso.
	-90,30 m	Arenarie molto fratturate di colore grigio (da 89,2 m fratturazione verticale prevalente); a 89,6 m livello siltitico decimetrico.
	-95,50 m	Alternanza di livelli argillitici decimetrici da mediamente a molto compatti di colore grigio scuro, con livelli di arenaria di colore grigio da mediamente a molto fratturato (in particolare nei tratti 90,7-90,8 e 93,8-94,0 m); da 94,0 m la frazione argillitica tende ad aumentare.
	-101,00 m	Alternanza di siltiti da poco a mediamente fratturate di colore grigio, con marne da mediamente a molto fratturate. Presenza frequente di materiale di riempimento argillitico-marnoso, in particolare nei tratti 97,0-98,0 e 100,5-101,0 m. Disposizione delle fratture sub-orizzontale prevalente e più caotica nel tratto 98,0-99,0 m.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-105,00 m	Marne e marne siltitiche di colore grigio da poco a mediamente fratturate, presenza di un livello argillitico nel tratto 104,5-104,7 m, riempimento delle fratture di tipo argillitico-marnoso nel tratto 103,0-104,0 m. Nessun segno di alterazione evidente.
S15 bis	-2,70 m	Limi argillosi debolmente sabbiosi, di colore ocra, omogenei, umidi, mediamente addensati; presenza frequente di materiale organico nerastro e sporadica invece di inclusi sub-arrotondati di dimensioni millimetriche.
	-5,00 m	Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi di colore marrone-arancio, da poco a mediamente addensati, eterogenei, umidi, presenza costante di inclusi organici nerastrati e rara di clasti di dimensioni millimetriche e sub-arrotondati (in aumento nel tratto 5,00-6,00).
	-9,30 m	Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi di colore marrone-arancio, da poco a mediamente addensati, eterogenei, umidi, presenza costante di inclusi organici nerastrati e rara di clasti di dimensioni millimetriche e sub-arrotondati (in aumento nel tratto 5,00-6,00).
	-17,20 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa variabile (in aumento nel tratto 11,50-12,20 e 16,50-17,00 m) di colore grigio azzurro, umidi omogenei, mediamente addensati, presenza locale di ghiaietto sub-arrotondato di dimensioni millimetriche. Nel tratto 13,00-15,00 m si riscontra un livello maggiormente argilloso di colore grigio scuro.
	-22,00 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi di colore grigio e ocracei nei tratti 17,20-17,40 e 17,80-17,90 e 20,00-20,40 m, da poco a mediamente addensati ed eterogenei.
	-30,00 m	Alternanza di limi argillosi grigi, mediamente addensati (nei tratti 22,00-22,60 e 25,60-26,00 m) con livelli limo sabbiosi da poco a mediamente addensati, umidi, rara presenza di inclusi sub-arrotondati di dimensioni millimetriche.
S15	-0,75 m	Riporto limo sabbioso, bruno, con laterizi e resti vegetali.
	-2,00 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa, omogenei, avana e marroni, molto addensati; con concrezioni carbonatiche e organiche.
	-5,00 m	Limi argillosi, con frazione sabbiosa in aumento verso il basso, marrone e ocra, da debolmente a mediamente addensati.
	-7,50 m	Limi sabbiosi di colore avana e marrone, omogenei, da poco a mediamente addensati; alternate a sabbie umide; presenza di materiale organico nerastro.
	-14,00 m	Limi argillosi con frazione organica in aumento verso il basso di colore grigio, da debolmente a molto addensati, omogenei, rara presenza di inclusi nerastrati (materiale organico).
S16	-0,60 m	Suolo agrario bruno, umido, omogeneo, poco addensato con resti vegetali.
	-2,30 m	Limi sabbiosi di colore bruno grigiastro, omogenei mediamente compatti; nel tratto 1,00-2,00 m, presenza di clasti millimetrici, sub-arrotondati. Presenza di materiale organico nerastro

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-4,50 m	Limi e limi sabbiosi di colore marrone e grigio, omogenei, mediamente addensati, presenza di materiale organico.
	-7,50 m	Limi argillosi debolmente sabbiosi di colore grigio-azzurro, omogenei, umidi da molto a mediamente addensati.
	-12,00 m	Limi sabbiosi di colore marrone grigiastro, omogenei, umidi da poco a mediamente addensati.
	-23,00 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa variabile (in aumento nei tratti 13,00-14,00, 15,50-16,00 e 19,00-20,00 m) di colore grigio, da mediamente a molto compatti, presenza sporadica di concrezioni carbonatiche biancastre e di clasti da millimetrici a centimetrici sub-arrotondati. Presenza ricorrente di materiale organico nerastro.
	-35,00 m	Limi sabbiosi con frazione argillosa variabile (in aumento nei tratti 23,00-24,00, 27,00-28,00 e 31,00-32,00 m) di colore grigio, omogenei, da mediamente a molto addensati; presenza di inclusi di dimensioni millimetrica sub-arrotondati (localmente), in particolare nel tratto 23,00-23,10, e di materiale organico nerastro.
S17 bis	-10,70 m	Alternanza di limi sabbiosi, debolmente argillosi di colore marrone con gradazioni del grigio, appartenenti al sistema di Solfagnano (Litofacies di Sant'Egiolo). Omogenei, da mediamente a molto addensati, presenza sporadica di materiale organico nerastro (in aumento da 4,00 m) e sporadici clasti millimetrici a spigoli vivi. Frazione sabbiosa in aumento nei tratti 8,00-8,30 e 9,70-10,00 m.
	-16,00 m	Limi sabbiosi (con frazione sabbiosa in aumento verso il basso) di colore marrone, omogenei, da mediamente a poco addensati, rara presenza di clasti millimetrici sub-arrotondati.
	-21,30 m	Alternanza di limi e limi sabbiosi (con frazione sabbiosa in aumento verso il basso) di colore oca-grigiastro, omogenei, da molto a mediamente addensati, presenti segni di cementazione (sabbie cementate).
	-25,00 m	Limi argillosi di colore grigio con frazione variabile (in aumento nei tratti 21,60-23,00 e 26,00-28,00 m), frazione argillosa in aumento verso il basso. Omogenei da mediamente a molto compatti, presenza sporadica di materiale organico.
S17	-0,15 m	Suolo vegetale bruno, addensato, presenza di resti vegetali.
	-0,60 m	Sabbie limose brune, omogenee, mediamente addensate.
	-1,50 m	Alternanza di limi sabbiosi, debolmente argillosi di colore marrone con gradazioni del grigio, appartenenti al sistema di Solfagnano (Litofacies di Sant'Egidio), omogenei, da mediamente a molto addensati, presenza sporadica di materiale organico nerastro (in aumento da 4,00 m) e sporadici clasti millimetrici a spigoli vivi. Frazione sabbiosa in aumento nei tratti 8,00-8,30 e 9,70-10,00 m.
	-10,70 m	Limi sabbiosi (con frazione sabbiosa in aumento verso il basso) di colore marrone, omogenei, da mediamente a poco addensati, rara presenza di clasti millimetrici sub-arrotondati.

PROGETTAZIONE ATI:

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-16,00 m	Alternanza di limi e limi sabbiosi (con frazione sabbiosa in aumento verso il basso) di colore ocra-grigiastro, omogenei, da molto a mediamente addensati, presenti segni di cementazione (sabbie cementate).
	-21,30 m	Limi argillosi di colore grigio con frazione variabile (in aumento nei tratti 21,60-23,00 e 26,00-28,00 m), frazione argillosa in aumento verso il basso. Omogenei da mediamente a molto compatti, presenza sporadica di materiale organico.
	-30,00 m	Alternanza di limi sabbiosi e argille limose di colore grigio (frazione limosa variabile), eterogenei, da mediamente a molto compatti. Presenza occasionale di materiale organico nerastro.
S18	-46,20 m	Suolo agrario bruno, umido con resti vegetali.
	-46,20 m	Limi argillosi debolmente sabbiosi, di colore bruno grigio da 1,70 m, da sciolti a mediamente addensati, eterogenei, presenza di concrezioni carbonatiche.
	-2,00 m	Sabbie limose con frazione limosa variabile, di colore marrone e grigio, da sciolte a poco addensate, umide, eterogenee, presenza sporadica di clasti millimetrici arrotondati.
	-8,60 m	Limi argillosi debolmente sabbiosi (da 7,30-7,50m), di colore marrone con gradazioni di bruno, da mediamente a molto addensati, umidi, omogenei, presenza di concrezioni carbonatiche e di clasti sub arrotondati millimetrici.
	-10,00 m	Limi argillosi grigi con frazione sabbiosa variabile, omogenei da mediamente a molto addensati.
	-18,30 m	Alternanza di limi sabbiosi, da sciolti a poco addensati di colore grigio chiaro con limi argillosi da mediamente a molto compatti di colore da grigio chiaro a scuro (frazione sabbiosa fine prevalente); presenza locale di inclusi nerastri di materiale organico. Frazione argillosa nei tratti: 10,00-10,60 m, 12,15-12,70 m, 15,60-16,00 m;
	-20,00 m	Limi argillosi talora sabbiosi, da mediamente a molto addensati grigi; presenza ricorrente di materiale organico nerastro.
	-25,00 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi di colore grigio da mediamente a poco addensati, omogenei, frazione argillosa in diminuzione verso il basso.
S19	-0,35 m	Suolo vegetale bruno, addensato, presenza di resti vegetali.
	-3,00 m	Limi sabbiosi con frazione argillosa in aumento verso il basso di colore bruno e marrone, omogenei, mediamente addensati; presenza di clasti millimetrici sub arrotondati e di materiale organico.
	-9,00 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa variabile di colore bruno e arancione, omogenei; nel tratto 5,75-6,00 m livello sabbioso; materiale organico nerastro e ghiaietto nel tratto 3,65-3,80 m.
	-16,00 m	Limi argillosi di colore marrone con gradazioni di grigio da mediamente a molto addensati, omogenei; presenza sporadica di clasti da sub-arrotondati ad arrotondati.

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-46,20 m	Alternanza di limi sabbiosi e limi argillosi con frazione sabbiosa variabile (in diminuzione verso il basso) di colore marrone e arancione e da 14,90 m di colore grigio; omogenei, da poco a mediamente addensati.
	-46,20 m	Limi argillosi di colore grigio, omogenei, da poco a mediamente addensati; presenti livelli sabbiosi nei tratti 16,90-17,25 m, 20,70-21,00 m, 23,00-24,00 m, 25,00-25,75 m, 26,50-27,20 m. Da 30,00 m presenza di sporadici inclusi di dimensioni millimetriche e di colore biancastro (concrezioni carbonatiche).
S20	-0,30 m	Suolo vegetale bruno, addensato, presenza di resti vegetali.
	-4,00 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi (fraz. argillosa in aumento verso il basso) di colore bruno e marrone, omogeneo, umido, mediamente addensato. Presenza di materiale organico e di inclusi sub-arrotondati di dimensioni millimetriche.
	-8,00 m	Limi argillosi debolmente sabbiosi (fraz. argillosa in aumento da 3,00 m) di colore bruno, con gradazioni di marrone, omogenei mediamente addensati, presenza di materiale organico e di inclusi arrotondati millimetriche.
	-10,50 m	Limi sabbiosi di colore marrone-arancio, da poco a mediamente addensati, umidi, omogenei.
	-13,50 m	Limi argillosi di colore ocra-marrone con gradazioni di grigio, da mediamente a molto addensati, umidi omogenei. Presenza sporadica di materiale organico e di clasti arrotondati di dimensioni millimetriche.
	-18,50 m	Limi sabbiosi con frazione argillosa variabile in aumento nei tratti 17,30-17,60 m e 17,00-18,00 m, di colore marrone-arancio, con gradazioni di grigio da 17,60m omogenei, mediamente addensati.
	-21,50 m	Limi argillosi di colore grigio, omogenei, mediamente addensati; presenza di materiale organico (in aumento verso il basso); livello di torba nel tratto 20,10-20,20 m di colore nerastro. Da 20,20 m colore grigio scuro con costante presenza di materiale organico nerastro.
	-24,00 m	Limi argillosi con sabbia (tratto 21,50-22,20 livello sabbioso) di colore grigio, omogeneo, da poco a mediamente addensati, eterogenei, con inclusi nerastri di materiale organico.
	-29,00 m	Alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose, con fraz. argillosa variabile (in aumento lungo il tratto 26,00-28,00 m) di colore grigio, da poco a mediamente addensati, eterogenei; presenza di inclusi nerastri (organici) in diminuzione verso il basso.
	-35,00 m	Limi argillosi con sabbia (tratto 21,50-22,20 m livello sabbioso) di colore grigio, omogeneo, da poco a mediamente addensati, eterogenei, con inclusi nerastri di materiale organico.
S21	-0,30 m	Materiale di riporto, sciolto di colore grigio costituito da limi sabbiosi.
	-2,25 m	Limi sabbiosi (con fraz. sabbiosa in aumento verso il basso di colore grigio e bruno,eterogenei, da sciolti a poco addensati con inclusi nerastri (materiale organico).

Sondaggio	Profondità del letto da p.c.	Litologia
	-5,10 m	Limi argillosi con fraz. sabbiosa, di colore marrone e oca, omogenei, mediamente addensati. Presenza di materiale organico nerastro e di ghiaietto millimetrico sub-arrotondato nel tratto 2,0-3,0 m.
	-9,10 m	Alternanza di limi argillosi, di colore marrone da poco a mediamente addensati, a limi sabbiosi (da 7,10 m) di colore marrone-ocra meno addensati. Presenza di materiale organico di colore nerastro.
	-15,00 m	Limi argillosi con frazione sabbiosa variabile di colore marrone, da 13,60 m con gradazioni di grigio, omogenei, da mediamente a molto addensati, livello sabbioso nel tratto 13,60-14,35 m.
	-18,25 m	Limi sabbiosi di colore marrone - arancio con fraz. argillosa variabile, omogenei, presenti gradazioni di grigio, umidi, mediamente addensati.
	-26,00 m	Limi argillosi di colore grigio, omogenei, da mediamente a molto addensati (verso il basso). Presenza ricorrente di inclusi millimetrici nerastri (materiale organico). Da 22,30-22,80 m livello sabbioso. Da 25,00-26,00 m presenza di ghiaietto millimetrico sub-arrotondato.
	-30,00 m	Limi sabbiosi debolmente argillosi, da grigio a grigio scuro (da 28,00m), omogenei, mediamente addensati. Presenza sporadica di inclusi nerastri (torba). Da 29,50-30,00 m presenza di concrezioni carbonatiche (in diminuzione verso il basso).
	-35,00 m	Limi argillosi con frazione argillosa variabile, di colore dal grigio chiaro a scuro, da mediamente a molto addensato; rara presenza di clasti arrotondati millimetrici. Da 32,50 m presenza di concrezioni carbonatiche (in diminuzione verso il baso).

Tabella 6.2 Sintesi delle litologie incontrate nei sondaggi.

I sondaggi eseguiti nel settore occidentale del tracciato, nella pianura alluvionale del Fiume Tevere (**S01, S02, S03, S04, S06, S07, S08, S09 e S10**), mostrano la presenza all'interno della piana di una successione lateralmente omogenea e continua, costituita da uno spessore di limi sciolti o poco addensati (2-7 m), subito al di sotto di uno strato di terreno agricolo rimaneggiato (0,5-1 m di spessore). Inferiormente si passa ad uno strato di ghiaie sabbiose alluvionali, spesso da 3 a 7 m, con clasti a spigoli vivi e ciottoli, all'interno del quale, come suggerito dalla campagna di misure piezometriche, si attesta il livello superiore della falda freatica.

A profondità comprese tra i 7 ed i 12 m da p.c., si incontra la successione di limi argillosi grigio-azzurri di ambiente fluvio-lacustre, attribuiti ai depositi del Lago Tiberino, in particolare al membro basale del sistema di Solfagnano (*argille grigie inferiori*); i limi si presentano generalmente addensati e omogenei, ricchi di materia organica e lenti di torba, solo a tratti varvati o con presenza di ghiaia fine. Lo spessore di questi sedimenti supera i 40 m in corrispondenza del sondaggio **S07**, e si assottiglia gradualmente muovendosi verso il bordo SE della piana. Il sondaggio **S08** raggiunge, a circa 30 m di profondità, il contatto di questa successione con il substrato litoide.

Il sondaggio **S11** attraversa lo spessore dei depositi terrazzati che bordano la piana in diversi settori, ed incontra il substrato litoide a circa 12 m di profondità.

I sondaggi **S12** ed **S13** sono stati eseguiti sulla dorsale collinare di Brufa, nel suo settore settentrionale, per la definizione delle litologie incontrate nella galleria naturale prevista lungo

PROGETTAZIONE ATI:

questa tratta. Il rilievo è costituito da una monoclinale, con strati immergenti circa verso est e inclinazione compresa tra 15 e 25°. Entrambi i sondaggi presentano un primo tratto eseguito a distruzione, fino a profondità prossime alla quota di fondazione della galleria in progetto. Le litologie incontrate appartengono al Membro di Bettona della Formazione Marnoso-Arenacea Umbra.

I sondaggi eseguiti lungo il settore orientale del tracciato (**S15, S15 bis, S16, S17, S17 bis, S18, S19, S20 e S21**) mostrano uno spessore variabile di limi argillosi e sabbiosi da marroni a grigio-bruni di ambiente fluviale, da mediamente a molto addensati, attribuiti alla litofacies di Sant'Egidio, con uno spessore massimo di 21 m raggiunto nei sondaggi **S17** e **S17 bis**, dove la successione mostra uno strato basale di limi e limi sabbiosi ocra-grigiastri spesso circa 5 m. Al di sotto di questi spessori, si rinvenivano i depositi fluvio-lacustri del membro basale del Sistema di Solfagnano, sopra descritti.

In particolare il tetto di questi ultimi, lungo la collina di Collestrada (**S17, S17 bis**) si rinviene a quote superiori di circa 40 m rispetto alla superficie di contatto con le alluvioni recenti riscontrata lungo la piana.

6.2 INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche sono state eseguite in prossimità delle fondazioni delle infrastrutture in progetto (pile del viadotto sul Fiume Tevere, gallerie naturali e artificiali) ponendo le stese sismiche in corrispondenza delle prove *down hole*, così da poter calibrare le prime su queste ultime.

Le prove di sismica passiva HVSR invece sono state ubicate prevalentemente sui depositi di piana, così da poterne stimare la frequenza di risonanza naturale e la profondità di un eventuale substrato sismico. L'ubicazione delle indagini è riportata nella figura di seguito.

Vengono in questo paragrafo riportati i risultati delle indagini, mentre per maggiori dettagli tecnici sulla loro esecuzione si rimanda all'elaborato specifico (T00GE00GEORE01).

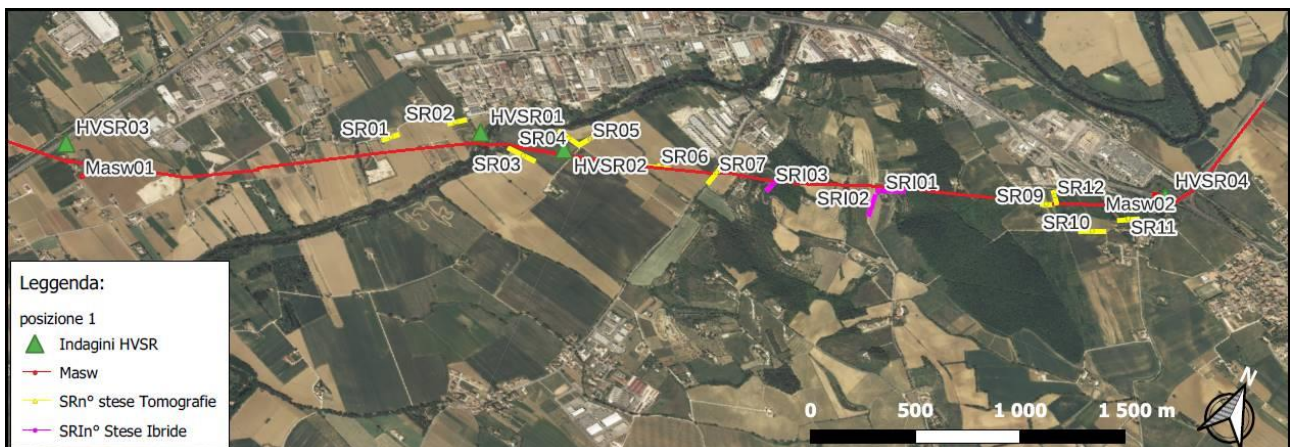


Figura 6.2 Ubicazione delle indagini geofisiche con indicazione del tracciato (linea rossa) (dalla relazione tecnica della Geo Gav, modificata).

6.2.1. PROSPEZIONI SISMICA PASSIVA H.V.S.R.

Sono state effettuate N°4 indagini HVSR di registrazione del rumore ambientale, nel tratto di piana all'estremità occidentale del tracciato (HVSR03), in prossimità delle spalle del viadotto sul Fiume Tevere (HVSR01, HVSR02), ed in prossimità dell'imbocco orientale della galleria artificiale (HVSR04). Per la misura dei microtremori è stato impiegato un tomografo digitale Geobox a 9 canali prodotto da *Sara Instruments*. Tale strumento è costituito da una terna di velocimetri ad alto guadagno, per le misure di rumore sismico ambientale, da una terna di velocimetri a basso

guadagno, per le misure di sismica attiva, e da una terna di accelerometri per le analisi vibrazionali degli edifici. Il tomografo opera nel campo di frequenze compreso tra 0,1 e 1024 Hz. Per l'elaborazione dei dati sperimentali relativi alle indagini sismiche HVSR è stato utilizzato il *software* Grilla.

L'ubicazione delle indagini è riportata nella tabella seguente.

Id. indagine	Sistema Coordinate WGS84	
	N	E
HVSR1	36°58'10.10"	14°46'18.60"
HVSR2	36°58'11.70"	14°46'22.80"
HVSR3	36°58'9.84"	14°46'22.24"
HVSR4	36°58'7.50"	14°46'20.90"

Tabella 6.3 Ubicazione delle indagini HVSR eseguite in coordinate geografiche sessagesimali WGS86con

Di seguito vengono brevemente riassunti i risultati della prospezione sismica effettuata.

Prova	Frequenze naturali dei terreni
HVSR1	$f_0 = 1,11 \text{ Hz}$ $f_1 = 20,72 \text{ Hz}$
HVSR2	$f_0 = 1,08 \text{ Hz}$ $f_1 = 16,86 \text{ Hz}$
HVSR3	$f_0 = 11,56 \text{ Hz}$ $f_1 = 0,88 \text{ Hz}$
HVSR4	$f_0 = 2,18 \text{ Hz}$

Tabella 6.4 Risultati delle misure di rumore ambientale.

L'interpretazione delle indagini ha consentito di ricavare le frequenze naturali di vibrazione dei terreni interessati dal tracciato. Le prove HVSR1 e HVSR2, in prossimità delle spalle del viadotto sul Fiume Tevere, non hanno individuato la presenza del substrato sismico.

L'indagine HVSR3 evidenzia un substrato sismico già alla profondità di 1 m, la cui presenza non è tuttavia confermata dai sondaggi effettuati nelle vicinanze del punto di prova.

L'indagine HVSR4, eseguita sugli spessori dei depositi della litofacies di Sant'Egidio, non rivela la presenza del substrato sismico.

6.2.2. PROSPEZIONI SISMICHE MASW

Sono state eseguite N°2 prove MASW, rispettivamente alle estremità occidentale ed orientale del tracciato in prossimità delle prove HVSR3 (MASW1) e HVSR4 (MASW2).

Per l'acquisizione è stata impiegata una distanza intergeofonica variabile per una lunghezza totale del profilo di 69 m per entrambe le misure.

Le energizzazioni sono state effettuate esternamente sia prima del geofono 1 che dopo il geofono 24, ad una distanza di 5,0 m. L' acquisizione è stata effettuata utilizzando un tempo di campionamento pari a 1 ms ed una finestra di registrazione pari a 1.5 s.

Per l'elaborazione dei dati sperimentali relativi alle indagini sismiche MASW è stato utilizzato il software dedicato Geopsy, un software open source per l'elaborazione della prova geofisica Masw.

Strato	Profondità	Spessore	Vs	Vseq	Categoria di suolo NTC2018
MASW1					
1	0,0-0,96 m	0,96 m	345 m/s	357 m/s	C
2	0,96 m-9,92 m	8,96 m	352 m/s		
3	>9,92 m	-	360 m/s		
MASW2					
1	0,0-2,68 m	2,68 m	122 m/s	260 m/s	C
2	2,68-9,51 m	6,83 m	214 m/s		
3	9,51-24,60 m	15,09	306 m/s		
4	>24,60 m	-	453 m/s		

Tabella 6.5 Risultati delle elaborazioni delle prove MASW.

L'indagine MASW1 presenta un leggero incremento delle Vs in corrispondenza del passaggio tra le alluvioni recenti del Fiume Tevere ed i sedimenti fluvio-lacustri del Bacino Tiberino, a circa 10 m di profondità.

L'indagine MASW 2 presenta il maggior incremento delle Vs a circa 25 m di profondità, al limite massimo di profondità raggiunta dai sondaggi in quest'area. Anche in questo caso non viene evidenziata la presenza del substrato sismico.

Come per le prove HVSR, la categoria sismica riportata in tabella è puramente indicativa; per l'attribuzione delle categorie di progetto si rimanda alla relazione specifica (Relazione Sismica, T00GE03GEORE01).

6.2.3. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE SRT

Le indagini sismiche sono state condotte impiegando un sismografo modulare a 24 canali della Ambrogeo, modello ECHO 12-24, collegato ad un netbook per la visualizzazione dei sismogrammi. Il sistema di energizzazione impiegato per la generazione delle onde sismiche è una mazza battente da 8 kg, attrezzata con un accelerometro (*hammerswitch trigger*) per l'individuazione del tempo zero. I profili sono stati acquisiti utilizzando array di geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz posizionati con interdistanza pari a 5 m.

Su ogni posizione di energizzazione sono state effettuate le battute necessarie ad ottenere un rapporto segnale rumore adeguato ad una chiara distinzione dei primi arrivi.

Sono state eseguite N°11 prove a rifrazione SRT, con produzione di altrettante elaborazioni 2D dell'andamento delle velocità Vp, che in alcuni casi hanno fornito utili indizi per la ricostruzione dell'andamento del substrato roccioso in profondità. Le tomografie sono riportate nell'elaborato di progetto dedicato (T00GE00GEORE01).

6.2.4. PROSPEZIONI SISMICHE IBRIDE

Si tratta di un'indagine congiunta di tomografia sismica in cui i segnali sismici acquisiti vengono processati sia in rifrazione che in riflessione.

Come per le prove SRT, le indagini sismiche sono state condotte impiegando un sismografo modulare a 48 canali della Ambrogeo-modello ECHO 24-48, collegato ad un *netbook* per la visualizzazione dei sismogrammi. Il sistema di energizzazione impiegato per la generazione delle onde sismiche è una mazza battente da 8 kg, attrezzata con un accelerometro (*hammerswitch trigger*) per l'individuazione del tempo zero. I profili sono stati acquisiti utilizzando *array* di geofoni verticali con frequenza propria di 30 Hz posizionati con interdistanza variabile da 2,5 a 3,0 m. Su ogni posizione di energizzazione sono state effettuate le battute necessarie ad ottenere un rapporto segnale rumore adeguato ad una chiara distinzione sia dei primi arrivi che la firma del segnale stesso.

Sono state eseguite N°3 prove ibride in corrispondenza dei sondaggi S12 (SRI03) e S11 (SRI01 ed SR0I2), sulla proiezione in superficie di due verticali della galleria naturale in progetto. Le prove hanno evidenziato la presenza di *“una serie di riflessioni relative che evidenziano una stratificazione sub-orizzontale con tratti di fratture sub-verticali”*; l'analisi della distribuzione delle velocità delle onde P evidenzia invece una variazione di Vp compresa tra 600 m/s e 2500 m/s circa.

6.2.5. PROVE DOWNHOLE

Le prove sismiche DH sono state effettuate nei fori attrezzati con rivestimento in PVC del diametro di 80 mm. I dati sono stati acquisiti dal piano campagna fino alla profondità di fondo foro, con intervalli di un metro, utilizzando la seguente procedura:

- Ancoraggio della sonda triassiale, energizzazione verticale ed acquisizione della traccia sismica relativa alle onde P;
- Energizzazione orizzontale ed acquisizione delle tracce sismiche relative alle onde S;
- Memorizzazione dei dati, sblocco dell'ancoraggio della sonda triassiale e passaggio all'acquisizione successiva.

Di seguito si riportano l'ubicazione dei fori di sondaggio in cui sono state eseguite le prove, ed i relativi risultati.

Id sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Sistema Coordinate WGS84	
		N	E
S03	35,0	43.063809°	12.414511°
S04	35,0	43.064533°	12.420188°

PROGETTAZIONE ATI:

Id sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Sistema Coordinate WGS84	
		N	E
S07	50,0	43.074308°	12.433404°
S09	50,0	43.076391°	12.438872°
S11	35,0	43.077747°	12.448204°
S16	35,0	43.085033°	12.467090°
S17	35,0	43.084933°	12.470821°
S19	35,0	43.089272°	12.474046°
S20	35,0	43.088400°	12.476727°

Tabella 6.6 Ubicazione dei sondaggi in cui sono state eseguite le prove *downhole* (coordinate geografiche decimali).

Descrizione [-]	Profondità [m]	Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/mc]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
DH_S03									
Alluvioni	1,07	257,21	146,58	19,02	0,26	41,67	128,32	104,97	72,76
Alluvioni	3,14	450	271,3	20,47	0,21	153,67	422,78	373,25	217,89
Argille limose	10,25	1642,03	499,65	21,44	0,45	545,89	5895,74	1581,97	5167,89
Argille limose	17,92	613,6	774,75	22,64	1,84	1385,88	869,31	7875,75	-978,53
Argille limose	35,03	658,63	253,94	18,36	0,41	120,75	812,27	341,16	651,27
DH_S04									
Limo sabbioso	1,08	316,72	202,63	20,23	0,15	84,69	206,92	195,39	93,99
Ghiaia con sabbia	2,04	271,95	180,11	19,97	0,11	66,05	150,59	146,55	62,52
Ghiaia con sabbia	4,06	961,9	248,16	20,18	0,46	126,73	1904,12	371,16	1735,14
Sabbie limose	11,08	955,1	777,41	22,7	--	1398,97	2111,59	--	246,29
Limi argillosi	22,07	371,03	319,38	19,55	--	203,35	274,43	--	3,3
Argille limose	23,23	580	155,29	19,13	0,46	47,03	656,09	137,46	593,38
Argille limose	25,23	692,04	148,15	18,21	0,48	40,75	889,26	120,3	834,92
Argille limose	35,03	637,78	478,82	21,24	--	496,61	881,05	--	218,91
DH_S07									
Sabbie limose	1,08	426,88	220,86	20,54	0,32	102,15	381,61	269,12	245,41
Limi con sabbie	1,98	566,04	274,39	21,5	0,35	165,09	702,52	444,55	482,41
Sabbie passanti a ghiaie	8,43	971,39	445,13	21,14	0,37	427,17	2034,25	1167,97	1464,69
Argille limose	10,33	1073,45	247,72	20,24	0,47	126,68	2378,74	372,91	2209,83
Argille limose	15,92	453,73	358,56	20,52	--	268,98	430,72	--	72,08
Limi con sabbia	25,39	534,42	479,98	21,11	--	496	614,91	--	-46,43
Argille limose	39,2	868,01	515,3	21,1	0,23	571,23	1620,83	1402,8	859,2

PROGETTAZIONE ATI:

Descrizione [-]	Profondità [m]	Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/mc]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
Argille limose	50,02	2376,9	888,64	23,13	0,42	1862,83	13327,41	5285,8	10843,65
DH_S09									
Sabbia limosa	1,05	270,62	220,59	20,57	--	102,07	153,62	--	17,53
Sabbia limosa	4,93	453,8	329,09	20,53	--	226,75	431,16	--	128,83
Sabbia limosa ghiaiosa	10,26	662,11	297,77	19,88	0,37	179,78	888,89	493,75	649,19
Sabbia limosa ghiaiosa	11,06	210,53	583,94	23,54	1,07	818,34	106,37	3395,62	-984,75
Limi argillosi	14,31	606,34	317,38	20,57	0,31	211,28	771,14	554,11	489,43
Limi sabbiosi	30,92	777,99	411,34	20,19	0,31	348,36	1246,15	909,92	781,66
Limi + o - sabbiosi	50,02	943,93	570,04	21,56	0,21	714,35	1958,77	1732,98	1006,3
DH_S11									
Limi sabbiosi	1,11	730,26	162,76	19,37	0,47	52,33	1053,42	154,24	983,66
Limi argillosi	5,94	739,66	255,15	19,39	0,43	128,72	1081,76	368,78	910,13
Limi argillosi	13,00	878,11	543,49	21,71	0,19	653,89	1706,92	1555,63	835,06
Arenarie	26,06	879,46	643,03	21,83	--	920,33	1721,51	--	494,41
Siltiti con alternanze di arenarie	35,03	683,69	507,35	21,33	--	559,91	1016,75	--	270,2
DH_S16									
Limi sabbiosi	1,08	238,41	156,75	19,27	0,12	48,27	111,67	108,06	47,31
Limi sabbiosi	2,05	225,06	236,59	20,92	5,76	119,4	108,05	1614,13	-51,15
Limi sabbiosi	2,95	405,41	441,18	22,82	3,71	452,91	382,44	4269,69	-221,44
Limi sabbiosi	4,1	638,89	435,61	22,55	0,07	436,27	938,46	929,81	356,77
Limi argilloso sabbiosi	15,09	1038,75	607,52	21,76	0,24	818,96	2394,25	2031,12	1302,3
Limi argillosi	25,12	1043,7	600,24	21,78	0,25	800,2	2419,37	2005,13	1352,44
Limi sabbiosi	35,03	712,61	292,42	19,48	0,4	169,83	1008,57	475,11	782,13
DH_S17									
Sabbie limoso ghiaiose	1,11	346,88	169,21	19,52	0,34	56,99	239,5	153,18	163,51
Limi sabbiosi	1,92	258,79	176,47	20,15	0,07	64	137,63	136,37	52,3
Limi argilloso sabbiosi	5,00	716,28	290,84	20,31	0,4	175,19	1062,6	490,99	829,01
Limi sabbiosi	13,24	1128,77	627,09	22,03	0,28	883,43	2862,32	2255,91	1684,41
limi	17,24	1600	1253,92	24,31	--	3897,16	6345,26	--	1149,05
Limi argillosi e sabbiosi	35,03	600,61	319,16	19,19	0,3	199,31	705,82	519,5	440,07
DH_S19									
Limi sabbiosi	1,06	229,93	139,47	18,84	0,21	37,37	101,58	90,36	51,74
Limi sabbiosi	2,03	354,01	182,33	20	0,32	67,79	255,57	178,9	165,18

PROGETTAZIONE ATI:

Descrizione [-]	Profondità [m]	Vp medio [m/s]	Vs medio [m/s]	g medio [kN/mc]	ni medio	G medio [MPa]	Ed medio [MPa]	E medio [MPa]	Ev medio [MPa]
Limi argillosi	5,09	523,08	387,83	21,3	--	326,7	594,28	--	158,68
Limi argillosi	13,11	768,2	705,36	22,37	--	1135,11	1346,35	--	-167,13
Limi sabbiosi	18,04	1251,27	488,6	21,64	0,41	526,78	3454,78	1485,57	2752,41
Limi argillosi	25,14	863,75	1097,37	23,85	1,81	2929,02	1814,63	16485,56	-2090,73
Limi argillosi	35,03	756,6	338,15	19,93	0,38	232,37	1163,31	639,12	853,47
DH_S20									
Limi sabbiosi	1,07	145,58	76,16	16,43	0,31	9,72	35,51	25,49	22,55
Limi sabbiosi debo. argillosi	2,21	265,73	144,85	18,88	0,29	40,4	135,95	104,11	82,09
Limi sabbiosi debo. argillosi	2,92	747,37	201,13	20,82	0,46	85,9	1186,04	251	1071,51
Limi argillosi e sabbiosi	17,01	800,11	749,07	22,22	--	1271,51	1450,7	--	-244,64
Limi sabbiosi	18,04	725,35	363,96	22,18	0,33	299,58	1189,88	797,93	790,45
Limi argillosi	35,03	1285,37	413,93	20,24	0,44	353,61	3409,8	1019,91	2938,32

Tabella 6.7 Risultati delle prove down hole, con evidenziate in giallo le Vs medie utili per la stima della Vseq (NTC 2018).

6.3 DATI GEOGNOSTICI E GEOTECNICI PRECEDENTI

Il portale della Regione Umbria (<http://dati.umbria.it>) ha reso accessibile la banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche in formato kmz, derivante dalla raccolta delle indagini che è stata fatta per la realizzazione delle carte geologiche e di pericolosità sismica locale dell'Umbria.

Tutti i dati raccolti sono pubblici ai sensi del comma 3 dell'articolo 20 della Legge Regionale dell'Umbria n. 30 del 12 agosto 1998.

I contenuti sono disponibili liberamente con l'obbligo della citazione della fonte dei dati nel caso di riutilizzo.

Dal portale, cliccando sulle ubicazioni delle singole indagini è possibile visualizzare le informazioni disponibili relative all'indagine scelta e cliccando sul link indicato si accede al documento originale dell'indagine in formato pdf, con le relative stratigrafie.

Le stratigrafie così reperite e l'ubicazione dei relativi sondaggi sono riportate rispettivamente in allegato alla presente relazione e nell'elaborato di progetto "Planimetria ubicazione indagini geognostiche" (T00GE00GEOPU01-04).

6.4 RILEVAMENTO GEOMECCANICO

Sono state eseguite N°2 stazioni di rilevamento geomeccanico su altrettanti affioramenti litoidi ritenuti sufficientemente rappresentativi, per i quali è stato valutato l'indice RMR (Bieniawski, 1989) necessario per la classificazione degli ammassi rocciosi.

Scopo del rilevamento è l'integrazione dei dati derivanti dai sondaggi geognostici S12 ed S13, per la caratterizzazione geotecnica delle litologie attraversate dal settore di tracciato in galleria naturale.

Nella tabella che segue si riportano i risultati delle stazioni eseguite e la loro ubicazione (coordinate metriche UTM WGS84)

Stazione	Formazione	GSI	RMRb	Longitudine	Latitudine
SG1	Marnoso Arenacea Umbra	49	54	4773325	292536
SG2	Marnoso Arenacea Umbra	58	63	4773358	292543

Tabella 6.3 Sintesi delle stazioni eseguite con indicazione dei punteggi GSI e RMRb ottenuti e delle loro coordinate.

Di seguito, si riporta l'ubicazione in pianta delle stazioni con riferimento al tracciato della galleria in progetto.

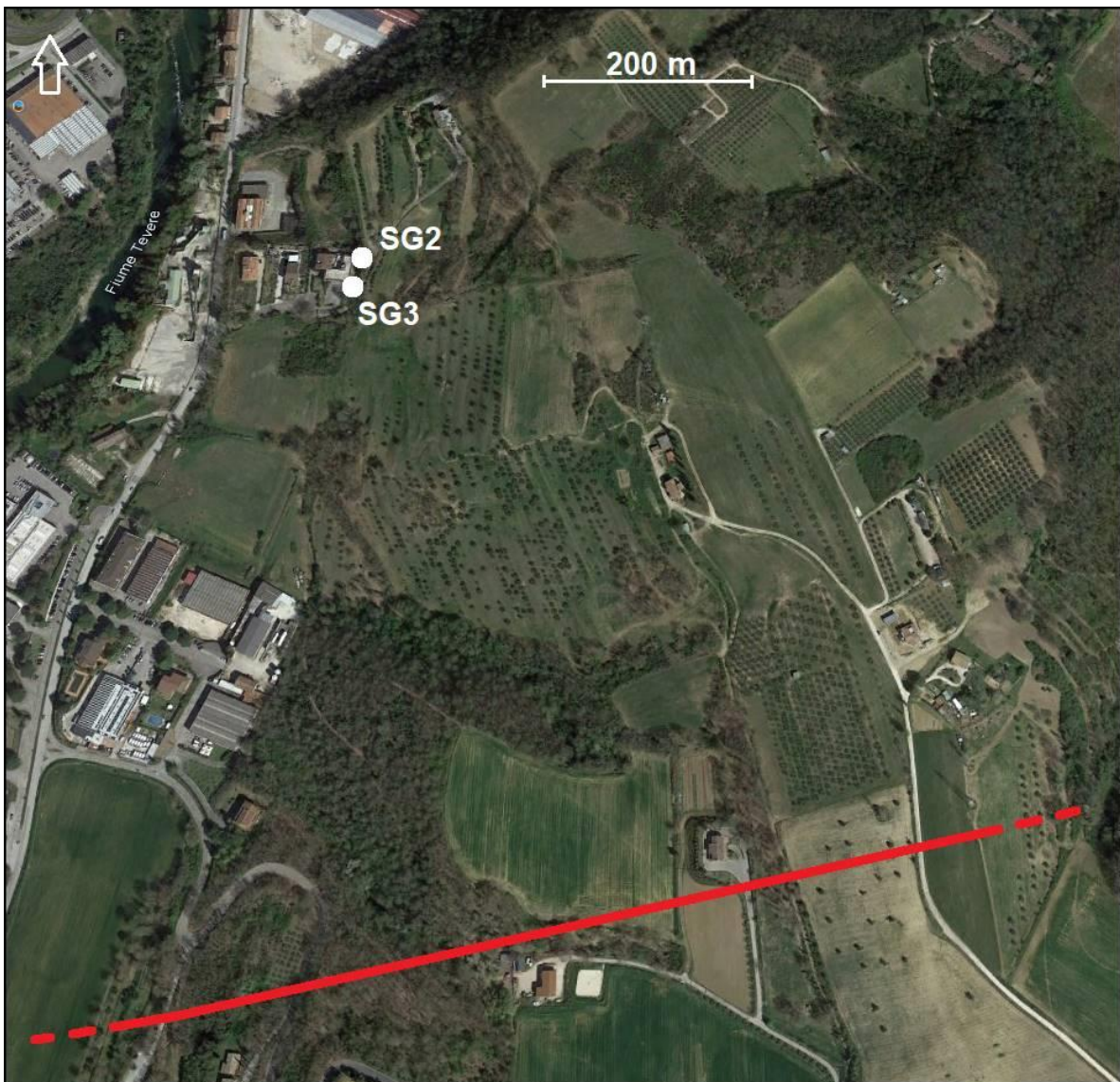


Figura 6.4 Ubicazione in pianta delle stazioni geomeccaniche lungo il tracciato in progetto (immagine satellitare da Google Earth). In rosso: tracciato della galleria.

Nei paragrafi che seguono vengono descritte le metodologie di rilevamento e di elaborazione utilizzate; le schede delle stazioni eseguite sono riportate in allegato.

PROGETTAZIONE ATI:

6.4.1. METODO DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI

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 diverse 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.

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.

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 (**R1**);
- *rock quality designation index*, RQD (**R2**);
- spaziatura delle discontinuità (**R3**);
- condizioni delle discontinuità (**R4**);
- condizioni idrauliche (**R5**).

La classificazione di Bieniawski si basa sul rilievo, in campagna ed in laboratorio, dei sei parametri sopra elencati. A ciascuno di essi equivale un valore numerico; I valori più alti indicano migliori condizioni della roccia e di conseguenza una maggiore stabilità del versante analizzato.

Da questi sei parametri si ricava il Rock Mass Rating (RMR, Bieniawski) che nella pratica, viene disintto in:

$$\text{RMR di base (RMRb)} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

e

$$\text{RMR corretto (RMRc)} = \text{RMRb} + R6$$

6.4.2. METODO DI RILIEVO ED ANALISI

Le stazioni si trovano in corrispondenza di affioramenti rocciosi, in punti considerati significativi per la modellazione geomeccanica dell'opera in progetto.

Ogni stazione è stata eseguita con metodo soggettivo, che prevede l'individuazione a priori delle famiglie di discontinuità e l'esecuzione, per ogni famiglia, di un numero statisticamente significativo di misurazioni di immersione, spaziatura, rugosità delle superfici (eseguita tramite *profilografo a pettine di Barton*), apertura, riempimento, stato di alterazione, presenza di acqua e misurazione indiretta della resistenza a compressione della matrice rocciosa tramite *martello di Schmidt*.

Le giaciture delle superfici di strato (S), faglia (F) e discontinuità (J) sono state misurate tramite bussola professionale con clinometro, e sono state poi plottate su reticolo di Schimdt (proiezione equatoriale-equalarea emisfero inferiore).

PROGETTAZIONE ATI:

Alla presente relazione sono allegare le schede relative alle stazioni geomeccaniche eseguite. Ogni scheda riporta:

- una descrizione geologica e petrografica dell'ammasso roccioso (pag. 1);
- i parametri per il calcolo dell'RMRb, tabellati per ogni famiglia di discontinuità individuata, ed il relativo punteggio complessivo per l'ammasso, i valori finali di RMRb e dell'indice GSI con la definizione della qualità dell'ammasso roccioso (pag. 2);
- la disposizione degli elementi strutturali identificati nella fase di rilevamento svolto in campagna, tramite reticolo di Schmidt come sopra descritto, e le stime del *numero di discontinuità per metro cubo* (J_v), dei *Volumi Unitari dei Blocchi* (V_b) massimo e minimo, e del volume massimo dei blocchi rilevati nell'area (pag. 3).

Segue una descrizione del metodo di compilazione delle schede, della metodologia di analisi in sito e della stima dei parametri utili dai dati raccolti.

6.4.3. DESCRIZIONE GEOLOGICA E PETROGRAFICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Ogni scheda, per ogni stazione, riporta una documentazione fotografica dell'ammasso, accompagnata da una descrizione dell'orientamento e inclinazione del fronte roccioso, degli elementi strutturali (stratificazioni, faglie, aspetto geometrico delle unità di ammasso), dello stato di alterazione dell'ammasso e delle caratteristiche geologiche generiche (nome formazionale, litologia, particolari strutture sedimentarie, ecc.), ed una stima dei rapporti litologici percentuali (per gli ammassi in cui si rivengono alternanze di litologie diverse), eseguita tramite misurazione speditiva dello spessore degli strati.

6.4.4. STIMA DEI PARAMETRI PER LA VALUTAZIONE DELL'RMR DI BIENIAWSKI

6.4.4.1. Resistenza della roccia alla compressione monoassiale (R1)

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 nella seguente tabella:

RIMBALZO	VERSO IL BASSO		VERSO L'ALTO		ORIZZONTALE
	$\alpha = -90^\circ$	$\alpha = -45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 0^\circ$
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 6.8 Correzione rimbalzi per orientazione

In caso di più litologie presenti nello stesso affioramento, è stato attribuito un valore di rimbalzo ad ogni litologia, ed ottenuto un unico valore R per l'ammasso attraverso una media pesata sulle percentuali litologiche. Il punteggio R1 è stato poi ricavato da R, utilizzando i valori riportati in tabella:

Classe	R	R1
Molto alta	> 59	15
Alta	43-58	10-15
Medio - alta	30-42	6-10
Moderata	16-29	3-6
Bassa	0-15	2-3
Molto bassa	0	1

Tabella 6.9 Correlazione tra i range di rimbalzo R ed i range di punteggio R1.

Per gli affioramenti per cui si dispone di un valore di resistenza a compressione uniassiale σ_c della roccia intatta, ottenuta da prova UCS di laboratorio, il punteggio R1 è calcolato mediando i valori ottenuti dalla seguente tabella, col punteggio derivante dalla stima del parametro R.

Classe	σ_c (MPa)	R1
Molto alta	> 250	15
Alta	100-250	10-15
Medio - alta	50 - 100	6-10
Moderata	25 - 50	3-6
Bassa	5-25	2-3
Molto bassa	1-5	1

Tabella 6.10 Correlazione tra i range di rimbalzo UCS (Mpa) ed i range di punteggio R1.

6.4.4.2. Rock quality designation index, RQD (R2)

Se si effettuano sondaggi è possibile ricavare il valore di RQD, da cui si ottiene il coefficiente R2, dalla percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 100 mm:

$$RQD = (Lc / Lt) \times 100$$

dove:

Lc = somma delle lunghezze degli spezzoni di carota > 100 mm

Lt = lunghezza totale del tratto in cui si è misurata **Lc**

In mancanza di carote di sondaggio, l'RQD può essere ricavato dalla formula di Priest e Hudson (1981):

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

PROGETTAZIONE ATI:

con

n: numero medio di giunti per metro, stimate sull'affioramento tramite rotella metrica

In alternativa, in assenza di misure dirette in sito del parametro **n**, l'RQD si ricava dal numero di famiglie di discontinuità caratterizzanti l'ammasso roccioso e dalla misura della loro spaziatura, tramite la relazione di Palmstrom (1982):

$$\mathbf{RQD} = 115 - 3,3 \mathbf{Jv}$$

con:

$$\mathbf{Jv} = 1/\mathbf{S}_1 + 1/\mathbf{S}_2 \dots + 1/\mathbf{S}_n$$

dove **Jv** è il numero di fratture per metro cubo di roccia e S1, S2 e Sn sono le spaziature [m] delle n famiglie di discontinuità.

Dal Jv è stato ricavato anche il Volume Unitario dei Blocchi (**Vb**), riportato nelle schede, secondo la relazione proposta da Palmstrom:

$$\mathbf{Vb} = \beta \times \mathbf{Jv}^{-3}$$

dove β è il *fattore di forma dei blocchi rocciosi* che si ricava dalla relazione:

$$\beta = 20 + 7 \times (3/n) \times (S_{\max}/S_{\min})$$

con

n: numero di famiglie di discontinuità;

S_{max}: spaziatura massima riscontrata tra le famiglie di discontinuità;

S_{min}: spaziatura minima riscontrata tra le famiglie di discontinuità.

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

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

con **n** numero medio di giunti per metro.

In base al valore di 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 6.11 Stima qualitativa dell'ammasso roccioso da RQD.

PROGETTAZIONE ATI:

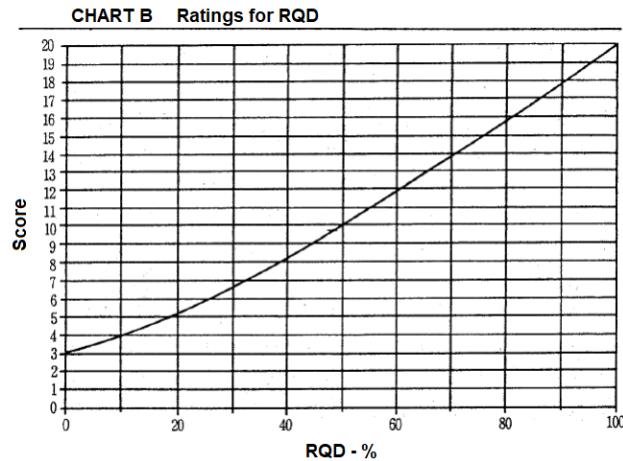


Tabella 6.12 Abaco per la valutazione del punteggio R2 da RQD.

Calcolato l'RQD con uno di questi metodi, si ricava il coefficiente R2 mediante l'abaco sopra riportato, o mediante le seguenti equazioni di Bieniawski:

VALORE DI RQD %	EQUAZIONE
$\leq 26,5$	$R2 = 3/26,6 \times RQD + 3$
$26,5 \div 39$	$R2 = 2/12,4 \times RQD + 1,71$
$39 \div 76,6$	$R2 = 7/37,6 \times RQD + 0,739$
$> 76,6$	$R2 = 5/23,4 \times RQD + 1,367$

Tabella 6.13 Equazioni per il calcolo del parametro R2 in funzione dei range di RQD.

6.4.4.3. Spaziatura delle discontinuità (R3)

Una volta calcolata la spaziatura delle discontinuità per l'ammasso (valutata in base alla spaziatura media di ogni famiglia di discontinuità), cioè la distanza media tra due discontinuità adiacenti, è possibile ricavare il valore del coefficiente R3, mediante l'abaco o le equazioni, come riportato di seguito:

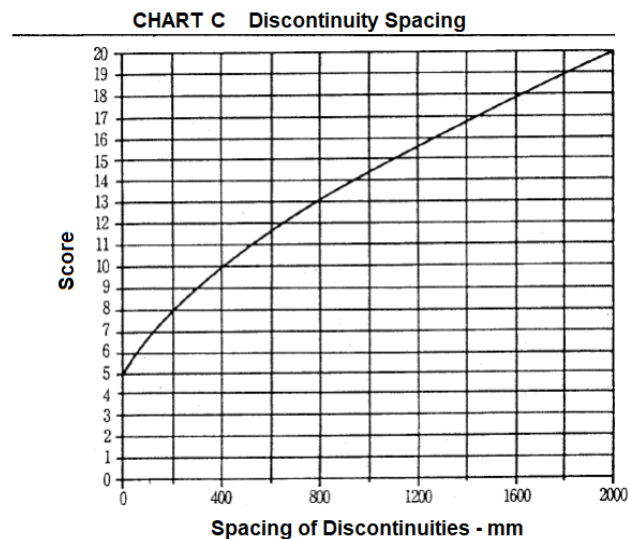


Tabella 6.14 Abaco per la valutazione di R3 da spaziatura.

SPAZIATURA (m)	EQUAZIONE
$\leq 0,2$	$R3 = 15s + 5$
$0,2 \div 0,4$	$R3 = 10s + 6$
$0,4 \div 0,66$	$R3 = 7,752s + 5,9$
$0,66 \div 0,94$	$R3 = 7,067s + 7,35$
$0,94 \div 1,6$	$R3 = 6,07s + 8,288$
$1,6 \div 2,0$	$R3 = 5s + 10$
$> 2,0$	$R3 = 20$

Tabella 6.15 Equazioni per il calcolo del parametro R3 in funzione dei range di spaziatura. S: spaziatura [m].

6.4.4.4. Condizioni delle discontinuità (R4)

Per valutare correttamente R4 si procede sommando alcuni parametri numerici attribuibili ad alcune caratteristiche del giunto, quali la persistenza (V1), l'apertura (V2), la rugosità (V3), l'alterazione delle pareti (V4) ed il materiale di riempimento (V5):

$$R4 = V1 + V2 + V3 + V4 + V5$$

Ad ogni famiglia di discontinuità individuata col metodo soggettivo, si attribuisce per ognuna di queste caratteristiche un punteggio, sulla base di osservazioni e misurazioni eseguite su un numero statisticamente significativo di giunti.

Per ogni caratteristica, sulla base dei punteggi ottenuti da ogni famiglia, si ricava un punteggio complessivo per tutto l'affioramento, dando maggior peso ai parametri delle famiglie che presentano maggior criticità dal punto di vista della stabilità del versante (ad esempio quelle con minore spaziatura, maggiore apertura o persistenza, medio-alto angolo di inclinazione).

I punteggi attribuibili per ogni caratteristica sono riportati nelle tabelle nei paragrafi che seguono.

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 (raccomandazioni ISRM).

PERSISTENZA (m)	V1
< 1	6
$1 \div 3$	4
$3 \div 10$	2
$10 \div 20$	1
> 20	0

Tabella 6.16 Punteggio relativo ai range di persistenza dei giunti.

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)	R2
COMPLETAMENTE CHIUSO	6
< 0,1	5
0,1 ÷ 1	4
1 ÷ 5	1
> 5	0

Tabella 6.17 Punteggio relativo allo stato di apertura dei giunti.

V3 – Rugosità del giunto

Le caratteristiche geometriche delle pareti dei giunti condizionano le caratteristiche di resistenza al taglio lungo le stesse. 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 R3 è associato al parametro JRC (*Joint Roughness Coefficient*), che 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) 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 (profili e procedura sono mostrati nelle figure a seguire).

RUGOSITA'	R3
MOLTO RUGOSA	6
RUGOSA	5
LEGGERMENTE RUGOSA	3
LISCIA	1
LEVIGATA	0

Tabella 6.18 Punteggio relativo alla rugosità della superficie dei giunti.

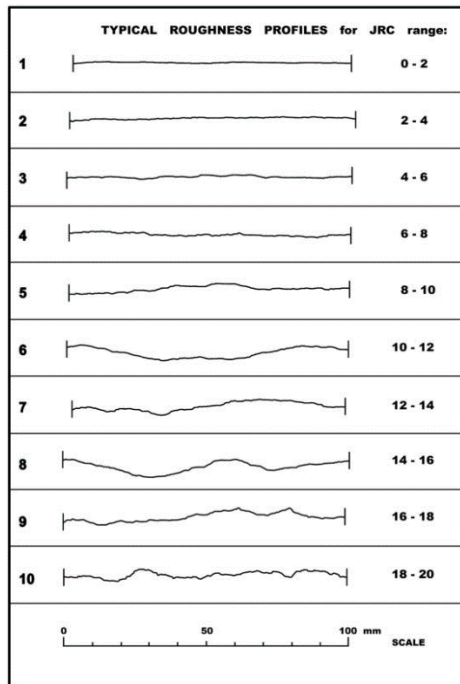


Figura 6.5 Profili di rugosità teorici secondo Barton e corrispondenti valori di JRC.



Figura 6.6 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 R4 si tiene in considerazione questa variabile.

ALTERAZIONE	R4
NON ALTERATE	6
LEGGERMENTE ALTERATE	5
MEDIAMENTE ALTERATE	3
MOLTO ALTERATE	1
DECOMPOSTE	0

Tabella 6.19 Punteggio relativo alle condizioni di alterazione dei giunti.

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 dalla 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.

PROGETTAZIONE ATI:

RIEMPIMENTO (mm)	RIEMPIMENTO	R5
-	ASSENTE	6
< 5	COMPATTO	4
> 5	COMPATTO	2
< 5	SOFFICE	2
> 5	SOFFICE	0

Tabella 6.20 Parametro R5 in funzione della tipologia e dello spessore del riempimento dei giunti.

Questo valore viene derivato dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m. Dalle tabelle fornite da Bieniawski si ottiene:

VENUTE D'ACQUA SU 10 m DI LUNGHEZZA	NESSUNA	< 10 (l/min)	10-25 (l/min)	25-125 (l/min)	> 125 (l/min)
CONDIZIONE	ASCIUTTO	UMIDO	BAGNATO	STILLICIDIO VENUTE	VENUTE
R5	15	10	7	4	0

Tabella 6.21 Parametro R3 in funzione delle condizioni idrauliche dell'ammasso.

6.4.5. CORREZIONE PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ (R6)

L'RMRb derivante dalla somma dei precedenti parametri va corretto tenendo conto dell'orientamento delle discontinuità sommando un coefficiente di correzione R6, a seconda che si tratti di gallerie o fondazioni, come indicato nella tabella seguente.

APPLICAZIONE	MOLTO FAVOREVOLE	FAVOREVOLE	DISCRETA	SFAVOREVOLE	MOLTO SFAVOREVOLE
FONDAZIONI	0	-2	-7	-15	-25

Tabella 6.22 Parametro R6 in funzione dell'orientamento relativo delle discontinuità per gallerie e fondazioni.

Per il caso di scavo in galleria si intendono come molto favorevoli o favorevoli situazioni in cui il piano delle discontinuità ha direzione perpendicolare all'asse della galleria e inclinazione nel verso di avanzamento; sono discrete o sfavorevoli situazioni in cui il piano delle discontinuità ha direzione perpendicolare all'asse della galleria e inclinazione contraria al verso di avanzamento; sono infine molto sfavorevoli situazioni in cui il piano delle discontinuità ha direzione parallela all'asse della galleria e inclinazione maggiore di 45°.

Lo schema riportato nell'immagine seguente offre una visualizzazione tridimensionale, di più immediata comprensione, delle problematiche legate alla direzione di avanzamento.

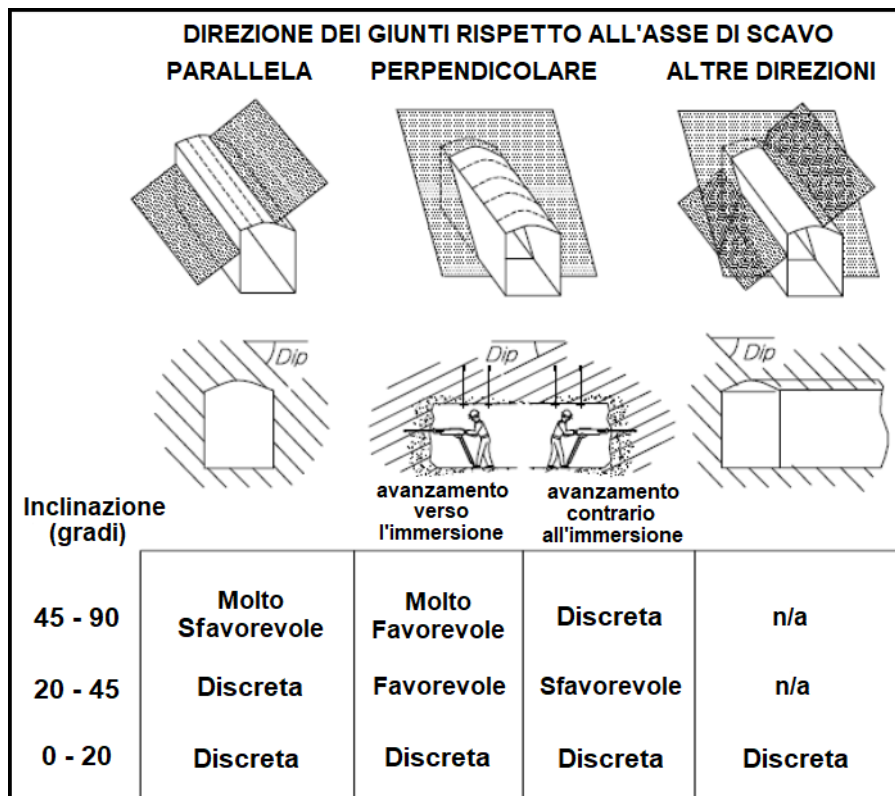


Figura 6.7 Schema dei rapporti geometrici tra l'asse della galleria e l'immersione delle discontinuità.

La presente relazione riporta solo il punteggio RMRb.

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

Attribuiti tutti i coefficienti, sulla base del valore RMRc calcolato si identificano 5 intervalli a cui corrispondono 5 classi di ammasso roccioso e altrettante valutazioni di qualità della roccia:

RMRc	81-100	61-80	41-60	21-40	<= 20
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	MOLTO BUONO	BUONO	MEDIOCRE	SCADENTE	MOLTO SCADENTE

Tabella 6.23 Classe di Bieniawski in funzione del punteggio RMRc.

Alcuni parametri caratteristici dell'ammasso si possono derivare dal valore di RMRb, secondo le seguenti relazioni proposte da Bieniawski (1989):

- coesione di picco (kPa): $c_p = 5 \times RMRb$
- angolo di attrito di picco (°): $D_p = 0,5 \times RMRb + 5$
- modulo di deformazione (GPa): $E = 2 \times RMRb - 100$ (per $RMR > 50$)

con RMR (indice RMR “anidro”) uguale alla somma dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri, assumendo quindi condizioni idrauliche asciutte ($A5 = 15$).

Per valori di RMR inferiori a 50 si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

$$E = 10(\text{RMRb} - 10/40)$$

I valori della coesione residua (kPa) e dell'angolo di attrito residuo ($^{\circ}$) si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMRb modificato, secondo l'espressione proposta da Priest (1983):

$$\text{RMRb (modificato)} = \text{RMRb} - (0,2 \times \text{RMRb})$$

6.4.7. VALORE DELL'INDICE GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX) DELL'AMMASO ROCCIOSO

Il GSI (Hoek, 1994) è un indice di qualità geomeccanica che 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 (Bieniawski e Barton) o ancora fattori di riduzione legati alle specifiche condizioni di carico presenti (Barton). Può essere valutato direttamente tramite osservazioni geologiche eseguite speditivamente sul campo. Per la valutazione dell'indice si utilizza l'abaco riportato di seguito.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity		50			
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces		40		30	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes		30		20	
			20		10	
		N/A	N/A			
						10

Figura 6.8 Abaco per le stime dell'indice GSI da osservazioni geologiche sul campo (Marinos & Hoek, 2000).

Per formazioni rocciose complesse tipo *flysch*, formate cioè dall'alternanza di litotipi con diverse caratteristiche composizionali e diverse proprietà meccaniche, quali sono le formazioni effettivamente incontrate durante il rilevamento geomeccanico svolto, si utilizza invece l'abaco riportato nella figura seguente.

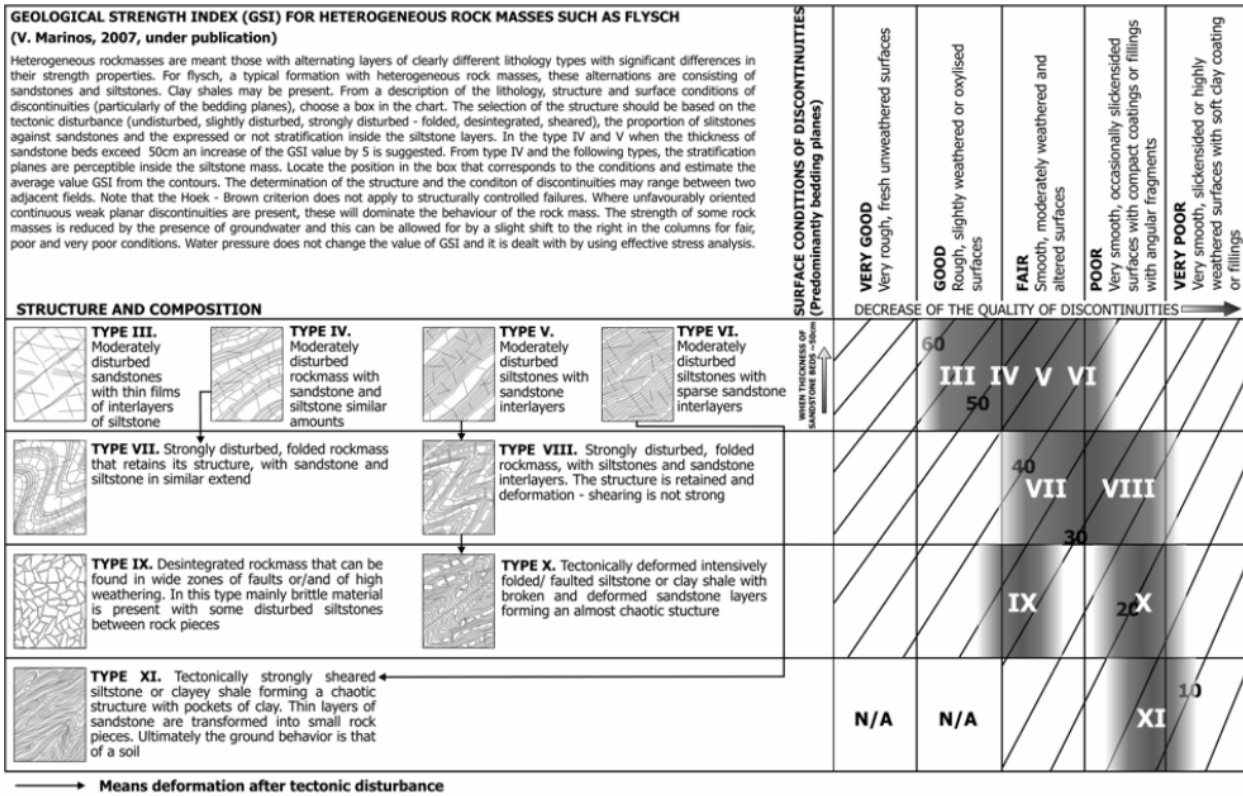


Figura 6.9 Abaco per la stima dell'indice GSI per ammassi rocciosi eterogenei (Marinos & Hoek, 2000).

per valori di RMR > 23 il valore di GSI viene ricavato dalla relazione:

$$GSI = RMR - 5$$

con RMR (indice RMR "anidro") uguale alla somma dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri, assumendo quindi condizioni idrauliche asciutte (A5 = 15).

7 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area interessata dal progetto è compresa nel foglio N. 311 "Perugia" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000; è inoltre disponibile sul web, per tutto il territorio umbro, la Carta Geologica Regionale a scala 1:10.000 informatizzata, redatta dal Servizio Geologico della Regione Umbria.

Il tracciato dell'opera in oggetto ricade nei territori comunali di Perugia, nei suoi tratti occidentale e orientale, e di Torgiano, nel suo tratto intermedio, nel settore meridionale dell'Alta Valle del Tevere, a nord della confluenza con il fiume Chiascio.

7.1 TETTONICA

La storia deformativa di quest'area include una prima fase tettonica estensionale (Giurassico-Paleogene), una fase tettonica compressiva legata all'orogenesi appenninica (Miocene sup.-Pliocene inf.), ed una fase estensionale recente (Pliocene-Quaternario) legata alla formazione del Bacino Tiberino.

Le fasi compressive mio-plioceniche hanno prodotto l'accavallamento delle dorsali carbonatiche fino a formare l'attuale edificio a falde sovrapposte che costituisce la catena montuosa appenninica.

Durante questa fase emergono i sedimenti marini torbiditici della Marnoso-Arenacea Umbra, che costituiscono la dorsale collinare monoclinale di Brufa, nel settore settentrionale del territorio comunale di Torgiano.

Alla tettonica distensiva plio-pleistocenica, ed al simultaneo sollevamento rapido della catena montuosa, avvenuto nel Pleistocene medio, è legata la formazione delle estese depressioni interne alla catena, allungate in direzione appenninica e bordate da faglie normali, che hanno dato origine ad altrettanti bacini lacustri e di sedimentazione continentale,

In Umbria la più estesa di queste depressioni è il Bacino Tiberino, il cui ramo principale, con una continuità assiale di oltre 100 km, comprende la Val Tiberina, tra San Sepolcro e Perugia, e la Valle Umbra, che prosegue verso SE fino a Spoleto. Ai bordi di tale depressione affiorano depositi del Pliocene inferiore per la zona settentrionale (Cattuto e al., 1995) e del Pliocene superiore per la zona di Spoleto (Ambrosetti e al., 1995).

Le unità quaternarie con i depositi alluvionali terrazzati si sono poi imposte sui depositi plio-pleistocenici mascherandoli e andando a costituire, insieme con loro, la pianura alluvionale del Fiume Tevere.

Il Bacino della Val Tiberina e la Valle Umbra sono bordati, ad ovest, da un'importante faglia diretta, con direzione NNW-SSE e immergente verso ENE, che in letteratura è denominata faglia Tiberina e rappresenta una master fault di un sistema estensionale di importanza regionale. La faglia, con una direzione di 150°N e immersione ENE, si estende al di sotto della catena appenninica fino ad una profondità di circa 12 km. Il lato orientale della depressione è invece bordato dalla faglia di Gubbio, che ha una geometria listrica e disloca il fianco occidentale dell'anticlinale omonima, immergendo verso SW, con direzione di 120°N ed inclinazione che varia tra i 50° e i 70°, con rigetto massimo pari a circa 1 km (Barchi e al., 1999a; 1999b). In profondità la faglia riattiva un preesistente piano di sovrascorrimento, invertendone il movimento (Barchi e al., 1999a).

La figura seguente riporta uno schema tettonico dell'Umbria (Barchi et al., 1996), accompagnato da una sezione geologica che evidenzia la geometria profonda del bacino (Boncio et al., 1998).

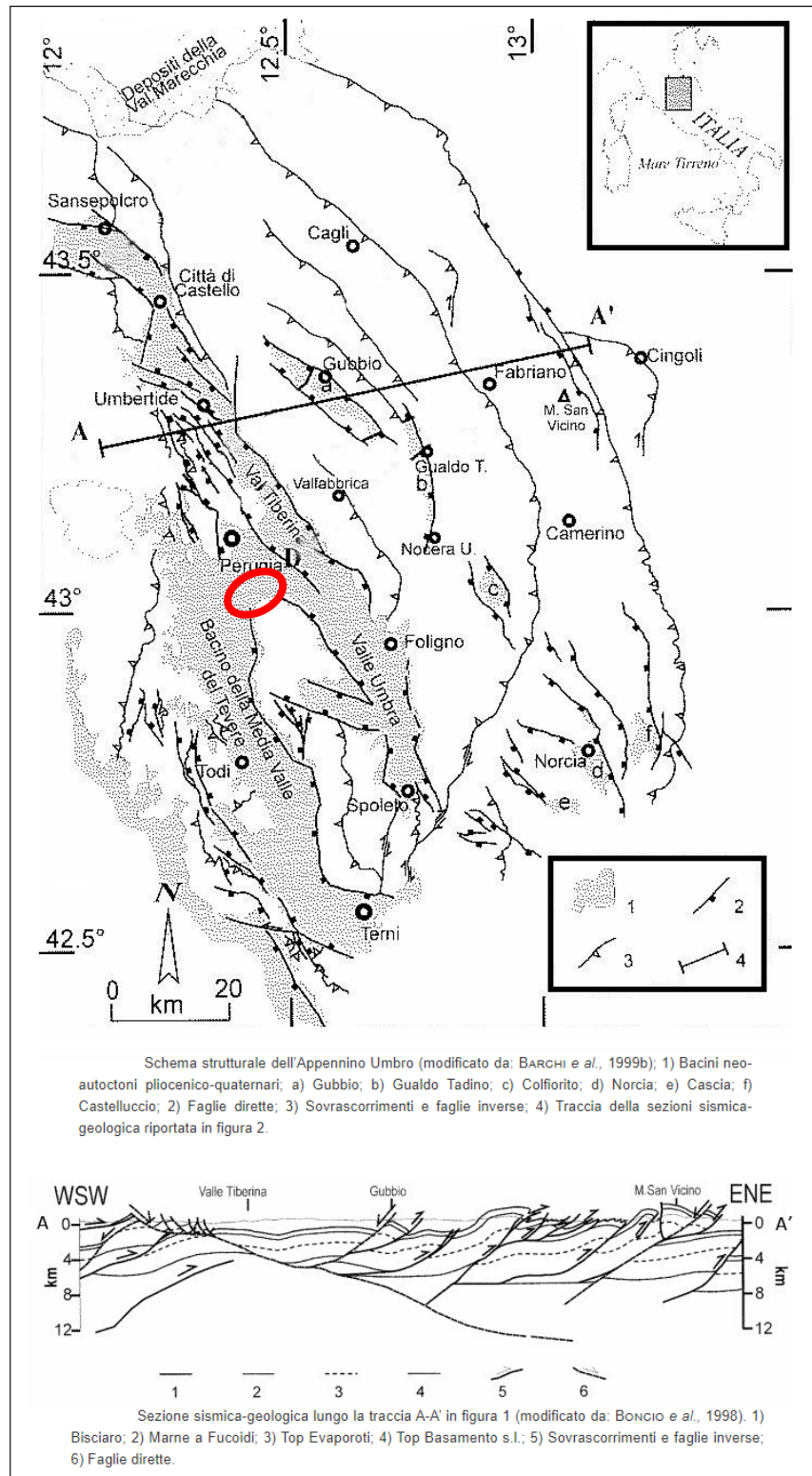


Figura 7.1 Carta strutturale dell'area umbra (da Balocchi *et al.*, 2014, modificata). Cerchiata in rosso: area del tracciato.

Il corso del Fiume Tevere scorre, quindi, secondo gli andamenti delle direttrici tettoniche regionali presenti nell'area. I depositi alluvionali che colmano l'ampia valle del corso fluviale sono costituiti da

PROGETTAZIONE ATI:

sedimenti limo-argilloso, limo-sabbiosi e ghiaie sabbiose disposte in banchi e lenti. Lungo i bordi della valle sono presenti, inoltre, depositi terrazzati costituiti da sabbie limose e limo, con intercalazioni di ruditi arenacee minute e di ghiaie in matrice sabbioso-limosa. Nell'attuale alveo affiorano sabbie e ghiaie prevalentemente sciolte.

7.2 IL SUPERSINTEMA TIBERINO

Già dalla fine dell'ottocento, si è ritenuto che la successione sedimentaria che colma l'ampia valle tettonica del Bacino Tiberino, entro la quale scorre attualmente il Fiume Tevere, fosse conseguenza del riempimento di un grande lago, impostatosi a partire dal Pliocene, che Lotti (1917; 1926) chiamò "Lago Tiberino".

Il lago, la cui estensione comprendeva il tratto di valle che attualmente da S. Sepolcro arriva fino a Terni, è stato sede di importanti spessori di depositi fluvio-lacustri e palustri e, pertanto, la storia del bacino ha avuto un importante ruolo nell'evoluzione morfologica del territorio. Questa ampia depressione con forma a "Y", si divideva in due "rami" all'altezza dell'attuale abitato di Perugia, uno orientale diretto verso Spoleto ed uno occidentale diretto Todi/Corbara.

La fase di sedimentazione lacustre ha termine con la fine del Pleistocene inferiore.

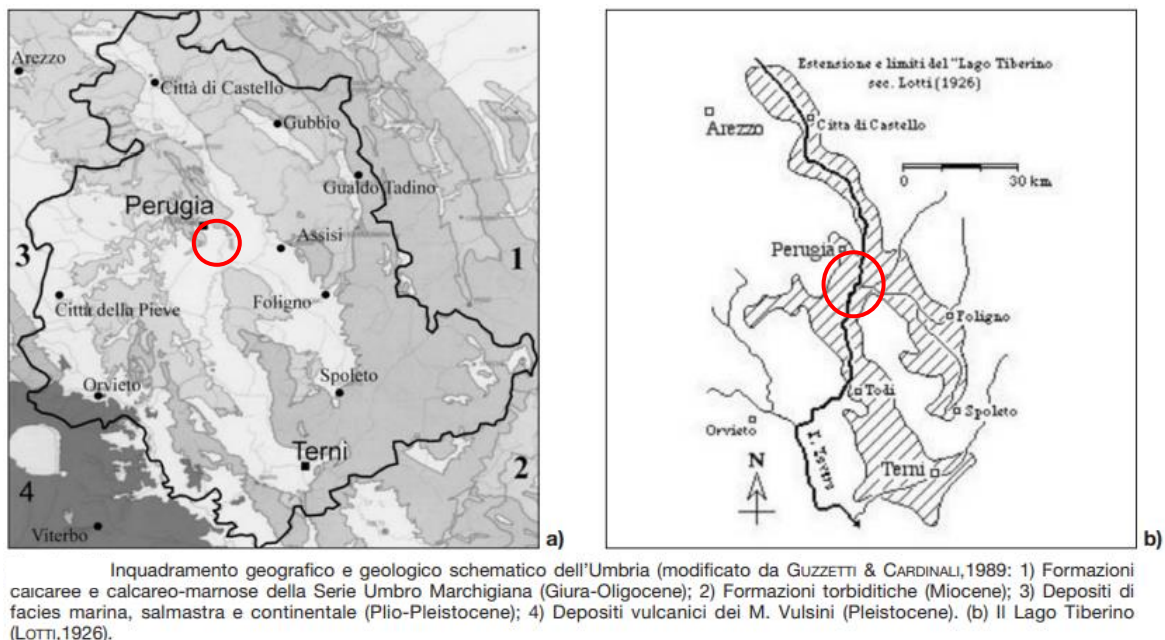


Figura 7.2 Stralcio della Carta Geologica dell'area, sezione schematica e legenda. (ISPRA) – Il cerchio in rosso indica l'area interessata dal progetto stradale.

Facendo riferimento ai depositi fluvio-lacustri della Valle del Tevere e della Valle Umbra è possibile individuare una sequenza che rispecchia i vari stadi evolutivi tipici di un bacino endoreico, come effetto combinato dell'attività tettonica distensiva e del progressivo colmamento.

Tale sequenza può essere suddivisa genericamente in tre termini litostratigrafici, così distinti dal basso verso l'alto, che costituiscono, seppur con differenti unità sintemiche nei vari settori della piana, il supersintema Tiberino:

- a) Argille grigie inferiori (in quest'area riferibili allo spessore basale del Sintema di Solfignano);
- b) Complesso argilloso-sabbioso (riferibili alla litofacies di Sant'Egidio del sintema di Solfignano);
- c) Complesso detritico superiore (riferibili ai conglomerati del sintema di Collestrada).

PROGETTAZIONE ATI:

Le argille grigie inferiori costituiscono il termine più antico di tale serie e sono attribuite al Pliocene superiore; la loro base stratigrafica e la loro potenza effettiva sono però a tutt'oggi sconosciute.

Superiormente a tali argille è presente il complesso argillo-sabbioso del Pleistocene inferiore; il contatto con la sottostante unità è segnato da una discordanza angolare riferita ad una fase erosiva.

La serie fluvio-lacustre è chiusa superiormente dal complesso detritico superiore, costituito da conglomerati e sabbie. In molte località sono presenti passaggi laterali fra i due termini più alti della sequenza

Il substrato litoide su cui poggia la sequenza è rappresentato dalle unità flyschoidi autoctone della Formazione Marnoso-Arenacea Umbra.

7.3 ANALISI GEOLITOLOGICA DEL TRACCIATO

Il tracciato, muovendosi da ovest verso est, corre all'interno della Val Tiberina lungo i depositi alluvionali del Tevere, attraversandone l'alveo (viadotto sul Tevere), attraversa le aree di raccordo tra fondovalle e rilievo in cui si incontrano depositi di conoide-terrazzo fluviale, per poi entrare in galleria artificiale prima e poi in naturale nel settore settentrionale della dorsale collinare di Brufa, impostata in una monoclinale immergente a medio-basso angolo verso est, costituita dalle arenarie e marne siltitiche mioceniche della Formazione Marnoso-Arenacea Umbra.

Segue un tratto in galleria artificiale che attraversa dapprima i depositi eluvio-colluviali poggianti sul substrato litoide miocenico, poi nuovamente il substrato a piena sezione ed infine i depositi fluvio-lacustri della litofacies di Sant'Egidio, lungo un versante orientato OSO-ENE immergente verso NNO, su cui insistono fenomeni di instabilità gravitativa superficiale.

Al termine della galleria artificiale il tracciato corre sul rilevato del tracciato esistente, poggiante sulle litologie della litofacies di Sant'Egidio.

Si riportano di seguito le tabelle con le sigle delle litologie utilizzate sulla carta geologica e sul profilo geologico (rispettivamente elaborati T00GE01GEOCG01-04 e T00GE01GEOFG01-08), le litologie con indicazione delle chilometriche di intercettazione lungo il tracciato per i due assi, destro e sinistro, e gli stralci della cartografia geologica in scala 1:10.000 del Piano Regolatore Generale dei comuni di Perugia e Torgiano, con evidenziato il tracciato dell'opera in progetto.

Tabella 7.1 Sigle delle litologie. *Questa sigla viene utilizzata solo nella carta geologica per indicare il complesso delle alluvioni fini (bf) e grossolane (bg).

Sigla	Litologia
h	Riporti
a	Depositi gravitativi
b*	Depositi alluvionali*
bf	Depositi alluvionali fini
bg	Depositi alluvionali grossolani
b2	Coltri eluvio-colluviali
c	Depositi di conoide
bn1	Depositi alluvionali terrazzati
SLFc	Litofacies di Sant'Egidio
AGI	Argille grigie inferiori
MAU	Formazione Marnoso-Arenacea Umbra

Tabella 7.2 Litologie incontrate lungo l'asse sinistro del tracciato, con indicazione delle chilometriche e delle opere previste.

Asse Sinistro			
Chilometrica		litologia	Opera
Da km	a km		
1+820	3+386	bf	rilevato
3+285	3+945	bf	viadotto
3+945	4+184	bf	rilevato
4+184	4+316	c	rilevato
4+316	4+316	c	rilevato
4+316	4+578	c	trincea
4+578	4+607	c/bn1	trincea
4+607	4+640	c/bn1	galleria artificiale
4+640	4+736	bn1	galleria artificiale
4+736	4+740	bn1/MAU	galleria artificiale
4+740	4+770	bn1/MAU	galleria naturale
4+770	5+929	MAU	galleria naturale
5+929	6+043	b2/MAU	galleria naturale
6+043	6+313	MAU	galleria naturale
6+313	6+315	SLFc/MAU	galleria naturale
6+315	6+366	SLFc/MAU	galleria artificiale
6+366	6+427	SLFc/AGI/MAU	galleria artificiale
6+427	6+464	SLFc/AGI	galleria artificiale
6+464	6+576	SLFc	galleria artificiale
6+576	6+691	a/SLFc	galleria artificiale
6+691	6+820	SLFc	galleria artificiale
6+820	6+857	SLFc	trincea
6+857	6+969	SLFc	viadotto
6+969	7+200	h	viadotto
7+200	7+687	h	rilevato

Tabella 7.3 Litologie incontrate lungo l'asse destro del tracciato, con indicazione delle chilometriche e delle opere previste.

Asse Destro			
Chilometrica		litologia	Opera
Da km	a km		
1+820	3+280	bf	rilevato
3+280	3+940	bf	viadotto
3+940	4+179	bf	rilevato

PROGETTAZIONE ATI:

Asse Destro			
Chilometrica		litologia	Opera
Da km	a km		
4+179	4+317	c	rilevato
4+317	4+554	c	trincea
4+554	4+588	c/bn1	trincea
4+588	4+620	c/bn1	galleria artificiale
4+620	4+700	bn1	galleria artificiale
4+700	4+764	bn1/MAU	galleria naturale
4+764	5+922	MAU	galleria naturale
5+922	6+008	b2/MAU	galleria naturale
6+008	6+338	MAU	galleria naturale
6+338	6+350	SLFc/MAU	galleria naturale
6+350	6+364	SLFc/MAU	galleria naturale
6+364	6+486	SLFc/AGI/MAU	galleria artificiale
6+486	6+575	SLFc/AGI	galleria naturale
6+575	6+581	a/SLFc/AGI	galleria naturale
6+581	6+696	a/SLFc	galleria naturale
6+696	6+733	SLFc	galleria naturale
6+733	6+778	a/SLFc	galleria naturale
6+778	6+831	SLFc	galleria naturale
6+831	6+893	SLFc	trincea
6+893	6+969	SLFc	viadotto
6+969	7+211	h	viadotto
7+211	7+695	h	rilevato

PROGETTAZIONE ATI:

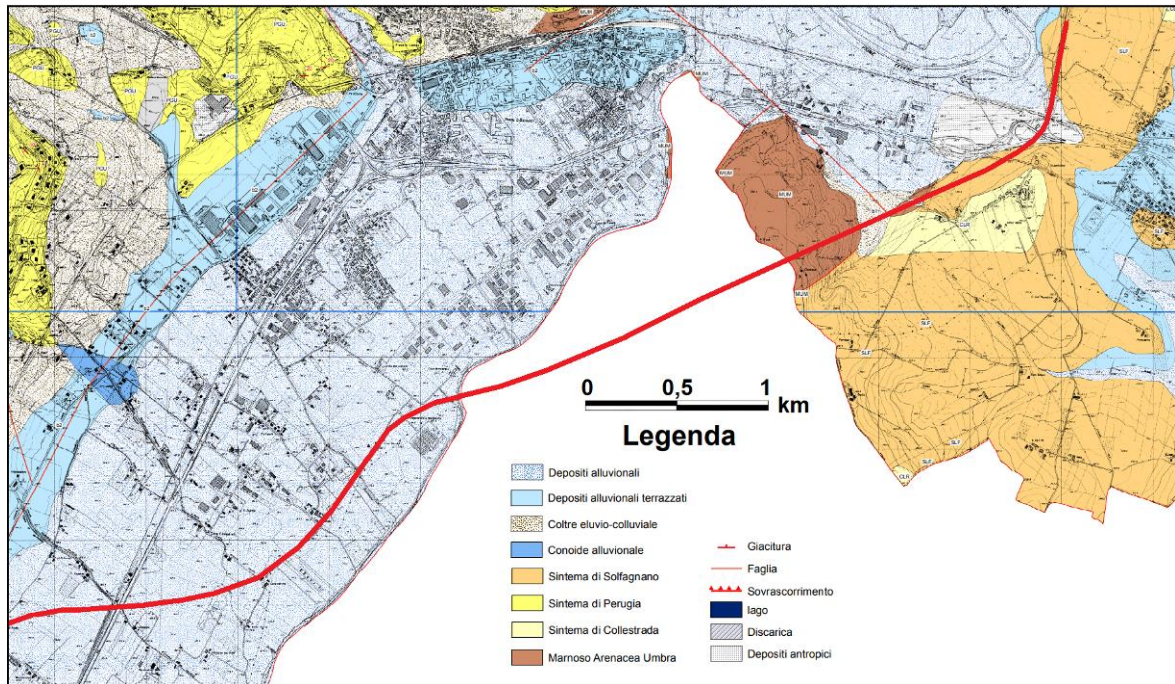


Figura 7.3 Stralcio della Carta Geologica in scala 1:10.000 del nuovo Piano Regolatore Generale, Parte Strutturale, del Comune di Perugia (2013). Linea rossa: andamento indicativo del tracciato.

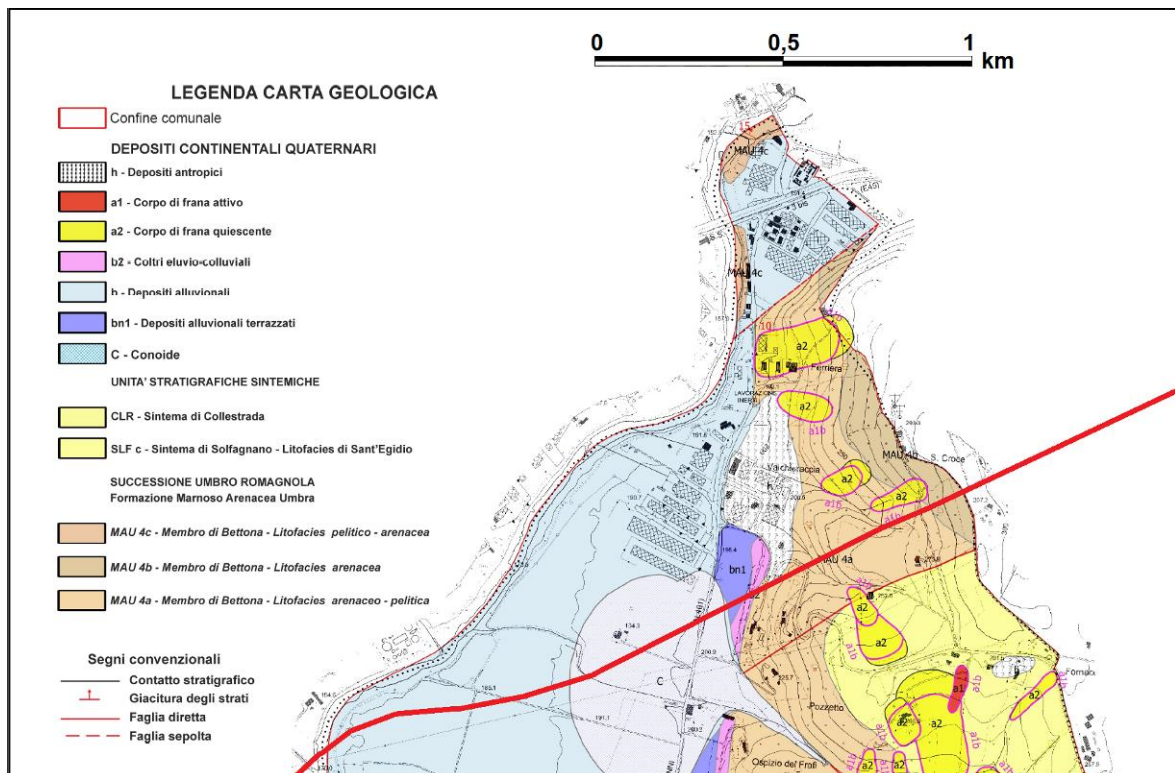


Figura 7.4 Stralcio della Carta Geolitologica in scala 1:10.000 della Variante al Piano Regolatore Generale, Parte Strutturale, del Comune di Torgiano (2021). Linea rossa: andamento indicativo del tracciato.

7.4 CARATTERI GEOLITOLOGICI DEI DEPOSITI SUPERFICIALI E DELLE FORMAZIONI DEL SUBSTRATO

Vengono di seguito descritte le principali litologie incontrate lungo il tracciato dell'opera in progetto, suddivisi in litologie del substrato litoide e depositi continentali del Plio-Quaternario. Le sigle formazionali riportate, se non diversamente specificato, sono quelle utilizzate dalla cartografia CARG.

7.4.1. LITOLOGIE DEL SUBSTRATO

7.4.1.1. Formazione Marnoso Arenacea Umbra – MAU (Miocene medio-sup.)

Le note illustrative del progetto CARG descrivono questa formazione come una potente sequenza torbiditica, arenacea o pelitico-arenacea, in cui si osservano areniti a composizione variabile da silicoclastica ad arcossica, da carbonatica ad ibrida (Centamore & Chiocchini, 1985; Paganelli & Zuffa, 1991) in relazione a diverse aree di alimentazione, con spessore dell'intera successione di circa 1300 m, che passa in alto alla formazione Marnoso Arenacea Romagnola

Il tracciato della galleria naturale in progetto, e parte della galleria artificiale, attraversano questa formazione litoide, che nell'area di studio è rappresentata dal Membro di Bettona (Serravalliano-Tortoniano). Quest'ultimo è caratterizzato da arenarie a granulometria da media a fine, con struttura generalmente massiva, organizzate in banchi metrici o strati decimetrici, alternate a pacchi di marne e peliti in strati da centimetrici a decimetrici.

In affioramento si presentano come banchi metrici o strati decimetrici di arenaria beige, alternati a peliti marnose biancastre che frammentano in scaglie centimetriche. La sequenza è ordinata in strati piano paralleli e talora è caotica, interessata da *slumping*. La base dei banchi di arenaria è spesso laminata e presenta contro-impronte di tipo *groove casts*.

In sondaggio (S08, S11, S12, S13) si rinvenivano, alternate tra loro, arenarie, calcareniti, marne, marne siltitiche, siltiti e argilliti, di colore grigio, generalmente con elevati valori di RQD (60-100%). La percentuale di arenaria stimata in affioramento e da sondaggio è compresa tra il 30 ed il 50 %.

In affioramento sono state osservate presso l'ex cava di arenaria in località Ferriera, e sulla sommità della dorsale di Brufa, dove si trovano al letto degli spessori di sabbie e sabbie limose della Litofacies di Sant'Egidio.

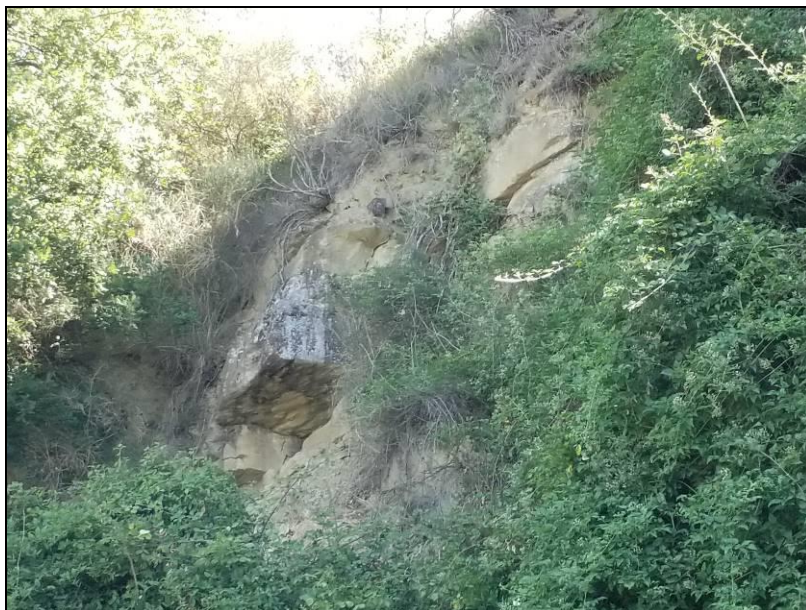


Figura 7.5 Banco metrico di arenarie in affioramento presso l'ex cava di arenaria in località Ferriera.

PROGETTAZIONE ATI:



Figura 7.6 Arenarie in banchi e strati alternate a pacchi di peliti marnose scagliettate, in affioramento presso l'ex cava di arenaria in località Ferriera.

7.4.2. DEPOSITI CONTINENTALI PLIO-QUATERNARI

7.4.2.1. Terreni di riporto - h (Olocene)

Si ritrovano principalmente nell'area della piana, data l'intensa antropizzazione della stessa. I terreni sono rappresentati da materiali eterogenei, da limi sabbiosi e/o argillosi a sabbie limose, con ghiaia o ciottoli di varia composizione, spesso clasti di marna, arenaria; talora vi è presente sostanza organica. Rappresentano in alcuni casi rilevati stradali o ferroviari, oppure aree di colmamento artificiale.

7.4.2.2. Depositi gravitativi - a (Olocene)

Termini a differente composizione granulometrica prevalentemente fine, in assetto caotico, legati a movimenti franosi con diversa cinematica. Si tratta di depositi superficiali con bassi spessori; si rinvencono prevalentemente sul versante settentrionale della Collina di Collestrada, dove interessano le litologie della Litofacies di Sant'Egidio, in corrispondenza del tratto di tracciato in galleria artificiale.

7.4.2.3. Coltri Eluvio-colluviali - b2 (Olocene)

Si tratta della coltre detritica e di alterazione superficiale ad opera degli agenti esogeni che svolgono un'azione meccanico-chimica di decomposizione e di disfacimento a carico delle litologie sottostanti. I materiali derivanti da questo processo possono rimanere in posto nella loro sede originaria (eluvio) o essere poi trasportati più a valle per l'intervento della gravità o per ruscellamento diffuso (colluvio). Si tratta di depositi in prevalenza limo-argilloso-sabbiosi con clasti prevalentemente arenacei e pelitici. A valle ed in corrispondenza degli affioramenti arenacei i depositi risultano prevalentemente sabbiosi, come osservato lungo il versante occidentale della dorsale di Brufa, all'interno del territorio comunale di Torgiano, in cui ricade l'imbocco occidentale della galleria naturale in progetto.



Figura 7.7 Depositi eluvio-colluviali costituiti da limi e sabbie con clasti litici a spigoli vivi centimetrici, presso Torgiano (PG), su un versante costruito dalla Formazione Marnoso Arenacea Umbra.

7.4.2.4. Depositi alluvionali recenti ed attuali - b (Olocene)

Individuano depositi alluvionali recenti di ambiente fluviale, ed occupano l'estensione dell'intera piana alluvionale del Tevere in quest'area, subito al di sotto del terreno agricolo rimaneggiato. Sono costituiti da litotipi rappresentati prevalentemente da limi sabbiosi, e secondariamente da sabbie limose e limi argillosi, sciolti o poco addensati, per uno spessore compreso tra 2 e 7 m (indicati con la sigla **bf** nel profilo geologico). Le sabbie limose poggiano su uno spessore di ghiaie sabbiose, con clasti a spigoli vivi e ciottoli, con spessore variabile tra 3 e 7 m e ovunque presenti lungo il tratto orientale del tracciato (indicati con la sigla **bg** nel profilo geologico). La parte sommitale delle alluvioni è organizzata in terrazzi, con dislivelli non superiori ai due-tre metri e bordi di terrazzo circa paralleli all'asse del Fiume Tevere. Le alluvioni recenti poggiano in parconcordanza sui depositi lacustri del Lago Tiberino.



Figura 7.8 Terreni agricoli derivanti dal rimaneggiamento dei depositi alluvionali del Tevere, nei pressi della riva sinistra del fiume, nel tratto occidentale del tracciato. Sono visibili ciottoli appiattiti centimetrici.

PROGETTAZIONE ATI:



Figura 7.9 Veduta da est verso ovest delle coltivazioni sui depositi alluvionali della piana, in località Ferriera, nel territorio comunale di Torgiano (PG) (foto da drone).

7.4.2.5. Depositi di Conoide - c (Olocene)

Depositi eterogeni a prevalente litologia sabbiosa e ghiaiosa, con ciottoli e clasti a spigoli vivi, presenti in alcune aree di raccordo tra i rilievi collinari e le pianure alluvionali, deposti dalle aste idrauliche minori, in fase erosiva.

Lungo il tracciato vengono intercettati nel tratto di raccordo tra le alluvioni del Tevere ed il versante occidentale della dorsale di Brufa, nel suo settore settentrionale, nel tratto compreso tra il viadotto sul Fiume Tevere e l'imbocco occidentale della galleria in progetto.



Figura 7.10 Veduta da NO verso SE della parte sommitale del conoide di deiezione in località Ferriera, nel territorio comunale di Torgiano (PG), a sud dell'imbocco occidentale della galleria in progetto (margine sinistro della foto) (foto da drone).

PROGETTAZIONE ATI:

7.4.2.6. Depositi alluvionali terrazzati - bn1 (Pleistocene-Olocene)

Depositi alluvionali non in rapporto con la morfologia e la dinamica attuali, costituiti prevalentemente da limi da sabbiosi ad argillosi, con rari corpi lentiformi ghiaioso-sabbiosi; tali Depositi giacciono a luoghi sopraelevati fino a 20 m sull'attuale fondovalle

Si incontrano lungo il tracciato in corrispondenza dell'imbocco occidentale della galleria naturale in progetto, e sono stati intercettati dal sondaggio S11, dove si rinviene un'alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi da mediamente a molto consistenti, spesso circa 11 m ed in contatto col *bed-rock* miocenico.

7.4.2.7. Sintema di Solfagnano (Pliocene sup.-Pleistocene inf.)

Il sintema di Solfagnano (sotto-unità del supersintema Tiberino) è costituito da corpi sabbiosi tabulari e ghiaie canalizzate alternati a depositi argilloso-limosi, con prevalenza di questi nella parte basale. Le sabbie presentano laminazioni incrociate, mentre le argille hanno dei livelli più sabbiosi, e altri ricchi in sostanza organica e lignite. Nei livelli più argillosi sono presenti molti gusci di gasteropodi. Il Sintema si trova inferiormente in contatto discordante col substrato miocenico. Nell'area di interesse progettuale, Il sintema può essere distinto in due sotto-unità, la litofacies di Sant'Egidio, che affiora lungo tutto il settore orientale del tracciato, e le argille grigie inferiori, costituite da sedimenti lacustri, che si trovano direttamente a contatto con il substrato miocenico e che si rinvencono solo in sondaggio. Le due sotto-unità, separate da una superficie erosiva, vengono descritte di seguito.

Litofacies di Sant'Egidio - SLFc

È descritta in letteratura come una successione di limi e limi sabbiosi prevalenti, con sabbie talvolta cementate e a luoghi gradate e con laminazioni incrociate.

Affiora nel settore settentrionale della dorsale di Brufa, appena a sud dell'asse del tracciato della galleria naturale, dove si trova direttamente a contatto con il substrato litoide, con prevalenti litologie sabbiose, e sul rilievo collinare di Collestrada.

Qui, le litologie prevalenti, che vengono incontrate dal tracciato nel tratto in galleria artificiale, sono rappresentate da limi argillosi e sabbiosi, da marroni a grigio-bruni, da mediamente a molto addensati. Sulla collina, la litofacies si rinviene al di sotto di un corpo tabulare di ghiaie e conglomerati, riportato in letteratura come **conglomerato del sintema di Collestrada** (indicato nella carta geologica con la sigla **CLR**), che poggia in discordanza al di sopra del sintema di Solfagnano e che costituisce la sommità del rilievo.

La litofacies di Sant'Egidio raggiunge i 21 m di spessore in corrispondenza della collina di Collestrada, dove poggia in discordanza angolare sui depositi lacustri e palustri delle argille grigie inferiori (descritti di seguito).

Argille grigie inferiori – AGI

Successione di limi argillosi grigio-azzurri di ambiente fluvio-lacustre e palustre, attribuiti ai depositi del Lago Tiberino; i limi si presentano generalmente addensati e omogenei, ricchi di materia organica e lenti di torba, solo a tratti varvati o con presenza di ghiaia fine.

Si rinvencono, solo in sondaggio, lungo il settore occidentale del tracciato nella piana del Tevere, a circa 7-8 m da p.c., subito al di sotto delle alluvioni recenti, con spessori che superano i 40 m, mentre lungo la collina di Colle Strada si trovano al di sotto dei limi sabbiosi e argillosi della litofacies di Sant'Egidio.

Giacciono in discordanza sul substrato litoide miocenico, e rappresentano la base del supersintema Tiberino in questo settore del bacino.

Non sono riportati nella carta geologica, ma solo sul profilo geologico, dove sono indicati con la sigla non ufficiale sopra riportata.



Figura 7.11 Contatto tra le arenarie della Formazione Marnoso-Arenacea Umbra e le sabbie della litofacies di Sant'Egidio, sulla dorsale collinare di Brufa.

8 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'area attraversata dal tracciato si trova a cavallo tra la Media Valle del Tevere e la Valle Umbra, separate dalla dorsale collinare di Brufa, che assume un andamento a mezza luna, orientata circa SO-NE nel tratto Torgiano-Brufa e SSE-NNO da Brufa a Perugia in località Ferriera.

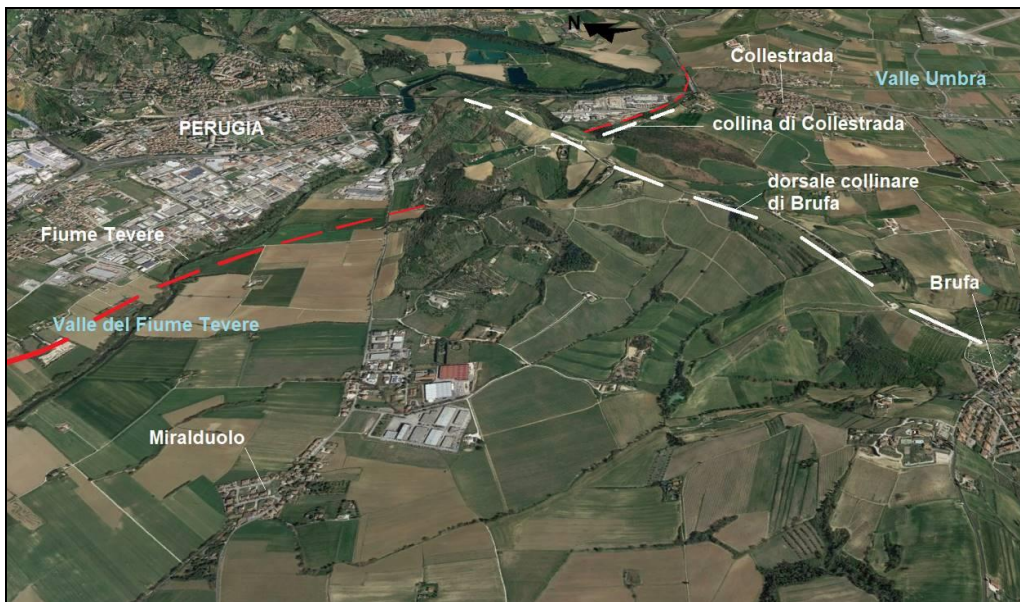


Figura 8.1 immagine 3D dell'area interessata dal progetto, con amplificazione del rilievo pari a 3. Linee bianche tratteggiate: spartiacque delle dorsali collinari; linea rossa tratteggiate: tracciato. (da Google Earth, modificata).

Il tratto di piana interessa le alluvioni recenti del Tevere, nel tratto della Media Valle compreso tra Ponte San Giovanni e Montebello, dove il fiume assume un andamento rettilineo orientato NE-SE,

PROGETTAZIONE ATI:

ad eccezione del meandro denominato “Ansa degli Ornari” nei pressi di Ponte San Giovanni, mentre muovendosi verso Torgiano, a nord della confluenza del F. Chiascio, in riva sinistra, il fiume presenta un percorso segnatamente meandriforme con ampie anse.

Aste fluviali rettilinee ad andamento anti-appenninico sono in realtà piuttosto frequenti in questo settore della Valle del Tevere, ad indicare un controllo della tettonica recente nella morfologia del reticolo.

Morfologicamente quest’area è costituita da una vasta area subpianeggiante con pendenze rotte esclusivamente da terrazzi morfologici e dagli alvei fluviali, oltre alle opere di canalizzazione ed ai rilevati antropici, con quote comprese tra i 160 e i 180 m.

In questa zona i corsi d’acqua provengono dalle colline poste ai bordi della Valle, con un andamento ortogonale al collettore principale rappresentato dal Fiume Tevere, nel quale confluiscono direttamente. Le colline sono spesso bordate da terrazzi fluviali.

Dato l’assetto pianeggiante della zona, non si rilevano elementi di predisposizione al dissesto.

L’area collinare di Brufa si estende dalla zona industriale di Torgiano al confine con il Comune di Perugia. Tutta l’area funge da spartiacque tra il bacino del Tevere ad occidente e il bacino del Chiascio ad oriente. I versanti sono caratterizzati da una pendenza media che varia tra il 10 ed il 20%. La dorsale è costituita da una monoclinale costruita da un’alternanza di arenarie e marne siltitiche mioceniche, con strati immergenti a medio-bassa pendenza verso est.

L’estremità settentrionale della dorsale termina con una netta scarpata di origine tettonica ad andamento SSE-NNO. Lungo i lati della dorsale sono localmente presenti fossi erosivi in approfondimento, che seguono l’andamento delle direttrici tettoniche e terminano in conoidi di deiezione o coni di detrito, di dimensioni e spessore variabili in funzione dell’importanza idrografica dell’elemento generatore. L’approfondimento dei fossi è anche all’origine dell’instabilità gravitativa osservata lungo i fianchi della dorsale, che interessa prevalentemente le coltri eluvio-colluviali. I movimenti franosi che interessano la dorsale non sono di rilevante interesse per l’opera in oggetto, dal momento che il tracciato attraversa la dorsale in galleria naturale a profondità superiori a quelle di interferenza con i movimenti.



Figura 8.2 Pali segnaletici di una condotta del gas inclinati dall’instabilità gravitativa superficiale lungo il versante esposto a NO della dorsale di Brufa.

La collina di Collestrada, situata nella parte più occidentale del Comune di Perugia, nei pressi del nucleo storico di Collestrada, è un *plateau* a debole pendenza (6%) immergente verso OSO, che poggia nella sua parte occidentale sul versante orientale della dorsale di Brufa, lungo una linea di imprevio in forte approfondimento operato da un'asta a direzione NO-SE.

La sommità pianeggiante è occupata da uno spessore di alcuni metri di ghiaie, sabbie e conglomerati, poggianti sui depositi fini di Sant'Egidio, che costituiscono il versante esposto a NO del rilievo.

Il versante, su cui fonda la principale galleria artificiale in progetto, è caratterizzato da pendenze del 18-20% ed è interessato da un'instabilità gravitativa di diversa natura, che è stata anche oggetto di altre relazioni specialistiche specifiche (Variante al PRG del Comune di Perugia – parte strutturale, Canile Pubblico di Collestrada - “Sezione Sanitaria”, gennaio 2013). L'instabilità viene qui attribuita alle mediocri caratteristiche geomeccaniche dei terreni ed alla scarsa regimazione superficiale delle acque lungo il pendio, che provocano lenti movimenti stagionali delle coltri clastiche eluvio-colluviali superficiali, innescati da piogge intense.

Dal rilevamento effettuato nell'area nel luglio 2022 non risultano evidenze di danni alle strutture a valle del versante, ma solo “indizi” di movimenti poco profondi quali pali dell'elettricità e lampioni per l'illuminazione stradale inclinati, presenti sia a monte che a valle del versante. Il corpo del versante, adibito a seminativo almeno fino alla seconda metà degli anni '70, si presenta attualmente densamente vegetato e non risultano visibili segni di movimenti antichi o recenti; l'unico elemento morfologico cartografabile è una scarpata metrica che corre parallelamente alla strada Comunale di Collestrada, circa 100 m più a valle di questa, con un'estensione di circa 350 m. L'elemento, inserito nella carta geomorfologica (T00GE01GEOCG05-08), parte del presente studio, come “*scarpata poligenica*”, borda la sommità delle frane PAI segnalate in quest'area, e la sua morfologia, dovuta alla presenza di un contatto litologico tra formazioni con diversa granulometria, è in parte accentuata dai movimenti gravitativi superficiali in atto lungo il versante.



Figura 8.3 Pali della corrente inclinati nell'area subito a valle della strada Comunale di Collestrada.



Figura 8.4 Serie di lampioni per l'illuminazione stradale inclinati da movimenti di terreno superficiali, sulla strada di collegamento tra via della Valtiera e la str. Cimitero Collestrada - Madonna di Campagna.

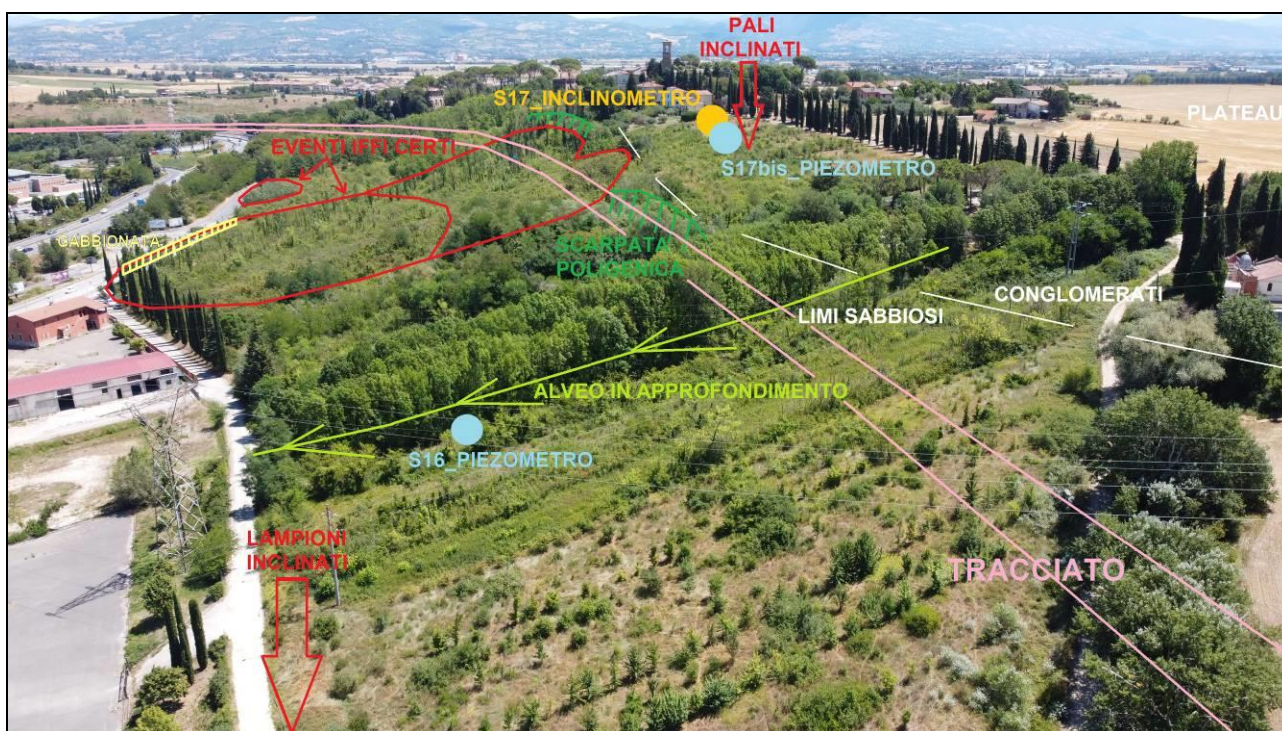


Figura 8.5 Vista da SO del versante della collina di Collestrada, con schematizzati i fenomeni osservati, la cartografia IFFI e la posizione degli strumenti di monitoraggio (foto da drone).

8.1 PERICOLOSITÀ E RISCHIO GEOMORFOLOGICO

I comuni di Perugia e Torgiano ricadono all'interno del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, il cui PAI (Piano stralcio di Assetto Idrogeologico) è entrato in vigore con la pubblicazione del 10 Novembre 2006 (G.U. n. 33 del 9 Febbraio 2007).

PROGETTAZIONE ATI:

Esso è tutt'ora vigente e dal 2 febbraio 2017, con la pubblicazione in G.U. del decreto ministeriale n. 294 del 26 ottobre 2016, la sua competenza è passata all'Autorità di Bacino del Distretto idrografico dell'Appennino Centrale (ABDAC).

8.2 RISCHIO FRANA

Il PAI comprende la caratterizzazione geomorfologica delle aree in frana (Carta Inventario dei fenomeni franosi) e la definizione del livello di rischio ad esse associato (Atlante delle situazioni di rischio da frana), categorizzato in quattro classi di rischio crescente da R1 a R4, come descritto nella seguente tabella.

Classe	Livello di rischio	Strutture ed infrastrutture	Popolazione
R1	Moderato	Danni marginali socio-economici ed al patrimonio ambientale	Nessun danno
R2	Medio	Danni estetici (minori) agli edifici, estetici e funzionali alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale	Nessun danno
R3	Elevato	Danni funzionali e strutturali agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale	Sfollati e senza tetto (perdita di abitazione), danni alle attività socio-economiche (indiretti)
R4	Molto elevato	Danni funzionali e strutturali agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale	Vittime, feriti, sfollati, senza tetto, danni alle attività socio-economiche

Tabella 8.1 Regole per l'attribuzione dei livelli di rischio previsti dall'Allegato Tecnico alla Legge 267/98.

L'inventario dei fenomeni franosi evidenzia poligoni riferibili a frane attive, quiescenti e inattive ed alle aree a rischio.

Si riporta a titolo esemplificativo uno stralcio dalla Carta Inventario dei fenomeni franosi, con la rappresentazione delle frane e delle aree a rischio, e la relativa simbologia.

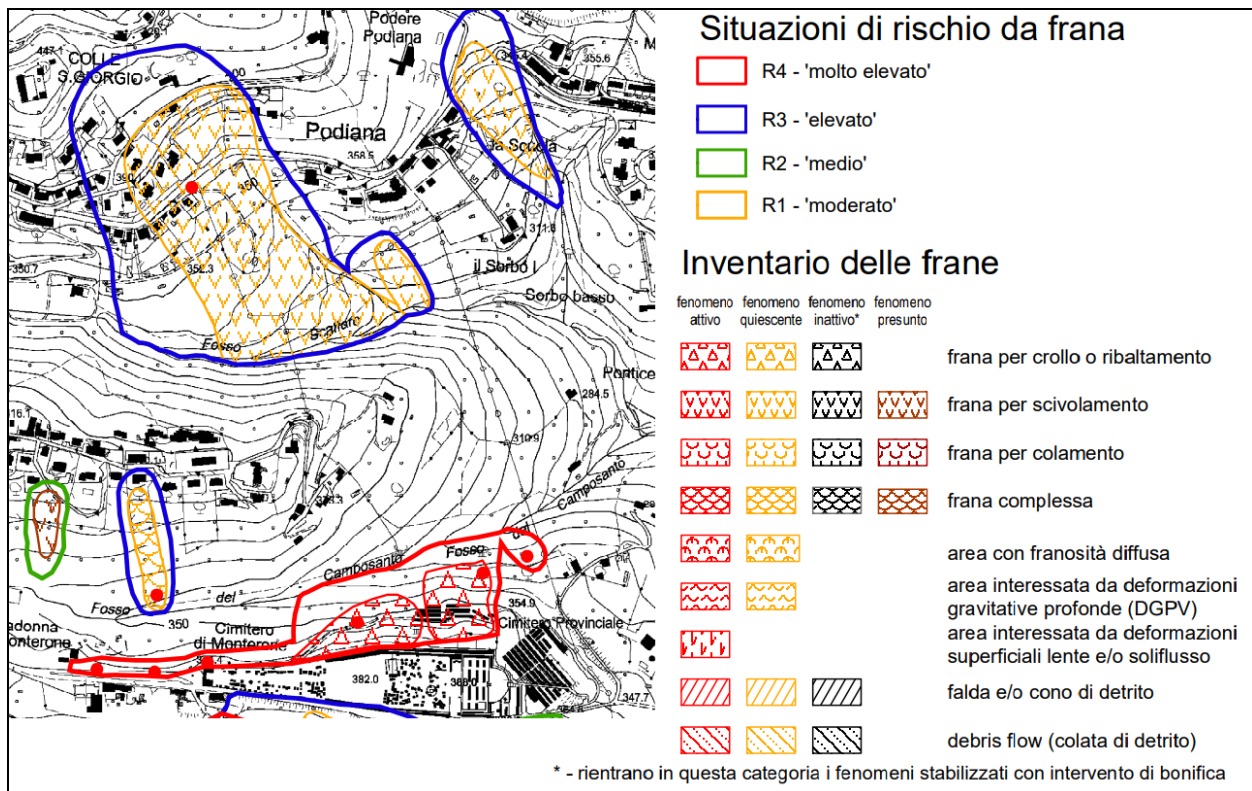


Figura 8.6 Stralcio fuori scala della Carta dell’Inventario dei fenomeni franosi e situazioni a rischio di frana, Tav. 242, scala 1:10.000, del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico - Bacino del Fiume Tevere (Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale) (2021).

La cartografia della pericolosità da frana e da processi geomorfologici di versante del PAI è disponibile come banca dati geografica informatizzata, scaricabile come dato tipo *shapefile*, aggiornato al giugno 2022 (<https://www.autoritadistrettoac.it/vettoriali-pai>).

Nel portale dedicato, relativamente ai dati *shapefile*, si raccomanda espressamente di:

"non riutilizzare le Informazioni in un modo che suggerisca che abbiano carattere di ufficialità, la quale è riservata esclusivamente alla cartografia vigente in formato .PDF pubblicata sul sito ABDAC, o che il Licenziante approvi l'uso che fai delle Informazioni";

Si riporta di seguito uno stralcio della cartografia vigente di cui sopra, come rielaborata ai sensi della Determina Dirigenziale ADS del 29 novembre 2021, n. 31.

Considerando solo le instabilità che potrebbero interferire con l’opera in progetto, la carta riporta cinque movimenti di tipo “frana per scivolamento”, descritti come “fenomeni presunti”, ed un movimento più complesso composto da due movimenti di tipo “frana per scivolamento” ed uno di tipo colamento, tutti descritti come “fenomeni quiescenti”. Le frane si trovano allineate lungo il tratto di tracciato in cui si andrà a realizzare la galleria artificiale, a valle dell’attuale Strada Comunale di Collestrada, che collega il Cimitero Collestrada al borgo medievale del Castello di Collestrada.

A ovest dell’imbocco occidentale della galleria in progetto, all’interno del territorio comunale di Torgiano, il tracciato attraversa un conoide alluvionale, riportato sul PAI come “falda e/o cono di detrito” attualmente attivo.

Lungo l’intero sviluppo del tracciato non sono riportate aree perimetrate come “situazioni di rischio da frana” che possano interferire con esso.

PROGETTAZIONE ATI:

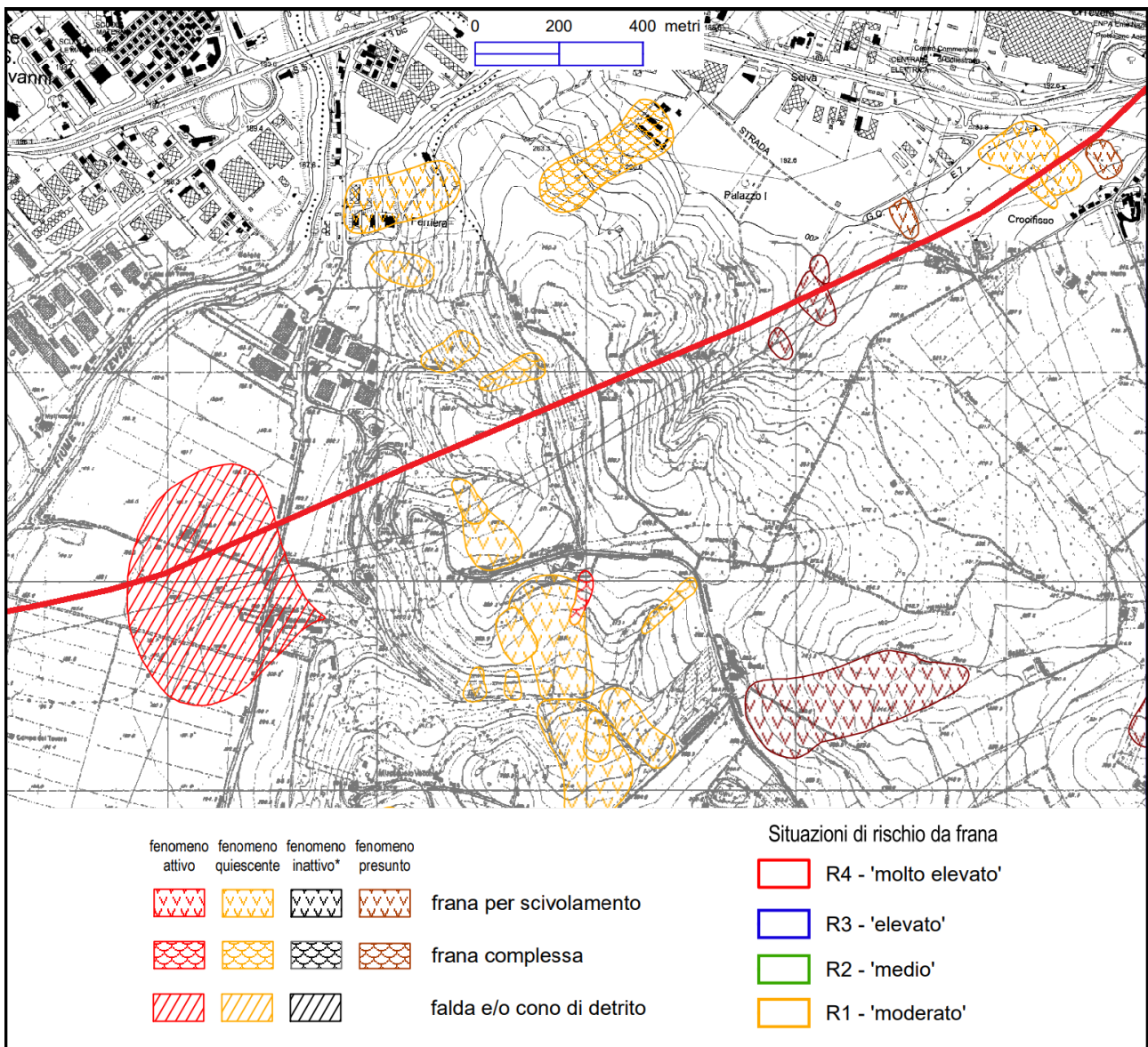


Figura 8.7 Stralcio dalla Carta dell'Inventario dei fenomeni franosi e situazioni a rischio di frana, Tavv. 232 e 242, scala 1:10.000, del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico - Bacino del Fiume Tevere (Autorità di Bacino Distrettuale dell'appennino Centrale) (2021). Linea rossa: andamento indicativo del tracciato.

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) è la banca dati nazionale e ufficiale sulle frane. È realizzato dal ISPRA in collaborazione con le Regioni e Province Autonome (art. 6 comma g della L. 132/2016). L'Inventario è uno strumento conoscitivo di base utilizzato per la valutazione della pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), la progettazione preliminare di interventi di difesa del suolo e di reti infrastrutturali e la redazione dei Piani di Emergenza di Protezione Civile.

Le frane con potenziale interferenza con l'opera in oggetto, riportate nell'inventario, sono tabellate di seguito e rappresentate nella figura sotto.

Le frane considerate sono riportate anche nella cartografia PAI precedentemente esaminata, ad eccezione di quella, di piccola entità, identificata col codice 0541535100, in località Collestrada, riportata come un evento certo, osservato nel 1997, con tipo di movimento non determinato e stato di attività incerto.

PROGETTAZIONE ATI:

Le frane con id. 0541535000 e 0541535200, che interessano ancora il versante a valle del Castello di Collestrada, rappresentano anch'esse eventi certi, osservati nel 1994, e sono descritte come scivolamento "rotazionale/traslato" con stato di attività "Quiescente", la prima, e tipo di movimento e stato di attività "non determinati", la seconda.

In particolare, parte del piede dello scivolamento con id. 0541535000, si trova attualmente arginato da un muro composto da due file di gabbioni.

Id frana	tipo di movimento	stato di attività	distribuzione	area (m ²)	litologia
0541535000	scivolamento rotazionale/traslato	Quiescente	n.d.	17.104	n.d.
0541535100	n.d.	Attivo/riattivato/sospeso	n.d.	455	n.d.
0541535200	n.d.	n.d.	n.d.	9.003	n.d.

Tabella 8.2 dati riportati nelle schede descrittive delle frane censite nell'inventario IFFI.



Figura 8.8 Estratto dal portale Idrogeo delle frane censite nell'inventario IFFI, con riportati i codici identificativi delle frane che interessano il tracciato a NO del borgo medievale del Castello di Collestrada. Linee rosse: tracciato.

Il servizio europeo di movimento del suolo (EGMS) fornisce informazioni sul movimento del suolo naturale e antropogenico negli Stati partecipanti a Copernicus e oltre i confini nazionali, con precisione millimetrica, e rappresenta una linea di base per le applicazioni di moto del suolo a livello continentale, nazionale e locale.

L'EGMS si basa sull'analisi interferometrica multitemporale delle immagini radar di Sentinel-1 a piena risoluzione. Questa tecnica consente di identificare punti di misura affidabili per i quali vengono estratti i valori di velocità del movimento del suolo e le serie temporali di deformazione.

PROGETTAZIONE ATI:

Tali punti di misura coincidono solitamente con edifici, strutture artificiali e aree prive di vegetazione in genere. I dati dei sistemi globali di navigazione satellitare vengono utilizzati come calibrazione delle misure interferometriche.

L'EGMS distribuisce tre livelli di prodotti aggiornati annualmente:

- Di base: mappe della velocità della linea di vista in orbite ascendenti e discendenti con geolocalizzazione annotata e misure di qualità per punto di misurazione. I prodotti base sono riferiti ad un punto di riferimento locale;
- Calibrato: mappe della velocità della linea di vista in orbite ascendenti e discendenti riferite a un modello derivato dai dati delle serie temporali dei sistemi satellitari di navigazione globale. I prodotti calibrati sono assoluti, non essendo più relativi ad un punto di riferimento locale;
- Orto: componenti del moto (orizzontale e verticale) ancorate al modello geodetico di riferimento. I prodotti Ortho vengono ricampionati su una griglia di 100 m.

Di seguito si riportano le schermate estratte dal portale del European Ground Motion Service con la velocità degli spostamenti misurati lungo la linea di vista del satellite a partire dall'anno 2015, rispettivamente per le orbite discendenti e ascendenti. Tali velocità considerano solamente le componenti dello spostamento verticale ed in direzione E-O, e non quelle in direzione N-S (il versante è esposto circa a NO). Si riportano, insieme alle velocità, i dataset degli spostamenti mediati, secondo i gruppi cerchiati e numerati in rosso in figura, per i punti di controllo più prossimi al versante considerato.

I punti monitorati sono nel complesso stabili, con velocità di spostamento assoluto massimo medio pari a 1,63 mm/a in corrispondenza del piede del versante (gruppo 2).

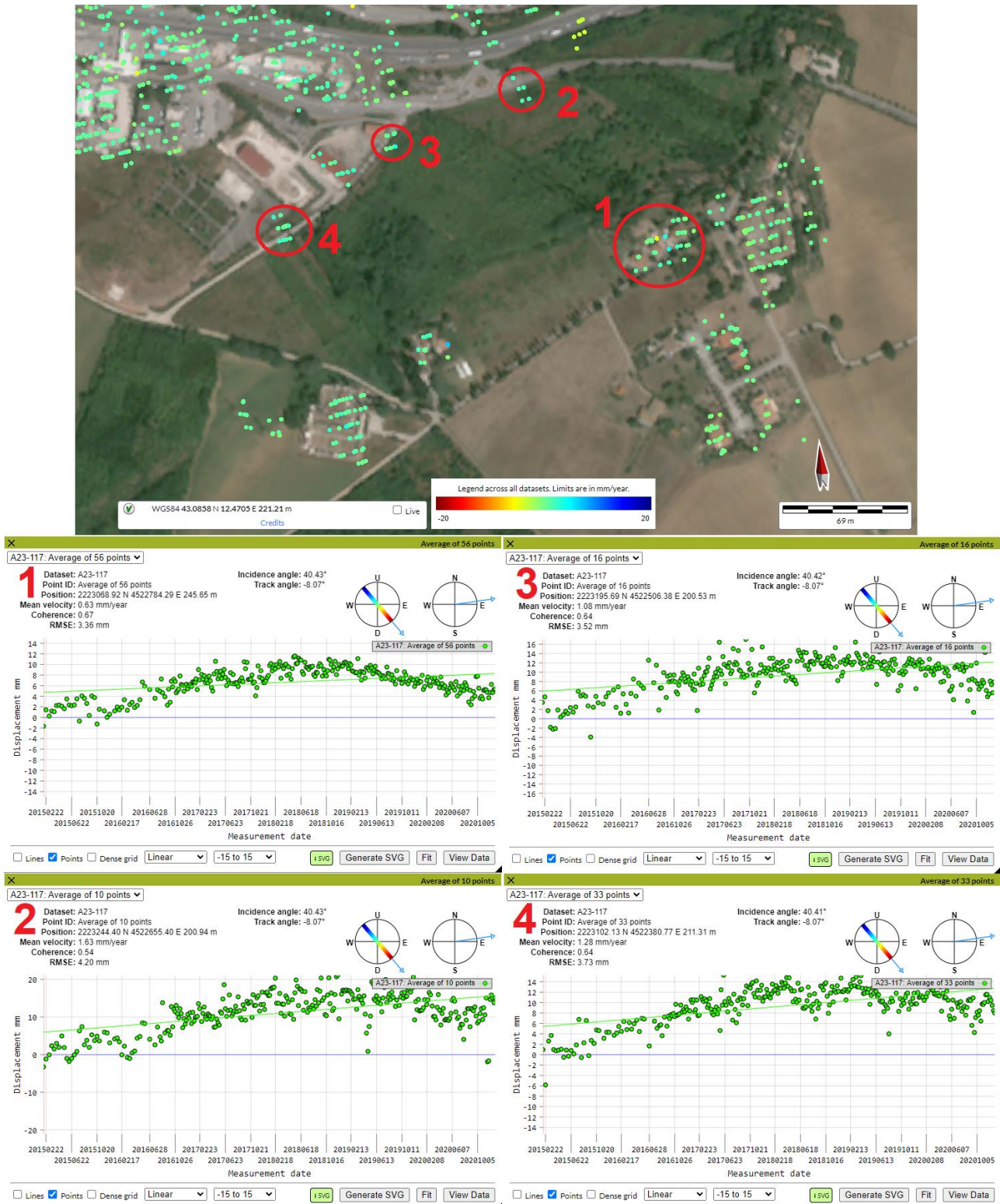


Figura 8.9 Movimenti del suolo EGMS (prodotto calibrato) presso il versante della collina di Collestrada. Il colore dei punti indica la velocità della linea di vista dei punti di controllo al suolo in orbite discendenti. In basso sono riportati i dataset mediati per i punti cerchiati in rosso. Dal portale del *European Ground Motion Service* (<https://egms.land.copernicus.eu/>).

PROGETTAZIONE ATI:

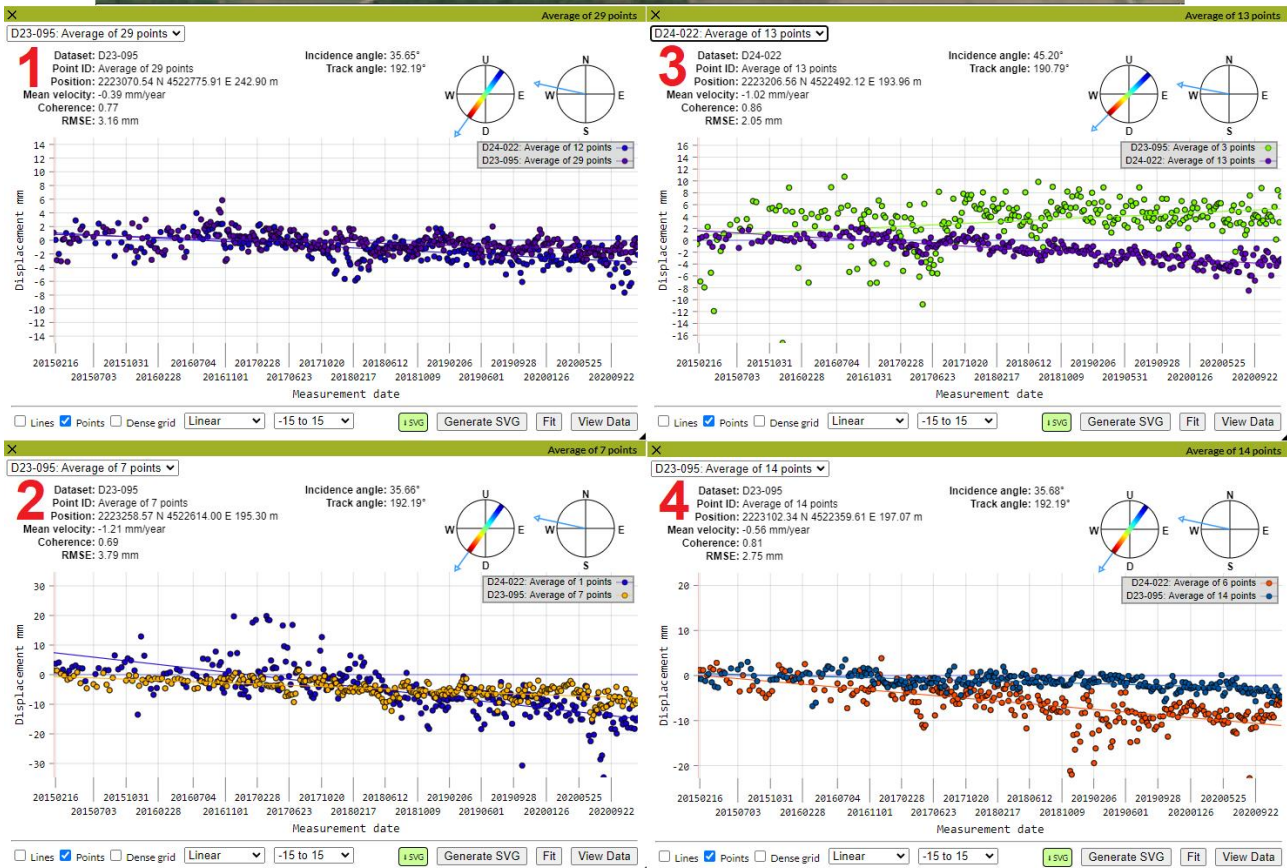
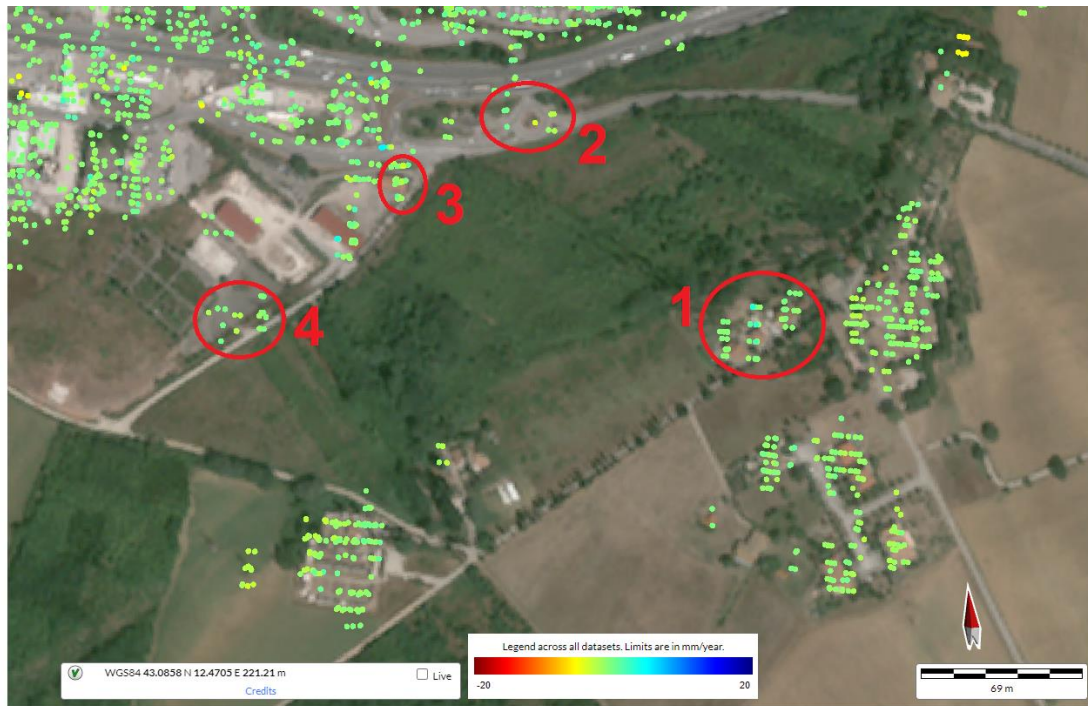


Figura 8.10 Movimenti del suolo EGMS (prodotto calibrato) presso il versante della collina di Collestrada. Il colore dei punti indica la velocità della linea di vista dei punti di controllo al suolo in orbite ascendenti. In basso sono riportati i dataset mediati per i punti cerchiati in rosso. Dal portale del *European Ground Motion Service* (<https://egms.land.copernicus.eu/>).

8.3 RISCHIO IDRAULICO

Il Piano di Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino del Fiume Tevere individua lungo la pianura alluvionale del Tevere tre fasce di pericolosità, in cui la disciplina delle attività di trasformazione del suolo è volta al raggiungimento degli obiettivi di assetto idrogeologico.

Le fasce sono così definite:

- Fascia A: è caratterizzata dalla massima pericolosità ed è definita dal limite delle aree di esondazione diretta della piena di riferimento con tempi di ritorno $Tr = 50$ anni;
- Fascia B: è compresa tra il limite delle aree d’esondazione diretta ed indiretta delle piene con $Tr = 50$ anni e $Tr = 200$ anni. Detta delimitazione include le aree d’esondazione indiretta e le aree marginali della piena con $Tr = 50$ anni. Il PAI riconosce a queste aree la necessità di conservazione della capacità di laminazione della piena;
- Fascia C: comprende le porzioni di territorio inondabili comprese tra le piene con $Tr = 200$ anni e $Tr = 500$ anni e le aree marginali della piena con $Tr = 200 =$ anni.

Il PAI individua il rischio, secondo quattro classi a rischi decrescenti per la popolazione e strutture e infrastrutture collegate, definite R4, R3, R2 e R1, espresso in termini di danno atteso riferito al costo sociale, di recupero e ristrutturazione dei beni e dei materiali danneggiati dall’agente calamitoso:

- R4: rischio molto elevato per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche;
- R3: rischio elevato per il quale sono possibili problemi per l’incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- R2: rischio medio per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l’incolumità del personale, l’agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- R1: rischio moderato per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.

La categorizzazione sopra descritta per l’area di interesse progettuale è riportata nella Tav.8 delle fasce fluviali e zone a rischio del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Tevere (aggiornamento a seguito del decreto segretariale n° 99/2019 settembre 2019), di cui si riporta uno stralcio nella figura seguente.

Le cartografie PAI e IFFI sono riportate negli elaborati T00GE01GEOCG09-12, parti integranti del presente studio.

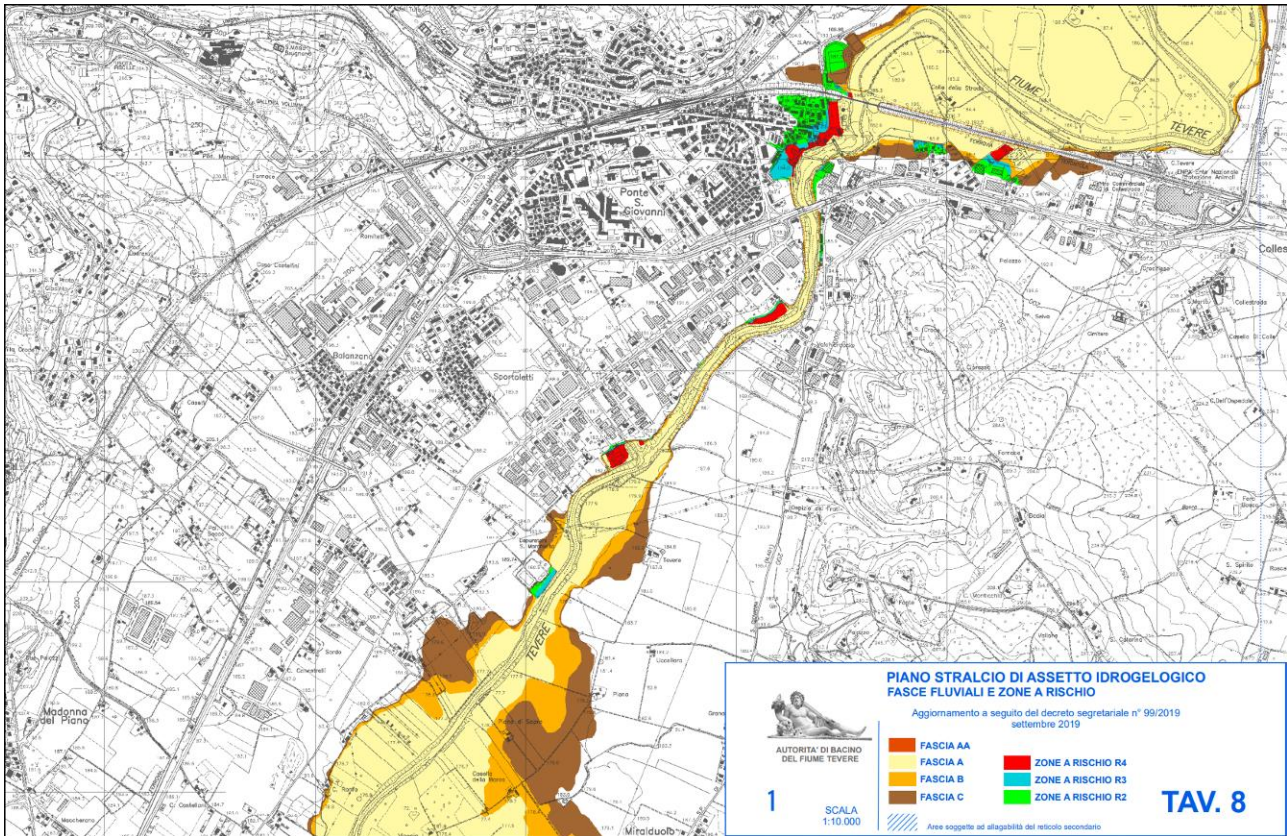


Figura 8.11 Stralcio fuori scala della tav. 8 in scala 1:10.000 delle fasce fluviali e zone a rischio del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Tevere.

8.4 MONITORAGGIO INCLINOMETRICO

La campagna di monitoraggio delle deformazioni del suolo ha previsto la realizzazione di No. 1 inclinometro, le cui coordinate, profondità e ubicazione in pianta sono riportate rispettivamente nella tabella e immagine seguenti.

Id. Sondaggio	Profondità (m)	Quota boccaforno (m s.l.m.)	Metodo	Coordinate geografiche WGS84	
				N	E
S17	35	235	Carotaggio continuo	43.084933°	12.470821°

Tabella 8.3 Coordinate e geometria del tubo inclinometrico S17.



Figura 8.12 In alto: ubicazione dell'inclinometro (immagine satellitare da Google Earth) con indicazione del tracciato e dei tematismi geomorfologici individuati da rilevamento e dal PAI (riportati nella Carta geomorfologica). In basso: Pozzetto del tubo inclinometrico S17 presso la collina di Collestrada.

L'inclinometro è stato collocato appena a monte del coronamento delle frane PAI presenti lungo il versante di Collestrada, riportate nel catalogo IFFI come un unico poligono col codice id. 0541535200, per il monitoraggio del versante su cui è prevista la realizzazione delle gallerie artificiali.

PROGETTAZIONE ATI:

La presenza di una fitta vegetazione e la pendenza non hanno consentito di posizionare il punto di monitoraggio direttamente sul corpo di frana.

Si riporta di seguito il risultato delle prime tre misure (oltre alla lettura di zero) eseguite da ANAS, aggiornate al 26 settembre 2022.

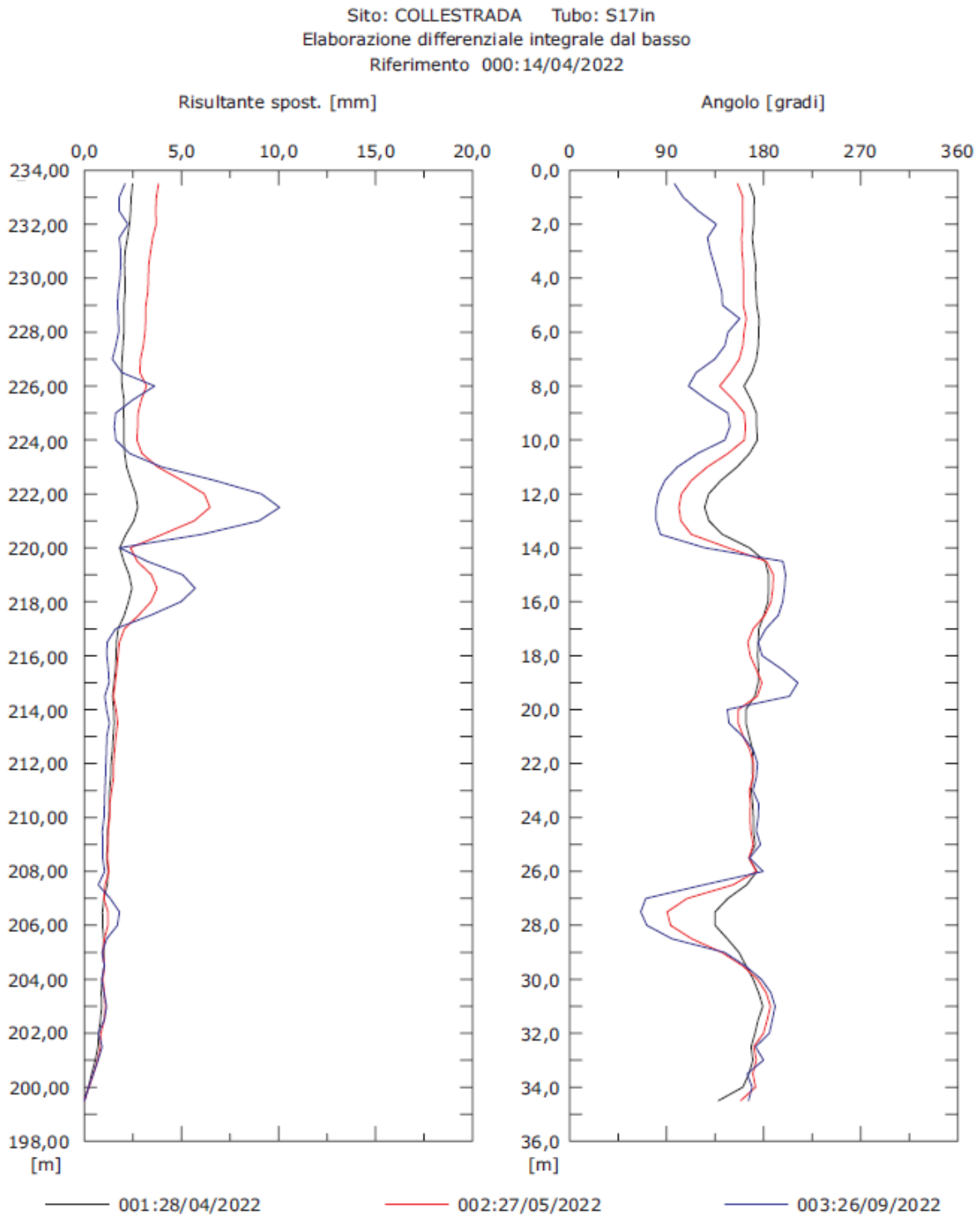


Figura 8.13 Letture inclinometriche eseguite presso il foro di sondaggio S17, attrezzato con tubo per misure inclinometriche e *down hole*.

PROGETTAZIONE ATI:

Dall'analisi dei grafici non si evidenziano *trend* univoci di movimento, ma solo oscillazioni legate alla precisione strumentale.

Per dettagli sulla strumentazione utilizzata per le misure si rimanda all'elaborato T00GE00GEORE03 (*Monitoraggio inclinometrico e piezometrico*).

9 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In questo settore dell'Appennino centrale, le risorse idriche ed i corpi idrici sotterranei sono rappresentati principalmente dagli acquiferi regionali contenuti nei calcari mesozoici (acquiferi carbonatici, non presenti nell'area indagata) e dagli acquiferi delle grandi pianure alluvionali.

La circolazione idrica sotterranea dell'area di interesse progettuale rientra nel più ampio contesto della Media Valle del Tevere, che si estende da Città di Castello a Todi, per una lunghezza complessiva di circa 85 km e con un'ampiezza piuttosto ridotta (massimo 2-3 km nel tratto Città di Castello-Ponte S. Giovanni, e intorno ai 4 km da Ponte S. Giovanni a Todi).

Questo settore della Valle del Tevere è rappresentativo di una situazione idrogeologica omogenea e distinta dall'Alta Valle del Tevere, che risulta più grande e sede di più ampie risorse idriche

L'acquifero principale è rappresentato dai sedimenti alluvionali recenti del fiume Tevere; tale acquifero con bassa estensione verticale, è bordato da depositi fluvio-lacustri plio-pleistocenici, costituiti prevalentemente da limi e argille con frequenti paleostrutture deltizie a conglomerati e sabbie (Colle di Perugia e di Montemigiano, collina di Collestrada).

Le formazioni fluvio-lacustri del Plio-Pleistocene e le formazioni flyschoidi (rispettivamente depositi del sintema di Solfagnano e Formazione Marnoso-Arenacea Umbra, nell'area di studio) non contengono invece corpi idrici di grande importanza, anche se localmente e limitatamente ad alcuni livelli, possono essere presenti falde acquifere.

Negli studi a carattere regionale queste ultime formazioni vengono generalmente considerate come dei limiti a bassa permeabilità che si interpongono tra gli acquiferi dei calcari Mesozoici e le falde alluvionali.

In corrispondenza del margine occidentale della Valle, dai pressi delle strutture carbonatiche di Monte Acuto e Monte Malbe fino a Ponte S. Giovanni, sono presenti terreni flyschoidi miocenici. Sia i depositi più grossolani villafranchiani che i termini più arenacei dei depositi terrigeni sono sede di modesti circuiti idrici che in parte alimentano l'acquifero alluvionale. L'acquifero presente nella dorsale di Brufa, a sud di Ponte S. Giovanni, non sembra invece essere in comunicazione idraulica diretta con i depositi superficiali della piana, mentre alimenta la falda rinvenuta nei depositi fluvio-lacustri che costituiscono la collina di Collestrada.

9.1 SUPERFICIE PIEZOMETRICA

La geometria della superficie piezometrica è stata ricostruita interpolando i dati puntuali provenienti da tre *dataset*:

- Campagna di monitoraggio piezometrico, eseguita nell'ambito del presente progetto, nel periodo novembre 2021 - settembre 2022;
- campagna di raccolta di dati piezometrici, eseguita nell'ambito del "*progetto preliminare per il Nodo di Perugia*", su piezometri realizzati per lo stesso progetto e su pozzi privati, nel febbraio 2003;

- dati da pozzi piezometrici rilevati dall'ARPA-UMBRIA, reperiti dagli elaborati tecnici del "Progetto Preliminare per il Nodo di Perugia".

Il risultato della modellazione è riportato nella Carta idrogeologica in scala 1:2000 (T00GE01GEOCI01-04), con indicazione delle linee di deflusso principale.

L'ubicazione di pozzi e piezometri e la quota assoluta del livello di falda s.l.m. sono riportate nella tabella di seguito.

id. pozzo, piezometro	quota assoluta del livello di falda (m s.l.m.)	profondità della falda da p.c. (m)	coordinate metriche WGS84 UTM 33N	
			E	N
Campagna di monitoraggio piezometrico novembre 2021 - luglio 2022				
S01	178,2	4,1	289477.23	4770954.84
S02	177,8	4,0	289706.92	4771061.36
S06	174,7	6,0	290932.35	4772118.57
S08	173,8	8,3	291684.54	4772562.07
S10	172,3	9,2	291623.60	4772471.34
S12	223,5	10,5	292560.14	4772774.60
S13	269,8	34,2	293009.82	4772963.35
S15	195,0	10,0	293711.62	4773328.00
S15_bis	182,5	15,5	293701.84	4773375.20
S17_bis	217,3	15,5	294099.35	4773351.97
S18	193,4	10,7	294278.55	4773675.56
S21	194,0	3,0	294419.05	4773985.65
Campagna di raccolta di dati piezometrici del febbraio 2003				
61	205,1	9,9	294899.42	4773706.62
60	206,5	8,5	294792.84	4773388.00
59	204,5	20,5	294333.86	4773562.45
58	217,0	13,0	294480.02	4773055.27
57	215,0	20,0	294180.36	4773377.17
56	184,6	6,4	293610.98	4773603.37
55	185,2	4,8	293101.13	4773704.75
54	249,0	28	293323.08	4772574.36
53	262,3	17,7	292913.42	4772704.39
52	254,6	21,4	292862.89	4772520.02
50	179,2	5,8	288625.67	4770812.68
49	179,8	4,6	288451.75	4770491.49
48	180,1	7,1	288256.52	4770598.89
47	186,0	5,0	287986.62	4770451.53
46	210,2	10,8	287779.20	4770379.06
45	195,2	1,8	287772.56	4770154.15
44	255,8	2,2	287713.90	4770675.77

PROGETTAZIONE ATI:

id. pozzo, piezometro	quota assoluta del livello di falda (m s.l.m.)	profondità della falda da p.c. (m)	coordinate metriche WGS84 UTM 33N	
			E	N
43	271,4	15,6	287395.65	4770498.80
42	283,0	7,0	287189.02	4770346.88
41	278,3	14,7	287074.94	4770112.17
S2_2003	212,3	3,0	293364.04	4773180.86
S3_2003	175,6	3,9	291169.05	4772226.48
S4_2003	207,9	3,8	287781.63	4770306.98
Pozzi piezometrici rilevati dall'ARPA-UMBRIA				
12	184,2	-	290826.79	4772004.56
13	186,9	-	289540.14	4771774.91
14	184,2	-	291967.69	4771183.18
15	173,3	-	290967.94	4770324.61
16	171,9	-	289897.45	4769667.67

Tabella 9.1 Dati piezometrici utilizzati per la modellazione della superficie piezometrica nell'area di studio.

Lo studio svolto ha evidenziato come all'interno della piana, lungo il settore occidentale del tracciato, sia presente una falda sospesa, circolante nello spessore inferiore più grossolano delle alluvioni recenti, con asse di drenaggio principale coincidente grossomodo con l'alveo del Tevere, ad andamento NE-SO.

La falda si trova generalmente entro i primi 6 metri dal piano campagna ed è sospesa sul tetto delle argille grigie inferiori, che fungono da *aquitard* e che verosimilmente mettono in pressione la falda presente nel sottostante *bedrock* miocenico, che si trova in connessione idraulica con la falda libera riscontrata nel rilievo collinare di Brufa.

Quest'ultimo mostra gradienti idraulici del 10%, ed è caratterizzato da una permeabilità prevalente di tipo secondario per fratturazione.

L'acquifero è in connessione idraulica con i livelli sabbiosi della litofacies di Sant'Egidio all'interno del rilievo di Collestrada, che vanno così a costituire un acquifero multifalda, limitato inferiormente dall'*aquitard* delle argille grigie inferiori.

Da qui la falda muove radialmente rispetto all'asse della collina, raccordandosi verso valle col livello della falda libera all'interno della piana.

9.2 CLASSI DI PERMEABILITÀ

I diversi litotipi affioranti sono stati raggruppati per intervalli di permeabilità, definiti utilizzando il coefficiente di Darcy (k):

- **permeabilità elevata (EP):** $k > 1 \times 10^{-1}$ m/s;
- **permeabilità media (MP):** $1 \times 10^{-1} > k > 1 \times 10^{-6}$ m/s;
- **permeabilità ridotta (RP):** $1 \times 10^{-6} > k > 1 \times 10^{-9}$ m/s;
- **impermeabile (IM):** $k < 1 \times 10^{-9}$ m/s.

La distinzione tra litologie permeabili ed impermeabili è stata convenzionalmente fissata al valore di 1×10^{-9} m/s.

Per l'attribuzione dell'intervallo di permeabilità alle varie litologie si è fatto riferimento alla classificazione utilizzata da Boscherini et al. per la Carta Idrogeologica della Regione Umbria in scala 1:100.000, quando in accordo con i risultati delle prove di permeabilità eseguite in foro.

L'intervallo di permeabilità è stato incrociato con la tipologia di permeabilità, così definita:

- **primaria per porosità (P);**
- **secondaria per fessurazione (F);**
- **mista (M).**

Dall'analisi delle litologie affioranti nell'area di interesse progettuale, sono state così definite le 3 classi di permeabilità descritte di seguito.

9.2.1. CORPI AD ELEVATA PERMEABILITÀ PRIMARIA PER POROSITÀ (EPP)

Appartengono a questa classe le coperture eluvio-colluviali, i materiali interessati da movimenti gravitativi ed i sedimenti alluvionali recenti della Valle del Tevere che, specie nello spessore basale più grossolano, presentano un'alta trasmissività. Quest'ultimo acquifero presenta un livello piezometrico prossimo al piano campagna; per questo motivo risulta altamente vulnerabile e non presenta *standard* di qualità elevati, data l'esposizione al carico antropico esistente nell'area.

9.2.2. CORPI A RIDOTTA PERMEABILITÀ PRIMARIA PER POROSITÀ (RPP)

Appartengono a questa classe i depositi alluvioni terrazzati ed i depositi fluvio-lacustri della litofacies di Sant'Egidio.

Tali depositi presentano maggior grado di addensamento e consistenza rispetto alle alluvioni recenti; generalmente sono caratterizzati da medio-bassa trasmissività e sono sede di una falda multistrato, con falde sospese o in pressione.

9.2.3. CORPI A RIDOTTA PERMEABILITÀ SECONDARIA PER FESSURAZIONE (RPF)

Appartengono a questa classe le litologie litoidi della Formazione Marnoso-Arenacea Umbra.

Corpi argillitici e siltitici semi-litoidi impermeabili si alternano in questa formazione a banchi arenacei e calcarenitici a bassa porosità e banchi di marne con grado di fratturazione medio-basso.

I sondaggi eseguiti evidenziano come le fratture all'interno delle marne siano solitamente riempite di argilla; ci si aspetta che in questa formazione l'acqua sia presente prevalentemente all'interno delle fratture che interessano i banchi di arenaria e calcarenite, permeabili prevalentemente per fessurazione, che possono essere sede di limitati acquiferi a bassa trasmissività di importanza locale, con produttività dei pozzi da letteratura generalmente inferiore ad 1 l/s.

Nella sommità delle pendici settentrionali del rilievo collinare di Brufa, in corrispondenza dell'asse della galleria naturale in progetto, la falda giace a circa 34 m di profondità dal p.c.

Le prove Lugeon eseguite in foro su queste litologie hanno dato i seguenti risultati:

Alternanza arenarie-siltitici: 5×10^{-8} m/s < k < 10^{-7} m/s

Alternanza marne-siltitici: k = 3×10^{-8} m/s

9.3 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO

Lungo il tracciato sono stati installati N°12 piezometri a tubo aperto. Il monitoraggio è stato effettuato da ANAS a partire dal novembre 2021 fino al settembre 2022.

Inoltre, durante il rilevamento geologico eseguito nel luglio 2022 nell'ambito del presente progetto, è stata eseguita un'ulteriore lettura sui piezometri accessibili.

Si riportano di seguito i dati registrati.

DATA	Id. piezometro											
	S01	S02	S06	S08	S10	S12	S13	S15	S15Bis	S17Bis	S18	S21
Monitoraggio ANAS novembre 2021- settembre 2022												
29/11/2021	-4,50	-4,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
01/12/2021	-	-4,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/12/2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,00
14/12/2021	-4,00	-3,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,00
15/12/2021	-	-	-	-	-	-	-	-10,00	-	-	-12,50	-
20/12/2021	-	-	-	-	-	-10,50	-	-	-	-	-	-
30/12/2021	-4,00	-3,70	-	-	-	-10,50	-	-	-	-	-11,20	-3,00
03/01/2022	-4,00	-3,70	-	-	-	-10,50	-	-	-	-	-11,20	-3,00
21/01/2022	-3,90	-3,70	-	-	-	-10,50	-	-	-	-	-10,70	-3,00
28/02/2022	-4,10	-4,00	-	-	-	-10,50	-	-	-	-15,50	-10,70	-3,00
24/03/2022	-4,10	-4,00	-	-	-	-10,50	-34,20	-	-	-15,90	-10,80	-3,10
06/04/2022	-	-	-6,00	-	-	-	-34,20	-	-15,50	-	-	-
08/04/2022	-	-	-	-	-9,20	-	-	-	-	-	-	-
14/04/2022	-	-	-6,00	-8,30	-9,20	-10,50	-34,30	-	-14,80	-16,00	-10,30	-2,70
28/04/2022	-4,10	-4,00	-6,50	-8,40	-9,20	-10,30	-34,40	-	-14,50	-16,00	-10,40	-3,10
30/09/2022	-4,50	-4,40	-6,75	-8,90	-9,50	-11,05	-36,90	-	-17,60	-16,50	-11,80	-4,90
Rilievo geologico luglio 2022												
13/10/2022	-4,50	-4,30	-6,70	-	-9,30	-10,90	-	-	-16,40	-16,10	-	-4,60

Tabella 9.2 Dati di monitoraggio piezometrico, espressi come profondità di stazionamento del livello piezometrico in m da p.c.

I dati indicano per i piezometri posti lungo la piana (**S01, S02, S06, S08, S10**), all'interno delle alluvioni recenti, abbassamenti stagionali tra novembre e luglio di pochi decimetri (mai superiori ai 75 cm), a indicare un'alimentazione della falda da acquiferi regionali.

I piezometri posti sulla dorsale collinare di Brufa (**S12, S13**) mostrano oscillazioni comprese tra 0,5 e 3 m tra dicembre e la fine della stagione secca.

I livelli piezometrici dei piezometri impostati nella litofacies di Sant'Egidio (**S15 bis, S17 bis, S18, S21**) riportano invece abbassamenti durante la stagione secca dell'ordine del metro, a indicare un'alimentazione più locale, unitamente ad una minor capacità di immagazzinamento di queste litologie.

10 INQUADRAMENTO SISMICO

Per quanto riguarda la Classificazione sismica del territorio della Regione Umbria con Delibera Giunta Regionale del 18 settembre 2012 n. 1111 (pubblicata nel SO n. 3 del BUR n. 47 del 3/10/2012) è stato riclassificato l'intero territorio della Regione Umbria in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008.

Il Comune di Perugia ed il Comune di Torgiano ricadono entrambi in zona sismica 2.

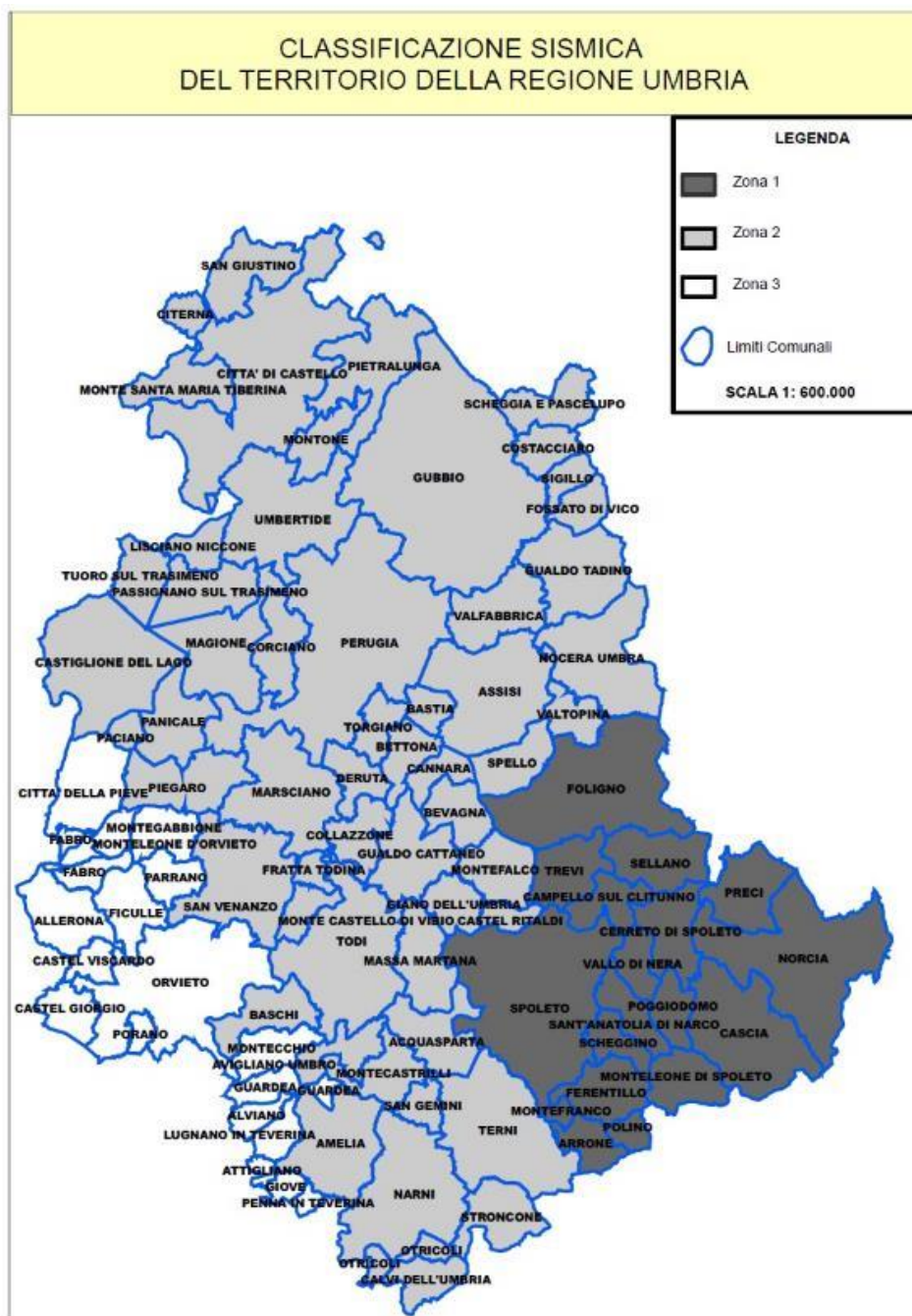


Figura 10.1 Classificazione zone sismiche regione Umbria - Delibera Giunta Regionale del 18 settembre 2012 n.1111.

PROGETTAZIONE ATI:

Dalla consultazione del “Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3” dell’INGV si evidenzia che la parte nord del progetto, a partire dall’imbocco ovest della galleria naturale fino a fine lotto, ricade all’interno di una sorgente sismogenetica composta denominata “ITCS037 – Mugello-Città di Castello-Leonessa”. Questa sorgente composta corre per oltre 200 km lungo la spina dorsale dell’Appennino settentrionale, e costituisce il nucleo della cintura estensiva del Sistema delle Faglie Etrusche, sistema di faglie (indicato in letteratura anche come “Faglia dell’Altotiberina”) costituito da una faglia normale a basso angolo di estensione regionale, riconosciuta per mezzo di prove di campo (Boncio et al., 1998) e dati del sottosuolo (Anelli et al., 1994; Barchi et al., 1998). Il Sistema della Faglia Etrusca s.s. raggiunge una profondità di 12-14 km al di sotto della cintura di piegatura Umbria-Marchigiana (Boncio et al., 1998 e 2000).

Per sorgente sismogenetica si intende “una rappresentazione semplificata e tridimensionale di una faglia crostale contenente un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche non individuabili. Le sorgenti sismogenetiche composite non sono associate a un insieme specifico di terremoti o distribuzione sismica.”

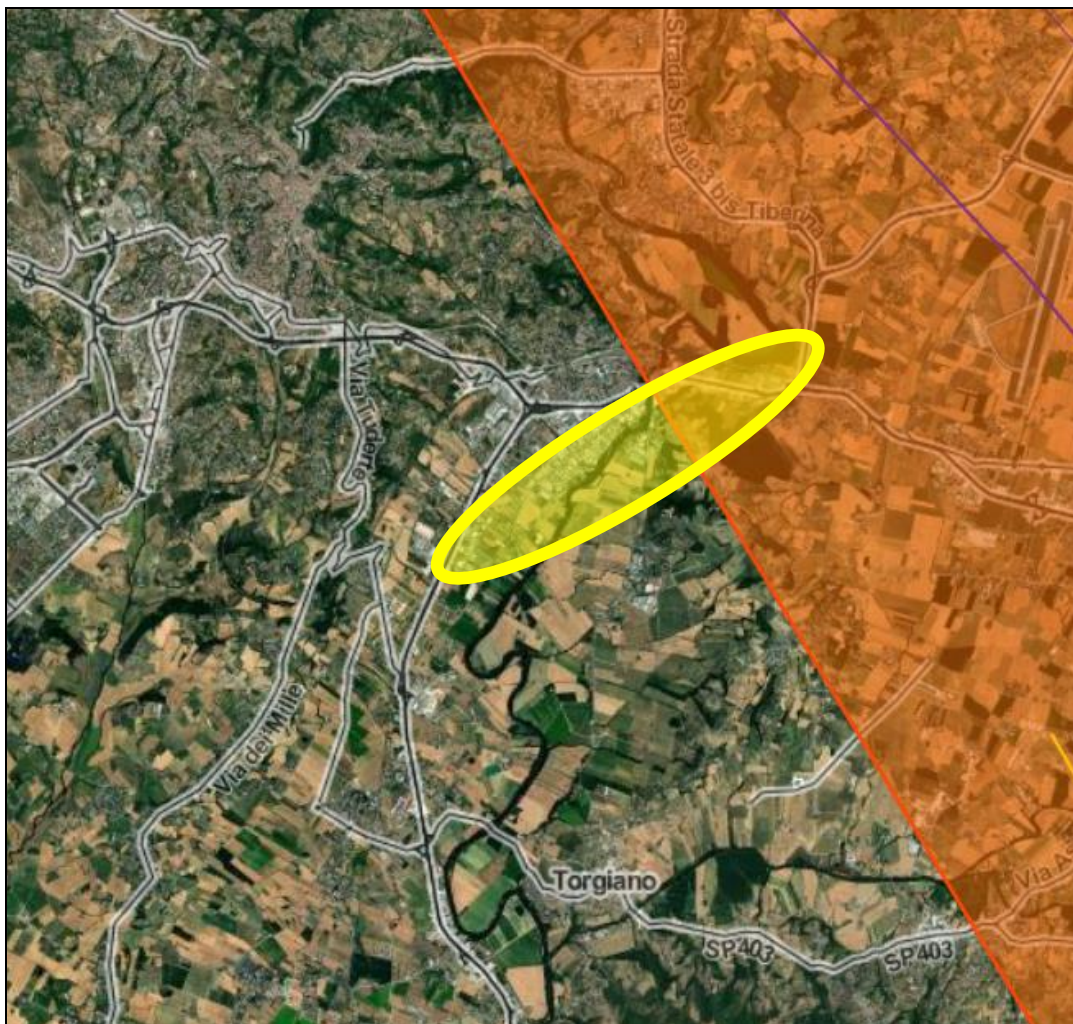


Figura 10.2 Database of Individual Seismogenic Sources (DISS 3.3.0 INGV) , evidenziata in giallo l’area di progetto.

Di seguito le informazioni ottenute dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 v2.0. Esso fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 nell'area d'interesse nella finestra temporale 1000-2017.

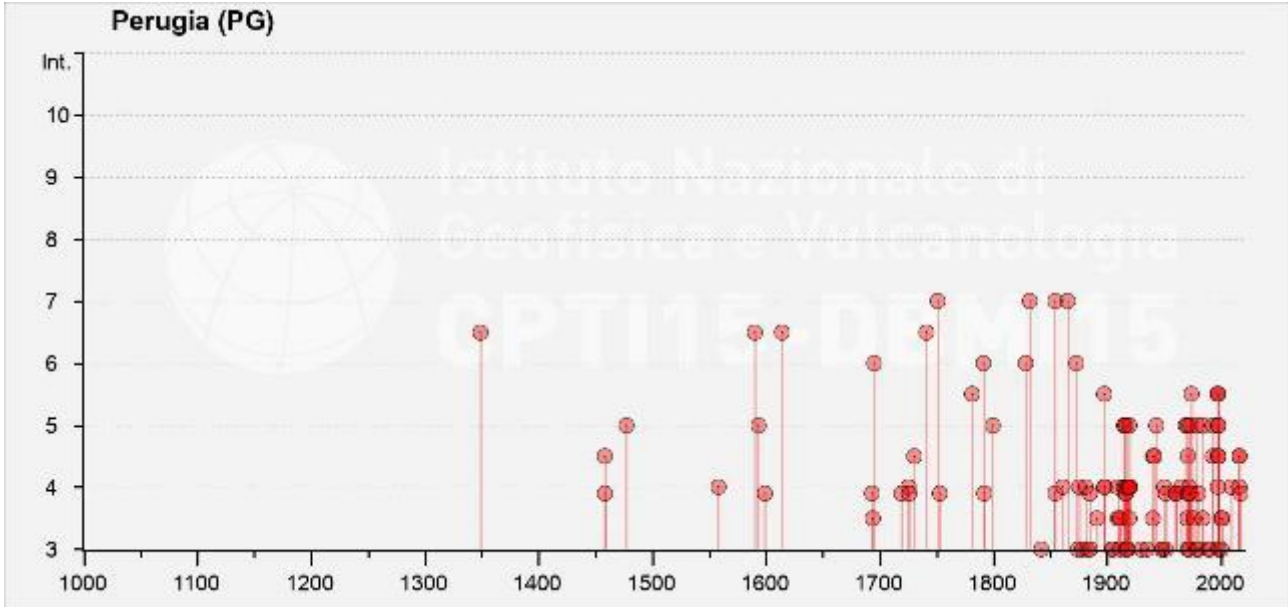


Figura 10.3 Distribuzione delle intensità risentite al sito (Is) dei terremoti verificatisi nell'area di Perugia dal 1000 al 2002.

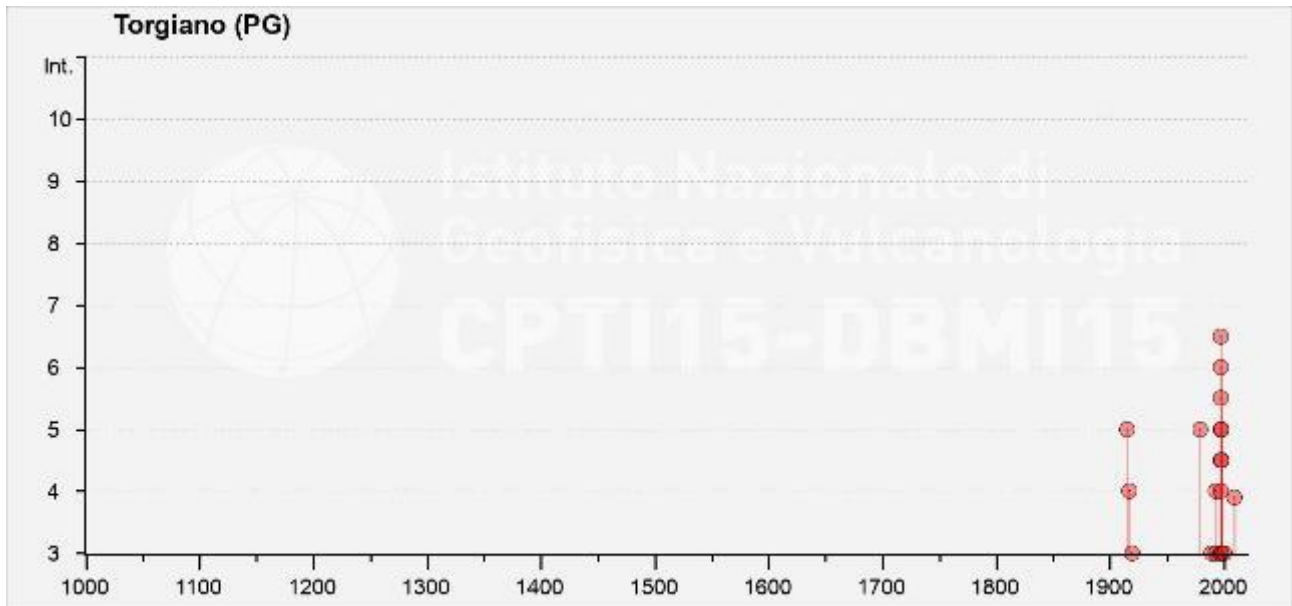


Figura 10.4 Distribuzione delle intensità risentite al sito (Is) dei terremoti verificatisi nell'area di Torgiano dal 1000 al 2002.

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

PROGETTAZIONE ATI:

del catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CApable faults) evidenzia la presenza principalmente di due lineamenti di grandi dimensioni posti in prossimità del tracciato, oltre a numerosi elementi di rango secondario e primario posti a distanze maggiori.

La faglia più prossima corre circa parallelamente al tracciato ad una distanza di 4 km da esso, misurata in direzione NNO; si tratta della faglia Perugia (id: 62700) con cinematica normale. La faglia è lunga 21,3 km e immerge a SSE, con poche altre informazioni disponibili relativamente alla sua attività e geometria.

La seconda faglia appartiene al Sistema della Valle del Tevere ed è la faglia denominata Alta Valle del Tevere (id: 62405). La faglia si estende per 40 km in direzione NO-SE con immersione verso SO; ha cinematica normale e dista circa 7,9 km dal settore orientale del tracciato.

Anche per quest'ultima scarseggiano le informazioni disponibili relativamente al suo stato di attività e alla sua geometria.

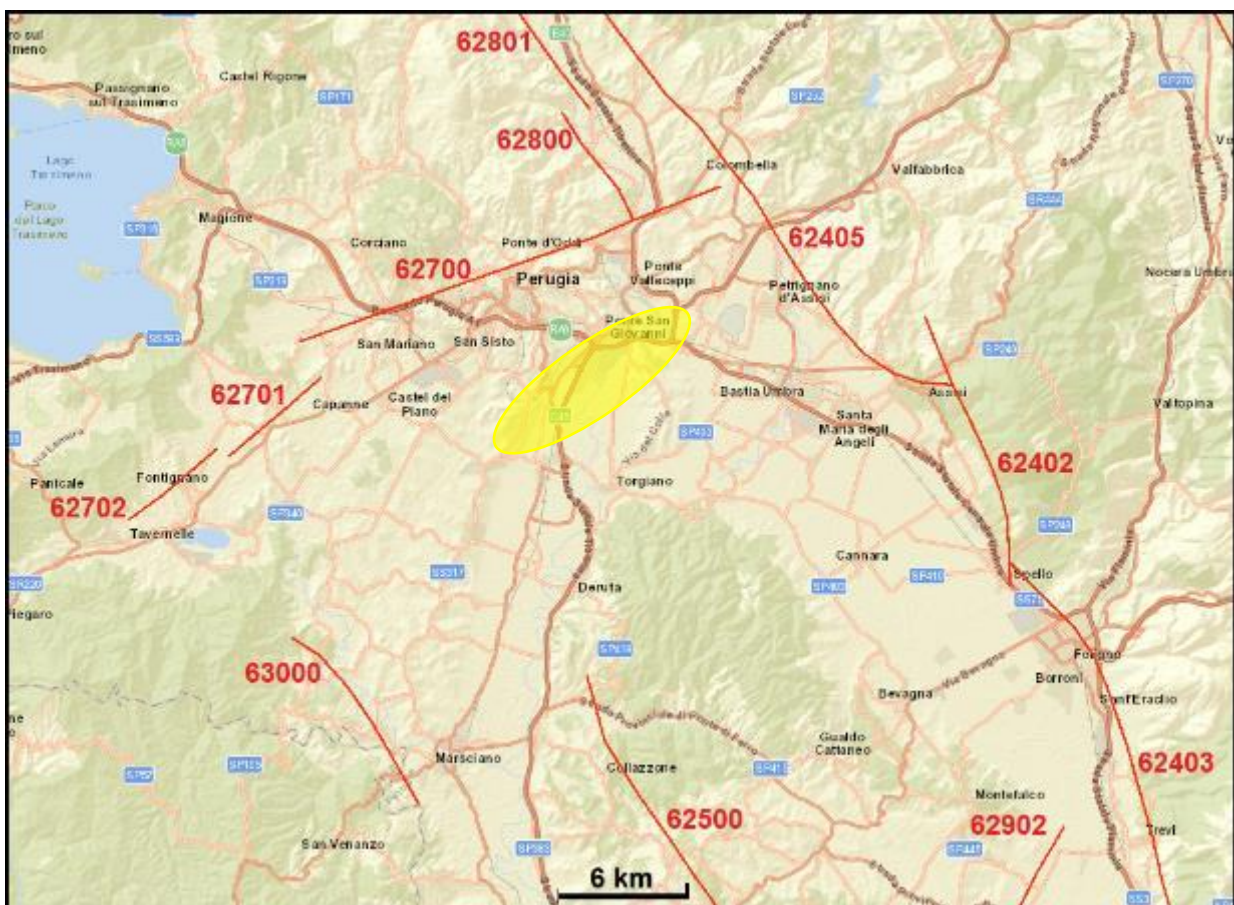


Figura 10-5 Schermata dal portale *Webgis* dell'ISPRA (ITHACA – CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI - <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html>), modificata con l'indicazione dei codici identificativi del catalogo. Evidenziata in giallo: area del progetto.

Altre informazioni relative alle faglie poste a maggiori distanze sono riportate nella tabella seguente.

Id. Faglia	distanza dal tracciato (m)	nome	sistema	estensione (km)	immersione	cinematismo
62700	4,0	Perugia	Perugia	21,3	SSE	normale
62800	7,5	Alta Valle del Tevere (antitetica)	Alta Valle del Tevere (antitetica)	6,2	SSE	normale

PROGETTAZIONE ATI:

Id. Faglia	distanza dal tracciato (m)	nome	sistema	estensione (km)	immersione	cinematismo
62405	7,9	Alta Valle del Tevere	Valle del Tevere	39,7	SO	normale
62701	12,2	Perugia	Perugia	5,8	SSE	normale
62801	12,3	Alta Valle del Tevere (antitetica)	Alta Valle del Tevere (antitetica)	5,6	SSE	normale
62402	12,9	Valle di Spoleto	Valle del Tevere	13,6	OSO	normale
62500	17,0	Monti Martani	Monti Martani	37,9	OSO	normale
62702	17,6	Perugia	Perugia	5,4	SSE	normale
62403	20,1	Valle di Spoleto	Valle del Tevere	26,9	OSO	normale
63000	22,4	Marsciano	Marsciano	10,1	NE	normale
62902	30,7	Montefalco	Valle di Spoleto (antitetica)	7,7	ESE	normale

Tabella 10-1 Faglie Capaci prossime all'area di progetto, dal catalogo ITHACA.

Per maggiori dettagli sugli aspetti sismici e sulla caratterizzazione sismica dell'area interessata dal progetto si rimanda alla relazione sismica, parte del presente studio (T00GE03GEORE01).

ALLEGATI

Allegato 1 - Schede delle Stazioni Geomeccaniche

PROGETTAZIONE ATI:

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

STAZIONE	SG1	SCHEDA DI RILIEVO N°	1	DATA ESECUZIONE	13/07/2022
GIACITURA FRONTE	dir. 260° N incl.65° fronte SE	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 4773325 X: 292536	QUOTA	193 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 geomeccanica SG1 è ubicata in prossimità di una vecchia cava di arenaria, a circa 500 m a nord dell'imbocco ovest della galleria in progetto. Il versante oggetto della stazione di misura è una ripida scarpata orientata circa N-S con strati immergenti verso E con inclinazioni medio-basse (20-30°). L'affioramento si presenta come un'alternanza di strati di arenaria fine beige spessi da 5 a 60 cm, alternate a pacchi di peliti biancastre in strati centimetrici, che tendono a frantumarsi in scaglette. Il rapporto A/P (arenaria/pelite) è approssimativamente uguale a 1/5. Nel complesso l'affioramento si trova in condizioni di moderata alterazione, asciutto, con un grado di fratturazione medio. Oltre alla stratificazione con giacitura 115/30 (immersione/inclinazione) caratterizzata da spaziatura stretta, si riconoscono due famiglie di discontinuità sistematiche, subortogonali tra loro, ad alto angolo di inclinazione e immersione dei giunti rispettivamente verso SO e N; entrambe le famiglie di giunti presentano spaziature variabili tra i 0,5 e i 2 m.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

UCS arenaria da manello di Schmidt, UCS frazione marnoso-pellica da prove di lab. (8.7 Mpa); rapporto A/P = 1/5

Classe	R	σc (MPa)	σ ₉₀ / σ ₁ T	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	2-3
Molto bassa	0	1-5		1

3

prove sclerometriche

FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	+	27	28	32	34	35	36	37	41	43	45	37

eseguita sugli strati di arenaria

FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	+	27	28	32	34	35	36	37	41	43	45	37

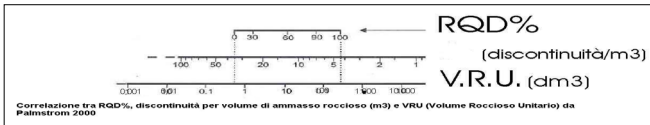
*le misure sono ordinate in ordine crescente, vengono scartate le cinque più basse

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)

10



R5 - CONDIZIONI IDRICHE AMMASSO

Condizioni generali	Venute d'acqua per 10 m di lunghezza (l/min)	σw/σh	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	X
Umidità	<10	<0.1	15
Bagnata	10-25	0,1-0,2	10
Stillicidio	25-125	0,2-0,5	7
Venute	>125	>0,5	4

15

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						12-19
Moderata	20 - 60 cm						8-12
Stretta	6-20 cm	X	X	X			6-8
Molto stretta	< 6 cm						5

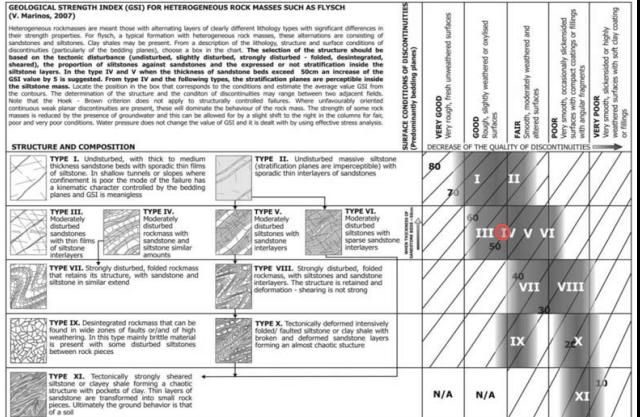
7

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

RMR - BIENIAWSKI (1989)

PARAMETRI		COEFF.	
Resistenza roccia intatta	R1		3
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2		10
Spaziatura discontinuità	R3		7
Condizioni delle discontinuità	R4		19
Presenza di acqua nella roccia	R5		15
Compensazione orientazione	R6		0
RMR base		54	
CLASSE DI BIENIAWSKI		II	
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente
100-81	80-61	60-41	40-21
		< 20	

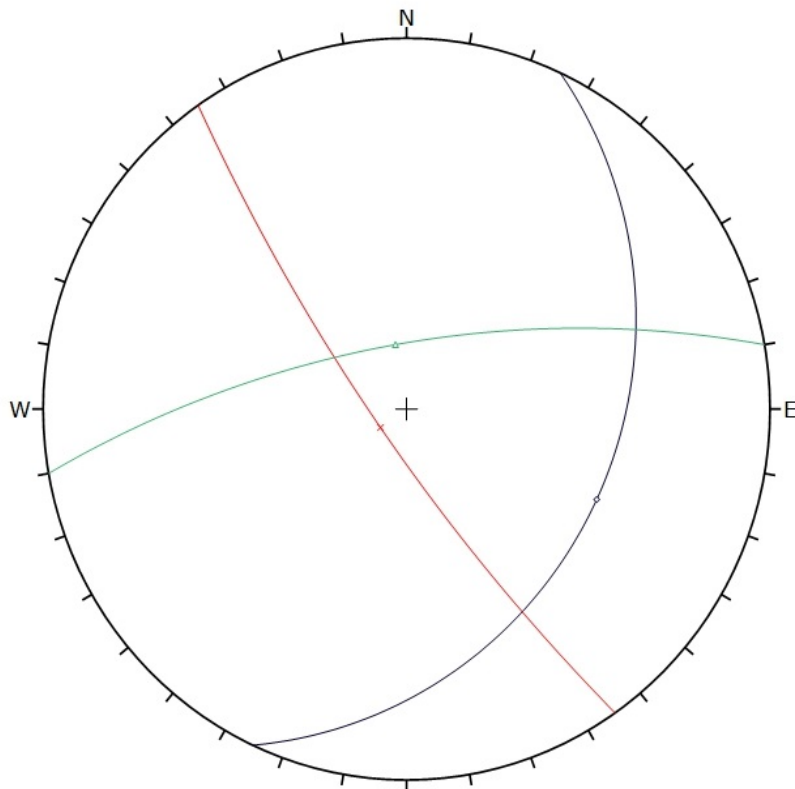


RMR base	54
GSI = RMR base (secco) - 5 =	49

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	30	115	S
2	80	235	J
3	70	350	J



Symbol	Dip Direction
◇	115
×	235
△	350

Plot Mode	Dip Vectors
Vector Count	3 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count Jv	19,0	Volume blocchi affioramento Vb	0,003 < Vb < 0,2 m ³
Rock Quality Designation RQD <small>(da Palmstrom, 1982)</small>	52	Volume max rilevato nell'area Vb_{max}	0,07 m³

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

STAZIONE	SG2	SCHEDA DI RILIEVO N°	2	DATA ESECUZIONE	13/07/2022
GIACITURA FRONTE	dir. 260° N incl.65° fronte SE	COORDINATE* (WGS 84)	Y: 4773358 X: 292543	QUOTA	193 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 geomeccanica SG1 è ubicata in prossimità di una vecchia cava di arenaria, a circa 500 m a nord dell'imbocco ovest della galleria in progetto. Il versante oggetto della stazione di misura è una scarpata orientata circa N-S, con strati immergenti verso E con inclinazioni medio-basse (20-30°). L'affioramento si presenta come un banco metrico di arenaria massiva baige, poggiate su un'alternanza di strati decimetrici di arenaria baige e peliti biancastre, che tendono a frantumarsi in scaglie. Il rapporto A/P (arenaria/pelite) è approssimativamente uguale a 2/1. Nel complesso l'affioramento si trova in condizioni di leggera alterazione, asciutto, con un grado di fratturazione medio. Oltre alla stratificazione con giacitura 90/25 (immersione/inclinazione) caratterizzata da spaziatura da moderata a larga, si riconoscono due famiglie di discontinuità sistematiche, subverticali, immergenti rispettivamente verso SE e ONO; entrambe le famiglie di giunti presentano spaziature variabili tra i 0,1 e i 1,5 m.

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

R1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

UCS arenaria da manello di Schmidt, UCS frazione marnoso-pellica da prove di lab. (8,7 Mpa); rapporto A/P = 2/1

Classe	R	σc (MPa)	15 50 p ₁ T	Coeff.
Molto alta	> 59	> 250	> 10	15
Alta	43-58	100-250	4-10	10-15
Medio - alta	30-42	50 - 100	2-4	X 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

FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	+	31	28	32	35	35	36	37	38	40	41	35

eseguita sugli strati di arenaria

FAM	orient.	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	media corretta
1												
2												
3												
4												
roccia intatta	+	31	28	32	35	35	36	37	38	40	41	35

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

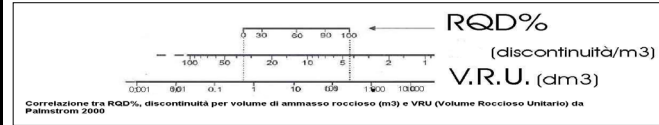
R2 - RQD

Qualità	%	s (cm)*	Coeff.
Eccellente	90-100	60-200	18-20
Buona	75-90	20-60	15-18
Discreta	50-75	10-20	X 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 10 m di lunghezza (l/min)	σw/σh	Coeff.
Asciutta	nessuna	0	X 15
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



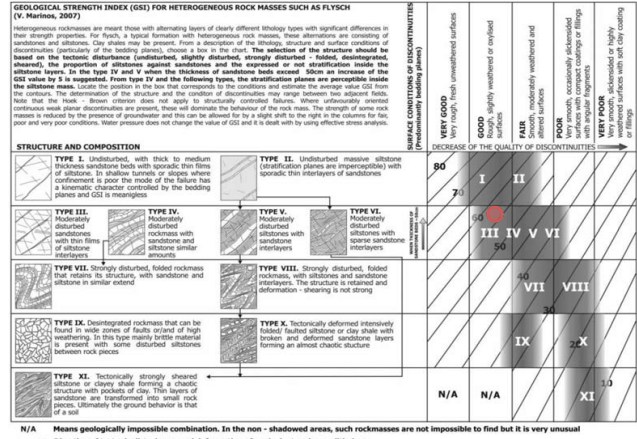
R3 - SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'

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

RMR - BIENIAWSKI (1989)				
PARAMETRI			COEFF.	
Resistenza roccia intatta	R1	6		
Rock Quality Designation (R.Q.D.)	R2	11		
Spaziatura discontinuità	R3	11		
Condizioni delle discontinuità	R4	20		
Presenza di acqua nella roccia	R5	15		
Compensazione orientazione	R6	0		
RMR base			63	
CLASSE DI BIENIAWSKI				
I ottima	II buona	III discreta	IV scadente	V molto scad.
100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

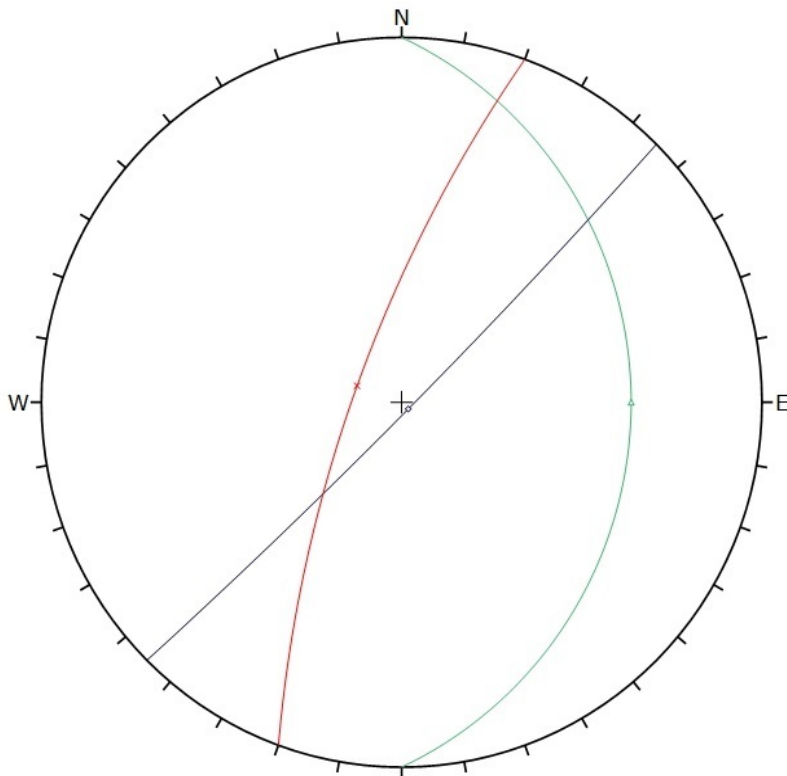


RMR base	63
GSI = RMR base (secco) - 5 =	58

RILIEVO GEOLOGICO STRUTTURALE

PROIEZIONI STEREOGRAFICHE

ID / FAMIGLIA	INCLINAZIONE (°)	IMMERSIONE (°)	TIPO
1	25	90	S
2	87	135	J
3	75	290	J



Symbol	Dip Direction
△	90
◇	135
×	290

Plot Mode	Dip Vectors
Vector Count	3 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

INDICI VOLUMETRICI / VOLUMI

Volumetric Joint Count J_v	17	Volume blocchi affioramento V_b	0,507 < V _b < 0,0 m ³
Rock Quality Designation RQD <small>(da Palmstrom, 1982)</small>	60	Volume max rilevato nell'area V_bmax	0,07 m³

Allegato 2 - Indagini geognostiche della Regione Umbria

PROGETTAZIONE ATI:

SONDAGGIO - N°: S1



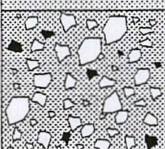


Ubicazione cantiere : **BALANZANO**

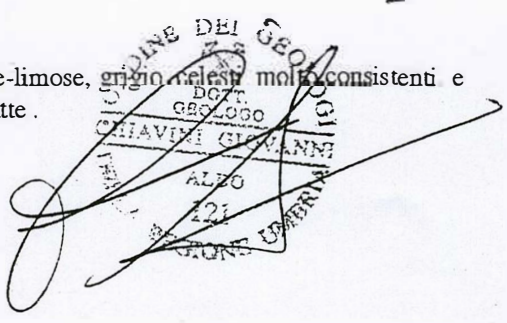
RELATORE

Data : 21/05/2002

Dr. Giovanni Chiavini
Geologo

Oggetto: **IMPIANTO INDUSTRIALE.**

profondità'	Colonna Stratigrafica	DESCRIZIONE - STRATIGRAFICA	Profondità	S.P.T. N colpi	"Cu" pocket (kg/cmq)
1.00		Terreno vegetale .			
1,20		Sabbie-limose giallo ocrace addensate.	2,0	11	
2.00		Conglomerato e ciottoloso poligenici ed eterometrico, anche grossolano φ max= 10 cm. in matrice sabbiosa grossolana .		27	
2,20				40	
3.00					
4.00		Limi-argillosi sabbiosi, avana, consistenti.			1,0
4,50					
5.00		Argille-limose, grigio-nerastre molto consistenti e compatte .			1,0
6.00					1,7
7.00					1,5
8.00					1,5
9.00					1,2
10.00					1,7
10,00					
11.0					
12.0					
13.0					
14.0					
15.0					
16.0					



 ORDINE DEI GEOL. ITALIANI
 DOTT. G. CHIAVINI
 ALBO
 121
 REGIONE UMBRA

CAMPIONI INDISTURBATI S = Shelby D = Denison O = Osterberg P = Percussione Campioni rimaneggiati = R	Note :	MISURA FALDA ACQUIFERA	
		Data	Livello acqua


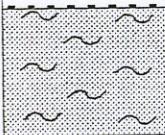
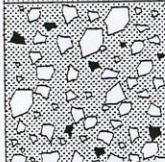
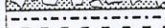

SONDAGGIO - N°: S3

Ubicazione cantiere : BALANZANO

RELATORE
Dr. Giovanni Chiavini
Geologo

Data : 21/05/2002

Oggetto: IMPIANTO INDUSTRIALE.

profondita'	Colonna Stratigrafica	DESCRIZIONE - STRATIGRAFICA	Profondità	S.P.T. N colpi	"Cu" pocket (kg/cmq)
1.00		Terreno vegetale .	1,5	6	
2.00		Sabbie-limose giallo ocrace addensate.		12	
2.70		Conglomerato e ciottoloso poligenici ed eterometrico, anche grossolano φ max= 10 cm. in matrice sabbiosa grossolana .		13	
4.00		Limi-argillosi sabbiosi, avana, consistenti.			1,0
4.70		Argille-limose, grigio-celestino molto consistenti e compatte .			1,2
5.10					
6.00					
7.00					
8.00					
9.00					
10.0					
11.0					
12.0					
13.0					
14.0					
15.0					
16.0					

[Handwritten signature and stamp]
 REGIONE DEL CAPO
 CHIAVINI GIOVANNI
 121
 REGIONE UMBRA

CAMPIONI INDISTURBATI
 S = Shelby D = Denison
 O = Osterberg P = Percussione
 Campioni rimaneggiati = R

Note :

MISURA FALDA ACQUIFERA	
Data	Livello acqua

* OMEGA SONDAGGI S. N. C. *
 di Carletti - Calzuola & C.
 Via Madonna Alta n. 85 - Tel. 075/71752
 06100 PERUGIA
 Codice Fiscale
 e Partita IVA 0131801054

committente Comune di Perugia

localita' Collestrada - PG -

data inizio perforazione 5/2/86

data ultimazione perfor. 6/2/86

quota p. c. m.

SONDAGGIO N° 1

perforazione effettuata con sistema a rotazione

% di caro- tag- gio. (%)	pro- fon- dita. (m)	litologia	descrizione litologica	campioni prelevati	S. P. T.		pocket penetrom. kg/cm ²
					colpi (n°)		
			Terreno vegetale.				
	1						
	2		Limi-argillosi, marroni e giallastri contenenti concrezioni calcaree.				
	3		Argille-limose grigie con concrezioni calcaree. Limi-sabbiosi giallastri e grigi mediamente addensati. Sabbie eterometriche giallastre mediamente addensate				
	4		Ghiaia poligenica, eterometrica in matrice sabbiosa sciolta.				
	5						
	6						
	7						
	8						
	9		Argille-limose marroni e grigiastre molto compatte. Limi debolmente argillosi, marroni e grigi ben addensati.				
	10		limi-grigi e azzurri ben addensati. Argille azzurre compatte.				

% di caro- tag- gio. (%)	pro- fon- dita: (m)	litologia	descrizione litologica	campioni prelevati	S.P.T.		pocket penetrom. kg/cm ²
					colpi (n)		
			Limi-sabbiosi azzurri molto addensati con rare concrezioni calcaree.				
			Sabbie eterometriche debolmente limose ben addensate				
	11		Sabbie fini limose, grigiastre, di colore azzurro.				
	12		Sabbie eterometriche grigie e azzurre mediamente addensate.				
	13		Limi-sabbiosi molto addensati grigi e azzurri.				
			Sabbie debolmente limose mediamente addensate.				
	14		Limi debolmente sabbiosi.				
	15		Argille grigie plastiche con frustoli vegetali torbificati.				
	16						
	17						
	18						
	19						
	20						

* OMEGA SONDAGGI s.n.c. *

di Carliotti - Calzuola & C.

Via Madonna Alta n. 25 - Tel. 075/71752

06100 PERUGIA

Codice Fiscale 01313010541
e Partita IVA

committente Comune di Perugia

località Collestrada - PG -

data inizio perforazione 6/2/86

data ultimazione perfor. 18/2/86

SONDAGGIO N° 2

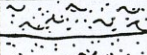
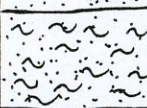


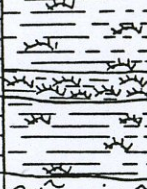
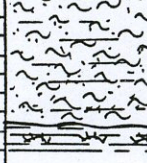
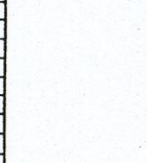
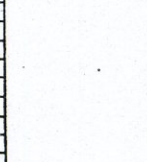
quota p.c. m.

perforazione effettuata con sistema a rotazione

% di caro- tag- gio. (%)	pro- fon- dita. (m)	litologia	descrizione litologica	S.P.T.		pocket penetrom. kg/cm ²
				colpi (n)		
			Terreno vegetale.			
	1					
	2		Ghiaia eterometrica poligenica in matrice sabbiosa sciolta.			
	3					
	4					
	5		Limi-sabbiosi giallastri mediamente addensati.			
	6		Ghiaia poligenica eterometrica in matrice sabbiosa sciolta.			
	7		Limi-argillosi debolmente sabbiosi giallastri e grigi.			
	8		Sabbie fini limose giallastre e grigie molto addensate.			
	9		Ghiaia eterometrica poligenica. Sabbie fini limose. Ghiaia in matrice sabbioso-limosa.			
	10		Limi debolmente sabbiosi giallastri.			

P - PERUGIA



% di caro- tag- gio. (%)	pro- fon- dita (m)	litologia	descrizione litologica	campioni prelevati	S.P.T.			pocket penetrom. kg/cm ²
					colpi (n)			
			Sabbie-limose giallastre, laminate.					
	11		Limi-sabbiosi e sabbie-limose di colore grigio-azzurro ben addensati.					
	12		Limi grigi ben addensati. Argille grigie con torba.					
	13		Argille grigie compatte con gusci di piccoli molluschi. Argille grigie e marroni, plastiche. Torba.					
	14		Argille grigio-azzurre poco compatte con tracce di torba. Torba con argilla.					
	15		Argille grigio-azzurre, con tracce di torba e gusci di piccoli molluschi.					
	16		Limi-sabbioso argillosi molto addensati, grigio-azzurri con tracce di torba e gusci di piccoli molluschi e rare concrezioni calcaree.					
	17		Argille compatte con tracce di torba e gusci di piccoli molluschi.					
	18							
	19							
	20							


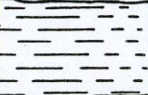


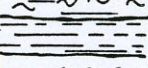

* OMEGA SONDAGGI s.n.c. *
 di Carlini - Calucola & C.
 Via Madonna Alta n. 25 - Tel. 075/71752
 06100 PERUGIA
 Codice Fiscale e Partita IVA 01313010541

committente Comune di Perugia
 localita' Collestrada - PG -
 data inizio perforazione 18/2/1966
 data ultimazione perfor. 19/2/1966
 quota p.c. m.

SONDAGGIO N° 3
 perforazione effettuata con sistema a rotazione

% di caro- tag- gio. (%)	pro- fon- dita. (m)	litologia	descrizione litologica	S. P. T.		pocket penetrom. kg/cm ²
				colpi (n)		
			Terreno vegetale.			
	1		Ghiaia poligenica, eterometrica a matrice sabbiosa sciolta.			
	2		Sabbie-limose giallastre, laminate, ben addensate.			
	3		Limi debolmente sabbiosi giallastri ben addensati.			
	4		Sabbie-limose giallastre ben addensate. Argille-limose marroni.			
	5		Sabbie-limose giallastre intercalate a sottili livelli prevalentemente argillosi.			
	6		Argille debolmente limose con concrezioni calcaree. Sabbie debolmente limose giallastre.			
	7		Argille-limose giallastre, laminate, compatte.			
	8		Limi giallastri molto addensati. Argille giallastre e azzurre con gusci di molluschi.			
	9		Argille grigie con tracce di torba. Argille grigie e marroni con abbondanti tracce di torba. torba con argilla. Torba e lignite Argille limose brune con tracce di torba.			
	10		Argille grigio-azzurre molto compatte con tracce di torba. Limi grigi molto addensati. Limi-sabbiosi e sabbie-limose.			

DIREZIONE

% di caro- tag- gio. (%)	pro- fon- dita: (m)	litologia	descrizione litologica	campioni prelevati	S.P.T.			pocket penetrom. kg/cm ²
					colpi (n)			
								
	11		Argille grigie plastiche.					
	12		Limi-argillosi debolmente sabbiosi.					
	13		Limi-argillosi di colore grigio azzurro.					
	14		Argille plastiche.					
	15		Limi-sabbiosi prevalenti.					
	16							
	17							
	18							
	19							
	20							

**Geoprogram - studio associato
di Mencarelli I. & Masetti R.**

Via Renata, 39 - PERUGIA
Tel/Fax 075-5004274

COMMITTENTE : IMPRESA EDILE RE.CE.STO.

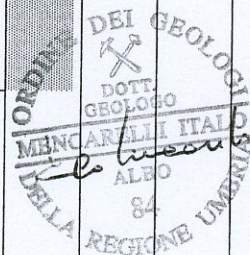
LOCALITA' : VIA DIAZ
COMUNE : PERUGIA
PROVINCIA : PERUGIA

SONDAGGIO N. 1

INIZIO PERFORAZIONE 15-02-94
FINE PERFORAZIONE 15-02-94

ATTREZZATURA : PERFORATRICE COMAN
PERFORAZIONE : CAROTAGGIO CONTINUO $\Phi = 101$ mm
UTENSILE : WIDIA
FLUIDO : ACQUA
INCLINAZIONE : 0°
QUOTA :

Profondità dal p.c. (m)	LITOLOGIA	campionamento H ₂ O	DESCRIZIONE	% carotaggio	pocket penetr. (Kg/cmq)	vane test (Kg/cmq)	S.P.T. (N. colpi)	PARAMETRI GEOTECNICI		
								τ (V/mc)	ϕ (°)	c (V/mq)
			pezzame arenaceo eterometrico in matrice limo-sabbiosa	50						
			riporto limo-sabbioso nocciola con pezzame arenaceo disperso e resti di laterizio							
1			pezzame eterometrico di marne e arenarie in matrice limo-sabbiosa							
2			riporto sabbioso-limoso nocciola, scarsamente addensato, con residui carboniosi scuri e piccoli frammenti lapidei		0.5					
			pezzame arenaceo e marnoso grossolano in matrice sabbioso-limosa grigiastrea							
3			argilla limosa grigio-verdognola, di consistenza molle, contenente piccoli elementi clastici dispersi		0.6					
4		assente	limo sabbioso-argilloso nocciola con clasti travertinosi (di dimensioni da millimetriche a 1-2 cm) dispersi e frequenti residui carboniosi scuri. A partire dai 4.0 m il sedimento acquista colore giallo-nocciola e aumenta la frazione granulare		1.0					
5										
6			basamento roccioso molto alterato e degradato		2.0					
			basamento roccioso costituito da arenarie a grana fine, di colore grigio-giallognolo, in strati di spessore intorno al decimetro, alternate a marne siltose grigiastre, quantitativamente prevalenti							
7										
8										
9										
10										



**Geoprogram - studio associato
di Mencarelli I. & Masetti R.**

Via Renata, 39 - PERUGIA
Tel/Fax 075-5004274

COMMITTENTE : IMPRESA EDILE RE.CE.STO.

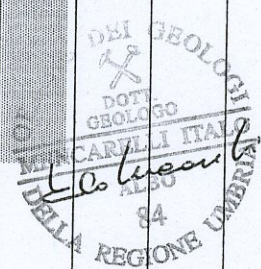
LOCALITA' : VIA DIAZ
COMUNE : PERUGIA
PROVINCIA : PERUGIA

SONDAGGIO N. 2

INIZIO PERFORAZIONE 17-02-94
FINE PERFORAZIONE 17-02-94

ATTREZZATURA : PERFORATRICE COMAN
PERFORAZIONE : CAROTAGGIO CONTINUO $\Phi = 101$ mm
UTENSILE : WIDIA
FLUIDO : ACQUA
INCLINAZIONE : 0°
QUOTA :

Profondità dal p.c. (m)	LITOLOGIA	campionamento H ₂ O	DESCRIZIONE	% carotaggio	pocket penetr. (Kg/cm ²)	vane test (Kg/cm ²)	S.P.T. (N. colpi)	PARAMETRI GEOTECNICI		
								γ (t/m ³)	ϕ (°)	c (t/m ²)
0			pezzame arenaceo eterometrico in matrice limo-sabbiosa	50						
0.5			riporto limo-sabbioso nocciola con pezzame arenaceo disperso e resti di laterizio							
1			pezzame eterometrico di marne e arenarie in matrice limo-sabbiosa							
1.5										
2			riporto sabbioso-limoso marrone-nocciola, scarsamente addensato, con residui carboniosi scuri, frammenti lapidei e resti di laterizio							
2.5										
3			pezzame lapideo grossolano in matrice sabbioso-limoso grigiastro							
3.5			limo sabbioso-argilloso giallo nocciola con clasti travertinosi (di dimensioni da millimetriche a 1-2 cm) dispersi e frequenti residui carboniosi scuri.	3.0						
4		assente	basamento roccioso molto alterato e degradato							
4.5										
5			basamento roccioso costituito da arenarie a grana fine, di colore grigio-giallognolo, in strati di spessore intorno al decimetro, alternate a marne siltose grigiastre, quantitativamente prevalenti							
5.5										
6										
6.5										
7										
7.5										
8										
8.5										
9										
9.5										
10										



Sondaggio N° 2

**IMPRESA ESECUTRICE
GEOTECNICA LAVORI s.r.l.
PERUGIA**

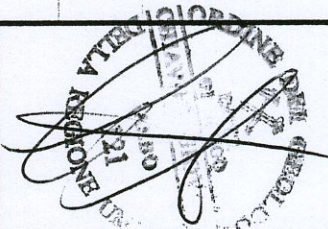
- Assistenza Sondaggi -
Dr. Geol. Giovanni Chiavini

Committente : COMUNE DI PERUGIA
 Oggetto : INDAGINI GEOGNOSTICHE
 Cantiere : LOTTIZZAZIONE COLLESTRADA (Perugia)
 Tipo di attrezzatura : Carotiere semplice , data : dal 24/1/97 al 24/1/97

Profondità	CAMPIONI	Carotaggio % recupero	STRATIGRAFIA	Strumento Installato	DESCRIZIONE - STRATIGRAFICA	"Cu" Pocket (kg/cm ²)	Profondità	S.P.T. N colpi
1.00				Piezometro : tubo-aperto	limo-argillo-sabbiosi consistenti , marrone scuro (nero), con chiazze fiammate giallo-ocrace, celesti e con numerosi inclusi calcareo travertinosi.	1,5	3,00	7 12 18
2.00								
3.00								
4.00				Argille-sabbiose-limose, consistenti, marroni scure con chiazze varicolori (grigio , celesti ,gialli), con inclusi travertinosi (calcinello) .	1,5	1,2	8,50	8 12 18
5.00								
6.00								
7.00								
8.00								
9.00				Argille-sabbiose-limose, marroni avana consistenti , con intercalati livelli prevalentemente sabbiosi-limosi giallo-ocracei . (Al mt. 12,0 è presente un livello argilloso grigio-celeste, mediamente consistenti.)	1,0	0,7	18 19 22	
10.00								
11.00								
12.00					1,0			
13.00								
14.00								
15.00								
16.00								
17.00								

**CAMPIONI INDISTURBATI
CAROTIERI**

- S = Shelby
- O = Osterberg
- M = Mazier
- D = Denison
- P = Percussione



MISURA FALDA ACQUIFERA

Data	Livello acqua

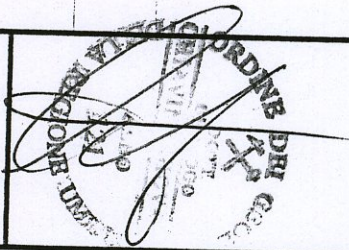
Committente : COMUNE DI PERUGIA
 Oggetto : INDAGINI GEOGNOSTICHE
 Cantiere : LOTTIZZAZIONE COLLESTRADA (Perugia)
 Tipo di attrezzatura : Carotiere semplice , data : dal 18/1/97 al 18/1/97

Profondità	CAMPIONI	Carotaggio % recupero	STRATIGRAFIA	Strumento Installato	DESCRIZIONE - STRATIGRAFICA	"Cu" Pocket (kg/cmq)	Profondità	S.P.T. N colpi
-1.00					Terreno vegetale limo-sabbioso e/o sabbioso-limoso, avana giallastro.			
-2.00					Limi-argillose, consistenti, marroni scure con chiazze varicolori (grigio, celesti, gialli), con inclusi travertino (calcinello).	1,2	3,00	11 13 25
-3.00								
-4.00								
-5.00					Sabbie dedolmente limose, anche grossolana giallo ocrea.			
-6.00					Argille-limose, grigio-celesti consistenti, con chiazze giallo ocree .	1,0 1,5 1,2	8,50	9 11 17
-7.00								
-8.00								
-9.00					limi-Argillosi marroni avana, consistenti, con intercalati livelli prevalentemente sabbiosi-limosi giallo-ocraei .	1,0		
-10.0								
-11.0								
-12.0					Argilla limosa grigio-celeste, mediamente consistenti, con tracce di torba.	0,8 1,0	16,0	11 19 22
-13.0								
-14.0								
-15.0								
-16.0								
-17.0								

CAMPIONI INDISTURBATI
CAROTIERI

S = Shelby
O = Osterberg
M = Mazier

D = Denison
P = Percussione



MISURA FALDA ACQUIFERA

Data	Livello acqua

Sondaggio N° 4

- Assistenza Sondaggi -
Dr. Geol. Giovanni Chiavini

IMPRESA ESECUTRICE
GEOTECNICA LAVORI s.r.l.
PERUGIA

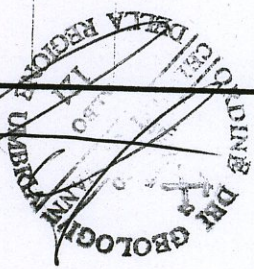
Committente : COMUNE DI PERUGIA
Oggetto : INDAGINI GEOGNOSTICHE
Cantiere : LOTTIZZAZIONE COLLESTRADA (Perugia)
Tipo di attrezzatura : Carotiere semplice , data : dal 17/1/97 al 18/1/97

Profondità	CAMPIONI	Carotaggio % recupero	STRATIGRAFIA	Strumento Installato	DESCRIZIONE - STRATIGRAFICA	"Cu" Pocket (kg/cmq)	Profondità	S.P.T. N colpi
		10 30 50 70 90			Terreno vegetale limo-argilloso, avana.			
					Limi-argillose, consistenti, marroni scure, con numerosi inclusi calcareo travertino.			7
					limi-Argillosi, marroni avana consistenti , con intercalati livelli prevalentemente sabbiosi-limosi giallo-ocracei .	0,9	2,50	9 14
					Argilla limosa grigio-celeste.			
						1,0		7
							7,00	11 16
						1,7		
					limi-Argillosi, marroni avana consistenti , con intercalati livelli prevalentemente sabbiosi-limosi giallo-ocracei .	1,2		
					Argilla limosa aragio-celeste. mediamente consistenti, con tracce di torba.	1,2		12
							15,5	12 16

Piezometro : tubo-aperto

**CAMPIONI INDISTURBATI
CAROTIERI**

- S = Shelby
- O = Osterberg
- M = Mazier
- D = Denison
- P = Percussione



MISURA FALDA ACQUIFERA

Data	Livello acqua

Sondaggio N° 5

- Assistenza Sondaggi -
Dr. Geol. Giovanni Chiavini

IMPRESA ESECUTRICE
GEOTECNICA LAVORI s.r.l.
PERUGIA

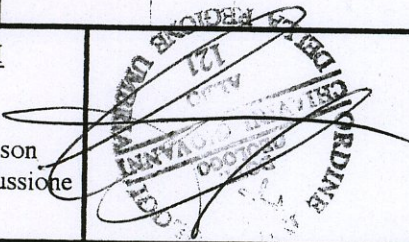
Committente : COMUNE DI PERUGIA
Oggetto : INDAGINI GEOGNOSTICHE
Cantiere : LOTTIZZAZIONE COLLESTRADA (Perugia)
Tipo di attrezzatura : Carotiere semplice , data : dal 16/1/97 al 17/1/97

Profondità	CAMPIONI	Carotaggio % recupero					STRATIGRAFIA	Strumento Installato	DESCRIZIONE - STRATIGRAFICA	"Cu" Pocket (kg/cmq)	Profondità	S.P.T. N colpi
		10	30	50	70	90						
0.00								Terreno vegetale limo-argilloso, avana.	0,5			
1.00								Limi-sabbiosi, marroni, poi giallo ocracei con numerosi inclusi calcareo travertino.				
2.50	S							limi-Argillosi, marroni avana consistenti , con intercalati livelli prevalentemente sabbiosi-limosi giallo-ocracei .	1,2	5,50	7 12 19	
3.00									1,5			
4.00												
5.00												
6.00												
7.00												
8.00												
9.00									1,2			
10.00												
11.00												
12.00												
13.00								Argillo-limosa, consistenti grigio celesti, intorno al mt. 13,0+13,50 di colore nero torbosi.	1,0			
14.00									1,0			
15.00									1,0			
16.00										15,0	20 31 36	
17.00												

CAMPIONI INDISTURBATI CAROTIERI

S = Shelby
O = Osterberg
M = Mazier

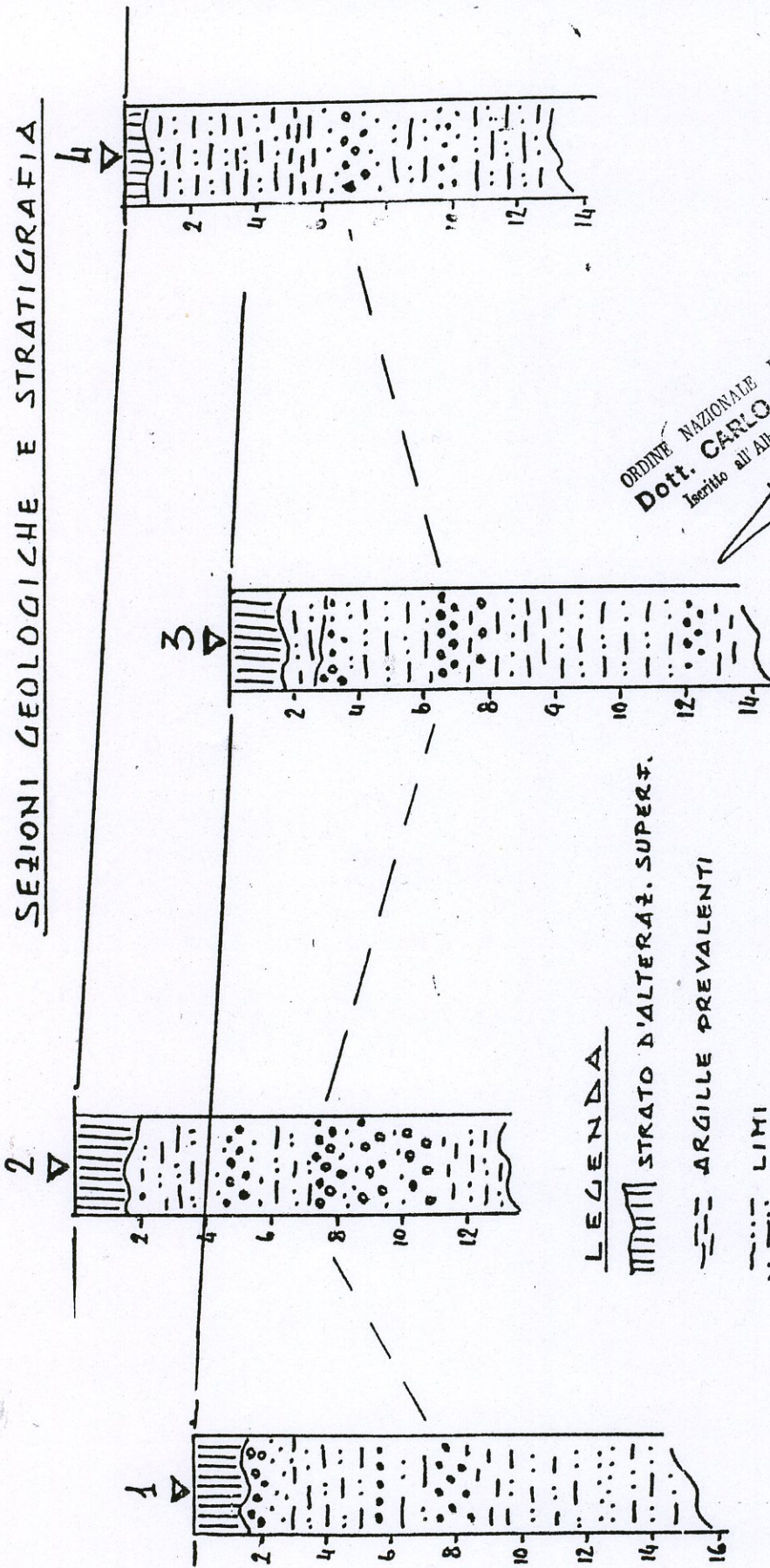
D = Denison
P = Percussione



MISURA FALDA ACQUIFERA

Data	Livello acqua

SEZIONI GEOLOGICHE E STRATIGRAFIA



ORDINE NAZIONALE DEI GEOLOGI
 Dott. CARLO CANTUTO
 Iscritto all'Albo col. N. 1882

[Handwritten signature]

1.7

QUOTE		STRATIGRAFIA	TIPO LITOLOGICO	⁽¹⁾ φ	⁽²⁾ γ	⁽³⁾ C	⁽⁴⁾ H ₂ O
P.C.	PARZ.						
			Terreno vegetale.				
1.0			Limi e sabbie prevalenti intercalate a livelli di argilla in prossimità della superficie.				
2.0							
3.0							
4.0							
5.0			Sabbie prevalenti.				
6.0							
7.0							
8.0			Chiaia eterometrica in matrice sabbiosa sciolta.				
9.0							
10.0			Argille e limi di colore grigio-nerro, so consolidati.				

- (1) φ = ANGOLO DI ATRIBO INTERNO (°)
- (2) γ = PESO DI VOLUME (T/M³)
- (3) C = COESIONE (KG/CM²)
- (4) H₂O = PROFONDITA DELLA FALDA

OSSERVAZIONI:


DEPURATORE - PONTE S. GIOVANNI

quota assoluta

scala 1:100

data esecuzione Agosto 84

sondaggio n. 1

Profondità dal piano comp.	Colonna Stratigraf.	Descrizione della Stratigrafia	Cronologia %	Profondità Carburi Indisidui.	Livello statico della falda e quota di riferimento	Parametri geotecnici
0,80	V.V. - V.V.	TERRENO VEGETALE				
		SABBIE LIMOSE A BASSA DENSITA'				
6,10	0-00 - 0-0	GHIAIE CEMENTATE			<u> </u>	
6,50	0-0 - 0-0 0-0 - 0-0 0-0 - 0-0 0-0 - 0-0	GHIAIA SABBIO- LIMOSA				
12,00	-					