



LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE
E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 21 KM 32+700
E KM 33 "VAL SILLARO" NEL COMUNE DI CASTEL DEL RIO
CUP C27H24000290001

PROGETTO ESECUTIVO

PROPRIETÀ E DIRITTI DEL PRESENTE DISEGNO SONO RISERVATI - la riproduzione e l'uso senza autorizzazione sono vietati - reproduction and copyright are reserved - reproduction is strictly forbidden	COMMITTENTE:	 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA		DIREZIONE GENERALE Servizio Struttura Speciale Alluvione via San Felice, 25 - 40131 BOLOGNA		
	FUNZIONI PROCEDIMENTO:	Responsabile Unico Procedimento: dott. Ing. Lucia MOLICA-FRANCO Supporto al RUP: dott. Ing. Mirko OCCHI dott. Ing. Sara PAGLIARULO		PROGETTO:		
REVISIONI: AGGIORNAMENTI:	7					
	6					
	5					
	4					
	3	CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA	REVISIONE	THS2024004_S04_Qb.III.01_R04	MAGGIO 2026	
1° EMISS.	2	CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA	REVISIONE	THS2024004_S04_Qb.III.01_R04	GENNAIO 2026	
	1	CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA	AGGIORNATO PER INTERVENTI KM 32+700 e km 33+00	THS2024004_S04_Qb.III.01_R04	04/12/2025	
		CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA	RELAZIONE GEOTECNICA	THS2024004_S04_Qb.III.01_R04	28/01/2025	
	RICHIEDENTE/APPLICANT:	OGGETTO:	FILE:	DATA:		
ELABORATO/DRAWN BY:		Ing. Claudio Comastri	CONTROLLATO/ CHECKED BY:	Ing. E.Comastri	APPROVATO/APPROVED BY:	Ing. Claudio Comastri
FIRMA/SIGNATURE		DATA/DATE	FIRMA/SIGNATURE	DATA/DATE	FIRMA/SIGNATURE	
PROGETTO:	UBICAZ:	STRADA PROVINCIALE N. 21 "VAL SILLARO"				
	OPERA:	COMUNE DI CASTEL DEL RIO				
ELAB.	Titolo	INTERVENTI ALLE PROGRESSIVE km 32+700 e km 33+00		SCALA:	REVISIONE:	DATA:
	2	RELAZIONE GEOTECNICA		-	3	MAGGIO 2026
				TAVOLA N.:	R04	

1 CODICE E TITOLI DI PROGETTO

Codice Commessa: THS2024004S04

Committente: Città Metropolitana di Bologna – Area Sviluppo delle Infrastrutture-Settore Strade Sicurezza e Ciclovie – via San Felice m.25 – 40131 Bologna

Opera: Strada provinciale SP n.21 "Val Sillaro"

Località: Comune di Castel del Rio (Bologna)

Incarico: Progetto esecutivo dei lavori per il ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle. CUP C27H24000290001

Determina di affidamento: N°812 del 09/05/2024 P.G. 30186/2024

Contratto: P.G. 2024/595860 del 13/09/2024

Periodo di attività: 2026

2 CODICE E TITOLO DEL DOCUMENTO

Responsabile del progetto: prof. ing. Claudio Comastri

Codice documento: THS2024004S4QIII.b.01 – R04

Titolo: Relazione Geotecnica

Pagine numerate: n.25

Fogli A4: n.26

Redazione: ing. Claudio Comastri

Controllo: ing. Elia Comastri

Approvazione: ing. Claudio Comastri

Data di approvazione: 04 maggio 2026

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 2 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

SOMMARIO

1	CODICE E TITOLI DI PROGETTO	2
2	CODICE E TITOLO DEL DOCUMENTO.....	2
3	PREMESSA.....	4
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
5	LEGGI E NORME TECNICHE.....	5
6	PRINCIPALI FONTI BIBLIOGRAFICHE	5
7	INTRODUZIONE	7
8	DESCRIZIONE DELLE OPERE	7
9	INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE	8
9.1.	Interventi al km 32+700.....	8
9.2.	Interventi al km 33+00.....	9
9.3.	Al km 33+00 sono state eseguite n.3 prove sismiche con tecnica (HVSr) tromino.....	9
10	CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA – AREA PONTE KM 32+700	10
11	ANALISI DEI VALORI RQD OTTENUTI CON I CAROTAGGI S4 E S5	10
12	MODELLI GEOTECNICI	12
13	FALDA.....	12
14	SISMICITA' AREE DI INTERVENTO	13
15	STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	14
16	CONCLUSIONI	14
17	ALLEGATI.	15

3 PREMESSA

L'alluvione del maggio 2023 ha colpito in particolare la regione Emilia-Romagna, provocando movimenti franosi, dissesti delle reti viarie, allagamenti e danni agli edifici, alle abitazioni, alle strutture, alle coltivazioni: sono stati stimati in diversi milioni di euro i danni provocati da questo evento estremo. Molte Persone hanno dovuto lasciare la propria casa o la propria attività lavorativa, per impossibilità di abitare e utilizzare gli stessi edifici, inondata da acqua e fango, e per la impossibilità di collegamento con il territorio per i crolli e le interruzioni delle strade e dei percorsi alternativi franati in diversi punti.

La rete viaria della Città Metropolitana di Bologna ha subito una serie di frane che hanno determinato in molti casi la necessità di interrompere temporaneamente l'agibilità del traffico veicolare e, in altri casi, la necessità di ridurre la larghezza della piattaforma stradale al tratto non collassato. Volumi importanti di terreno sono scivolati da monte a valle, coinvolgendo tratti di strade di lunghezze anche superiori al kilometro: in questi casi sono state semaforizzati i tratti agibili per consentire il mantenimento del collegamento. In tempi brevi sono state aperte tutte le strade ancorché con riduzione della carreggiata, con semaforizzazioni, con la segnaletica e le barriere di sicurezza. I lavori di consolidamento delle aree interessate dalle frane, delle scarpate di monte e di valle delle strade e delle strade stesse sono stati pianificati dalla Città Metropolitana di Bologna e sono state individuati i tratti di lavori con i relativi impegni economici di previsione.

La Città Metropolitana ha anche incaricato Studi e Società di Professionisti per elaborare i progetti esecutivi degli interventi di consolidamento.

Lo Studio ThesisEngineering è stato incaricato per la progettazione esecutiva di tratti stradali dell'alto Imolese: SP21 (via Sillaro) Comune di Castel del Rio

Questa relazione riporta l'elenco elaborati del progetto esecutivo dell'intervento della S.P.21 "Val di Sillaro".

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Per il progetto esecutivo del consolidamento del versante a monte e a valle dei tratti di strada interessati dalle frane si è fatto riferimento ai risultati delle indagini condotte immediatamente dopo l'evento alluvionale, alle informazioni ottenute dagli Abitanti dei luoghi, dalle informazioni acquisibili dalle cartografie regionali sulle condizioni geomorfologiche dei territori, dalle carte geologiche, dalla storia e dallo sviluppo del territorio negli ultimi anni.

Sono stati presi a riferimento:

- ♦ Piani Regionali e Comunali tratti dagli archivi del Comune e della Regione;
- ♦ Informazioni e cartografie disponibili presso i Servizi della Città Metropolitana di Bologna.
- ♦ Piano Territoriale Metropolitano: Pubblicazione ai sensi dell'articolo 17 del D.lgs. 152/2006 e dell'articolo 46 comma 7 della L.R. 24/2017;
- ♦ ISPRA Quadro di sintesi dissesto frane Emilia-Romagna, Italia (aggiornamento 19/05/2023)
- ♦ Regione Emilia-Romagna: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli "Alluvione 2023 – Dissesti di versanti"

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 4 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

5 LEGGI E NORME TECNICHE

- [1]. Legge 5 novembre 1971 n. 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- [2]. Circ.Min.LL.PP.14/02/1974,n.11951–Applicazione della L.5 novembre1971, n. 1086;
- [3]. Legge 2 febbraio 1974 n. 64, “Recante provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [4]. D.M. Infrastrutture e Trasporti del 14/01/2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”
- [5]. Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 – “Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008;
- [6]. D.M. Infrastrutture e Trasporti del 17/01/2018 – “Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- [7]. L.R. Emilia-Romagna del 30 ottobre 2008, n. 19 “Norme per la riduzione del rischio sismico”.
- [8]. L.R. Emila Romagna del 28 dicembre 2023, N.17 “Disposizioni collegate alla Legge Regionale di Stabilità per il 2024”
- [9]. Eurocodice EC1: Basi della progettazione ed azioni sulle strutture
- [10]. Eurocodice EC2: Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [11]. Eurocodice EC3: Progettazione delle strutture in acciaio
- [12]. Eurocodice EC4: Progettazione delle strutture composte acciaio/calcestruzzo
- [13]. Eurocodice EC5: Progettazione delle strutture di legno
- [14]. Eurocodice EC6: Progettazione delle strututre in muratura
- [15]. Eurocodice EC7: Progettazione geotecnica (parti 1,2,3)
- [16]. Eurocodice EC8: Regole progettuali per strutture antisismiche (parte 5).
- [17]. Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Central.
- [18]. ASTM D4253 “Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table”.
- [19]. ASTM D4254 “Standard test method for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density”.
- [20]. ASTM D1557 “Test method for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort”.
- [21]. CNR B.U., anno XXVI, n° 146 “Determinazione dei moduli di deformabilità Md e Md’ mediante prova di carico a doppio ciclo con piastra circolare.
- [22]. CNR UNI 10009 “Costruzione e manutenzione delle strade – Tecnica di impiego delle terre”.

6 PRINCIPALI FONTI BIBLIOGRAFICHE

- [a]. Pozzati P. Ceccoli C., (1978) “Teoria e Tecnica delle Strutture” – Ed. UTET
- [b]. Poulos H.G., Davis E.H. (1980) “Analisi e progettazione di fondazioni su pali” – Ed. Flaccovio
- [c]. Lancellotta R., Calavera J. (1999) “Fondazioni” – Ed. Mc Graw Hill.
- [d]. Viggiani C. (2000) “Fondazioni” Ed- Hevelius
- [e]. Cestari F. (2012) “In situ geotechnical tests” Ed. Patron – Bologna

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 5 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

- [f]. Atkinson J. () "Geotecnica" – Ed. Mc Graw Hill
- [g]. Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" *Geotechnique* 36, n° 3.
- [h]. Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" *Geotechnique* 36 , n° 1.
- [i]. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" *Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.*
- [j]. Youd T.D. (1972) "Factors controlling maximum and minimum density of sands" *Proceedings of Symposium on Eval. Dens., ASTM STP 523.*
- [k]. Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" *Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.*
- [l]. Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol.6.
- [m]. Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" *Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.*
- [n]. Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" *Proceedings ESOPT I.*
- [o]. Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" *CIRIA Report n° 143, 1995.*
- [p]. AFTES (2003) *Guidelines for characterisation of rock masses useful for the design and the construction of underground structures.*
- [q]. Barton N. (2011) "Near-surface rock engineering and fractured reservoirs rock mechanics, each linked by geophysics" – Short Course – Centro di GeoTecnologie Università degli Studi di Siena.
- [r]. Barton N., Bieniawski, Z.T. (2008) – RMR and Q – Setting records. *Tunnels & Tunnelling International*, February.
- [s]. Barton N., Lien R. & Lunde J. (1974) "Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*".
- [t]. Bieniawski, Z.T. (1989) – *Engineering Rock Mass Classifications.* – John Wiley & Sons.
- [u]. Bruschi A. (2004) – *Meccanica delle rocce nella pratica geologica ed ingegneristica*, Dario Flaccovio Editore.
- [v]. Hoek & Marinos (2000). – GSI, a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. *Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne. 1422-1442.*
- [w]. Hoek. E., Carranza-Torres C., Corkum B., *Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition.*
- [x]. Hoek. E., Diederichs M.S. (2005) *Empirical estimation of rock mass modulus, Int. J. Of Rock Mechanics and Mining Sciences, Elsevier.* ISRM (1978) *Suggested methods for the description of discontinuities in rock masses.*

7 INTRODUZIONE

Costituisce oggetto della presente relazione, la componente geotecnica del progetto esecutivo delle opere necessarie al ripristino della sede stradale e delle relative scarpate di monte e di valle, della Strada Provinciale SP21 (Val Sillaro) segnatamente per i tratti in corrispondenza delle progressive km 32+700 e km 33+00, interessate dalle frane accadute con l'alluvione del 2023. Allo scopo di redigere il modello geotecnico dell'immediato sottosuolo delle aree di intervento sono state eseguite indagini geologiche e geotecniche spinte fino a 30m dal piano di riferimento e sono state eseguite prove sismiche per acquisire le caratteristiche litostatigrafiche e geotecniche del sottosuolo. Lo studio geologico dei siti è stato elaborato e redatto nella Relazione Geologica allegata alla documentazione del progetto esecutivo, come il presente documento: Relazione Geotecnica.

8 DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'intervento alla **progressiva km 32+700** è ampio e riguarda la sistemazione del terreno franato prima di eseguire il nuovo ponte sul Rio Montale, che sostituisce il ponte in muratura crollato nel maggio 2023 per l'alluvione che ha colpito la Regione Emilia-Romagna, le Marche, la Toscana.

Si tratta quindi di realizzare un ponte in acciaio corten e cemento armato, di lunghezza $L=24,0$ e larghezza d'impalcato di 8,0. Oltre al ponte si realizza una spalla, e muri di sostegno, in destra idraulica sormontati da una piastra in cemento armato; sul lato in sinistra idraulica si realizza una spalla in cemento armato ed un rilevato in terra per il collegamento alla strada originaria. Tutte le opere descritte sono collegate al sottosuolo per mezzo di pali di fondazione di diametro $d=80\text{mm}$ e lunghezze variabili da 20,0m a 30,0m.

Alla **progressiva km32+800** l'intervento consiste nella demolizione della bretella stradale che fu realizzata temporaneamente dall'Esercito Italiano per consentire il superamento del crollo della strada in corrispondenza della frana al km 32+700. Le opere da realizzare consistono nello scavo del materiale che costituisce il pacchetto strutturale della bretella e il ripristino delle condizioni precedenti la frana con ricollocazione di terreno vegetale e miglioramento delle condizioni di regimazione idraulica superficiale.

Alla **progressiva km 33+00** l'intervento consiste nel consolidamento della scarpata di monte della strada. La strada fu ricostruita dal VVF con intervento di somma urgenza per ristabilire il collegamento viario tra l'abitato di Giugnola e la viabilità della Regione Emilia-Romagna. Attualmente l'opera da realizzare consiste nella formazione di trincee drenanti e gabbionata di contenimento per realizzare il recupero della morfologia originaria del versante.

La figura 1 seguente mostra le zone di intervento sullo stralcio della Carta Regionale CTR del territorio. Per quanto riguarda la descrizione dettagliata delle opere si rimanda alla lettura degli elaborati del progetto esecutivo ed in particolare gli elaborati grafici che illustrano il ponte sul Rio Montale, le opere di sostegno e le spalle del ponte. Si rimanda altresì alla lettura degli elaborati grafici degli interventi alle progressive successive. La Relazione Generale descrive le opere ed il contesto in cui si trovano; il report fotografico allegato al progetto consente di valutare lo stato dei luoghi sottoposti alle frane e le opere che sono state fatte in fase provvisoria.

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 7 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

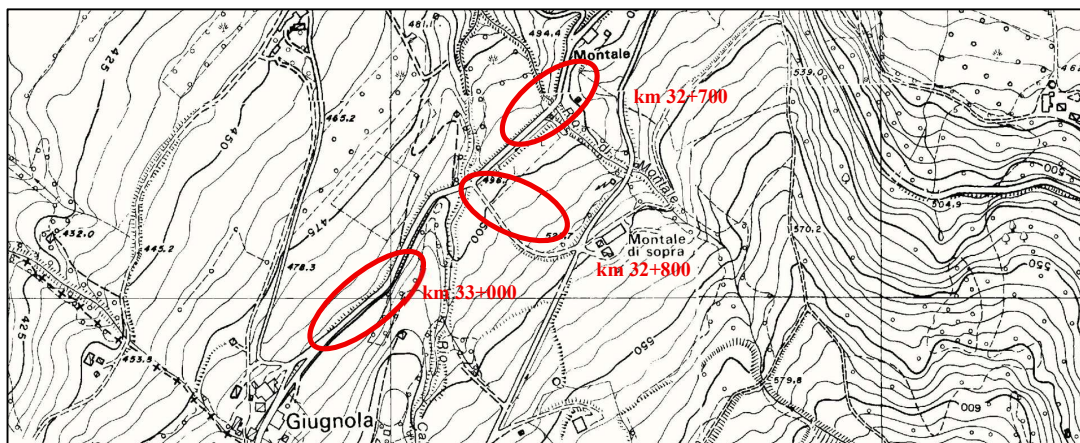


Figura 1: Matta CTR con posizione degli interventi

9 INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

In funzione delle caratteristiche morfologiche e geologiche dei siti, in relazione al tipo di opere da realizzare per il ripristino definitivo della sede stradale delle zone franate, sono state pianificate e realizzate indagini in sito e prove geotecniche di laboratorio. Per quanto riguarda l'intervento alla progressiva km 32+700, si tratta di realizzare un ponte con spalle e muri di sostegno in cemento armato, da collegare al sottosuolo con pali di cemento armato. Per tale opera è stata eseguita una campagna geotecnica e geologica costituita da due sondaggi meccanici a carotaggio continuo spinti a 30m di profondità, con prove in foro, prelievo di campioni per la esecuzione di prove geotecniche di laboratorio. Per quanto riguarda gli altri due interventi il modello geotecnico è stato elaborato sulla base delle prove sismiche e delle rilevazioni condotte durante i lavori eseguiti dall'Esercito e dai VVF in fare di urgenza.

9.1. Interventi al km 32+700

In dettaglio la campagna geognostica è consistita in:

2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo (S4, S5) spinti fino a 30m di profondità;

- ♦ Prove penetrometriche dinamiche in foro (SPT)
- ♦ Prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati
- ♦ Redazione delle casse catalogatrici con il contenuto dei prelievi
- ♦ Prova Down Hole in foro
- ♦ Prove sismiche con tromino

La tabella 1 riassume le principali caratteristiche dei sondaggi e delle prove eseguite.

Sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi sono state condotte misure RQD e sono state eseguite descrizioni litostratigrafiche e meccaniche.

Sondaggio	Coord.	Prof. [m]	C.I.	C.S.	DH	Piezo.	SPT	DH
S4	Long. 44°13'28,04"N Lat.: 11°27'20,94"E Alt.: 497,00 m s.l.m.m.	30,0	1	30m	(-)	30m		

Sondaggio	Coord.	Prof. [m]	C.I.	C.S.	DH	Piezo.	SPT	DH
S5	Long. 44°13'26,09"N Lat.: 11°27'19,09"E Alt.: 493,00 m s.l.m.m.	30,0	1	30m	(-)	30m		1

9.2. Interventi al km 33+00

9.3. Al km 33+00 sono state eseguite n.3 prove sismiche con tecnica (HVSr) tromino



Figura 2: Mappa con posizione dei sondaggi al km 32+700



Figura 3: Mappa km 33+00 con indicazione prove

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 9 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

10 CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA – AREA PONTE KM 32+700

Da un punto di vista stratigrafico il sondaggio meccanico **S4** evidenzia uno primo strato di circa 4,30m di sabbia limosa con abbondanti clasti marnosi. Oltre la profondità di 4,30m, fino a 22,00m, sono state rilevate alternanze di arenarie e peliti fortemente fratturate, con valori di RQD variabili da 0% ad un massimo di 54% in un solo tratto. Da quota 22,00m a 26,00m sono stati rilevati spessori di arenaria ben cementata con alternanze centimetriche di peliti: i valori di RQD sono stati rilevati: RQD=49; 40; 71 a significare una buona qualità da scadente (poor) a discreta (Fair), secondo la tabella seguente:

ROCK MASS CLASSIFICATION BY RQD	
RQD %	Quality
<25	Very poor
25-50	Poor
50-75	Fair
75-90	Good
90-100	Excellent

Figura 4: Tabella classificazione roccia secondo RQD

Da un punto di vista stratigrafico il sondaggio meccanico **S5** evidenzia uno primo strato di circa 3,00m di sabbia limosa e limo sabbioso con abbondanti clasti marnosi. Dalla profondità di 3,00m fino a 8,30m e' stata evidenziata della pelite poco cementata con alternanza di clasti (un trovante di arenaria e' stato rilevato a quota 5,00m, Oltre la profondità di 8,30m, fino a 24,60m, e' stata rilevata alternanza di arenaria e pelite molto fratturate, con valori RQD= 0%÷49% (ved. tabella di fig.4). Dalla quota 24,60 fino a 30,00m di profondità e' stata rilevata arenaria poco fratturata con livelli centimetrici di pelite con valori RQD=58%÷70 (Fair) secondo la tabella di figura 4.

In conclusione, per entrambi i sondaggi sono state rilevate condizioni stratigrafiche simili caratterizzate da un primo livello superficiale di 3-4m composto da terre a trana grossa e fine (sabbie e limi), seguito da uno strato di circa 20m costituito da roccia molto fratturata e quindi, da 26m fino a 30m, seguito da roccia di qualità discreta. Per quanto riguarda la falda, nel sondaggio S4 è stata rilevata a -14,85m dal piano stradale.

11 ANALISI DEI VALORI RQD OTTENUTI CON I CAROTAGGI S4 E S5

I sondaggi hanno evidenziato un sottosuolo, delle aree di interesse, caratterizzato da strati di arenarie decimetriche e peliti centimetrici alternati, altamente fratturati, almeno per i primi 20m di profondità; dai 20m-24m fino a 30,0m di profondità le arenarie e le peliti si fanno sensibilmente meno fratturate. Gli strati superficiali che hanno spessori dell'ordine di 4-8m sono costituiti da terre a grana grossa e fine con inclusioni di clasti arenacei. Oltre le prove SPT condotte negli strati superficiali ed i prelievi per le analisi di laboratorio, le caratteristiche dei carotaggi sono state rappresentate dalle prove RQD che sono utilizzate per valutare il grado di fratturazione delle rocce. Non era possibile prelevare campioni con strumenti in foro e solo per il sondaggio S5 è stata realizzata una prova sismica Down Hole per la stima della velocità delle onde di taglio. Il sottosuolo indagato è formato da rocce che possono essere definite relativamente "dure" (arenarie e peliti non facilmente disgregabili), però **altamente fratturate**. Come accennato, le caratteristiche delle carotature

sono state rappresentate dai valori RQD. È noto che tale sistema di rappresentazione del grado di fratturazione della roccia non è particolarmente preciso anche se spesso, come nel caso in esame, è l'unico metodo utilizzato per misurare la densità di giunzione lungo il foro di carotaggio. I sistemi di classificazione degli ammassi rocciosi sono diversi: si richiamano in questa sede il sistema RQD "Rock Quality Designation" (Deere & Miller, 1966) e RMR "Rock Mass Rating" (Bieniawski, 1989). Nel caso in esame si utilizza la classificazione RQD rapportandola ai valori della velocità di compressione misurata con il D.H. eseguito nel sondaggio S5. I valori V_p (m/s) registrati, riportati nell'allegato relativo al sondaggio S5, conducono alla stratigrafia seguente:

Tabella 1: Valori di RQD e V_s acquisiti nell'ambito del sondaggio meccanico S5

z[m]	Litotipo	RQD medio	V_p [m/s]	V_s [m/s]	ν [-]
0,0÷8,0	Terre a grana grossa		500-750	100-400	0,40
8,0÷9,00	Arenarie e peliti molto fratturate	20%	2000	700-750	0,40
8,0÷24,0	Arenarie e peliti fratturate	22%	2000	700-800	0,4-0,36
24,0÷30,0	Arenarie e peliti poco fratturate	60%-70%	3000	1000	0,37

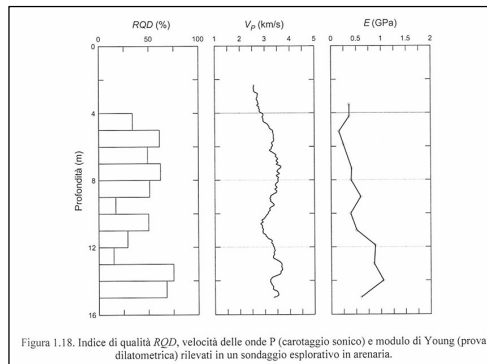


Figura 5: La figura tratta dal Testo: "Meccanica delle Rocce" del prof. Ribacchi, edito da Hevelius mette in relazione i valori RQD con V_p in un esempio registrato.

La figura 6 mostra il caso in esame dove i valori RQD sono indicati per entrambi i sondaggi S4 e S5, in relazione alle profondità.

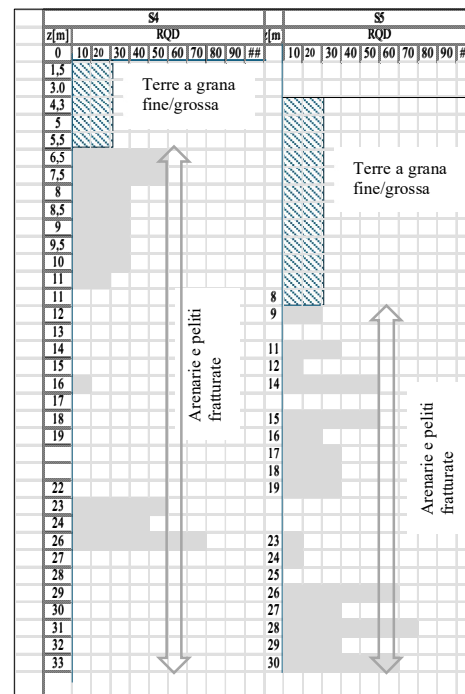


Figura 6: RQD in relazione alle profondità esplorate

I due sondaggi sono stati realizzati a breve distanza uno dall'altro. Il sondaggio S4 è stato realizzato a partire dalla quota della strada a destra del Rio Montale; il sondaggio S5 è stato realizzato dal piano campagna a sinistra del Rio Montale, con quota di inizio perforazione a -3,00m dall'inizio del sondaggio S4. La copertura che è registrata nel sondaggio S4 ha uno spessore di 3,00m; la copertura, dello stesso tipo litologico, registrata nel sondaggio S5 è di 8,00m, quindi molto maggiore dello spessore registrato con il sondaggio S4. La struttura del substrato oltre le profondità successive alla coltre superficiale è la medesima: alta fratturazione.

12 MODELLI GEOTECNICI

I modelli geotecnici che si rappresentano nel presente paragrafo riguardano, nell'ordine, il sito al km 32+700 ed il sito al km 33+00. Per quanto riguarda il sito al km 32+700, alla luce dei risultati dei sondaggi meccanici, della prova sismica down-hole, si assume, per il progetto esecutivo il seguente modello geotecnico.

Tabella 2: Modello geotecnico di progetto progr.va km 32+700

z[m]	Litotipo	γ [kN/m ³]	ϕ' (°)	c' [kPa]	(*)E [MPa]	(*) σ_f [MPa]
0,0÷8,0	Terre a grana grossa (sabbie e limi)	1,8÷1,85	24÷28	0,0	30÷50	
8,0÷9,00	Arenarie e peliti molto fratturate	19,0÷20,0	28÷30	0,0	200÷500	8,0÷9,0
8,0÷24,0	Arenarie e peliti fratturate	20,0÷22,0	35÷38	0,0÷50,0	500÷600	8,0÷10,0
24,0÷30,0	Arenarie e peliti poco fratturate	22,0÷24,0	38÷40	50,0÷100,0	600÷800	10,0÷15,0

(*) valori tratti da letteratura

Per quanto riguarda l'intervento al km 33+00 il modello geotecnico e' tratto dalle indagini sismiche condotte in sito e dalle caratteristiche litotecniche tratte da letteratura per ammassi di terreno simili a quello in sito.

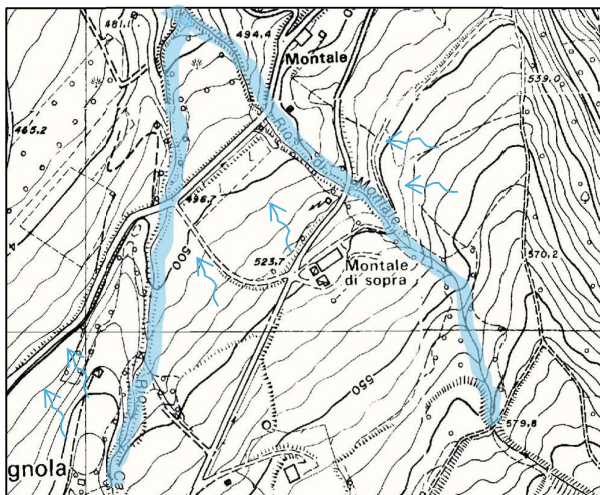
Tabella 3: Modello geotecnico di progetto progr.va km 33+000

z[m]	Litotipo	γ [kN/m ³]	ϕ' (°)	c' [kPa]	(*)E [MPa]	(*) σ_f [MPa]
0,0÷8,0	Terre a grana grossa (sabbie e limi)	1,8÷1,85	24÷28	0,0	30÷50	
8,0÷9,00	Arenarie e peliti molto fratturate	19,0÷20,0	28÷30	0,0	200÷500	8,0÷9,0
8,0÷24,0	Arenarie e peliti fratturate	20,0÷22,0	35÷38	0,0÷50,0	500÷600	8,0÷10,0
24,0÷30,0	Arenarie e peliti poco fratturate	22,0÷24,0	38÷40	50,0÷100,0	600÷800	10,0÷15,0

13 FALDA

La quota della falda e' stata registrata nel sondaggio S4 al livello zw=-14,85m da piano stradale.

E' presumibile che con le piogge intense, ed in particolare in occasione dell'alluvione del 2023, la quota della falda si sia alzata e sia stata alimentata da monte, proprio in corrispondenza dell'asta idraulica del Rio



Montale oltre che da altri rami idraulici provenienti da monte e prossimi allo stesso Rio Montale. Anche in corrispondenza della progressiva km 33+00 il flusso idraulico in occasione dell'alluvione è stato straordinario in termini di quantità di acqua e di violenza in poco tempo. Le coltri superficiali appesantite dal carico di acqua sono state spinte verso valle dal flusso idraulico scorrendo su superfici piane come per il km 33+00 e lungo canali in corrispondenza dei fossi e dei rii come il Rio Montale.

14 SISMICITA' AREE DI INTERVENTO

Sulla base di quanto previsto dalla Normativa italiana di riferimento per il presente progetto (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 17-01-2018) sono stati assunti i parametri sismici relativi all'area in cui deve essere realizzato il nuovo ponte.

Per le opere in progetto è stata assunta una vita nominale di $V_N = 50$ anni ed una classe d'uso II (coefficiente d'uso $C_U = 2.0$). Trattandosi di zone acclivi si è assunta una categoria topografica T3 e, sulla base di quanto esposto nel paragrafo 3.2.2., è stata assunta una categoria di suolo di tipo B.

Categoria di sottosuolo e condizione topografica

La classificazione della categoria di sottosuolo è stata fatta sulla base delle indagini eseguite in sito per l'opera in esame, con particolare riferimento alla prova MASW.

In base a tale prova risulta un valore di velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, pari a:

$$V_{s,30} = 372 \text{ m/s}$$

Sulla base di tale valore, i terreni presenti lungo tutto il tracciato possono essere riferiti alla categoria di sottosuolo B ("Rocce tenere e depositi di terreno a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)").

Trattandosi di zone di fondo valle pianeggianti e pendii con inclinazione inferiore a 15° , si è assunta la categoria topografica T1.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,254 g
F_0	2,520
T_c	0,313 s
S_s	1,144
C_c	1,388
S_T	1,000
q	1,500

Parametri dipendenti

S	1,144
η	0,667
T_B	0,145 s
T_C	0,434 s
T_D	2,616 s

Per lo stato limite ultimo SLV (salvaguardia della vita), in particolare, risulta:

$$a_g = 0,165 \text{ g}; F_0 = 2,544 \text{ T}^*c = 0,298 \text{ s}$$

$$a_{\max} = a_g \times S = 0.198 \text{ g} \quad \text{accel. massima orizzontale attesa al sito}$$

15 STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Le verifiche vengono omesse in quanto le granulometrie dei materiali interessati sono caratterizzate da una componente ghiaiosa predominante e le curve granulometriche sono esterne a quanto indicato al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018.

16 CONCLUSIONI

Il sottosuolo delle aree interessate dalle frane alle progressive 32+700 e 33+00 della SP21 è stato indagato con sondaggi meccanici, prove in sito allo scopo di realizzare il progetto esecutivo degli interventi finalizzati al ripristino della sede stradale e delle relative scarpate di monte e di valle.

Al km 32+700 le indagini hanno messo in luce una struttura litotecnica costituita da una coltre di spessore variabile da 3,0 a 8,0 metri di terra a grana fine e grana grossa e da un substrato lapideo costituito da arenarie e peliti altamente fratturate. Al km 33+00 la stratigrafia ricavata da prove sismiche HVSR e* composta da una struttura marnoso arenacea disposta per strati, talora in franappoggio.

Le indagini ed i relativi dati acquisiti hanno consentito di elaborare i modelli geotecnici necessari per la progettazione esecutiva degli interventi.

Ing. Claudio Comastri

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 14 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

17 ALLEGATI.

Sondaggio meccanico S4

Sondaggio meccanico S5

Down Hole sondaggio S5

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 15 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	

	Committente: Città Metropolitana di Bologna	Sond.N°: S4 Prof.(m): 26m
	Cantiere: Giugnola	Quota (m):
	Perforatrice: CMV	Data(inizio-fine):02 al 06.08.24
	Metodo perforazione: Carotaggio continuo	Lat.:
Rivestimento: Ø 127	Attrezzo perforazione: C.S. Ø 101 e C.D. T6	Long.:
Strumentazione: Piezometro Norton 2"		Scala: 1:150
Rif. prev.: 028-24	Data emissione: 19.08.24	Pagina: 13

Scala	P.P. (daN/cm ²)	Vane test. (daN/cm ²)	Profondità (m)	Stratigrafia	Descrizione	Indice RQD	Campioni rimaneggiati	S.P.T. (Ncolpi)	Falda (m)	Strumentazione installata:
			0.60		Astato (0 a -0.15m) e sottofondo stradale composto da sabbia e frammenti lapidei.					
1.5					Sabbia limosa di colore marrone grigio chiaro. Presenza di screziature ocra/grigio e abbondanti clasti spigolosi di arenaria/pelite.					
3			3.50		IS.P.T. 1 (Rifuto dopo 13cm)			3.50 S.P.T.		
4.5			4.30		Sabbia limosa di colore marrone grigio chiaro. Presenza di screziature ocra/grigio e abbondanti clasti spigolosi di arenaria/pelite.	4.30 4.40 4.50 5.50	0%			
6					Alternanza di arenaria e pelite stratificate e molto fratturate, da ben litificate a poco litificate.	51% 53% 54% 35% 28% 25% 0% 0% 0%				
7.5						14.20 15.30 16.40 17.10 17.30				
9										
10.5										
12										
13.5										
15									14.85	
16.5										
18							0%			
19.5										
21										
22.5			22.60		Arenaria grigia ben litificata alternata a livelli pelitici con spessore centimetrico.	49% 40% 71% 26.00				
24										
25.5			26.00							
27										
28.5										

GeoER s.r.l. Indagini Geognostiche mail: info@geoer.it tel.: +39 3514787834 sito web: www.geoer.it



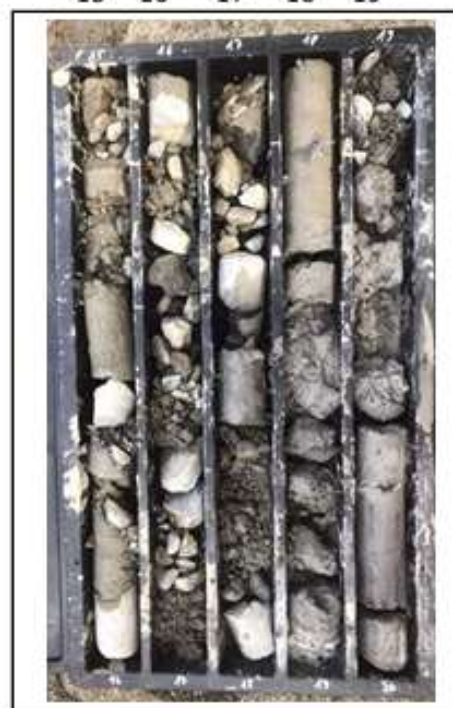
Cassa 1: da 0 a -5.0 m:



Cassa 2: da -5.0 a -10.0 m:



Cassa 3: da -10.0 a -15.0 m:



Cassa 4: da -15.0 a -20.0 m:



Cassa 5: da -20 a -25,0 m:



Cassa 6: da -25,0 a -30,0 m:



Foto posizionamento sondaggio:

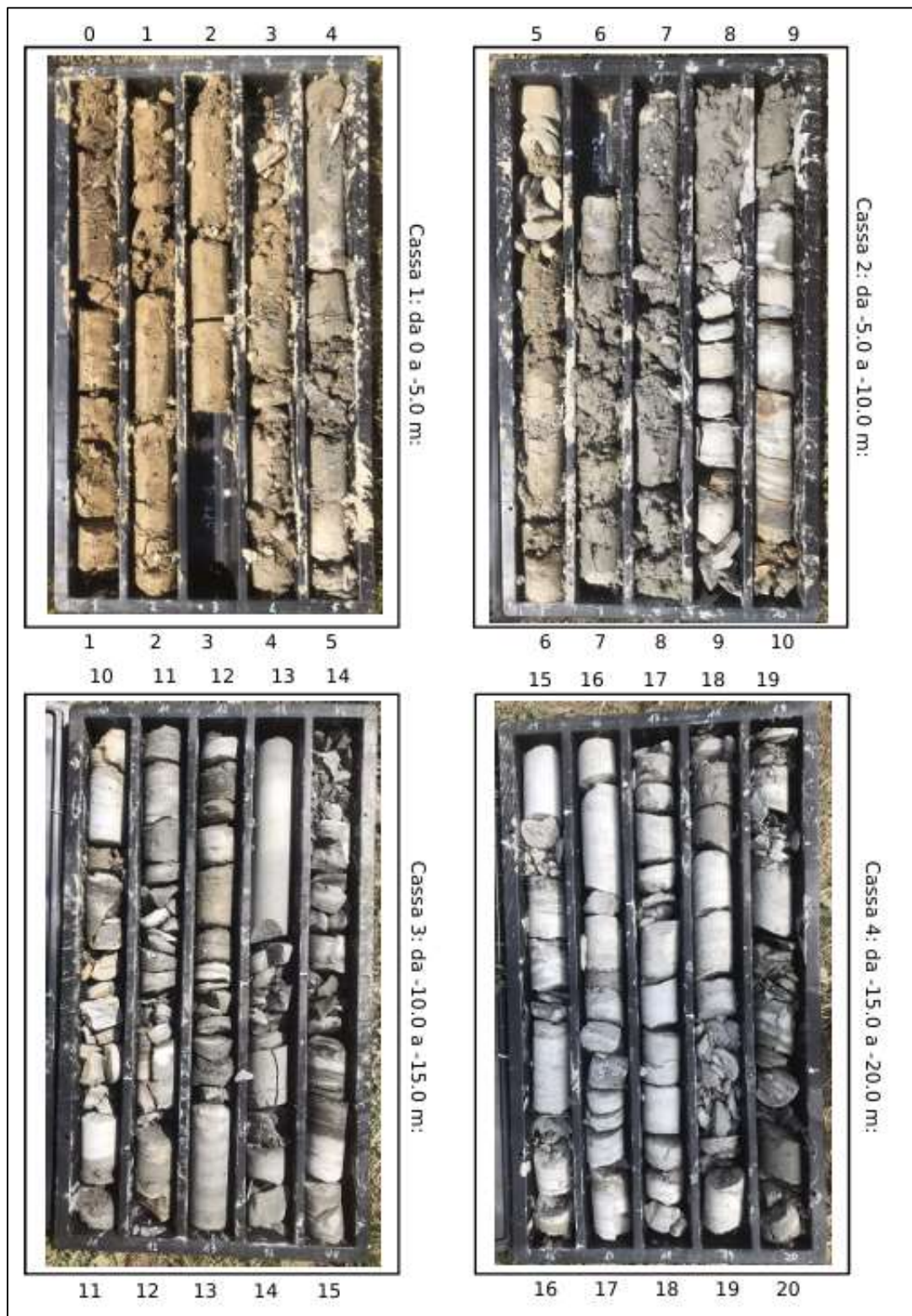


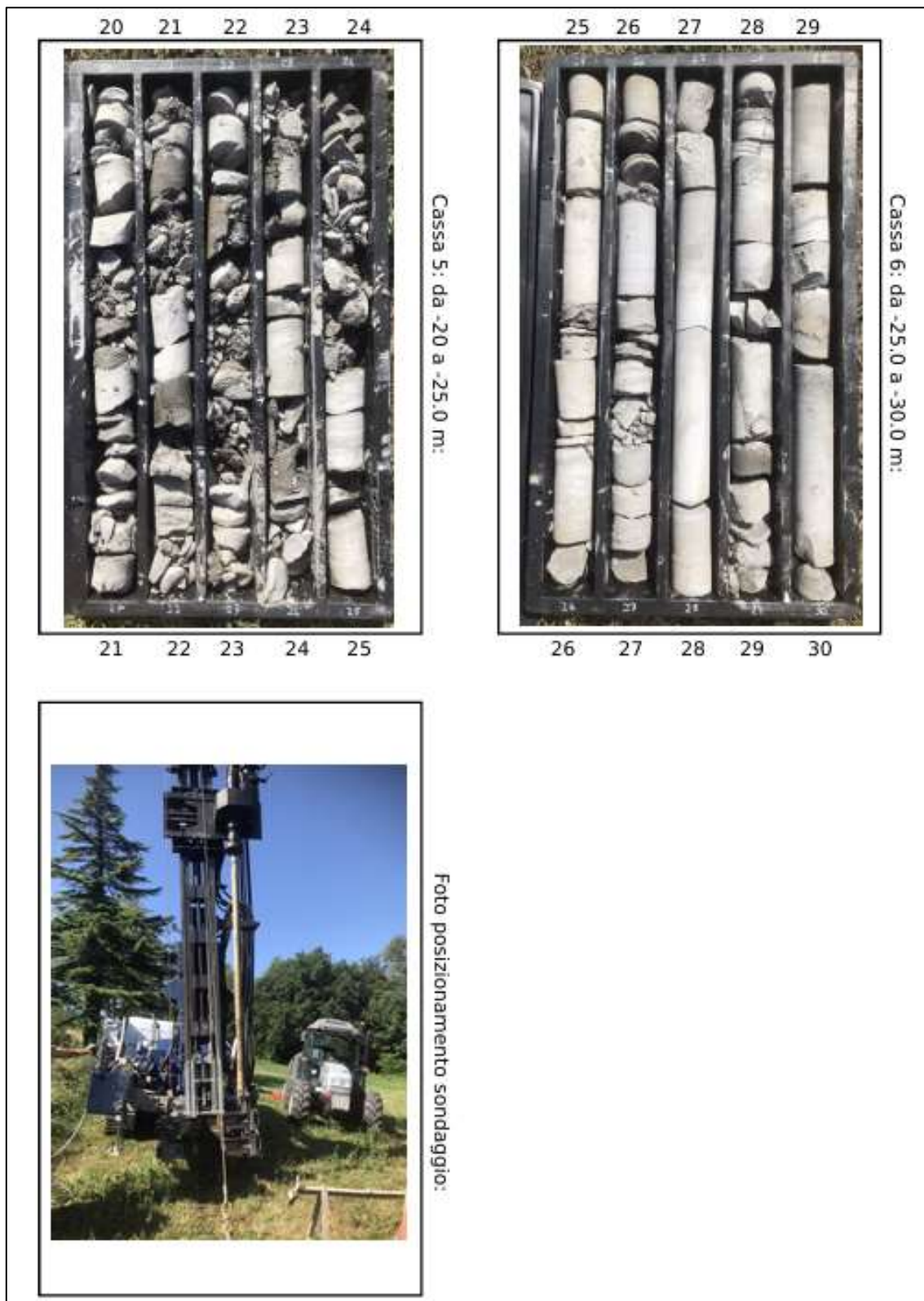
	Committente: Città Metropolitana di Bologna	Sond.N°: S5 Prof.(m): 30m
	Cantiere: Giugnola	Quota (m):
	Perforatrice: CMV	Data(inizio-fine):06.08.24
	Metodo perforazione: Carotaggio continuo	Lat.:
Rivestimento: Ø 127	Attrezzo perforazione: C.S. Ø 101 e C.D. T6	Long.:
Strumentazione: Downhole 30m		Scala: 1:150
Rif. prev.: 028-24	Data emissione: 19.08.24	Pagina: 17

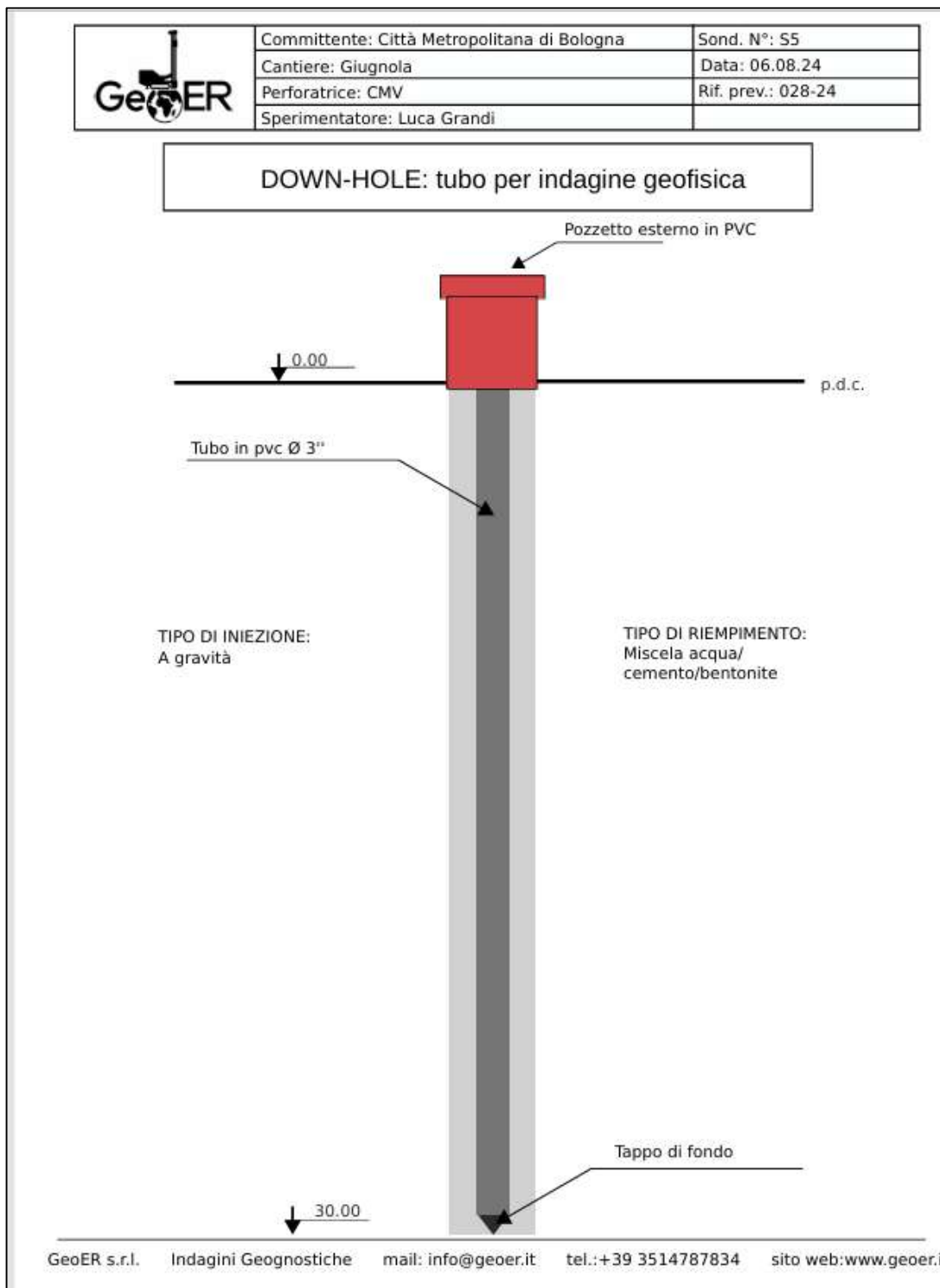
Scala	PP. (daN/cm ²)	Valore test (daN/cm ²)	Profondità(m)	Stratigrafia	Descrizione	Indice RQD	Campioni rimaneggiati	S.P.T. (Ncolpi)	Falda (m)	Strumentazione installata
1.5	2.2				Limo debolmente sabbioso compatto di colore marrone scuro (da 0 a -0.40 m) e di colore marrone chiaro (da -0.40 a -3.20m). Presenza di screziature ocra e di clasti spigolosi di arenaria.					
3	3.3		2.65		S.P.T. 1 (8/9/21)			2.65		
4.5	2.7		3.10					3.10		
6	4.0		6.00		Pelite poco cementata con presenza di abbondanti clasti lapidei spigolosi ben litificati. Trovante di arenaria tra -5.00 e -5.30 m.					
7.5	2.8		6.21		S.P.T. 2 (24/Rifuto dopo 21cm)			6.00		
9	>6		8.30		Pelite poco cementata con presenza di abbondanti clasti lapidei spigolosi ben litificati.			6.21		
10.5					Alternanza di arenaria e pelite stratificate e molto fratturate, da ben litificate a poco litificate. Rapporto arenaria/pelite: 3/1.	8.30				
12						20%				
13.5						33%				
15						10.70				
16.5						15%				
18						12.00				
19.5						49%				
21						13.50				
22.5						0%				
24						14.60				
25.5						15.20				
27						21%				
28.5						16.00				
						31%				
						17.40				
						26%				
						18.60				
						29%				
						19.70				
						0%				
						20.60				
						0%				
						22.00				
						0%				
						22.80				
						19%				
						23.60				
						10%				
					Arenaria grigia ben litificata alternata a livelli pelitici con spessore centimetrico. Basso grado di fratturazione e fratture riempite da calcite.	24.70				
						58%				
						26.20				
						29%				
						27.20				
						70%				
						28.50				
						62%				
						30.00				

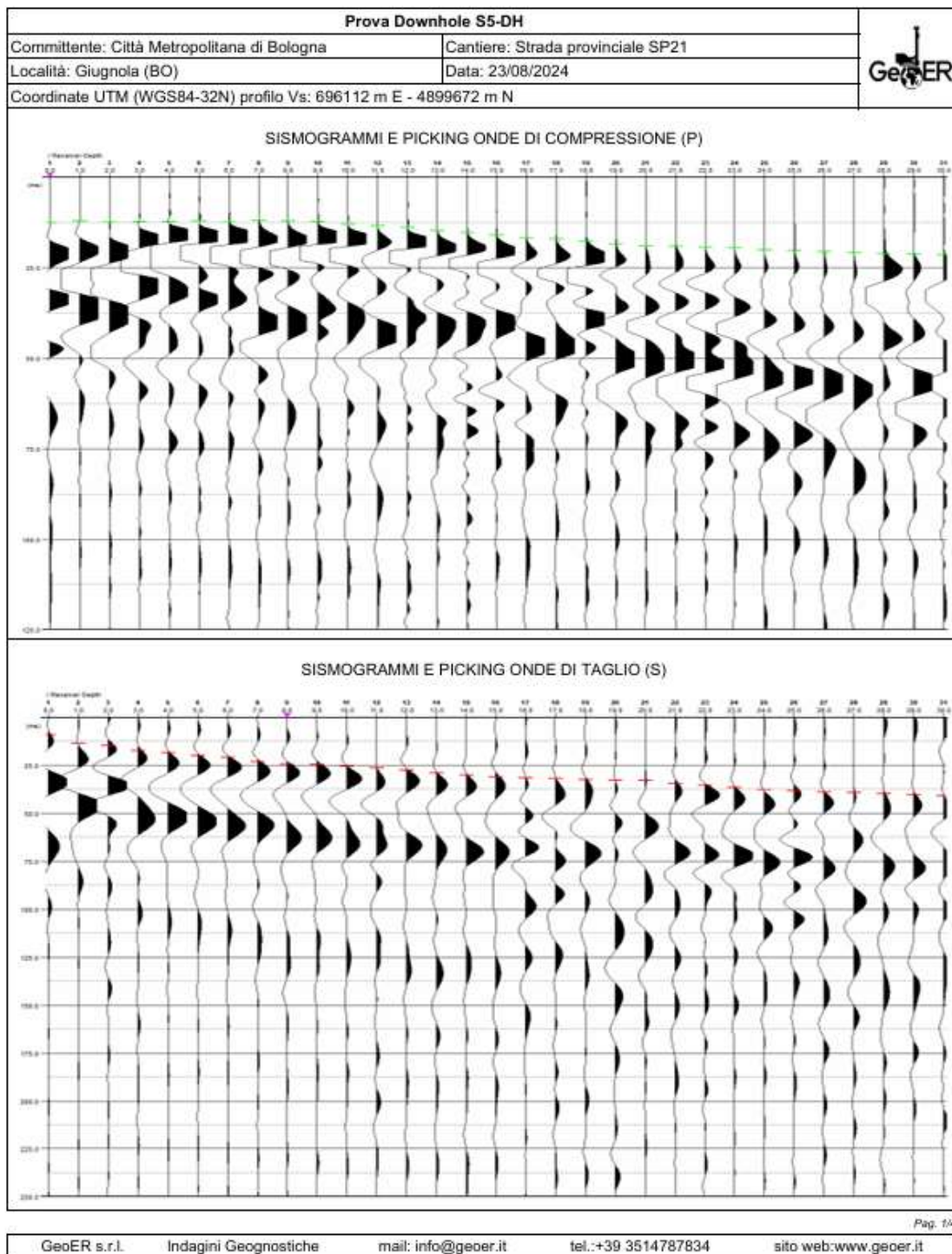
GeoER s.r.l. Indagini Geognostiche mail: info@geoer.it tel.: +39 3514787834 sito web: www.geoer.it

THS2024004-S04.QbIII.01_R04	3	04/05/2026	C.Comastri	E.Comastri	C.Comastri	Pag. 19 di 26
File	Rev.:	Data:	Redazione	Controllo	Approvazione	









Prova Downhole S5-DH	
Committente: Città Metropolitana di Bologna	Cantiere: Strada provinciale SP21
Località: Giugnola (BO)	Data: 23/08/2024
Coordinate UTM (WGS84-32N) profilo Vs: 696112 m E - 4899672 m N	



Prof. (m)	Vp m/sec	Vs m/sec	γ T/m³	δ_{din}	ν	Edin Kg/cm²	Gdin Kg/cm²	Kdin Kg/cm²	VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE (Vp) m/sec	VELOCITA' ONDE DI TAGLIO (Vs) m/sec
--------------	-------------	-------------	------------------	----------------	-------	----------------	----------------	----------------	--	--

1	420	146	1,61	0,16	0,43	1001	350	2426		
2	463	198	1,64	0,17	0,39	1818	665	2708		
3	573	226	1,70	0,17	0,41	2497	887	4528		
4	726	275	1,78	0,18	0,42	3884	1371	7762		
5	905	312	1,86	0,19	0,43	5285	1845	13066		
6	1023	381	1,90	0,19	0,42	7982	2815	16587		
7	1489	392	2,04	0,21	0,46	9357	3198	41979		
8	1730	483	2,10	0,21	0,46	14577	5000	57569		
9	2021	594	2,17	0,22	0,45	22628	7788	79924		
10	2010	708	2,16	0,22	0,43	31617	11081	74468		
11	2022	730	2,17	0,22	0,43	33578	11781	74638		
12	2036	732	2,17	0,22	0,43	33839	11868	75869		
13	2072	731	2,18	0,22	0,43	33937	11876	79518		
14	2056	731	2,17	0,22	0,43	33812	11842	77918		
15	2021	766	2,17	0,22	0,42	36702	12958	73020		
16	1991	840	2,16	0,22	0,39	43323	15565	66644		
17	1975	908	2,16	0,22	0,37	49557	18138	61683		
18	2046	969	2,17	0,22	0,36	56399	20805	65021		
19	2121	975	2,19	0,22	0,37	57911	21198	72023		
20	2141	979	2,19	0,22	0,37	58259	21280	74049		
21	2155	992	2,19	0,22	0,37	60103	22006	74532		
22	2112	1020	2,18	0,22	0,36	62533	23196	68521		
23	2201	1049	2,20	0,22	0,35	66852	24702	75866		
24	2276	1038	2,22	0,23	0,37	66647	24346	84626		
25	2446	1070	2,25	0,23	0,38	72442	26213	102158		
26	2481	1121	2,25	0,23	0,37	79213	28872	102996		
27	2514	1126	2,26	0,23	0,37	80335	29224	106680		
28	2545	1152	2,26	0,23	0,37	84024	30638	108742		
29	2687	1176	2,29	0,23	0,38	89114	32252	125367		
30	2819	1198	2,31	0,24	0,39	93948	33800	142024		



Legenda parametri dinamici

Vp	Velocità onde P	(m/s)	ν	Coefficiente di Poisson
Vs	Velocità onde S	(m/s)	Edin	Modulo di Elasticità Kg/cm²
γ	Peso di volume	T/m³	Gdin	Modulo di Taglio Kg/cm²
δ_{din}	Densità geofisica	(g/cm³)	Kdin	Modulo di Compressibilità Kg/cm²

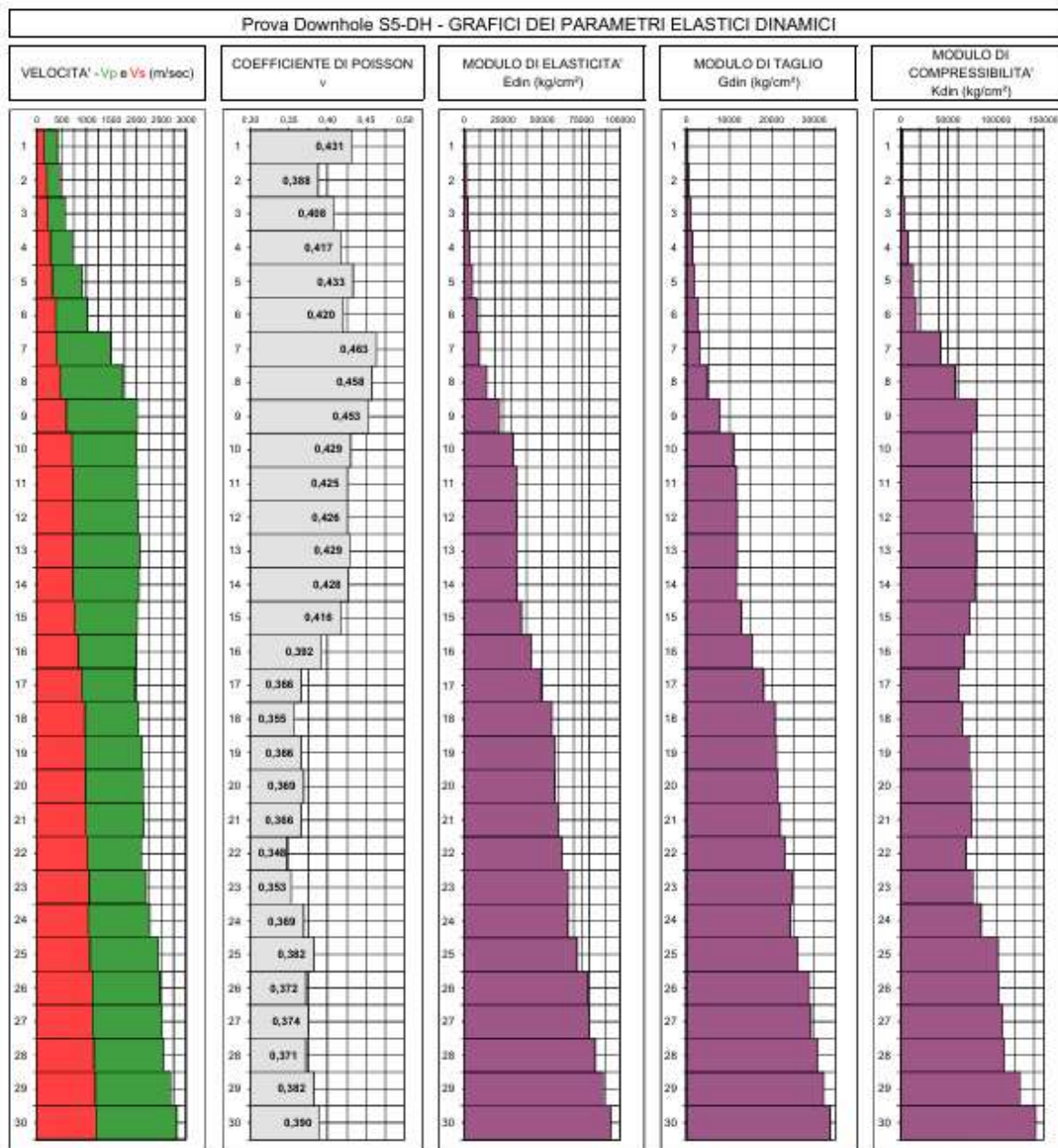
CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI SUOLI (NTC 2018)

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_i}}$$

$V_{Seq} = 372 \text{ m/sec}$
eq = 15 m da p.c.
CATEGORIA SUOLO = B

Pag. 2/4

GeoER s.r.l.	Indagini Geognostiche	mail: info@geer.it	tel.: +39 3514787834	sito web: www.geer.it
--------------	-----------------------	--------------------	----------------------	-----------------------



Pag. 3/4

GeoER s.r.l.

Indagini Geognostiche

mail: info@geor.it

tel.: +39 3514787834

sito web: www.geor.it

Prova Downhole S5-DH		Geotecnica
Committente: Città Metropolitana di Bologna	Cantiere: Strada provinciale SP21	
Località: Giugnola (BO)	Data: 23/08/2024	
Coordinate UTM (WGS84-32N) profilo Vs: 696112 m E - 4899672 m N		
FOTO 1 - INDAGINE DOWNHOLE 		
FOTO 2 - INDAGINE DOWNHOLE 		

Pag. 4/4