



Comunità Montana di Valle Trompia



COMUNE DI BRIONE

Via San Zenone, 1 - 25060 - Brione (BS)

info@comune.brione.bs.it - P.IVA 00796050177 - C.F. 00796050177

MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO NEL COMUNE DI
BRIONE TRAMITE INTERVENTI COMBINATI SUI DISSESTI
ASSOCIATI AL RETICOLO MINORE ED INTERVENTI IN ALVEO NEGLI
AFFLUENTI DEL RIO MOTTA
COMPRESO MONITORAGGIO STRUMENTALE
CUP. B96F24000070006

PROGETTO ESECUTIVO

Il Responsabile unico di Progetto
(Geom. Marco Ciapetti)

Il Progettista
(Dott. For. Giacomo Remedio)



Coordinamento della Progettazione e supporto al RUP
(Ing. Alessandro Pederiva - Ing. Silene Cresseri)

Il documento è firmato digitalmente ai sensi del D.Lgs. 82/2005 s.m.i. e norme collegate e
sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa.

Data: novembre 2025

Scala:

Oggetto: Relazione geologica

R.1a

Ing. Silene Cresseri, Ph.D.
Via Franciacorta, 41 – Brione (BS)
email: sm.progetti@yahoo.it
cell. 333/7657620

GEOLOGIA

INGEGNERIA GEOTECNICA

STUDIO TECNICO ASSOCIATO SPAZIO AMBIENTE

Comune di Brione (BS)

**Interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico
tramite la realizzazione di manutenzione straordinaria del
reticolo idrico minore, sistemazione di dissesti
idrogeologici di versante abbinati ad interventi di
prevenzione dei fenomeni di incendio boschivo e di
monitoraggio strumentale del territorio**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA
(DGR 2616/2011)
(DM 17/01/2018)**

GIUGNO 2025 – Rev1

INDICE

PREMESSE.....	4
1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	5
2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	12
3 FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO.....	13
4 QUADRO DEI DISSESTI.....	14
5 DIRETTIVA ALLUVIONI - PGRA.....	16
6 QUADRO DEI VINCOLI.....	16
7 SOPRALLUOGHI IN SITO.....	18
7.1 Rio della Forcelletta.....	18
7.2 Rio Gaz.....	21
7.3 Rio della Paglietta.....	26
7.4 Via Magnoli.....	27
8 INDAGINI IN SITO.....	28
9 MODELLO GEOFISICO.....	29
9.1 Rio Paglietta – MASW1.....	29
9.2 Rio Gaz – MASW2.....	30
10 INQUADRAMENTO SISMICO.....	31
11 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	31
12 PARAMETRIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	32
12.1 Categoria di sottosuolo E.....	32
12.2 Categoria di sottosuolo A.....	33
13 SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE.....	35
14 MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO.....	35
14.1 Rio della Forcelletta.....	35
14.2 Rio Gaz.....	37
14.3 Rio Paglietta.....	38
14.4 Via Magnoli.....	40
15 VERIFICHE AGLI SLU SECONDO IL DM 17/01/2018.....	42
15.1 Rio della Forcelletta.....	43

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	2	42

15.2	<i>Rio Gaz</i>	44
15.3	<i>Rio Paglietta</i>	45

ALLEGATI

Rapporto Tecnico delle indagini geognostiche

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	3	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

PREMESSE

Su incarico e per conto del comune di Brione, si redige la presente relazione geologico-geotecnica, a corredo del progetto di manutenzione straordinaria del reticolo idrico minore, a seguito degli eventi calamitosi occorsi nel mese di giugno 2024.

Scopo del presente studio è fornire un quadro geologico, idrogeologico, sismico e geotecnico per valutare l' idoneità del sito ad ospitare le opere previste.

L'indagine geologica ha riguardato un adeguato intorno delle principali opere in progetto e il presente lavoro è stato così articolato:

1. indagine generale sulla litostratigrafia ed idrogeologia dell'ambito territoriale in cui ricade la zona in esame, al fine di inquadrare la situazione locale nel contesto della struttura geologica generale;
2. verifica a mezzo di rilievi geologici delle condizioni di equilibrio dei luoghi interessati dalle nuove opere;

Per la caratterizzazione geotecnica e sismica, è stata condotta una campagna di indagini in sito, articolata come segue:

- n.6 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- n.2 stendimenti MASW.

Le indagini sono state effettuate nel rispetto delle Raccomandazioni AGI 1977; i successivi studi nel rispetto delle Norme Tecniche per le costruzioni del 17/01/2018 esplicate nella circolare del 27 luglio 2018 del C.S.LL.PP.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	4	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it



FIGURA 1 – ORTOFOTO CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Brione, che si estende su un'area di 6,90 km², è compreso tra una quota minima di 334 m s.m. nella porzione di fondovalle nell'area centro occidentale del comune e una massima di 1033 m s.m. in corrispondenza dei rilievi montuosi ubicati nella porzione nord-orientale del comune.

I siti oggetto di intervento sono ubicati come indicato in Figura 2, che riproduce uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, redatta alla scala 1:10.000.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	5	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

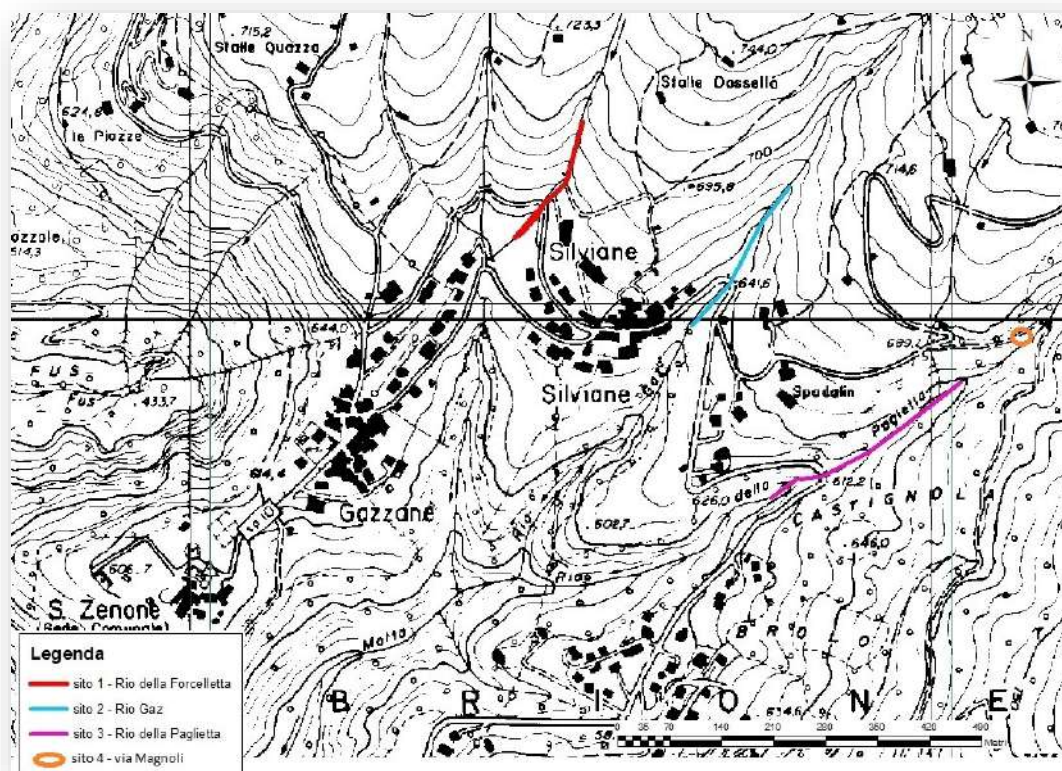


FIGURA 2 – ESTRATTO DELLA CARTA TECNICA REGIONALE

Dal punto di vista geologico-strutturale il Comune di Brione ricade nelle Prealpi Bresciane, appartenenti al dominio Sudalpino a S della linea Insubrica e a O della linea delle Giudicarie. La successione litostratigrafica è costituita da formazioni mesozoiche di età compresa tra il Giurassico inferiore e il Cretaceo inferiore, appartenenti alla serie tipica del Bacino Lombardo.

Il Bacino Lombardo, compreso tra la linea della Giudicarie e la zona del Canavese, alla fine del Lias era costituito da una successione di semigraben asimmetrici, bordati da faglie normali e riempiti da prismi di torbiditi carbonatiche, marne e calcari pelagici, correlabili con successioni lacunose e ridotte, che si deponevano a margine di tali bacini e sulle creste dei blocchi basculati.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	6	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

I lineamenti strutturali principali sono caratterizzati da estese e complesse strutture plicative di tipo antiforme e sinforme, legate al sovrascorrimento SE vergente a carattere regionale delle masse più antiche sulle unità più recenti.

La successione stratigrafica delle unità presenti nel territorio comunale è costituita dalle seguenti Formazioni, elencate dalla più antica alla più recente:

- Formazione di Concesio: (G^{5-4} ; G^{8-6} - Toarciano-Aaleniano p.p. (?); Aaleniano p.p.- Batoniano p.p. (?)): costituita da calciruditi fini e calcareniti di colore bruno-nocciola, riccamente selciose, in banchi e/o strati gradati e laminati di natura torbidityca, contenenti frammenti sia litici che biogeni (abbondanti resti di crinoidi, echinidi e brachiopodi), intercalate a peliti e calcari marnosi (membro inferiore, Calcari Nocciola), e da calcari (calcilutiti) e calcari marnosi grigi, bioturbati e attraversati da sottili listarelle centimetriche di selce, in banchi e strati separati da marne. Si alternano anche strati calcarenitici gradati e corpi ruditici (membro superiore, Calcari Medoloidi);

- Selcifero Lombardo (G^{11-8} – Titoniano Inf.- Calloniano sup.): costituito da selci policrome in strati centimetrici, a frattura prismatica, di colore prevalentemente verdastro nella parte inferiore e rosso nella parte superiore (Membro inferiore, Radiolariti), e da calcari marnosi, marne calcaree e marne, spesso silicei, di colore prevalentemente rosso, in banchi e strati, con selce rossastra o talora verdognola per lo più disposta in listarelle (membro superiore, Rosso ad Aptici);

- Maiolica (C^3G^{11} - Titoniano sup.-Aptiano p.p.): costituita da calcari pelagici (calcilutiti) biancastri e grigio-chiari, in strati ben definiti di spessore da decimetrico a centimetrico, a frattura concoide, attraversati da frequenti e minute stiloliti. Sono presenti, inoltre, frequenti noduli e liste di selce, prevalentemente bionde alla base e grigio-nere verso l'alto. Nella porzione superiore sono presenti interstrati di shales nere, livelli intraformazionali risedimentati e slumpings. La comparsa di quest'unità è spesso annunciata da calcari marnosi rosati e verdognoli in strati da centimetrici a decimetrici ("calcari variegati"), che segnano la transizione al sottostante Rosso ad Aptici. Il contenuto fossilifero è costituito da calpionelle, aptici, foraminiferi, radiolari, e frequenti associazioni a nanofossili calcarei.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	7	42

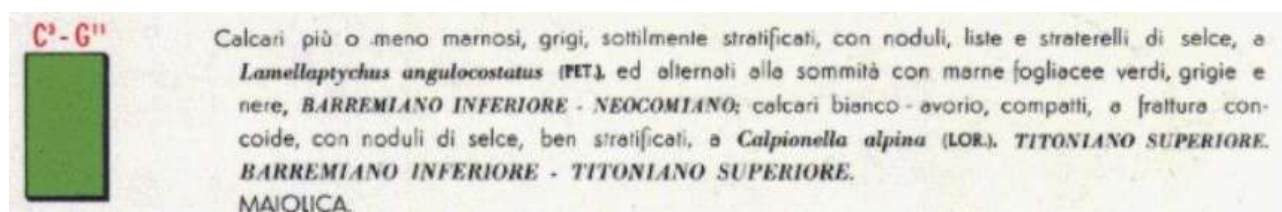
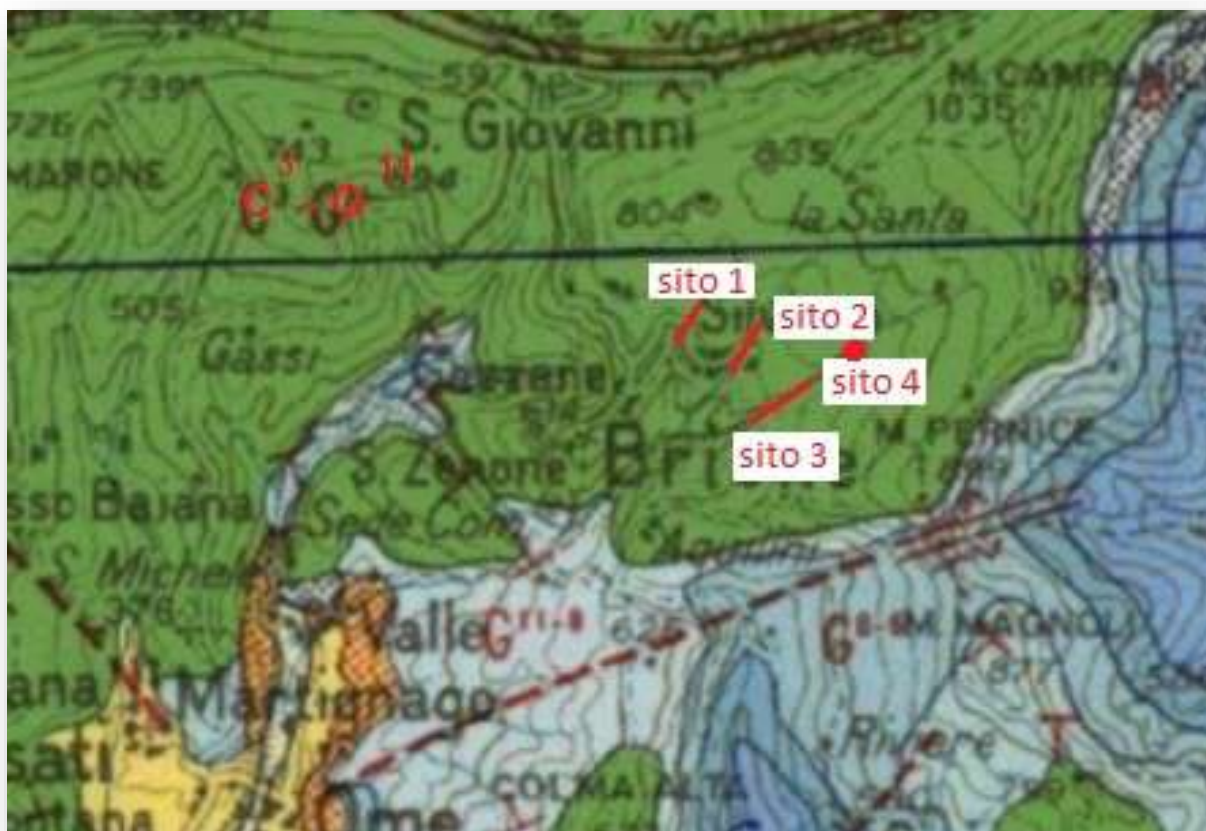


FIGURA 3 – ESTRATTO DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, ALLA SCALA 1:100.000

Secondo la Carta Geologica a scala 1: 100.000 Foglio N. 47 BRESCIA, l'area in esame appartiene alla Formazione della Maiolica.

Maiolica

Caratteri litologici di terreno: calcilutiti biancastre in patina e color nocciola in frattura, in ben definiti strati, talora a base ondulata e rinsaldati, di spessore da centimetrico a decimetrico, a

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	8	42

frattura concoide. Sono molto frequenti i noduli di selce, prevalentemente bionda alla base e grigio-nera verso l'alto.

L'unità si presenta talora molto alterata, con tipici sedimenti rossi ben osservabili al Dosso del Sole e al Monte della Pugna. La base della formazione è localmente caratterizzata da corpi lenticolari di breccie intraformazionali. In altre sezioni invece la base dell'unità è costituita da calcari marnosi rosati in strati centimetrici (“calcari variegati”), di transizione al sottostante Rosso ad Aptici.

Lo spessore non dovrebbe essere superiore a 200-250 m. Il limite inferiore è con il Gruppo del Selcifero Lombardo (Rosso ad Aptici); tale limite è in genere netto e talora in corrispondenza del limite sono osservabili orizzonti di breccie. In alcune sezioni, al contrario, la transizione Rosso ad Aptici-Maiolica è graduale e si realizza attraverso calcari marnosi rosati ben stratificati, in continuità stratigrafica (noti come “calcari variegati”).

Il limite superiore con la Marna di Bruntino ha carattere transizionale, dovuto al progressivo aumento delle intercalazioni marnoso-argillose.

Sono tipicamente presenti Calpionella alpina LORENZ e Calpionella ellittica CADISH, associate a ricche microfaune e microflore. Sulla base dell'analisi biostratigrafica, l'età della Maiolica è essenzialmente riferita all'intervallo Titoniano superiore – Aptiano inferiore.

L'omogeneità delle calcilutiti, del tutto simili alle facies analoghe diffuse in tutta l'area tetidea, testimonia condizioni bacinali.

Le unità litostratigrafiche quaternarie che possono essere intercettate nella zona di interesse sono essere rappresentate da coperture eluvio-colluviali, composte prevalentemente da una matrice argilloso-limosa con immersi clasti lapidei da angolari a subangolari. Laddove l'acclività è maggiore possono essere presenti lenti più grossolane di natura detritica.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	9	42

Oltre alle Formazioni rocciose di cui sopra, sul territorio comunale sono presenti depositi quaternari di origine continentale, quali coperture eluvio-colluviali, depositi eluviali e depositi di versante.

Le coperture eluvio-colluviali sono presenti diffusamente sul territorio, con spessori differenti; in generale i depositi eluviali più spessi si sviluppano in aree a basso gradiente topografico dove il substrato è costituito da Maiolica. Sono composti prevalentemente da una matrice argilloso-limosa con immersi clasti lapidei da angolari a subangolari.

Dove il gradiente topografico aumenta sono presenti depositi prevalentemente colluviali all'interno dei quali localmente possono essere presenti lenti più grossolane di natura detritica.

Per quanto riguarda i depositi di versante si osservano principalmente alla base delle pareti rocciose e dei versanti, e sono localmente colonizzati da vegetazione.

Per quanto riguarda i fenomeni di dinamica geomorfologica, nel territorio comunale non sono presenti significativi movimenti franosi a meno delle pareti interessate da crolli e caduta massi.

Sono presenti, inoltre, zone caratterizzate da soliflussi e creep a franosità superficiale diffusa che interessano talora i depositi eluvio-colluviali e talora la parte superficiale dell'ammasso roccioso: si tratta di movimenti lenti talora con evidenze di decorticamenti sulla superficie.

Oltre a quanto sopra esposto, sul territorio comunale non sono presenti importanti frane attive, mentre si rinvencono frane quiescenti e due paleofrane di grandi dimensioni.

I fenomeni di dinamica geomorfologica si sviluppano prevalentemente dove l'ammasso roccioso si presenta più fratturato con morfologia del versante acclive o dove le coperture eluvio-colluviali manifestano fenomeni di soliflusso per infiltrazioni d'acqua al contatto tra deposito e substrato roccioso.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	10	42

Nell'area comunale, vista la composizione prevalente dei litotipi costituenti il substrato roccioso, si possono osservare morfologie legate a fenomeni carsici, quali grotte, doline, le quali concorrono all'alimentazione delle sorgenti, nonché al ristagno idrico (in corrispondenza di doline con fondo argilloso).

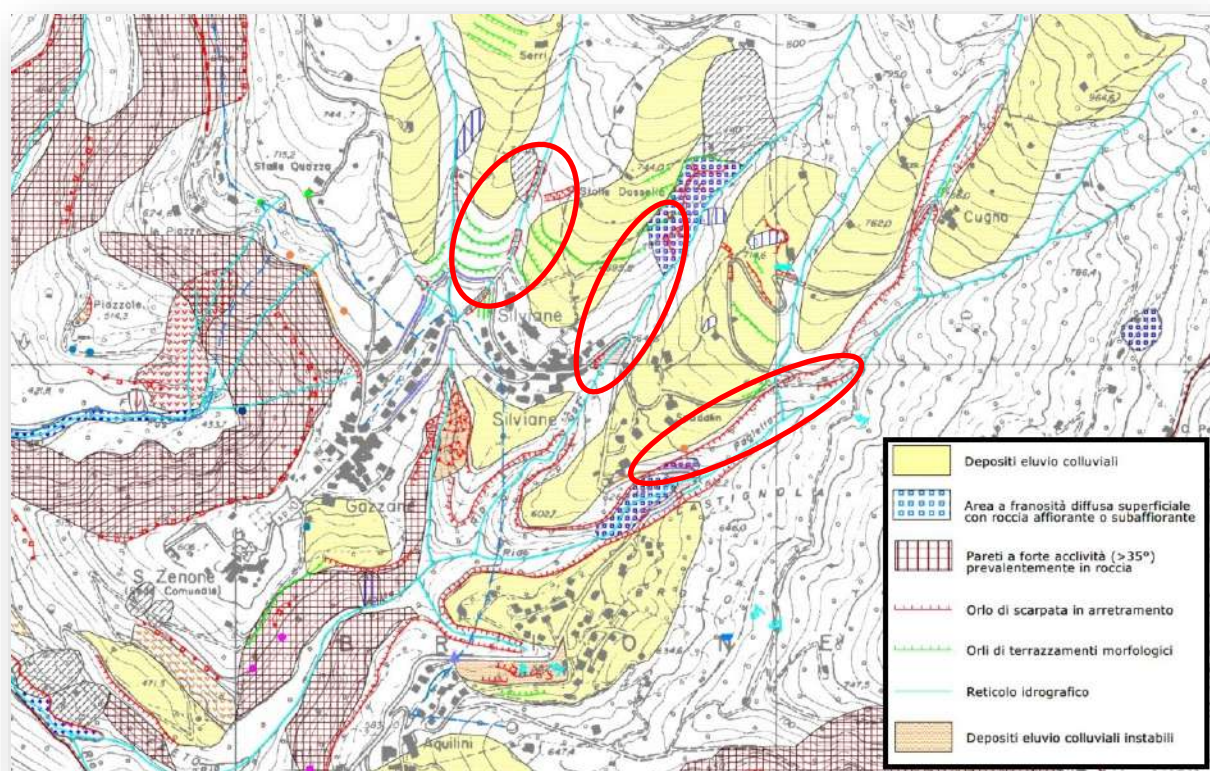


FIGURA 4 – ESTRATTO DELLA CARTA GEOMORFOLOGICA (PGT).

Descrizione dettagliata dei siti di intervento

Le incisioni dei rii oggetto di intervento presentano caratteri simili fra loro, ovvero alti fianchi di roccia Maiolica affiorante, che si presenta molto fratturata e con giunti di discontinuità spaziate nell'ordine dei decimetri.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	11	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

Le pareti sono sub-verticali o addirittura verticali, e scaricano blocchi in quantità consistente in diversi punti delle vallecole.

I tratti iniziali a monte (in prossimità dello spartiacque Monte Pernice-Monte Campanile) non sono ancora molto incisi, mentre scendendo a valle i rii diventano incassati anche di 7-9 m, formando dei veri e propri budelli incassati all'interno delle pareti di roccia affiorante.

Per quanto riguarda il Rio Gaz e il Rio Paglietta, i tratti allo sbocco sulla strada provinciale SP 10 (all'incirca nell'ordine di 30-50 m) dal lato di monte si presentano accessibili avendo larghezza dell'alveo di 3-6 m, mentre lato valle per entrambi l'accessibilità è estremamente difficoltosa.

Per quanto riguarda il Rio della Forcelletta, l'accessibilità dei tratti oggetto d'intervento è critica sia a monte che a valle della strada provinciale SP10.

Laddove la verticalità è meno pronunciata, è presente una coltre detritica limoso-argillosa, che si presenta instabile, anche in ragione della assente vegetazione erbosa e della scarsa vegetazione arbustiva. Dai fianchi, pertanto, la coltre detritica frana all'interno dell'incisione o viene erosa e trasportata dall'acqua in concomitanza degli eventi di piena.

2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La litologia prevalente del territorio comunale è di tipo carbonatico, subaffiorante, caratterizzata da intensa fratturazione e soggetta ad intensi fenomeni carsici sotterranei.

La Formazione della Maiolica costituisce l'acquifero carsico che alimenta tutte le sorgenti presenti nel territorio comunale. Alla base della formazione della Maiolica è presente il Selcifero Lombardo, formazione caratterizzata da una permeabilità per fessurazione molto scarsa e che funge quindi da aquiclude per l'unità soprastante.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	12	42

La circolazione idrica sotterranea è pertanto particolarmente sviluppata, a causa dell'alta permeabilità secondaria del substrato roccioso, legata al suo assetto strutturale e al suo stato di fratturazione.

La presenza di un carsismo ben sviluppato che determina la presenza di numerose grotte e quindi di una circolazione idrica molto intensa, conferisce all'acquifero un alto grado di vulnerabilità e livelli di rischio di contaminazione piuttosto alti.

Tutto questo concorre a giustificare l'importanza dal punto di vista idrogeologico attribuita alla formazione della Maiolica, che rappresenta l'acquifero alimentante della sorgente Fus.

Le sezioni evidenziano la presenza di una unità idrogeologica costituita da depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi con ciottoli e massi in matrice limoso-sabbiosa. La frazione fine è generalmente scarsa; sono tuttavia presenti, soprattutto nei pozzi situati nella fascia pedemontana, orizzonti argillosi o limoso-sabbiosi che non sembrano tuttavia possedere continuità laterale. Le ghiaie sono spesso più o meno cementate, fino a passare a conglomerati compatti o fessurati, con intercalazioni di lenti prevalentemente ghiaiose e più raramente argillose e limoso-argillose.

3 FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO

Nella Figura 5 si riporta uno stralcio della Carta di fattibilità geologica che corredata lo studio geologico del PGT del comune di Milano. Come si osserva, l'area esaminata ricade nella seguente classificazione:

- fattibilità 3 – con consistenti limitazioni
 - sottoclasse 3a – aree ad alta vulnerabilità idrogeologica per carsismo profondo e molto alta per la vicinanza alla sorgente Fus;
 - sottoclasse 3b – aree interessate da soliflusso, creep e dissesti superficiali diffusi;
- fattibilità 4 – con gravi limitazioni

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	13	42

- sottoclasse 4a - fascia di rispetto dei corsi d'acqua afferenti al Reticolo Idrico Minore in genere di 10 m;
- sottoclasse 4b – aree caratterizzate da uno o più corpi di frana, recenti e/o da marcata instabilità dei versanti.

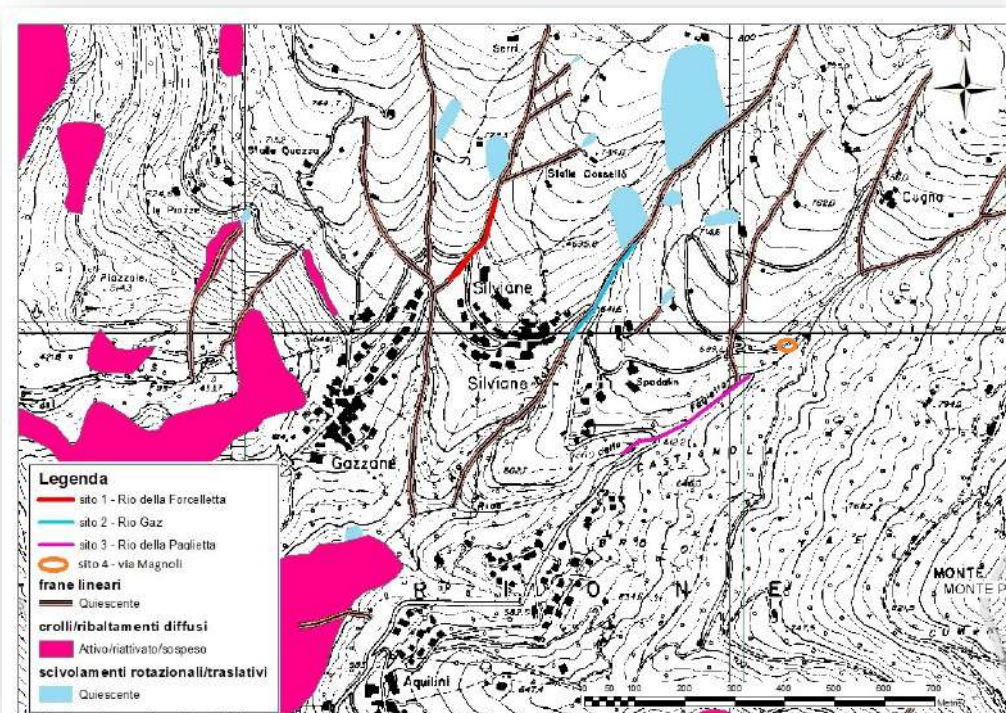


FIGURA 5 – STRALCIO DELLA CARTA DI FATTIBILITA' GEOLOGICA (PGT).

4 QUADRO DEI DISSESTI

Da un'analisi congiunta delle osservazioni effettuate in sito e delle informazioni raccolte nell'Inventario dei Fenomeni Franosi predisposto dalla Regione Lombardia nell'ambito del progetto IFFI, si può osservare quanto segue:

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	14	42

- in corrispondenza dei tre torrenti oggetto di studio vengono indicate frane lineari di stato quiescente; la loro riattivazione in concomitanza di eventi meteorici eccezionali è stata dimostrata dagli eventi calamitosi occorsi a giugno 2024;
- alcune zone a monte che insistono sugli impluvi dei tre torrenti esaminati sono cartografate come aree interessate da scivolamenti rotazionali/traslativi quiescenti. Da una perlustrazione con drone è stato osservato che perlopiù tali frane non sono state riattivate a giugno 2024, ad eccezione di quattro situazioni localizzate, come illustrato più diffusamente al capitolo 8.

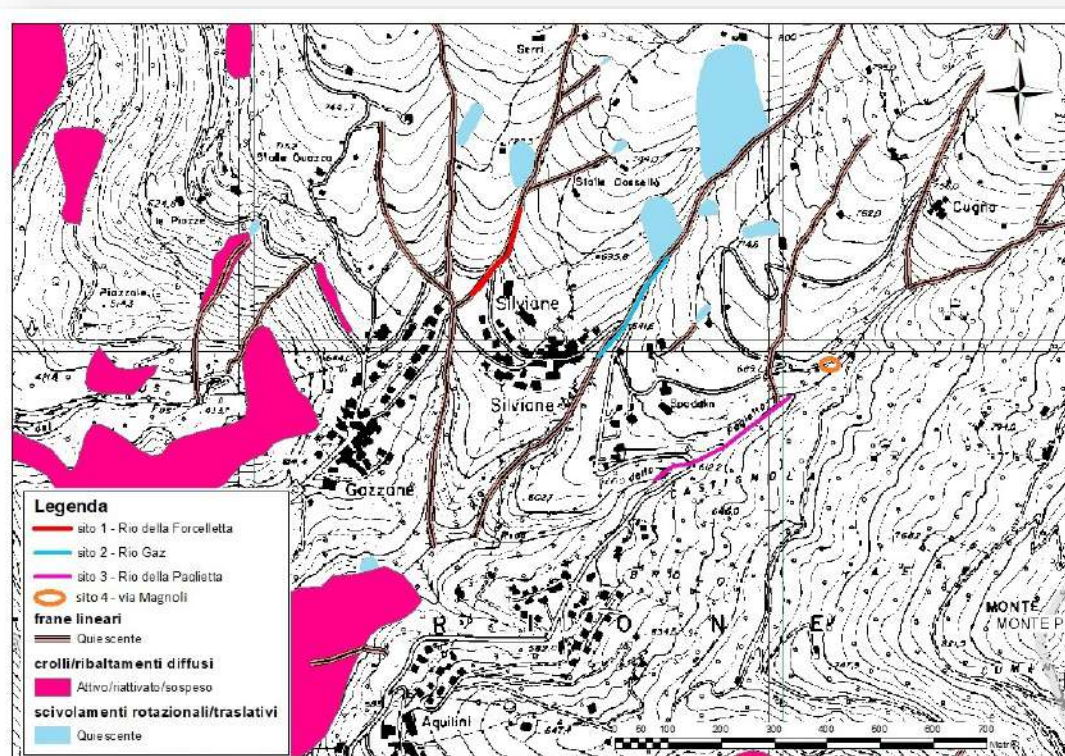


FIGURA 6 – CARTA DEL DISSESTO (PROGETTO IFFI).

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	15	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

5 DIRETTIVA ALLUVIONI - PGRA

In riferimento al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, l'area oggetto di intervento non è soggetta ad alcun tipo di scenario di pericolosità, sia per l'ambito territoriale di Reticolo Principale (PR) sia per gli ambiti territoriali Reticolo Secondario di Pianura (RSP) e Reticolo secondario di Collina e di Montagna (RSCM).

6 QUADRO DEI VINCOLI

Da un'analisi della documentazione del PGT emerge che le aree di intervento sono interessate unicamente dal vincolo della fascia di rispetto di 10 m del reticolo idrico minore.

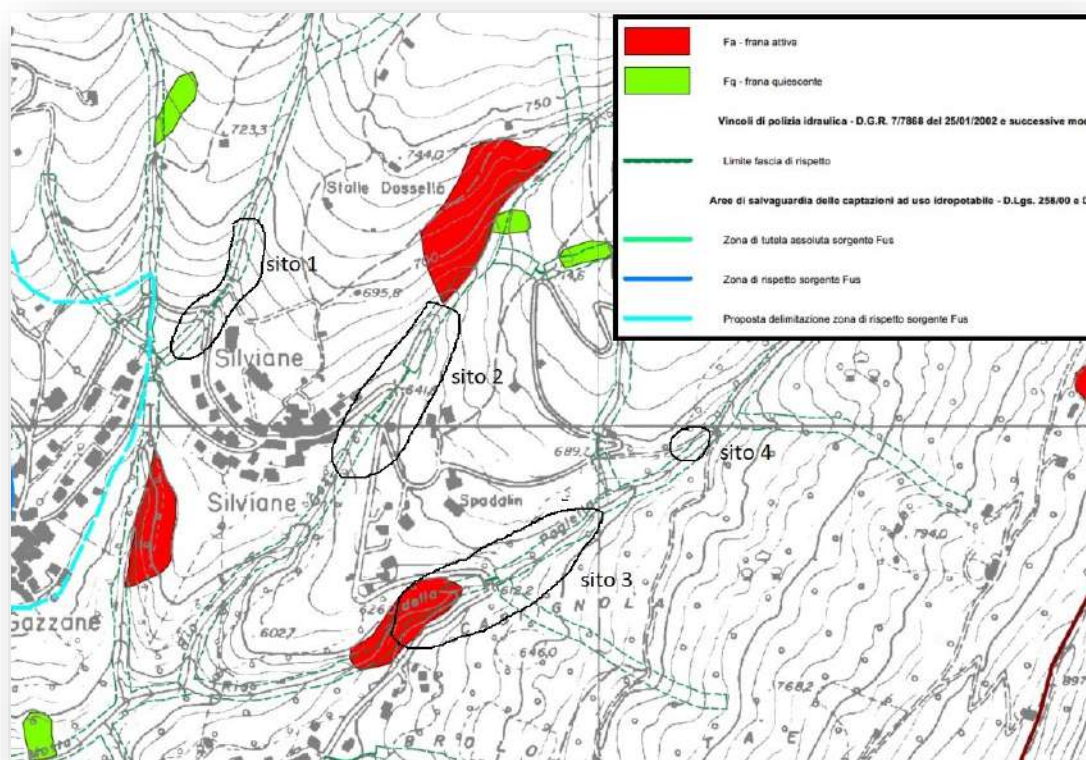


FIGURA 7 – CARTA DEI VINCOLI (PGT).

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	16	42

Inoltre, dall'analisi del geoportale SIBA emerge che al di sotto della curva di livello dei 700 m s.l.m non sussistono vincoli ambientali, mentre al di sopra di essa vi è il vincolo di elevata naturalità ex art.17 del PPR.

Infine, dalla consultazione del geoportale della lombardia emerge che le aree di intervento ricadono, almeno in parte, in zone soggette a vincolo idrogeologico ex art.1 R.D. 3267/23.

In merito a questo, il presente documento è redatto ai fini dell'ottenimento dello svincolo idrogeologico.

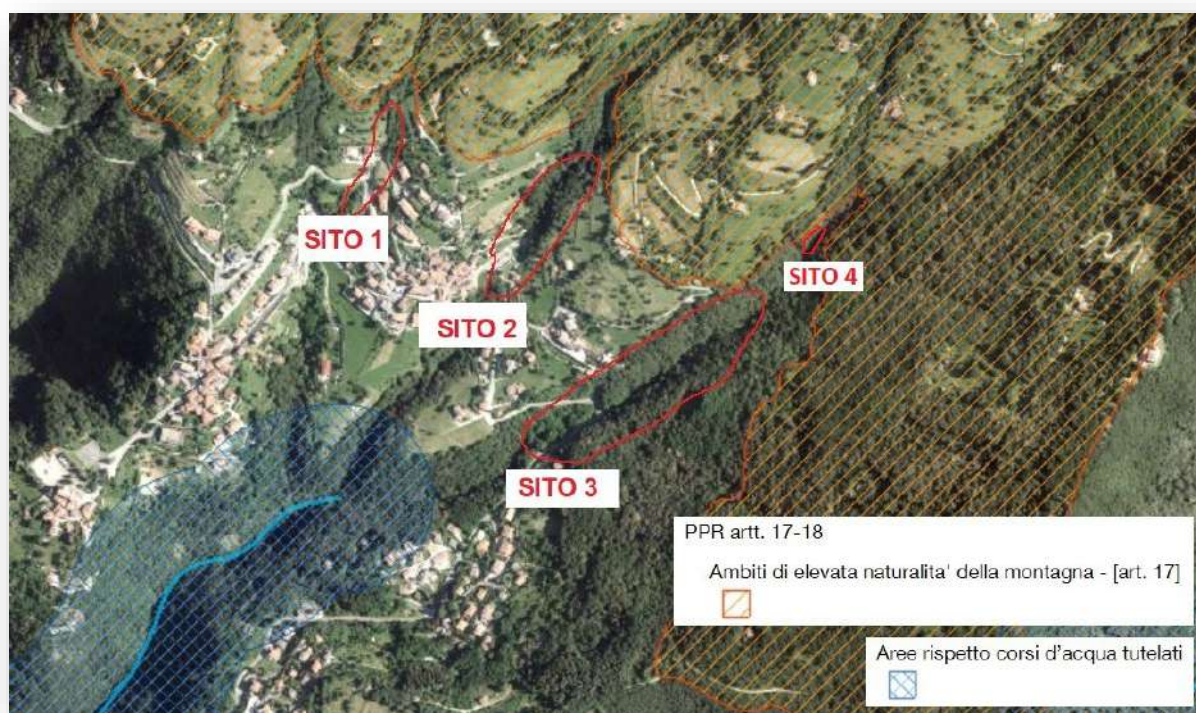


FIGURA 8 – VINCOLI PAESAGGISTICI (SIBA).

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	17	42

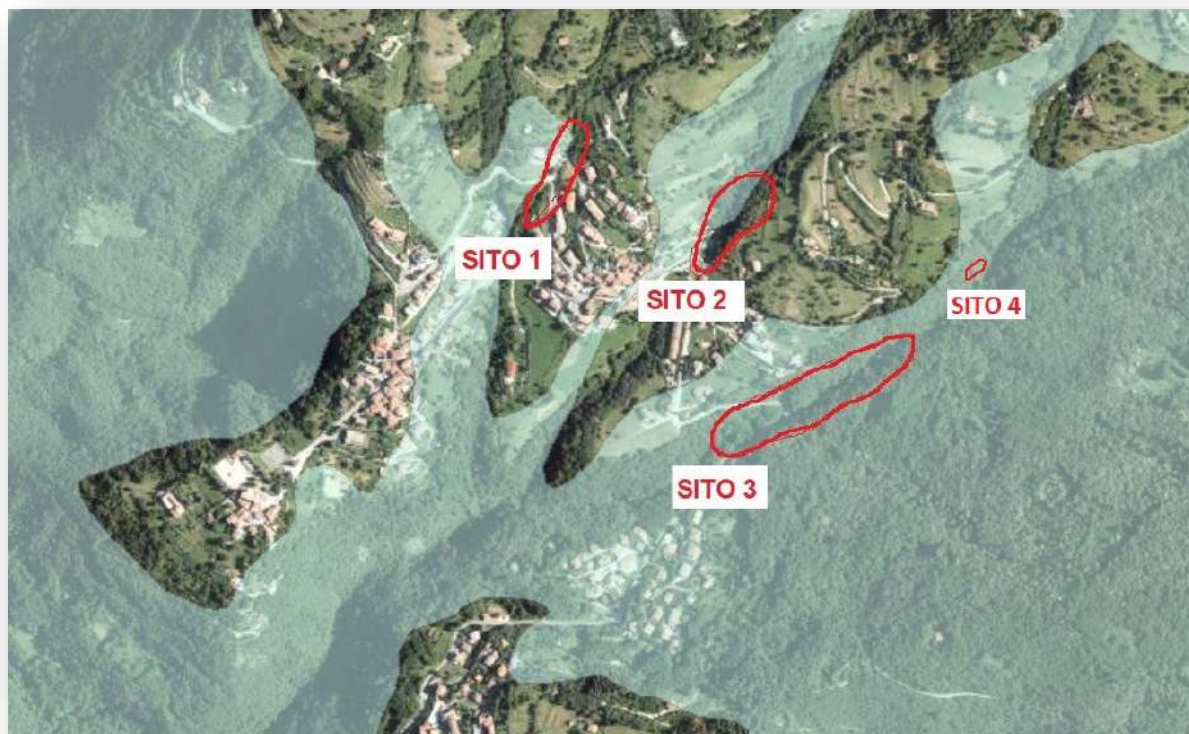


FIGURA 9 – VINCOLO IDROGEOLOGICO (GEOPORTALE LOMBARDIA).

7 SOPRALLUOGHI IN SITO

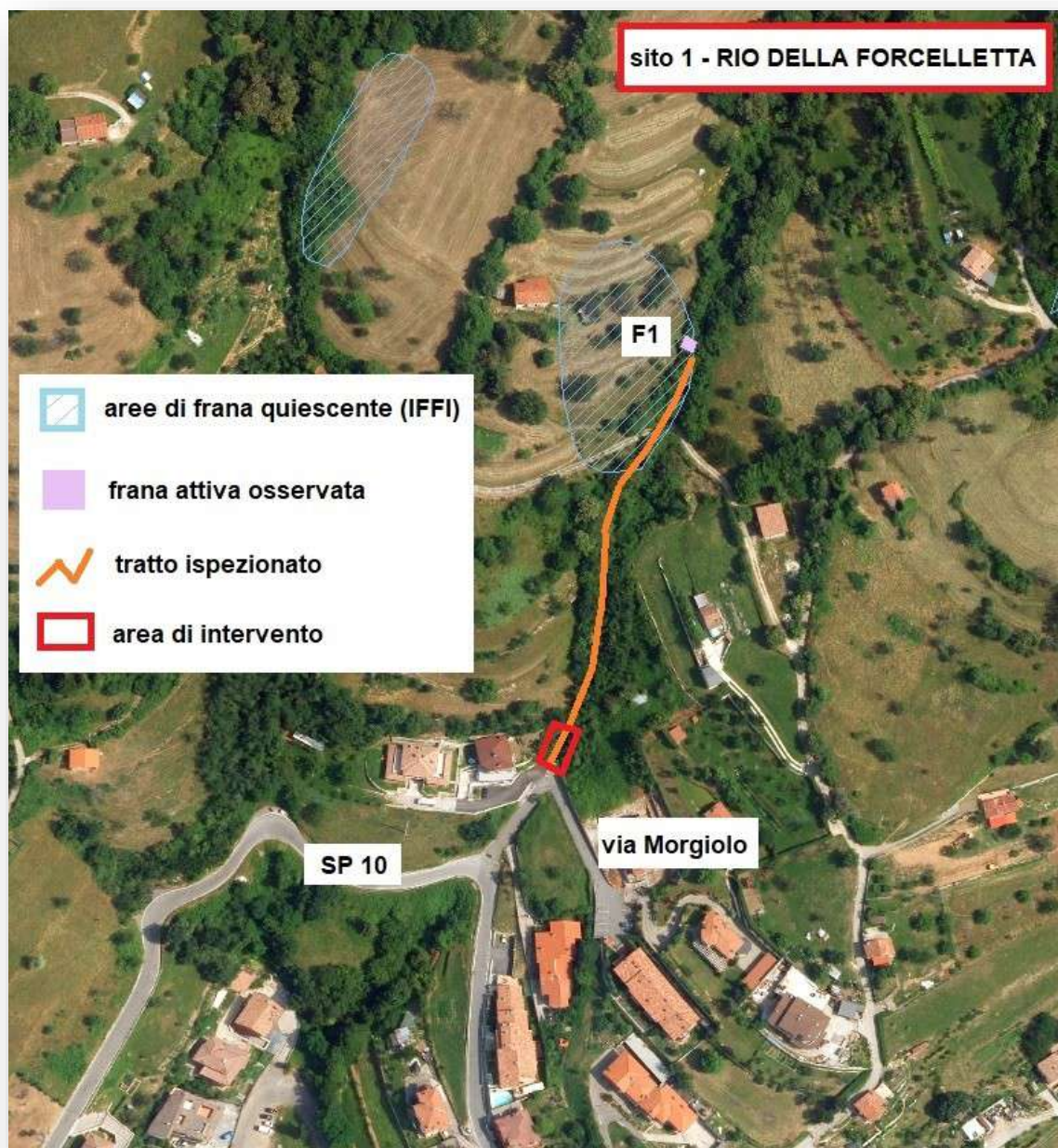
Nelle date 20, 24 e 25 ottobre 2024 sono stati effettuati dei sopralluoghi in sito, per comprendere lo stato dei luoghi, le problematiche presenti e le condizioni di accessibilità.

Di seguito si propone quanto emerso.

7.1 Rio della Forcelletta

È stato ispezionato a piedi il lato di monte rispetto alla strada provinciale SP10, per un tratto di circa 180 m, fino a monte di circa 80 m rispetto al punto di confluenza di due impluvi.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	18	42



Appena imboccato l'alveo è presente un pozzetto con griglia, per il convogliamento dell'acqua all'interno del tubo diametro 1000m che consente l'attraversamento sia di via Morgiolo che della SP10.

Lungo il tratto percorso, l'alveo si presenta largo da 2 a 3 m, con andamento prevalentemente serpeggiante a stretto raggio di curvatura. L'alveo è piuttosto pulito, per

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	19	42



Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

effetto del dilavamento intenso subito durante gli eventi meteorici eccezionali che ci sono stati l'estate scorsa. Nel tratto serpeggiante il letto è interamente in roccia (Maiolica), mentre nel tratto terminale il fondo è in materiale sciolto compatto e blocchi. I fianchi delle sponde sono prevalentemente in roccia subaffiorante, ma con una coltre superficiale limoso-argillosa di spessore variabile da 0,4 a 0,2 m.

É stata effettuata una stima del materiale sciolto mobilitabile da un possibile evento di pioggia eccezionale; la stima ammonta a circa 65 m³.

A monte del tratto ispezionato, è stata osservata **una frana attiva** (denominata **F1**) di non trascurabili dimensioni, ricadente in una più ampia area che IFFI definisce quiescente, in sponda destra. La frana osservata nel corso del sopralluogo si è riattivata durante gli eventi disastrosi di giugno 2024. Sono state stimate le seguenti dimensioni:

	
<p>Larghezza del fronte: 7 m</p> <p>Lunghezza: 15 m</p> <p>Spessore: 1,1 m</p> <p>Volume complessivo: 116 m³</p>	
<p>Area di frana attiva F1</p>	

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	20	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it



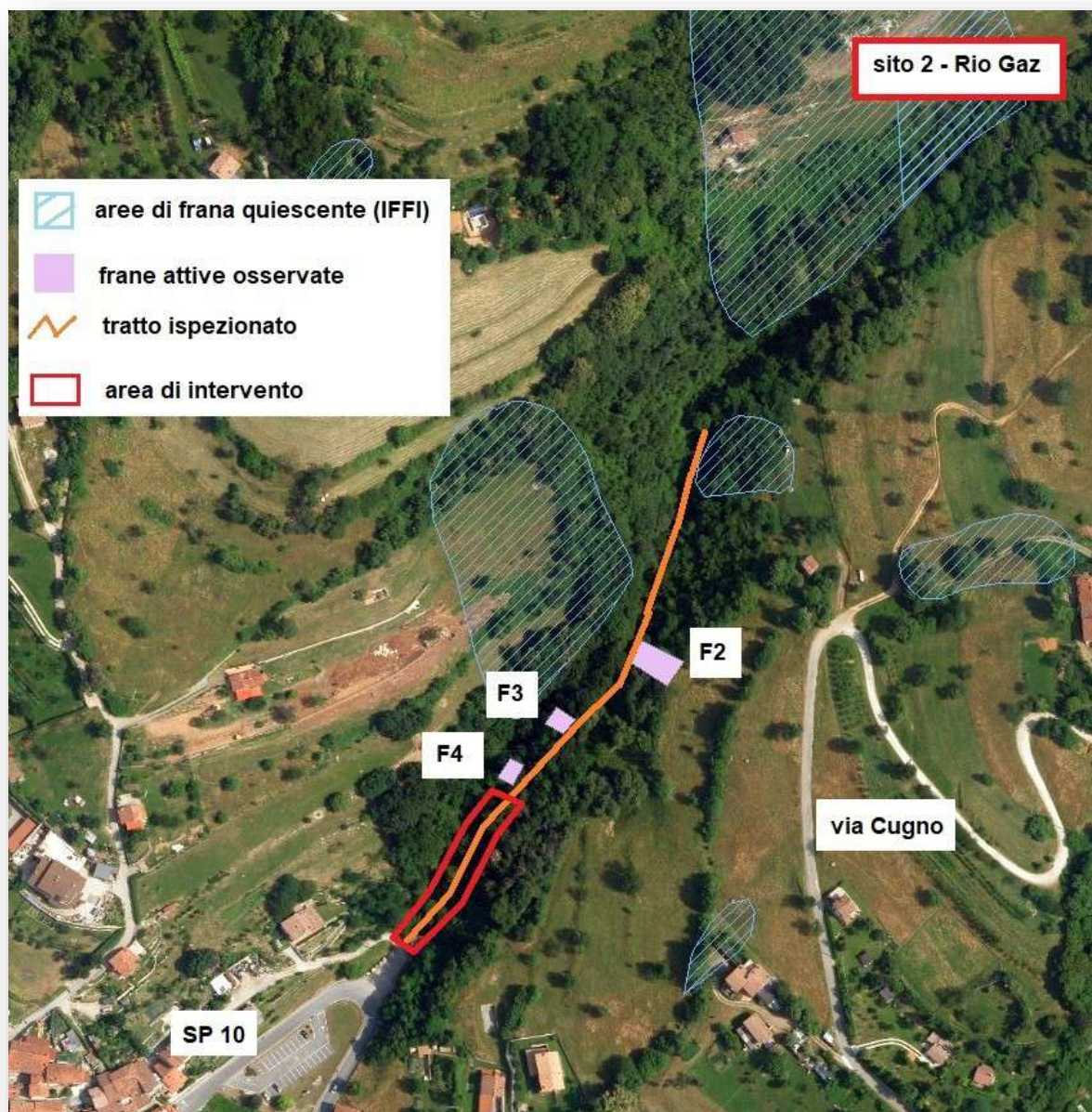
7.2 Rio Gaz

È stato ispezionato a piedi il lato di monte rispetto alla strada provinciale SP10, per un tratto di circa 240 m.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	21	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it





Appena imboccato l'alveo è presente un pozzetto con griglia, per il convogliamento dell'acqua all'interno del tubo che consente l'attraversamento sia della SP10 che del parcheggio antistante. Per un tratto di circa 50 m l'alveo è piuttosto rettilineo e con larghezza di circa 5-6 m. Le sponde sono pseudo-verticali con roccia qua e là affiorante ma prevalentemente ricoperta da

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	22	42

coltre limoso-argillosa. Procedendo più all'interno, la roccia è sempre più affiorante, almeno fino a un'altezza di 2-3 m. Al di sopra una coltre detritica, che raggiunge angoli di inclinazione molto significativi, la nasconde alla vista.

Sono state osservate due frane di dimensioni discrete in sponda destra (F3 e F4) e **una frana di notevoli dimensioni (F2)** in sponda sinistra. Tali frane si sono attivate in occasione degli eventi meteorici eccezionali di giugno 2024.

Area di frana attiva F4	Area di frana attiva F3
	
<p>Larghezza del fronte: 12 m</p> <p>Lunghezza: 15 m</p> <p>Spessore: 1,1 m</p> <p>Volume complessivo: 200 m³</p>	<p>Larghezza del fronte: 9 m</p> <p>Lunghezza: 12 m</p> <p>Spessore: 1,1 m</p> <p>Volume complessivo: 120 m³</p>

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	23	42

Area di frana attiva F2



Larghezza fronte: 15 m

Lunghezza: 30 m

Spessore: 1,9 m

Volume complessivo: 850 m³

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	24	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it



DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	25	42

7.3 Rio della Paglietta

È stato ispezionato a piedi il lato di monte rispetto alla strada provinciale SP10, per un tratto di circa 150 m.

Appena imboccato l'alveo, la larghezza è di circa 12 m, con fondo poco inclinato e costituito da blocchi e materiale sciolto molto compatto. La zona è attualmente adibita a deposito legname.

Dopo circa 100 m, il canale diventa molto stretto (circa 1,2 – 1,5 m) e incassato fra due pareti di roccia affiorante verticali. L'andamento è serpeggiante a elevata curvatura (stretto raggio). Da questo punto in poi il Rio è impraticabile.

Non sono state osservate aree franose attivatesi durante gli eventi di giugno.



DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	26	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it



7.4 Via Magnoli

In corrispondenza di un breve tratto, circa una decina di metri, di strada bianca denominata via Magnoli, si è verificato un dissesto superficiale che ha interessato il materiale sciolto sul pendio di sottoscarpa.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	27	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

Il dissesto è stato cagionato dall'azione erosiva dovuta alle intense precipitazioni occorse nel giugno 2024.

L'area in dissesto risulta compresa fra via Magnoli e l'incisione valliva sede del Rio Paglietta.



8 INDAGINI IN SITO

Per la ricostruzione del modello geotecnico e geofisico, è stata condotta una campagna di indagini in sito, la cui esatta ubicazione è indicata in Figura 10, articolata come segue:

- n.6 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- n.2 stendimenti MASW.

Le Penetrometriche dinamiche si sono prevalentemente fermate a rifiuto strumentale a poca profondità dal piano campagna.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	28	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it



FIGURA 10 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI

9 MODELLO GEOFISICO

Per la ricostruzione del modello geofisico medio, nei due siti di esecuzione, si fa riferimento alle elaborazioni degli stendimenti MASW.

9.1 Rio Paglietta – MASW1

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico medio, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla v_s e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	29	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

l'unico che non dipende da v_p , ma solamente da v_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile. Il *bedrock* sismico, se si assume come tale l'orizzonte in cui la v_s supera gli 800 m/s, si colloca a -7,9 m circa dal piano campagna.

MODELLO GEOFISICO MEDIO MASW 1 - Via Provinciale - Brione (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	245	2,2	-2,2	1,87	0,31	112
2	210	2,7	-4,9	1,84	0,33	81
3	335	3,0	-7,9	1,94	0,30	218
4	850	6,2	-14,1	2,16	0,28	1559
5	1250	5,9	-20,0	2,25	0,26	3508

Tab.1– Modello geofisico sito Rio Paglietta

Si ricava una $v_{s,eq}$ a partire da piano campagna pari a 257 m/s. La categoria di sottosuolo di appartenenza, ai sensi del DM 17/01/18 risulta essere la categoria E, con riferimento al piano campagna.

9.2 Rio Gaz – MASW2

Il *bedrock* sismico, se si assume come tale l'orizzonte in cui la v_s supera gli 800 m/s, si colloca a 2,6 m circa dal piano campagna. Essendo quindi il substrato roccioso posizionato a una profondità inferiore a -3,0 m, la categoria di sottosuolo di appartenenza, ai sensi del DM 17/01/18 risulta essere la categoria A.

MODELLO GEOFISICO MEDIO MASW 2 - Via Silvane - Brione (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	350	2,6	-2,6	1,96	0,32	240
2	840	1,1	-3,7	2,16	0,28	1521
3	980	5,0	-8,7	2,19	0,26	2099
4	1250	2,3	-10,0	2,24	0,24	3498

Tab.2– Modello geofisico sito Rio Gaz

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	30	42

10 INQUADRAMENTO SISMICO

La sismicità del territorio è legata alla sola presenza di attività neotettonica, intendendo con questo termine i movimenti tettonogenetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene e l'attuale (cioè negli ultimi 5,2 milioni di anni).

I movimenti neotettonici sono di tipo sia lineare, ovvero che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) sia di tipo areale ovvero che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali.

Nella Carta neotettonica dell'Italia (Ambrosetti et al., 1987) il territorio del comune di Milano appartiene interamente ad un'area interessata da movimenti alterni di sollevamento e abbassamento, con tendenza al sollevamento durante il Pliocene ed il Quaternario.

La nuova normativa sismica (OPCM n. 3274 del 20/3/2003 e OPCM n. 3519 del 28/4/2006) suddivide il territorio nazionale in 4 classi di sismicità, ciascuna caratterizzata da un rappresentativo valore di accelerazione orizzontale massima, a_g , al *bedrock* (formazione rocciosa di base), espressa come aliquota dell'accelerazione gravitazionale g .

Si rammenta, inoltre, che in data 14/10/2015 è entrata in vigore la riclassificazione sismica del territorio lombardo, stabilita con DGR n. X/2129 del 11/07/2014. In accordo con la DGR X/2129 dell'11 luglio 2014, il comune di Brione ricade in classe 3. A tale categoria la normativa assegna al parametro a_{gmax} il valore di 0,143972 g .

Da un punto di vista topografico, l'area esaminata presenta una pendenza media inferiore a 15° e, pertanto, ricade nella categoria T1.

11 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Lo studio geologico condotto a supporto del PGT evidenzia che ai sensi della D.G.R. 8/1566 del 2005 gli scenari di pericolosità individuati dalla normativa per le aree di intervento possono essere così sintetizzati:

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	31	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

- Rio della Forcelletta: nessuno;
- Rio Gaz: Z2 – zone con terreno di fondazione particolarmente scadente
- Rio Paglietta: Z1c – zone potenzialmente franose o esposte al rischio di frana
- Via Magnoli: Z1c – zone potenzialmente franose o esposte al rischio di frana.

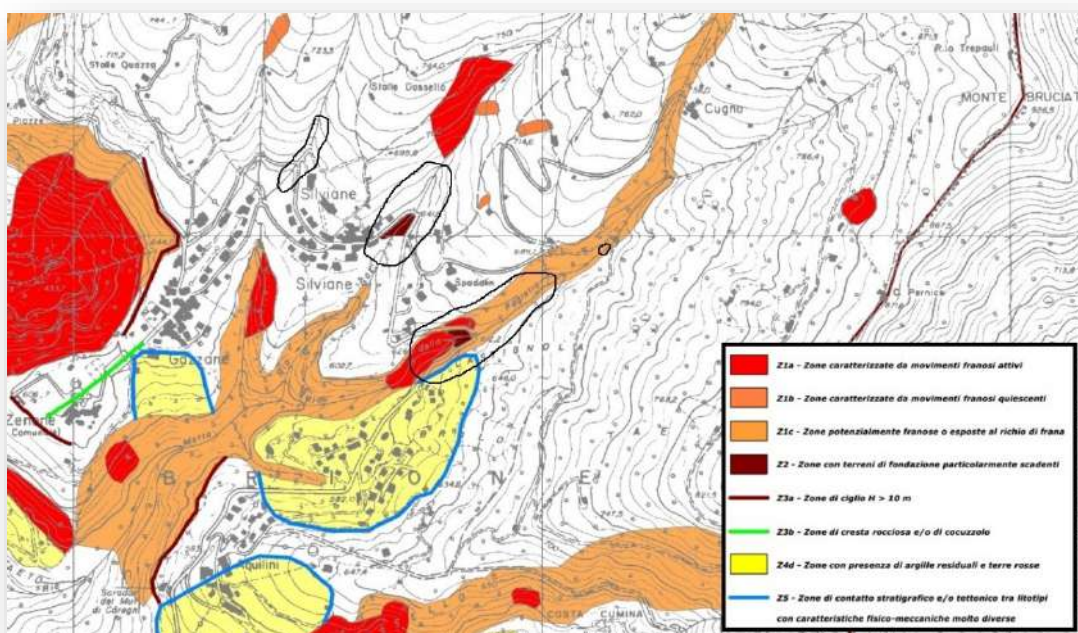


FIGURA 11 – ESTRATTO DELLA CARTA DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PGT)

12 PARAMETRIZZAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

12.1 Categoria di sottosuolo E

I valori dei parametri di pericolosità sismica e dei coefficienti sismici, determinati secondo quanto previsto nel D.M. 17/01/2018 per la **categoria E**, sono raccolti rispettivamente in tabella 3 e tabella 4. **A questa categoria appartiene il sito Rio Paglietta.**

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	32	42

Stato Limite	T_{rit} [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_{c^*} [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.466	0.211
Danno (SLD)	50	0.053	2.409	0.231
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.141	2.426	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.181	2.446	0.288

Tab.3– Parametri di pericolosità sismica al sito.

Coefficienti Sismici	SLO	SLD	SLV	SLC
S_s	1.60	1.60	1.60	1.51
C_c	2.14	2.07	1.92	1.89
S_t	1.00	1.00	1.00	1.00
k_h	0.013	0.017	0.054	0.066
k_v	0.006	0.008	0.027	0.033
a_g [m/s ²]	0.614	0.826	2.209	2.684
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Tab.4– Coefficienti sismici.

12.2 Categoria di sottosuolo A

I valori dei parametri di pericolosità sismica e dei coefficienti sismici, determinati secondo quanto previsto nel D.M. 17/01/2018 per la **categoria A**, sono raccolti rispettivamente in tabella 5 e tabella 6. **A questa categoria appartengono i siti Rio Gaz, Rio Forcelletta e via Magnoli.**

Stato Limite	T_{rit} [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_{c^*} [s]
Operatività (SLO)	30	0.039	2.466	0.211

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	33	42

Danno (SLD)	50	0.053	2.409	0.231
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.141	2.426	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.181	2.446	0.288

Tab.5– Parametri di pericolosità sismica al sito.

Coefficienti Sismici	SLO	SLD	SLV	SLC
S _s	1.00	1.00	1.00	1.00
C _c	1.00	1.00	1.00	1.00
S _t	1.00	1.00	1.00	1.00
k _h	0.008	0.011	0.038	0.049
k _v	0.004	0.005	0.019	0.024
a _g [m/s ²]	0.384	0.516	1.380	1.777
Beta	0.200	0.200	0.270	0.270

Tab.6– Coefficienti sismici.

La stima del periodo di riferimento V_R, necessario per valutare le azioni sismiche, viene eseguita secondo quanto indicato nel D.M. 14/01/08, ovvero:

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

in cui

V_N = vita nominale dell'opera

C_u = coefficiente d'uso, funzione della Classe d'uso (vedasi Tab.2.4.II nel D.M.)

In base alla destinazione di utilizzo dell'opera, la Classe d'uso è la II e la vita nominale è di 50 anni. Pertanto, si ricava un periodo di riferimento V_R = 50 anni.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	34	42

13 SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Ai sensi del punto 7.11.3.4.2 delle NTC (DM 17/01/18 “Norme Tecniche per le Costruzioni”) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Nel caso in esame, non sono presenti materiale granulometricamente suscettibili di liquefazione.

In conclusione, quindi, per il caso in esame si possono escludere fenomeni di liquefazione.

14 MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO

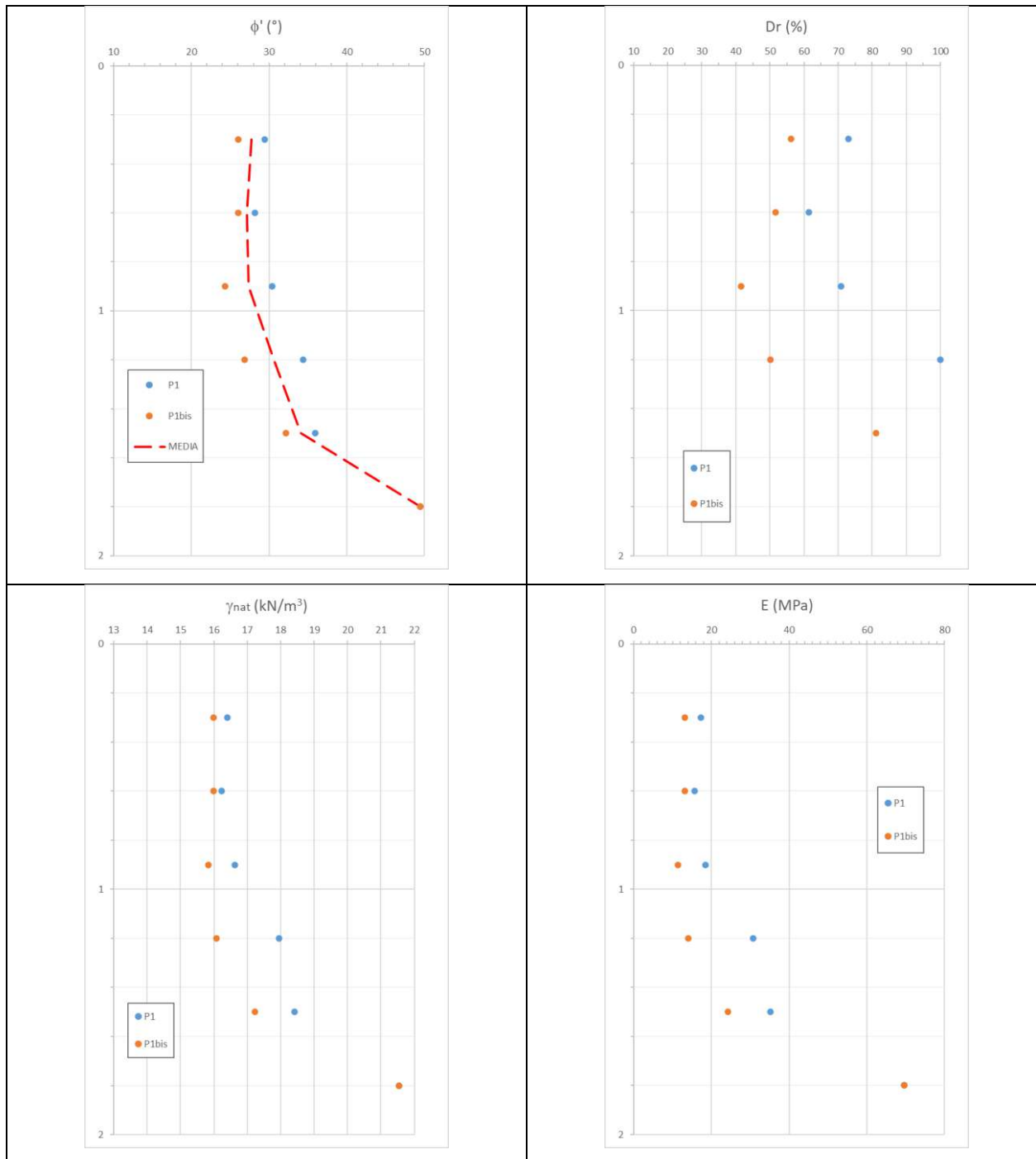
Si precisa che alla formazione della Maiolica, che costituisce il substrato roccioso nei quattro siti in esame, si assegnano i valori caratteristici dei parametri geotecnici ben noti in letteratura.

14.1 Rio della Forcelletta

Al sito è presente un primo strato superficiale, di potenza inferiore a 2 m, costituito da ciottoli e ghiaia immersi in abbondante matrice limoso-argillosa. Tale orizzonte presenta

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	35	42

caratteristiche che migliorano con la profondità. Vi soggiace il substrato roccioso, dapprima alterato e probabilmente fratturato (cappellaccio), seguito in profondità dalla roccia sana.



DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	36	42

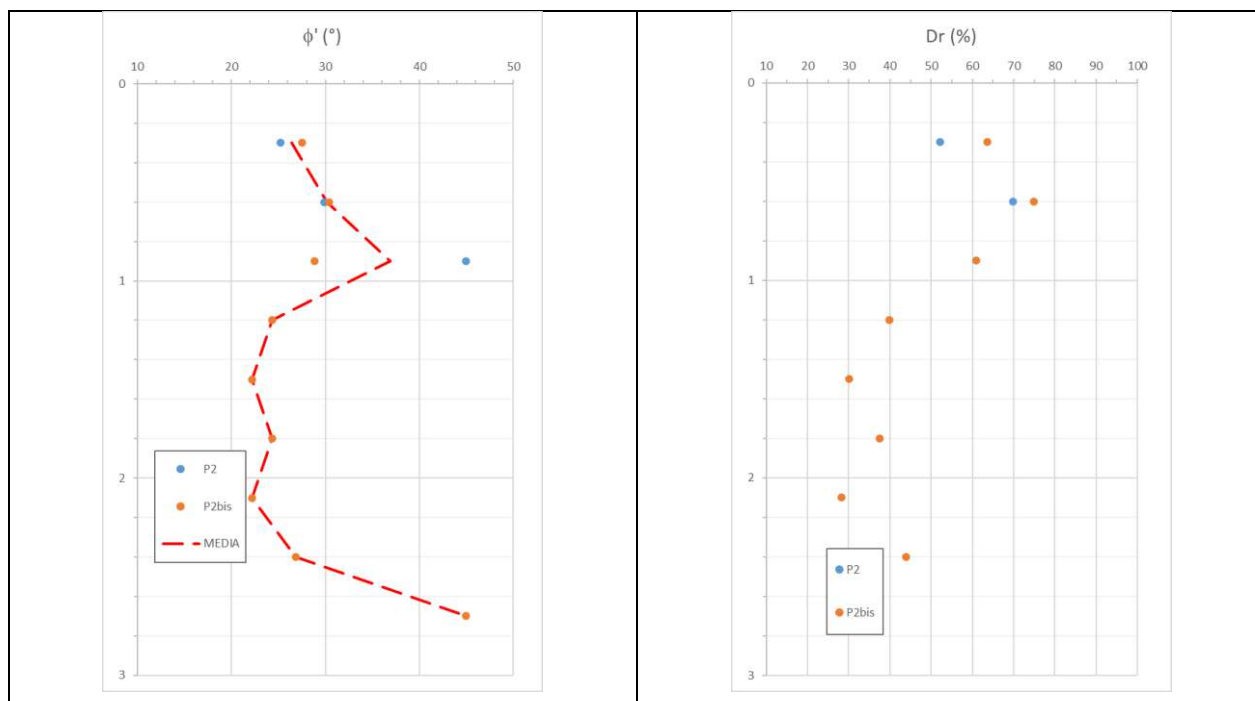
Per definire il modello geotecnico medio, sono stati assegnati ai principali parametri geotecnici i seguenti valori caratteristici:

Id	Descrizione	prof. da pc (m)			γ_{nat} (kN/m ³)	D_R (%)	ϕ' (°)	E (MPa)
1	Ciottoli e ghiaia in matrice limoso-argillosa mediamente addensata	0	–	1.8	16.4	63	27	15
2	Substrato roccioso (Maiolica)	1.8	–	...	20.5	/	38	60

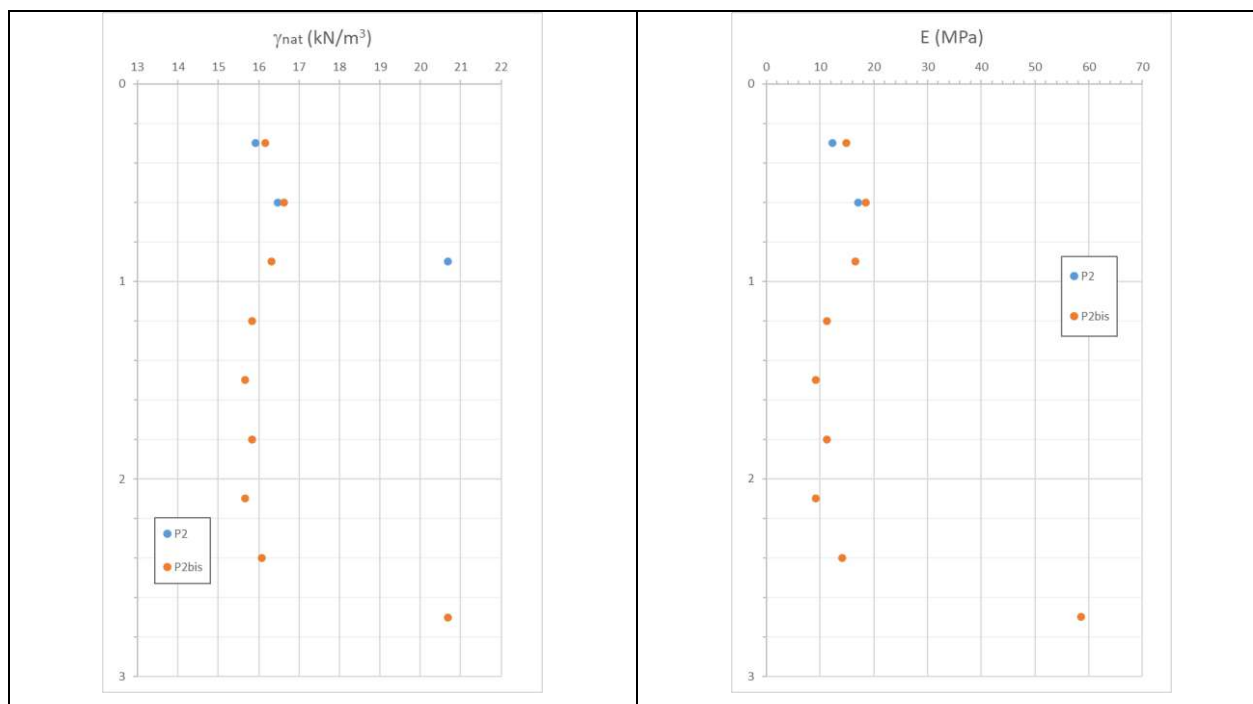
Tab.7 –Modello geotecnico del terreno – Rio Forcelletta.

14.2 Rio Gaz

La successione stratigrafica è analoga a quella del sito precedente, variando solamente la potenza dell'unità litologica superficiale, che in questo sito è di circa 2,7 m. Ciò trova riscontro anche nei risultati dello stendimento MASW2.



DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	37	42



Per definire il modello geotecnico medio, sono stati assegnati ai principali parametri geotecnici i seguenti valori caratteristici:

Id	Descrizione	prof. da pc (m)			γ_{nat} (kN/m ³)	D_R (%)	ϕ' (°)	E (MPa)
1	Ciottoli e ghiaia in matrice limoso-argillosa mediamente addensata	0	–	2.7	16.8	60	26	10
2	Substrato roccioso (Maiolica)	2.7	–	...	20.5	/	38	60

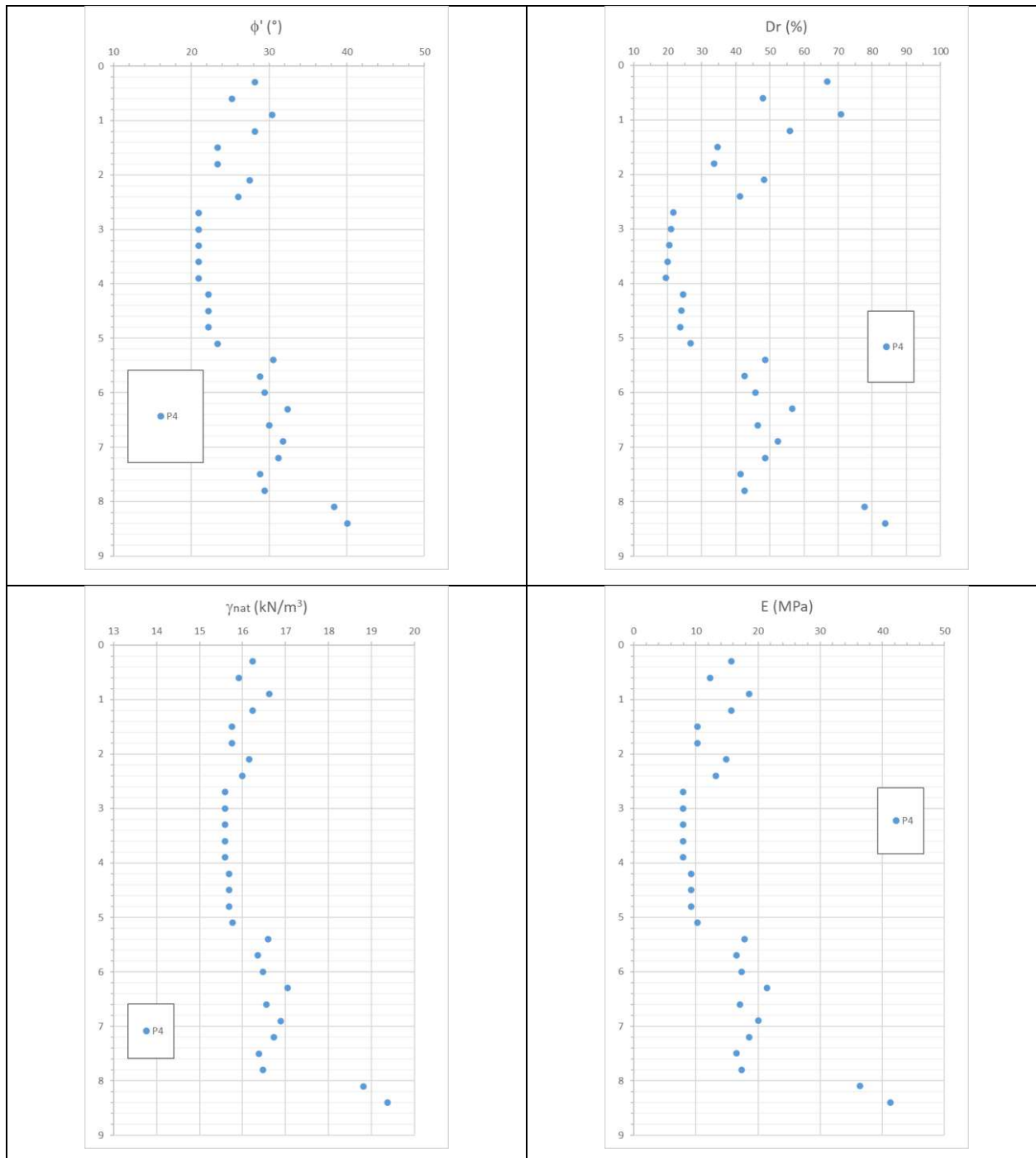
Tab.8 –Modello geotecnico del terreno – Rio Gaz.

14.3 Rio Paglietta

La successione litostratigrafica si discosta significativamente dalle precedenti. Da quanto emerge anche da una “ricerca storica”, il sito è stato oggetto in passato di intervento di riempimento dell’incisione valliva, al fine di creare uno spazio fruibile.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	38	42

Si riconoscono tre orizzonti litologici fino alla profondità raggiunta, ovvero 8,4 m. Al di sotto di questa dovrebbe trovarsi verosimilmente il substrato roccioso e ciò trova conferma nei risultati della MASW1.



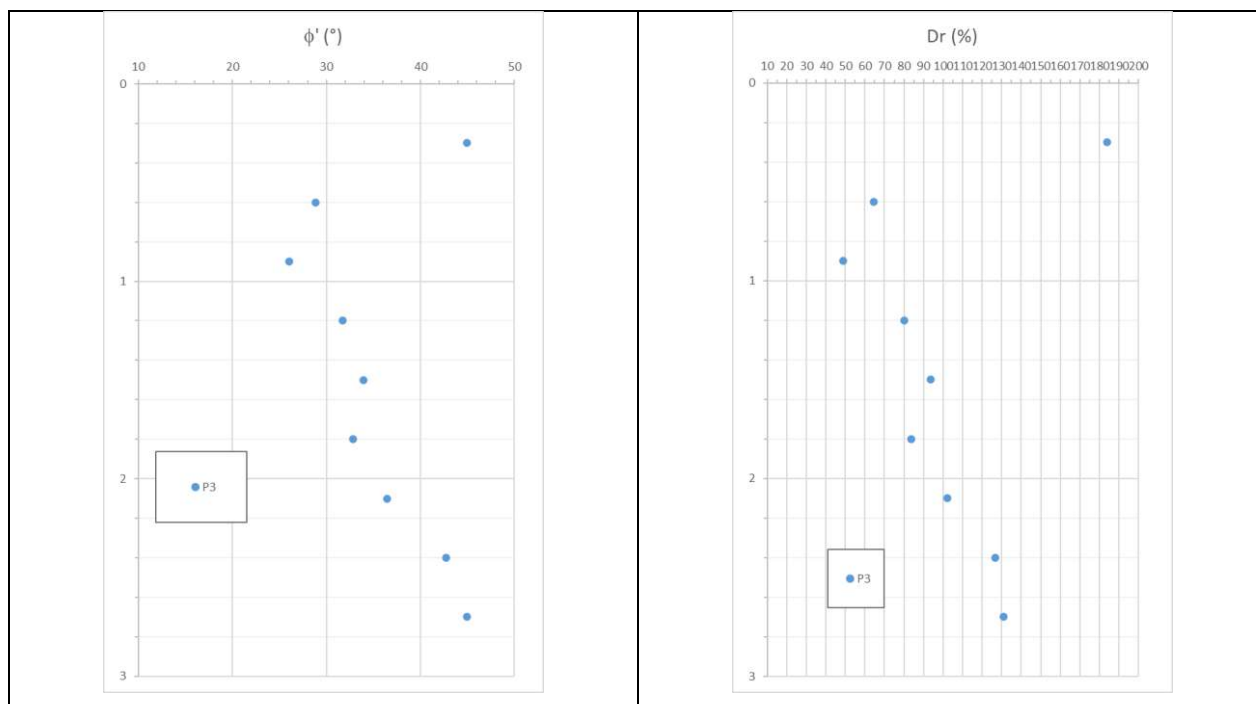
DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	39	42

Per definire il modello geotecnico medio, sono stati assegnati ai principali parametri geotecnici i seguenti valori caratteristici:

Id	Descrizione	prof. da pc			γ_{nat} (kN/m ³)	D _R (%)	ϕ' (°)	E (MPa)
		(m)						
1	Riporto antropico mediamente addensato, includente molti frammenti lapidei	0	–	2.4	16.1	50	27	14
2	Materiale di riporto non addensato	2.4	–	5.4	15.7	25	22	10
3	Ghiaia e ciottoli in matrice limoso argillosa	5.4	–	8.4	17.1	54	30	20
4	Substrato roccioso (Maiolica)	8.4	–	...	20.5	/	38	60

Tab.9 –Modello geotecnico del terreno – Rio Paglietta.

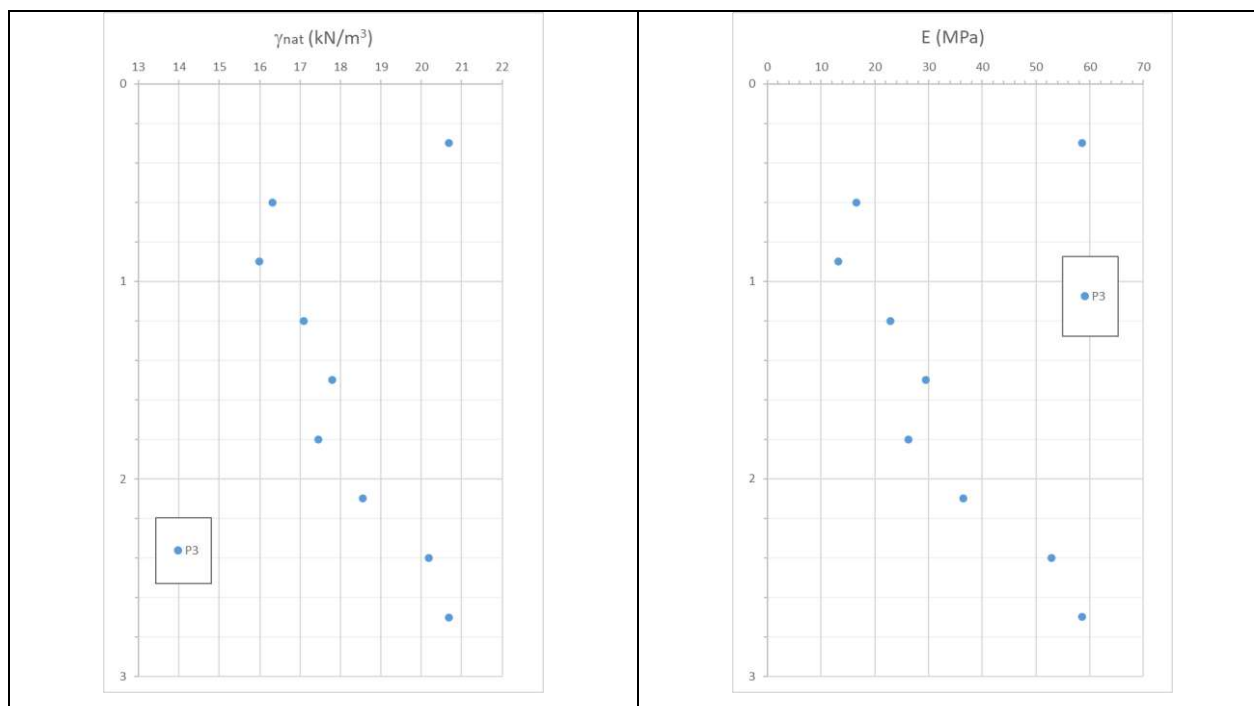
14.4 Via Magnoli



DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	40	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it



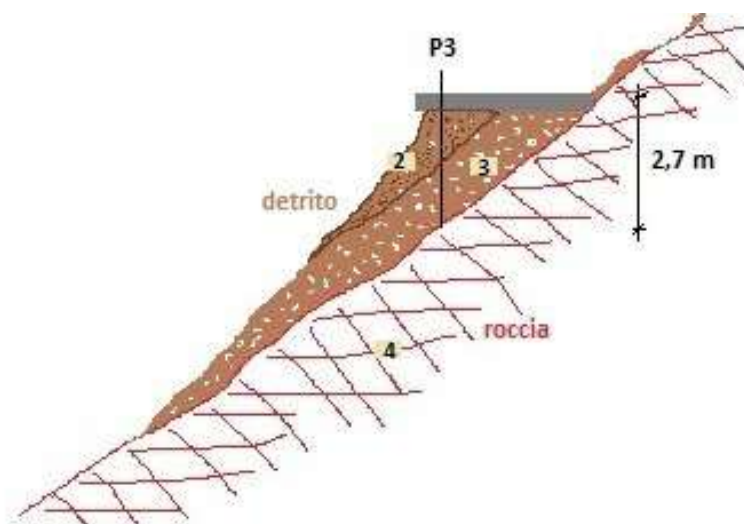
Id	Descrizione	prof. da pc (m)			γ_{nat} (kN/m ³)	D_R (%)	ϕ' (°)	E (MPa)
1	Pavimentazione in calcestruzzo	0	–	0.3	/	/	/	/
2	Limo argilloso con ciottoli	0.3	–	1.1	16.2	57	27	13
3	Blocchi litoidi in matrice limoso-argillosa	1.1	–	2.7	18.6	103	33	32
4	Substrato roccioso (Maiolica)	2.7	–	...	20.5	/	38	60

Tab.10 –Modello geotecnico del terreno – via Magnoli.

La morfologia del sito di via Magnoli merita una precisazione. Come si evince dalle fotografie, la strada in corrispondenza della quale è stata eseguita la prova penetrometrica taglia ortogonalmente alla linea di massima pendenza il versante. Sul lato di monte (controripa) si osserva uno spessore molto esiguo o assente di detrito sciolto e roccia affiorante, messa a nudo con lo scavo della strada. Sul lato di valle (sottoscarpa) si osserva uno spessore consistente di detrito sciolto (di cui una parte erosa e collassata a valle in occasione degli eventi meteorici che hanno originato il dissesto). A circa metà distanza fra strada e fondo della vallecola, si intravede l'affiorare del substrato roccioso.

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	41	42

Alla luce di queste considerazioni e dei risultati della prova penetrometrica, eseguita sul ciglio lato valle della strada, si può evincere il seguente schema semplificato del modello geotecnico:



15 VERIFICHE AGLI SLU SECONDO IL DM 17/01/2018

Ai sensi del nuovo DM 17/01/2018, l'approccio progettuale da adottare per le verifiche di opere di fondazione è l'approccio 2 combinazione unica (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU (A1) (A2)		
			Carichi permanenti G_i	Favorevole	γ_{G1}
	Sfavorevole	1,1	1,3	1,0	
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.b.1. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{01} .

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	42	42

Ing. SILENE CRESSERI

via Franciacorta, 41 – 25060 Brione (BS) • cell 333/7657620 • email: sm.progetti@yahoo.it

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

La capacità portante limite del terreno viene calcolata mediante la relazione di Brinch-Hansen, detta anche formula trinomia, che analiticamente è scritta:

$$q_{lim}^{LT} = \frac{1}{2} \gamma B^* N_\gamma s_\gamma i_\gamma + \gamma H N_q s_q i_q + c' N_c s_c i_c \quad (\$)$$

ove si rammenta che

q_{lim}^{LT}	=	pressione limite di rottura per taglio, a lungo termine o condizioni drenate
B e L	=	dimensione minore e maggiore della fondazione, rispettivamente
e	=	eccentricità = M/V = momento flettente/carico verticale
B* e L*	=	larghezza ridotta per effetto dell'eccentricità = B-2e
H	=	profondità di posa della fondazione dal piano campagna
N_γ, N_q e N_c	=	fattori adimensionali funzione di ϕ_{ik}
s_γ, s_q e s_c	=	fattori adimensionali di forma, funzioni di ϕ_{ik} e del rapporto B/L
i_γ, i_q e i_c	=	fattori adimensionali di inclinazione del carico, funzioni di ϕ_{ik} e del rapporto B/L, nonché dei valori del carico verticale V e dell'azione orizzontale H agenti sulla fondazione

Si rammenta che ai fini delle verifiche agli SLU, le resistenze di progetto R_d dovranno essere confrontate con le azioni di progetto E_d derivanti dall'analisi strutturale. A loro volta, le resistenze di progetto si ottengono dalle q_{lim} dividendo queste ultime per i corrispondenti coefficienti γ_R indicati nel D.M. 14.1.08 alla tabella 6.4.I.

15.1 Rio della Forcelletta

Si ipotizzano fondazioni a platea, impostate a una profondità di -0,70 m da piano campagna, aventi lunghezza (dimensione maggiore) pari a circa 6,00 m. Nella tabella seguente

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	43	42

si forniscono i valori di capacità portante limite e resistenza di progetto al variare della larghezza (dimensione minore).

Platea (L=6.00m)	
Pressioni limite	
	q_{lim} (kPa)
B (m)	M1
1.80	327.31
2.20	358.14
2.50	379.78
2.80	400.17
Resistenze di progetto	
	R_d (kPa)
B (m)	M1+R3
1.80	142.31
2.20	155.71
2.50	165.12
2.80	173.99

15.2 Rio Gaz

Si ipotizzano fondazioni a platea, impostate a una profondità di -0,70 cm da piano campagna, aventi lunghezza (dimensione maggiore) pari a circa 9,00 m. Nella tabella seguente si forniscono i valori di capacità portante limite e resistenza di progetto al variare della larghezza (dimensione minore).

Platea (L=9.00m)	
Pressioni limite	
	q_{lim} (kPa)
B (m)	M1
2.20	305.42
2.50	325.35

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	44	42

2.80	344.61
3.00	357.08
Resistenze di progetto	
	R_d (kPa)
B (m)	M1+R3
2.20	132.79
2.50	141.46
2.80	149.83
3.00	155.25

15.3 Rio Paglietta

Si ipotizzano fondazioni a platea, impostate a una profondità di -0,70 cm da piano campagna, aventi lunghezza (dimensione maggiore) pari a circa 9,00 m. Nella tabella seguente si forniscono i valori di capacità portante limite e resistenza di progetto al variare della larghezza (dimensione minore).

Platea (L=9.00m)	
Pressioni limite	
	q_{lim} (kPa)
B (m)	M1
2.20	169.92
2.50	180.16
2.80	190.07
3.00	196.48
Resistenze di progetto	
	R_d (kPa)
B (m)	M1+R3
2.20	73.88
2.50	78.33
2.80	82.64
3.00	85.43

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	45	42

Brione, 23/06/2025.

I tecnici:



Dr. Ing. Silene Cresseri



Dr. Geol. Matteo Gisolo

DATA	DOCUMENTO	PAG.	PAG. TOT.
Giugno 2025	Relazione geologica e geotecnica	46	42



Viale Michelangelo, 40 – 25015 Desenzano del Garda (BS)
P.IVA/C.F. 03632850982
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

ESECUZIONE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE,
NEL COMUNE DI BRIONE (BS)

RAPPORTO TECNICO

Committente: *Ing. Silene Cresseri*

Data:

| Indica le parti modificate con l'ultima revisione

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
00	28/05/08	Emissione	M. Gisolo		
			S. Cresseri		

Ing. SILENE CRESSERI, Dr. MATTEO GISOLO
via Alfieri, 4 – 25126 Brescia • tel. 030 5031291 • email: sm.progetti@yahoo.it

06 Giugno 2025

INDICE

1 -PREMESSA	49
2 -PROVE PENETROMETRICHE	49
2.1 - Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)	49
2.2 - Descrizione dei risultati	50
3 -ANALISI HVSR	51
3.1 - Cenni sulla metodologia HVSR	51
3.2 - Acquisizione dei dati	51
3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti	52
4 -INDAGINE SISMICA MASW	53
4.1 - Cenni sulla metodologia MASW	53
4.2 - Acquisizione dei dati	54
4.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti	55
5 -RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE ESEGUITE	56
5.1 - MASW1+HVSR1 (Via Provinciale)	57
5.2 - MASW2+HVSR2 (Via Silvine)	62
6 -CONCLUSIONI	67
7 -UBICAZIONE DELLE INDAGINI	68
8 -ALLEGATO FOTOGRAFICO - MASW1	69
9 -ALLEGATO FOTOGRAFICO – MASW2	70

- PREMESSA

Su incarico conferito dalla *Dott.ssa Geol. Silene Cresseri* è stata eseguita, in data 27 Maggio 2025, una campagna d'indagine geognostica finalizzata alla ricostruzione geologica, geotecnica e sismica di 4 differenti siti ricadenti nel Comune di Brione (BS).

Le indagini in sito hanno previsto la realizzazione di **n° 4 Prove penetrometriche dinamiche standard SCPT-DPSH**, per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

Sono stati eseguiti inoltre **n° 2 profili di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW**, e **n° 2 indagini sismiche passive con metodo HVSR** per la caratterizzazione sismostratigrafica del sottosuolo.

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire il *modello geologico-geotecnico* dei terreni di fondazione, *l'andamento medio delle onde di taglio S* in profondità ed eseguire la valutazione del parametro $V_{s,eq}$ di sito, al fine di identificare la *Categoria di Sottosuolo di progetto* (tabelle allegate al *D.M. 17/01/2018*) misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

- PROVE PENETROMETRICHE

.1 - Prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT-DPSH)

La prova penetrometrica dinamica SCPT (*Standard Cone Penetration Test*) è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi N_{SCPT} necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, attraverso l'utilizzo di alcune correlazioni di bibliografia, di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dei terreni indagati ed un'interpretazione dei fondamentali parametri geotecnici.

Nello specifico sono state eseguite **n°4 prove penetrometriche dinamiche standard**, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dynamic Penetrometer Super Heavy) *Tipo Meardi (AGI) - mod. Pagani TG 63/200*, con avanzamento delle aste e dei rivestimenti ogni 30 cm. Dal valore di N_{SCPT} (numero di colpi per 30 cm di infissione delle aste) può essere ricavato il corrispondente valore di $N_{s.p.t.}$ mediante la relazione: $N_{s.p.t.} = N_{DPSH}/C$.

Il coefficiente C è un fattore dipendente dalla litologia dei terreni attraversati durante la prova e dall'attrezzatura utilizzata. Si suggeriscono le seguenti correlazioni proposte in letteratura:

- C= 1,00 -> Ghiaie e ghiaie sabbiose
- C= 0,80 -> Sabbie e ghiaie con fine plastico
- C= 0,67 -> Sabbie con molto fine
- C= 0,50 -> Limi argillosi


Penetrometro dinamico-statico super pesante Tipo: Meardi (AGI) - Modello: Pagani TG 63-200	
Massa battente (M)	73,0 kg
Altezza di caduta del maglio (H)	0,75 m
Avanzamento aste (δ)	30 cm
Apertura punta conica di infissione (α)	60°
Diametro punta conica di infissione (D)	50,5 mm
Base cono di infissione (A)	20 cm ²
Diametro batteria d'aste (d)	34 mm
Lavoro specifico compiuto per ciascuna battuta (L)	234 kJ/m ²

Fig. 1 - Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

.2 - Descrizione dei risultati

Le prove penetrometriche sono state spinte ad una profondità massima di circa -8,40 m dal p.c. (P4); esse, risultano sufficientemente rappresentative dei terreni indagati e sono correlabili con altre indagini geotecniche eseguite in aree limitrofe ed in contesti omologhi a quello di studio.

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH non sono stati riscontrati l'insorgere di fenomeni di adesione-coesione tra le aste e pertanto si è ritenuto opportuno non utilizzare gli appositi rivestimenti.

Il rifiuto strumentale riscontrato lungo le verticali di prova è imputabile all'elevato grado di addensamento dei terreni indagati e/o alla presenza di grossi ciottoli entro l'unità deposizionale attraversata o in alternativa alla presenza del substrato roccioso.

Infine, durante l'avanzamento delle indagini geotecniche non sono stati riscontrati fenomeni di circolazione d'acqua. Per la misura di un eventuale livello di falda, sono stati comunque inseriti, ove possibile, nei fori di prova, tubi piezometrici microfessurati in PVC del diametro di ½". Le misure effettuate al termine dell'indagine geognostica, sono riportate nella tabella sottostante.

Punto di misura	Profondità di prova raggiunta (m dal p.c.)	Profondità Piezometro microfessurato installato temporaneamente (m dal p.c.)	Falda (m dal p.c.)
P1	-1,80	--	--
P1 BIS	-1,80	--	--
P2	-0,90	--	--
P2 BIS	-2,70	--	--
P3	-2,70	--	--
P4	-8,40	8,00	Non rilevata

TABELLA 1: Riepilogo delle prove penetrometriche e dei rilievi freaticometrici eseguiti nei fori di prova.

- ANALISI HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale V_s nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire, in corrispondenza di ogni stendimento sismico MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alle quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

.2 - Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine sono state eseguite, mediante stazione singola o tromometro, n°2 misure di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.



CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

.1 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.2*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

La determinazione delle curve HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.



CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

- INDAGINE SISMICA MASW

Per la ricostruzione dei profili sismostratigrafici, attraverso la stima dell'andamento medio delle velocità delle onde di taglio (V_s) e degli spessori degli strati delle sequenze deposizionali indagate, sono state utilizzate prospezioni sismiche MASW.

.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves)* si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto, per quanto concerne la MASW 1 sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love, per la MASW 2 sono state registrate, per motivi operativi, solo le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti.

.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza degli stendimenti sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture esistenti. Entrambi gli allineamenti sismici hanno previsto una distanza tra i geofoni pari a 1 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10 m MASW1) e (2-4-6-8 m MASW2) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love (MASW2) lo stendimento sismico ha previsto una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 4,0 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh, è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (*Senshe* con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntali da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, è stata eseguita una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità di fase*. Si analizza lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Nella fase interpretativa viene posta particolare attenzione nell'interpretazione della curva di dispersione, in considerazione del fatto che le perturbazioni indotte dalle onde di superficie sono il risultato di diversi *modi di vibrazione*, che possono sovrapporsi nello spettro di velocità.

L'energia associata a ciascun modo è essenzialmente determinata dal tipo di sorgente sismica, dalla sua distanza rispetto ai geofoni e, naturalmente, dalla successione stratigrafica locale (cioè dal profilo sismostratigrafico di V_s). La lettura e l'interpretazione dello spettro di velocità è avvenuta mediante *l'individuazione delle curve di dispersione* lungo gli allineamenti di massima energia del segnale.

Al fine di individuare i *modi corretti*, correlabili alla reale successione stratigrafica, è stato scelto di eseguire ed analizzare più scoppi sismici ad *Offset* variabili. Tutte le curve di dispersione sono state quindi visionate prima di procedere al processing del *dataset* prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti hanno contribuito ad elaborare un modello maggiormente vincolato e preciso e, in alcuni casi, per evitare di interpretarli come modi fondamentali, è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love.

Procedure di modellazione diretta delle curve di dispersione

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle V_s . Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e quando possibile con le onde di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Figg. 4, 8**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.



CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

- **RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE ESEGUITE**

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati si è tenuto conto, oltre che delle evidenze del segnale acquisito anche dell'andamento delle prove penetrometriche eseguite contestualmente alle indagini sismiche.

Per ciascuna prospezione sismica si riporta quanto segue:

- Visualizzazione ed analisi dei dati HVSR, e interpretazione dei risultati;
- Sismogrammi acquisiti e spettri di velocità di fase delle onde di superficie con relative procedure di modellazione diretta, mediante individuazione del modo fondamentale e dei modi superiori che compongono lo spettro;
- Ubicazione e caratteristiche dello stendimento;
- Profilo sismostratigrafico di Vs schematico.
- Tabelle riassuntive del modello sismostratigrafico medio stimato per ciascun settore d'indagine;
- Interpretazione geologica dei risultati ottenuti;

Nelle tabelle riassuntive sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio per ciascun sito di indagine**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh, e quando possibile con le onde di Love.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da Vs e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MASW1+HVS1 (Via Provinciale)

HVSR 1

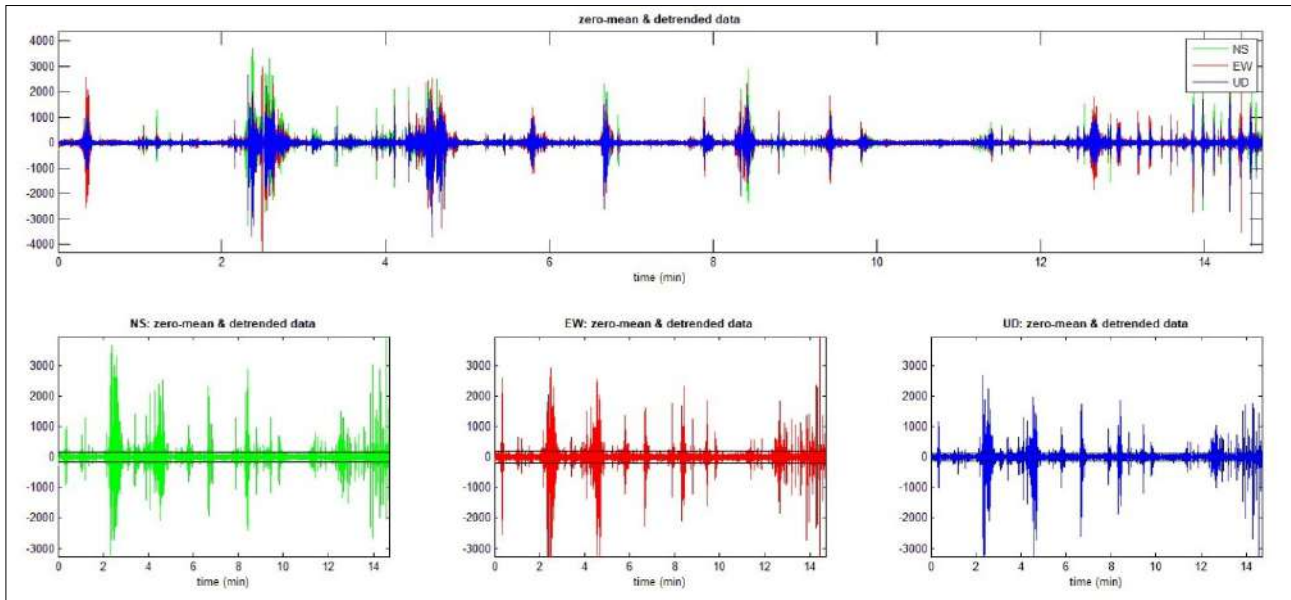


Fig. 2 - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione dei principali eventi transienti.

Analisi della curva HVSR e spettro medio del sito indagato

La curva HVSR presenta un picco principale a circa 12,8 Hz; la sua validità viene verificata mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $12.794 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $19446 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. [exists f_- in the range $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f_-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f_+ in the range $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f_+) < A_0/2$]: (NO)
- #3. [$A_0 > 2$]: $1.5 < 2$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_A < \epsilon(f_0)$]: $6.735 > 0.640$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.155 < 1.58$ (OK)

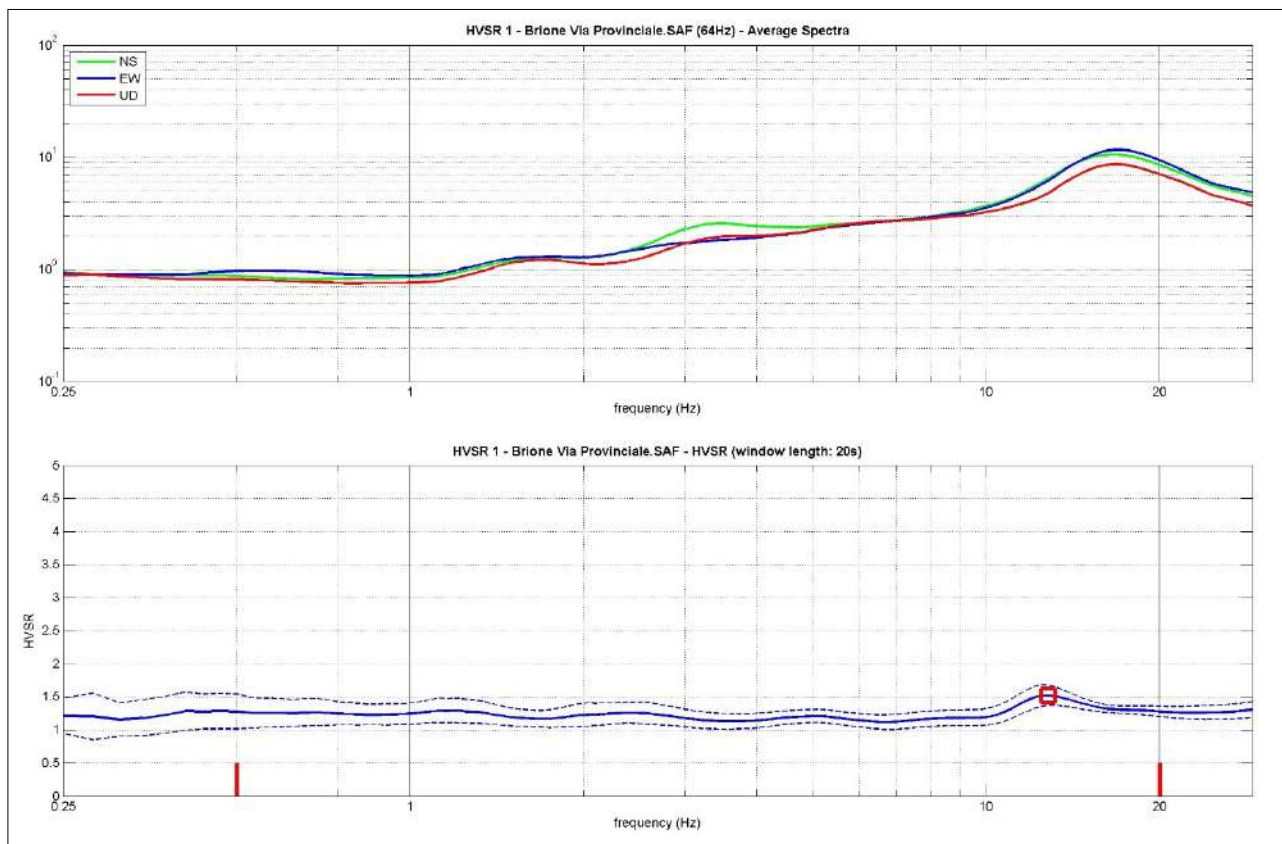


Fig. 3 - Visualizzazione HVSr1 e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

Interpretazione dei risultati

Il picco a 12,8 Hz con ampiezza pari a 1,5 rispetta tutti i criteri SESAME per una curva affidabile; tuttavia, non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSr, eseguita tra 0,5 Hz e 20,0 Hz (frequenze di interesse ingegneristico) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 12,8 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

L'assenza di picchi di frequenza significativi è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

In questo specifico caso si evidenzia che, molto probabilmente, il segnale risulta aver fortemente risentito dell'effetto di direzionalità dato dalla superficie topografica inclinata del territorio in cui ricade l'area in esame, che ne ha obliterato e distorto il segnale.

Alla luce di tali ipotesi si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSr per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico desunte invece dall'analisi MASW di seguito riportata.

MASW 1

Ubicazione e caratteristiche dello stendimento

Lo stendimento sismico *MASW 1*, allineato in direzione SO-NE, è stato eseguito all'interno di un lotto ubicato tra il Rio della Paglietta e la SP10, nel settore Sud-est dell'area investigata.

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 4**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

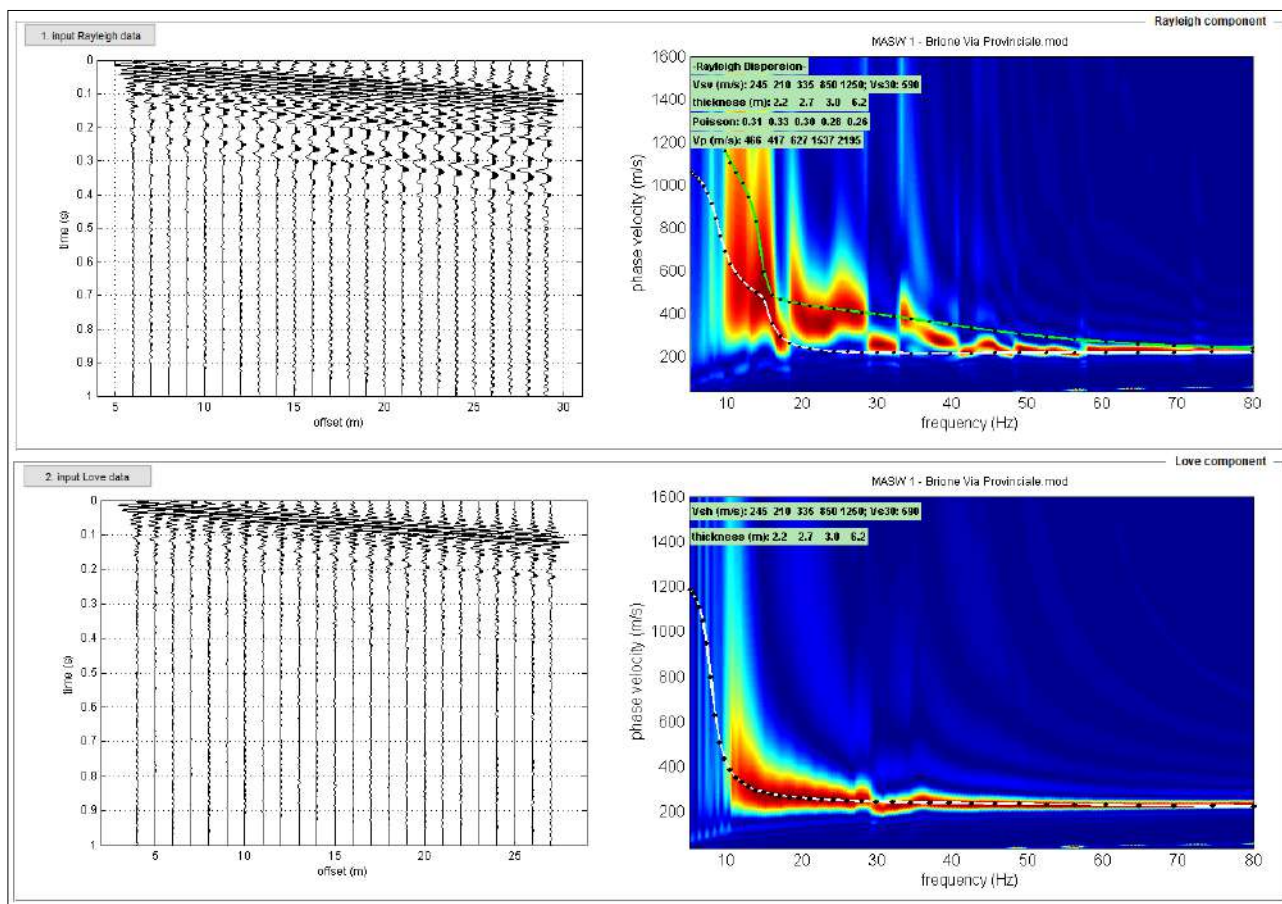


Fig. 4 - Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx): modellazione diretta mediante individuazione dei vari modi che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).

Profilo sismostratigrafico

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati si è tenuto conto delle evidenze dei segnali acquisiti, dell'andamento della prova penetrometrica eseguita contestualmente alle indagini sismiche e dei dati litostratigrafici reperiti entro il territorio in cui ricade l'area in esame.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da Vp, ma solamente da Vs e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO MASW 1 - Via Provinciale - Brione (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	245	2,2	-2,2	1,87	0,31	112
2	210	2,7	-4,9	1,84	0,33	81
3	335	3,0	-7,9	1,94	0,30	218
4	850	6,2	-14,1	2,16	0,28	1559
5	1250	5,9	-20,0	2,25	0,26	3508

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	V_{S,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di V _{S,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	-7,9 m dal p.c.	257	E	$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.

Si riporta inoltre il profilo sismostratigrafico del modello medio fino a -20,0 m dal p.c., ottenuto mediante analisi congiunta MASW in onde di Rayleigh e di Love, utilizzata per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$ (**Fig. 5**).

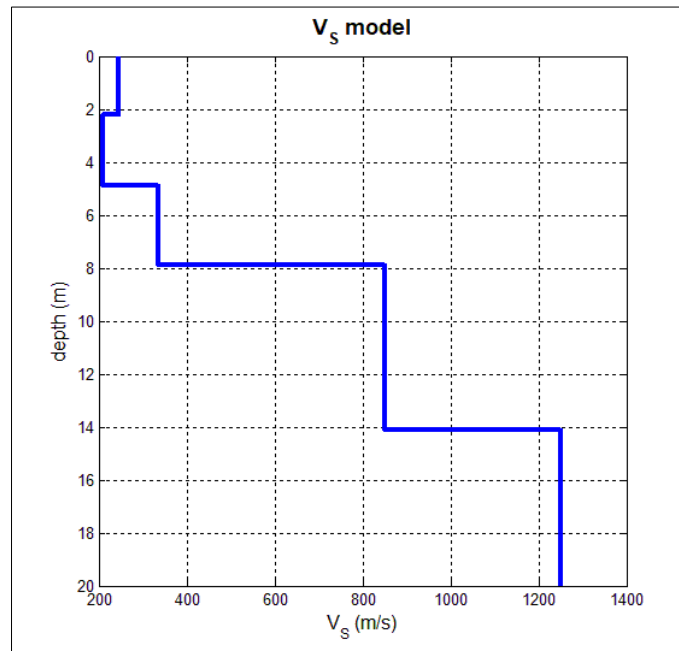


Fig. 5 - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva inizialmente, fino ad una profondità complessiva di circa 4,9 m dal p.c., un primo orizzonte superficiale con valori di velocità di propagazione delle onde di taglio (*onde S*) compresi tra 210 e 245 m/s.

Deboli inversioni dei valori di velocità delle onde S, come quella riscontrata da -2,2 a -4,9 m dal p.c., ($V_s=210$ m/s), sono imputabili a diminuzioni locali dello stato di addensamento della suddetta sequenza deposizionale e/o alla presenza di uno o più livelli di natura più francamente limoso-argillosa.

A partire da -4,9 m e fino a circa -7,9 m dal p.c., si riscontrano valori di velocità delle onde S pari a 335 m/s, propri di depositi nel complesso moderatamente addensati, afferenti presumibilmente ad una sequenza deposizionale detritica di versante.

A partire da -7,9 m dal p.c. si riscontra la presenza del substrato geologico rigido, rappresentante il bedrock sismico della successione indagata, con un valore di velocità delle onde S pari a 850 m/s, correlabile ad un ammasso roccioso a discrete caratteristiche geomeccaniche.

Oltre -14,1 m dal p.c., si riscontra un valore di V_s pari a 1250 m/s, tipico di un ammasso roccioso ad ottime caratteristiche geomeccaniche.

MASW2+HVS2 (Via Silvano)

HVS2

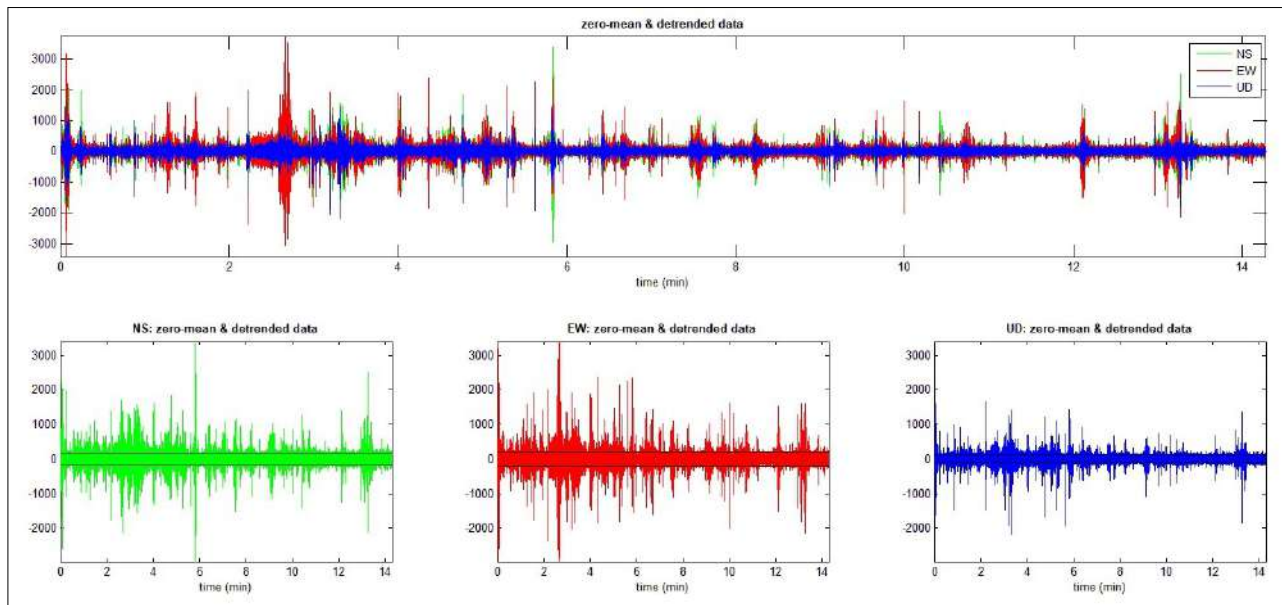


Fig. 6 - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione dei principali eventi transienti.

Analisi della curva HVSR e spettro medio del sito indagato

La curva HVSR presenta un picco principale a circa 15,0 Hz; la sua validità viene verificata mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $14.983 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $24273 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes (considering standard deviations), at frequency 3.8Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.9 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)]$: $6.958 > 0.749$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.157 < 1.58$ (OK)

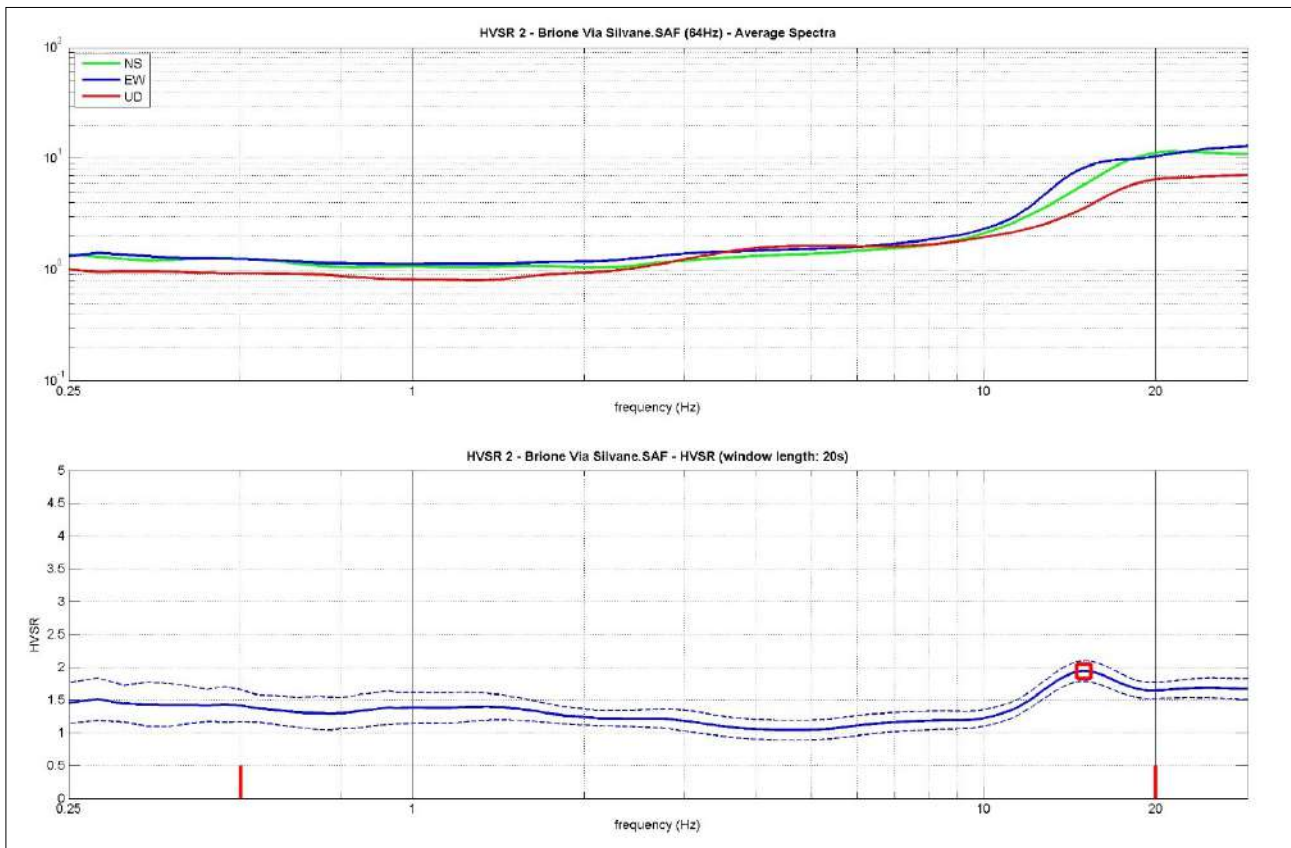


Fig. 7 - Visualizzazione HVSr2 e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

Interpretazione dei risultati

Il picco a 15,0 Hz con ampiezza pari a 1,9 rispetta tutti i criteri SESAME per una curva affidabile; tuttavia, non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSr, eseguita tra 0,5 Hz e 20,0 Hz (frequenze di interesse ingegneristico) è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 15,0 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

L'assenza di picchi di frequenza significativi è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

In questo specifico caso si evidenzia che, molto probabilmente, il segnale risulta aver fortemente risentito dell'effetto di direzionalità dato dalla superficie topografica inclinata del territorio in cui ricade l'area in esame, che ne ha obliterato e distorto il segnale.

Alla luce di tali ipotesi si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSr per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico desunte invece dall'analisi MASW di seguito riportata.

MASW 2

Ubicazione e caratteristiche dello stendimento

Lo stendimento sismico *MASW 2*, allineato in direzione SO-NE, è stato eseguito all'interno di un lotto adiacente alla SP10 in prossimità del centro abitato della frazione Silvane, nel settore centrale dell'area in esame.

Procedure di modellazione diretta e analisi delle onde di Rayleigh

Analizzato il sismogramma e il rispettivo spettro di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle V_s . Partendo dalla curva di dispersione delle onde di Rayleigh è stato ricostruito il modello che è responsabile di quella curva, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Lo spettro di velocità di fase è stato interpretato identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 8**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti.

MASW 2

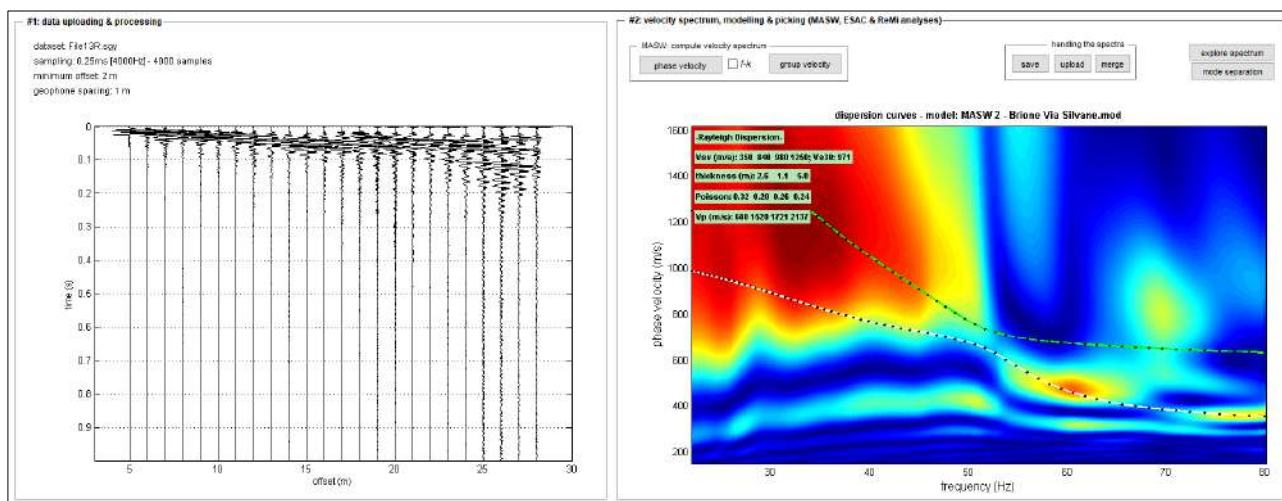


Fig. 8 - Modellazione diretta dello spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori che compongono lo spettro.

Profilo sismostratigrafico

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati si è tenuto conto delle evidenze dei segnali acquisiti, dell'andamento della prova penetrometrica eseguita contestualmente alle indagini sismiche e dei dati litostratigrafici reperiti entro il territorio in cui ricade l'area in esame.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla Vs e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da Vp, ma solamente da Vs e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO MASW 2 – Via Silvane – Brione (BS)						
Sismostrato	Vs (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	350	2,6	-2,6	1,96	0,32	240
2	840	1,1	-3,7	2,16	0,28	1521
3	980	5,0	-8,7	2,19	0,26	2099
4	1250	2,3	-10,0	2,24	0,24	3498

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	V_{s,eq} (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di V _{s,eq} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre -2,6 m dal p.c.	--	A	$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.

Si riporta inoltre il profilo sismostratigrafico del modello medio fino a -10,0 m dal p.c., ottenuto mediante analisi delle onde di Rayleigh, utilizzata per il calcolo del parametro V_{s,eq} (**Fig. 9**).

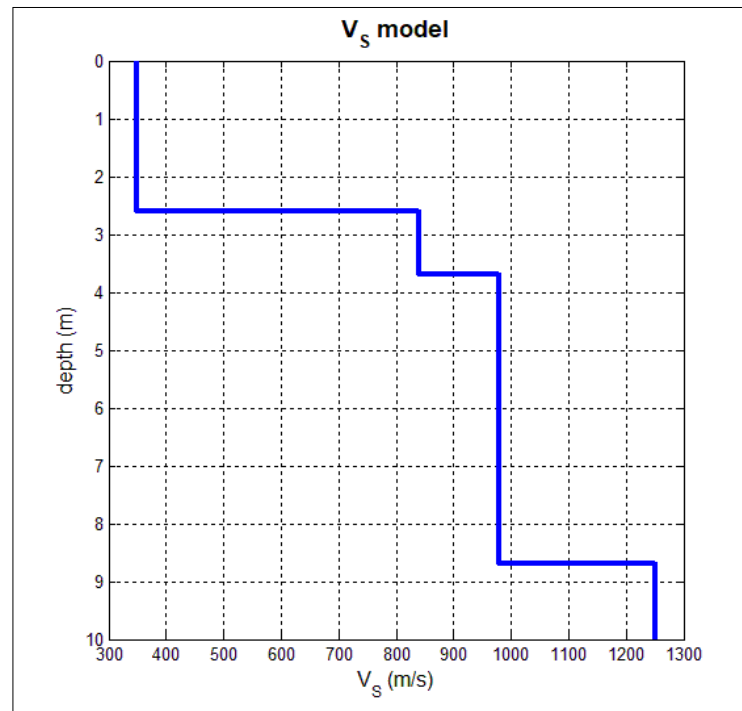


Fig. 9 - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva inizialmente, fino ad una profondità di circa 2,6 m dal p.c., un primo orizzonte superficiale con valori di velocità di propagazione delle onde di taglio (*onde S*) pari a 350 m/s.

A partire da -2,6 m dal p.c. si riscontra la presenza del substrato geologico rigido, rappresentante il bedrock sismico della successione indagata, con valori di velocità delle onde S comprese tra 840 e 980 m/s, correlabili ad un ammasso roccioso a discrete/buone caratteristiche geomeccaniche.

Oltre -8,7 m dal p.c., si riscontra un valore di Vs pari a 1250 m/s, tipico di un ammasso roccioso ad ottime caratteristiche geomeccaniche.



CRESTANA
INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)
Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it
www.crestana.it

- CONCLUSIONI

Le indagini geognostiche eseguite hanno permesso di ricostruire in maniera dettagliata la stratigrafia e le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei depositi che caratterizzano i siti indagati, ubicati nel Comune di Brione (BS).

I profili sismostratigrafici ottenuti risultano correlabili con il quadro geologico dell'area oggetto di interesse e i valori di velocità delle onde S nei primi metri risultano compatibili con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite contestualmente alle prospezioni sismiche.

Per il sito (MASW1 – Via Provinciale) è stato calcolato un valore di $V_{s,eq}$, pari a **257 m/s**, con bedrock sismico posto a -7,9 m da p.c., e pertanto, il sito di progetto ricadrebbe in una "**Categoria di sottosuolo E**".

Per quanto concerne il sito (MASW2 – Via Silvane) è stata riscontrata la presenza del bedrock sismico a una profondità inferiore a - 3,0 m dal p.c., e pertanto, il sito di progetto ricadrebbe in una "**Categoria di sottosuolo A**".

Si ritiene doveroso segnalare, in funzione dei limiti intrinseci di ogni prospezione geofisica indiretta, e della complessità geologica, topografica e logistica dei siti di indagine, la possibilità di intercettare il substrato roccioso a quote dipoco differenti rispetto a quelle medie indicate nei profili sismici.

Quindi, in caso di scelte progettuali mirate all'esecuzione di sistemi di sostegno particolari, sbancamenti o realizzazione di fondazioni profonde, si ritiene comunque di consigliare un utilizzo del dato geofisico indiretto con buon senso, e di verificare in fase esecutiva, durante l'esecuzione di eventuali scavi, perforazioni o approfondimenti dei ripiani esistenti, la continuità areale e verticale degli orizzonti sismostratigrafici indicati nei modelli geofisici medi proposti.

Per la conferma della categoria di sottosuolo si rimanda in ogni caso all'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento – All. 5 della D.G.R. IX/2616 del 2011).

Infine, si resta a completa disposizione per eventuali indagini integrative e come supporto tecnico per eventuali successive fasi di studio, oltre che a confronti in merito a quanto redatto nel presente Rapporto Tecnico di fine lavori.

Desenzano del Garda, 06/06/2025

Il Tecnico

- UBICAZIONE DELLE INDAGINI

Brione (BS)



Legenda:

- Prova Penetrometrica Dinamica Standard DPSH
- Stendimento sismico con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW
- Misura di microtremore sismico, con stazione singola, mediante tecnica HVS

- ALLEGATO FOTOGRAFICO - MASW1



Stendimento sismico M.A.S.W.



Misura del microtremore sismico
mediante tecnica H.V.S.R.



*Acquisizione del segnale sismico
con Sismografo Geometrics
Mod. Geode 3-1000*



Shot sismico verticale per la
generazione delle onde di Rayleigh

- ALLEGATO FOTOGRAFICO - MASW2



Stendimento sismico M.A.S.W.



Misura del microtremore sismico
mediante tecnica H.V.S.R.



*Acquisizione del segnale sismico
con Sismografo Geometrics
Mod. Geode 3-1000*



Shot sismico verticale per la
generazione delle onde di Rayleigh



CRESTANA

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOFISICHE ED AMBIENTALI

Viale Michelangelo, 40 - 25015 Desenzano del Garda (BS)

Cell: 347 9428449 - mail: info@crestana.it

www.crestana.it