

**GREENWAY DEL MELLA :****LOTTO1 - INTERVENTI PER LA MOBILITA' SOSTENIBILE -  
REALIZZAZIONE PASSERELLA CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA E  
PERCORSI CICLABILI DI COLLEGAMENTO***PNRR, Missione 5, Componente 2, Investimento 2.1 (M5.C2 - inv.2.1)*

("Investimenti in progetti di rigenerazione urbana volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale").

**Finanziato  
dall'Unione europea**  
NextGenerationEU**CUP:** C87H22003320001**fase:** PROGETTO DEFINITIVO**committente:** **Comune di Brescia**

via Marconi 12 - 25128 Brescia

t: +39 0302978641

mobilita@comune.brescia.it - mobilitaetraffico@pec.comune.brescia.it

**Settore Mobilità Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto Pubblico**

Responsabile di Settore: ing. Stefano Sbardella

RUP in fase di progettazione : geom. Michele Mombelli

**progettista:** **Brescia Infrastrutture s.r.l.**

Via Triumplina, n° 14 - 25123 Brescia

t: +39 030 3061400 f: +39 030 3061401

info@bresciainfrastrutture.it - www.bresciainfrastrutture.it

Direttore Tecnico Generale: ing. Alberto Merlini

Responsabile di progetto: arch. Stefano Bordoli

gruppo di progettazione: arch. Andrea Piu  
arch. Paola Daleffe  
arch. Stefano Morini  
arch. Alessandro Facchi  
geom. Francesco Penocchio

strutture: ing. Massimo Torquati

coordinatore della sicurezza  
in fase di progettazione: ing. Pasqualina Clausigeologia: dott.ssa Rosanna Lentini  
via Verdi 9 - 25080 - Padenghe sul Garda - Brescia  
t/f: +39 030 9914222 - cell. 339 6012311  
info@lentinirosannageologia.it**elaborato:** 87\_TIC112 | D | 201 | GE2.1 | 00 | P | Relazione geologica - geofisica e di  
modellazione geotecnica**scala:**

<b>revisione:</b>	REVISIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	DESCRIZIONE
	00	08.03.2023	R. Lentini	Stefano Bordoli	PRIMA EMISSIONE
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-

STUDIO DI  
GEOLOGIA  
TECNICA ED  
AMBIENTALE

ROSANNA  
LENTINI

COMUNE DI BRESCIA

Provincia di BRESCIA

**PROGETTO GREENWAY DEL MELLA :**

**LOTTO1 - INTERVENTI PER LA MOBILITA' SOSTENIBILE REALIZZAZIONE PASSERELLA  
CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA E PERCORSI CICLABILI DI COLLEGAMENTO**

**PNRR, Missione 5, Componente 2, Investimento 2.1 (M5.C2 - inv.2.1)**

**("Investimenti in progetti di rigenerazione urbana volti a ridurre situazioni di  
emarginazione e degrado sociale").**

**CUP: C87H22003320001**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE GEOLOGICA AI SENSI AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018 E D.G.R. IX/2616/2011**

- RIFERIMENTI PROGETTUALI E NORMATIVI
- COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO DI PROGETTO CON LE RISULTANZE DELLO STUDIO GEOLOGICO PRELIMINARE E CON LE NORMATIVE GEOLOGICHE DI FATTIBILITÀ, DI VINCOLO E PERICOLOSITÀ SISMICA

**RELAZIONE GEOLOGICA-GEOFISICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018**

- CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO
- SISMICITÀ
- INDAGINI GEOGNOSTICHE
- RISPOSTA SISMICA DEL SITO

**RELAZIONE DI MODELLAZIONE GEOTECNICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018**

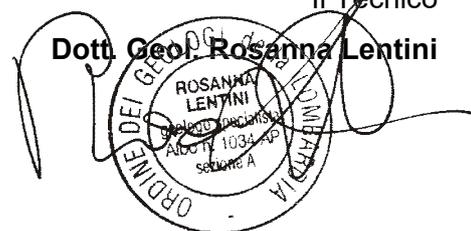
- MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO-GEOFISICO

**Committente:** *Comune di Brescia (determina dirigenziale 686 del 18/03/2022)*

Padenghe sul Garda, Marzo 2023



Il Tecnico  
**Dott. Geol. Rosanna Lentini**



Sede operativa: Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS)  
Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

E-mail: [info@lentinirosannageologia.it](mailto:info@lentinirosannageologia.it)  
Sito Web: [www.lentinirosannageologia.it](http://www.lentinirosannageologia.it)



## INDICE

1	PREMESSA – Riferimenti progettuali e Normativi .....	2
1.1	NORMATIVE COMUNALE E PIANIFICATORIE VIGENTI.....	5
1.2	RIFERIMENTI METODOLOGICI.....	15
2	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO .....	18
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE.....	18
2.2	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE - SUCCESSIONE STRATIGRAFICA .....	20
2.3	IDROGRAFIA.....	21
2.4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	24
2.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	24
3	SISMICITA' .....	29
3.1	SISMICITÀ STORICA .....	34
3.2	SISMICITÀ RECENTE.....	43
3.3	NORMATIVE SISMICHE – Valori di $a_g$ .....	47
4	CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA – MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO E GEOFISICO.....	50
4.1	Indagini 2022: PONTE CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA (Brescia-Roncadelle).....	52
5	MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO E GEOFISICO .....	67
6	RISPOSTA SISMICA DEL SITO.....	69
6.1	Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica .....	70
6.2	Pericolosità Sismica del Sito – Parametri sismici di riferimento.....	72
6.3	Amplificazione Stratigrafica ( $S_s$ ) e Topografica ( $S_t$ ) .....	74
6.4	Stabilità del sito nei confronti della liquefazione – Esclusione della verifica a liquefazione ai sensi del D.M. 17/01/18.....	75
7	INTERVENTO DI PROGETTO – PROBLEMATICHE REALIZZATIVE - PRESCRIZIONI.....	79
8	OPERAZIONI DI SCAVO E DI RIPROFILATURA .....	81
8.1	Modalità esecutive/prescrizioni degli scavi in condizioni di sicurezza .....	81
8.2	Riprofilatura del pendio mediante Terre Armate .....	83
8.3	Linee guida generali di utilizzo del materiale escavato .....	84
9	COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO DI PROGETTO CON LE RISULTANZE DEL PRESENTE STUDIO GEOLOGICO PRELIMINARE E CON LE NORMATIVE GEOLOGICHE DI FATTIBILITA', DI VINCOLO E DI PERICOLOSITA' SISMICA – CONCLUSIONI.....	91
0	APPENDICE INDAGINI GEOFISICHE – METODOLOGIE E STRUMENTAZIONI.....	93
0.1	- Stendimento di sismica attiva con analisi delle onde superficiali ed elaborazione dati di tipo MASW .....	93
0.2	Indagini di sismica passiva (HSVR) in campo libero (2021) .....	96

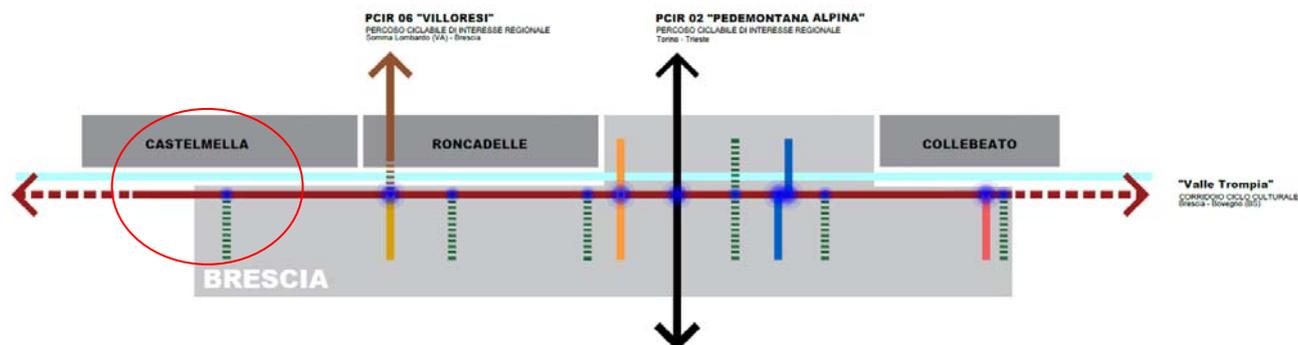


## 1 PREMESSA – Riferimenti progettuali e Normativi

Su incarico del **Comune di Brescia** (determina dirigenziale 686 del 18/03/2022) è stata eseguita la presente Relazione Geologica-Geofisica-Geotecnica definitiva nell'ambito del progetto **GREENWAY DEL MELLA : LOTTO1 - INTERVENTI PER LA MOBILITA' SOSTENIBILE - REALIZZAZIONE PASSERELLA CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA E PERCORSI CICLABILI DI COLLEGAMENTO - PNRR, Missione 5, Componente 2, Investimento 2.1 (M5.C2 - inv.2.1)** ("Investimenti in progetti di rigenerazione urbana volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale") – CUP C87H22003320001.

Il progetto prevede nel complesso la riqualificazione ed il completamento della dorsale ciclopedonale che affianca il corso del fiume Mella e del torrente Garza da Castel Mella sino a Collebeato in continuità con l'esistente ciclabile della Val Trompia.

Il Lotto 1 prevede la progettazione da parte di Brescia Infrastrutture s.r.l. della passerella ciclopedonale su Fiume Mella da realizzarsi mediante un **ponte di collegamento** tra l'argine Dx (Comune di CastelMella) e l'argine Sx (comune di Brescia) ed i **percorsi di raccordo alle infrastrutture esistenti e/o di progetto**.



Nel **D.M. 14/01/2008**, nel **D.M 17/01/2018** e nell'**Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 27/04/2006** i Comuni di Brescia e CastelMella sono stati classificati in **zona sismica 2/3** ed in particolare nella sottozona con valori di  $a_g$  compresi rispettivamente tra 0.150 e 0.175 e tra 0.125 e 0.150 (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

L'Ordinanza P.C.M. 3274/2003 includeva questi territori comunali in zona sismica 3; la Regione Lombardia con **D.G.R. X/2129 del 11/07/14** ha approvato un "**Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia**" (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", che recepisce definitivamente, ed anche dal punto di vista amministrativo, la classificazione dell'OPCM 3519/2006 e che, sulla base della successiva D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. X/4144, è entrato in vigore a partire dal 10 Aprile 2016.

**E' stata pertanto confermata per i Comuni di CastelMella/Brescia/Roncadelle la zona sismica 2/3 con valore di  $a_{gmax}$  0,146574/0,154219/0,147299** anche a livello regionale e pertanto ai fini pianificatori/amministrativi. Ciò ha di fatto sanato una difformità di classificazione nazionale/regionale che creava non pochi problemi tecnico-progettuali

La recente **L.R. 33 del 12/10/2015** definisce le "**Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche**" e di fatto trasferisce ai comuni, singoli o associati, numerose

funzioni prima assegnate alla Regione (di cui agli art. 61, 90 comma 2, 93 comma 1, 94 comma 1, 96, 97, 99, 100 e 104 del D.P.R. 380/2001) ed in particolare inerenti le “*Norme per le costruzioni in zone sismiche*” e “*Vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche*”; essa è definitivamente entrata in vigore con la pubblicazione della **D.G.R. 10/5001 del 30/03/2016** “*Approvazione delle Linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai Comuni in materia sismica (artt.3, comma 1 e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)*”, sul B.U. di Regione Lombardia del 07 Aprile 2016.

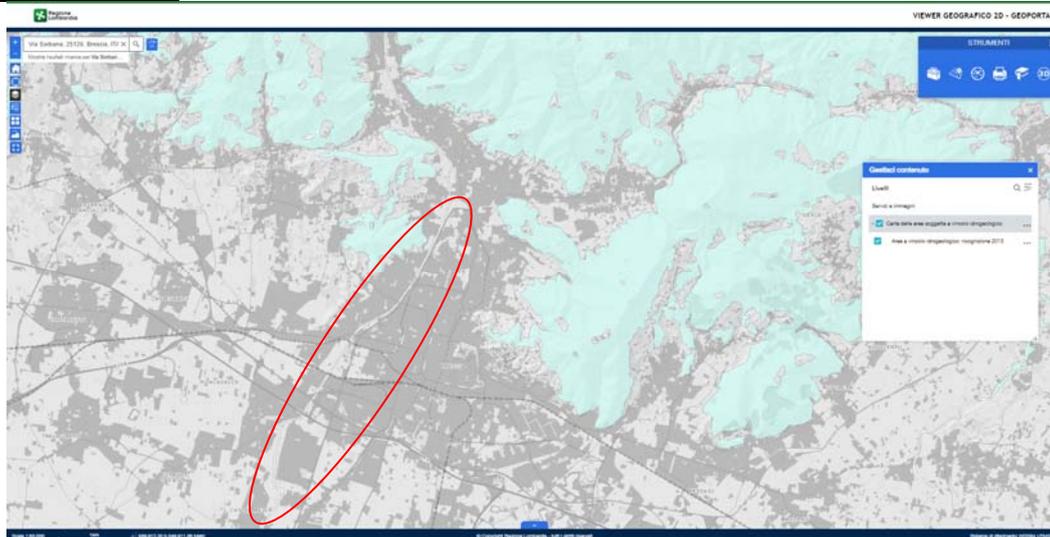
Ciò comporta, tra l’altro, specifiche prescrizioni nella redazione degli elaborati tecnici a corredo dei progetti e, in zona sismica 2 (ai sensi del DPR 380/2001 come modificato dalla L. 55 del 14/06/2019), l’obbligo di acquisire l’**Autorizzazione Sismica di cui all’Art.8 comma 1 della L.R. 33/2015**, da rilasciare a carico dei Comuni o della Regione entro 60 gg dalla data di protocollo (fatto salvo il ricorso da parte del comune al parere regionale) o **L’Attestazione di avvenuto Deposito di cui all’Art.7 comma 1 della L.R. 33/2015**, da rilasciare a carico dei Comuni all’atto del deposito stesso.

**Si rimanda al Progettista la classificazione della tipologia di intervento ai sensi dell’art. 94 bis del D.P.R 380/2001 e s.m.i.** e la conseguente idonea applicazione degli adempimenti richiesti dalla L.R. 33/2015.

Si segnala l’entrata in vigore della **D.G.R. X/6738 del 19 Giugno 2017** “*Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza ai sensi dell’art.58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 Dicembre 2016 con deliberazione n.5 del comitato istituzionale di bacino del Fiume Po*”, che integra la D.G.R. 9/2616/2011 con particolare riferimento all’introduzione del nuovo Titolo V delle Norme di Attuazione (N.D.A.) del PAI ed alle disposizioni relative all’attuazione della variante normativa PAI nel settore urbanistico alla scala comunale. Tali disposizioni e le norme correlate sono vigenti a partire dalla data di pubblicazione della D.G.R. e pertanto dal 19 Giugno 2017.

Con l’entrata in vigore della **L.R. 19 del 08/07/2014**, che apporta sostanziali modifiche alla L.R. 31 del 05/12/2008 è divenuto a carico dei Comuni (commi 2 e 3 dell’Art. 44 della L.R. 31/2008 come modificato dalla L.R.19/2014), autorizzare la trasformazione d’uso del suolo dei terreni soggetti a vincolo idrogeologico di cui all’Art. 1 del R.D. 3267 del 30/12/1923, in conformità alle indicazioni ed alle informazioni idrogeologiche contenute negli studi geologici comunali, nei piani territoriali e nei piani forestali di cui all’art.47 della L.R.31/2008. In particolare, ai sensi del comma 2 Art. 44 della L.R. 31/2008 come modificato dalla L.R.19/2014, per i comuni dotati di piano di governo del territorio (PGT) i titoli abitativi edilizi devono essere provvisti di tale autorizzazione che va rilasciata previa verifica di conformità delle trasformazioni d’uso del suolo rispetto alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT prevista dall’art. 57 comma 1 lettera b) della L.R. 12/2005.

**L'intera area oggetto del *progetto Greenway del Mella* non risulta inserita in aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico.**



Estrate da: <https://www.cartografia.servizirl.it/viewer32/index.jsp> - Geoportale – Regione Lombardia

Dovrà essere predisposta, per la realizzazione dei manufatti previsti per l'intervento di progetto, e per lo svolgimento delle procedure e l'acquisizione dei necessari permessi normativi, una **relazione geologica-sismica**, in ottemperanza alle vigenti normative nazionali, alle norme comunali di fattibilità/vincolo/pericolosità sismica ed alle normative regionali e sovracomunali individuate per il sito di progetto NTC 2018; PGT vigente; D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/6738/2017) ed una **relazione di modellazione geotecnica** in ottemperanza alle vigenti normative nazionali (NTC 2018).

In relazione ad una **maggiore organicità nella trattazione delle tematiche geologiche-geotecniche e di pericolosità sismica** è stata predisposta un'**unica relazione** che sviluppa tutti i temi richiesti dalle normative vigenti come esemplificato nella copertina riepilogativa predisposta per il presente studio.

## 1.1 NORMATIVE COMUNALE E PIANIFICATORIE VIGENTI

In ottemperanza alla D.G.R. 9/2616/2011, alla D.G.R. 10/6738/2017 ed alla D.G.R. 10/5001/2016 è stata presa preliminare visione della Classe di Fattibilità, di Vincolo e di Pericolosità Sismica vigenti per l'area di progetto in relazione alle Norme di PGT del territorio Comunale di CastelMella, Brescia e Roncadelle, nonché delle aree di pericolosità e rischio individuate dal PAI/PGRA in caso di mancato recepimento nei PGT vigenti.

Il territorio comunale di Collebeato non interferisce in maniera significativa con il progetto in quanto quest'ultimo si colloca in questo tratto solo presso la sponda Sx del F. Mella e pertanto ricade in territorio di Brescia.

### 1.1.1 Comune di Castel Mella

E' stato consultato lo studio della *Componente Geologica, Idrogeologica e sismica del PGT del Comune di Brescia al PGRA* che comprende la Carta di Fattibilità vigente (DotT. Geol. M. Marella, Luglio 2009).



Estratto da: Tav. 9 "Carta della Fattibilità" – Luglio 2009

La fascia del F. Mella, di interesse progettuale, in territorio di CastelMella, ricade nella:

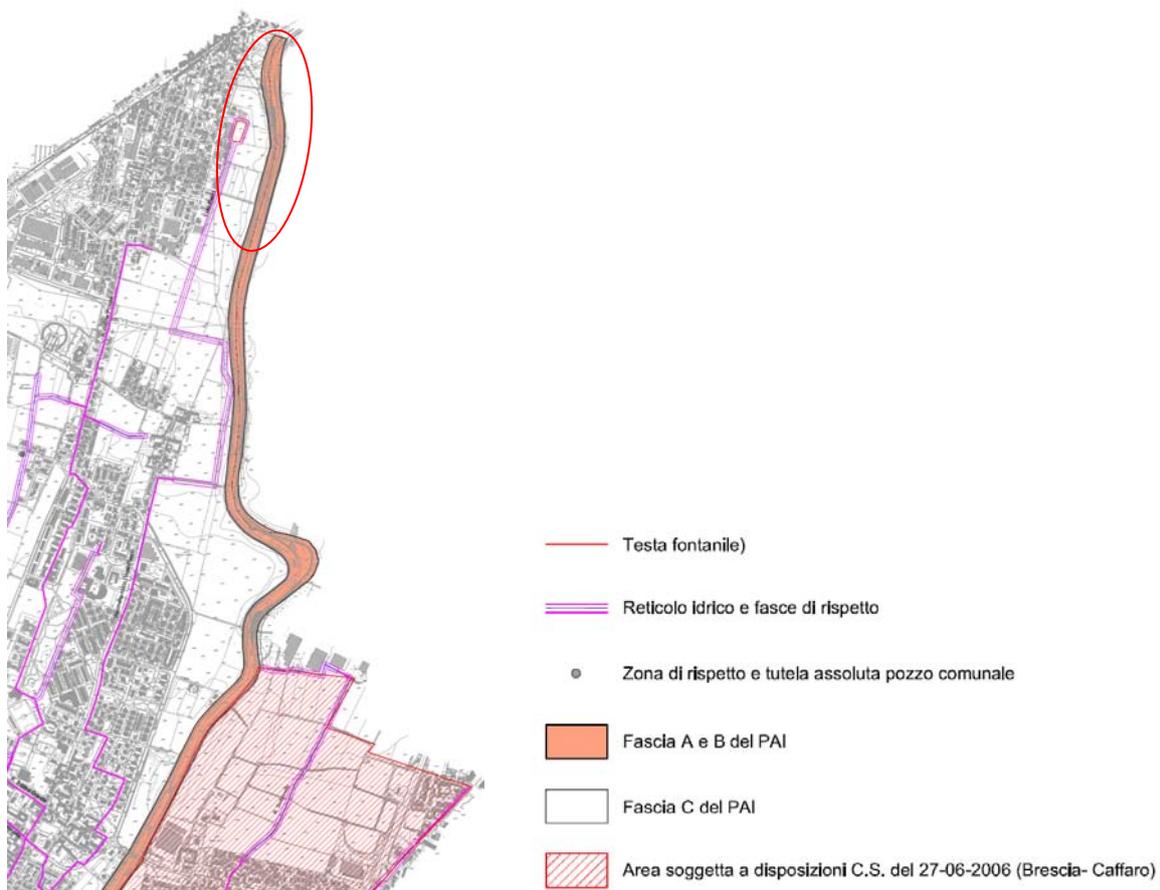
- **Classe di Fattibilità 4** con gravi limitazioni d'uso correlata alle Fasce A e B del PAI

 CLASSE 4 FATTIBILITA' CON GRAVI LIMITAZIONI

Procedendo da Sud verso Nord, per le aree immediatamente adiacenti le fasce fluviali, in comune di Castelmella si individuano le seguenti classi di fattibilità

- **Classe di Fattibilità 3** con consistenti limitazioni d'uso correlate alla presenza della Fascia C del PAI (vedi Carta di Sintesi riportata a seguire)

 CLASSE 3 FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI



Estratto da: Tav. 8 "Carta di Sintesi e dei vincoli" – Luglio 2009

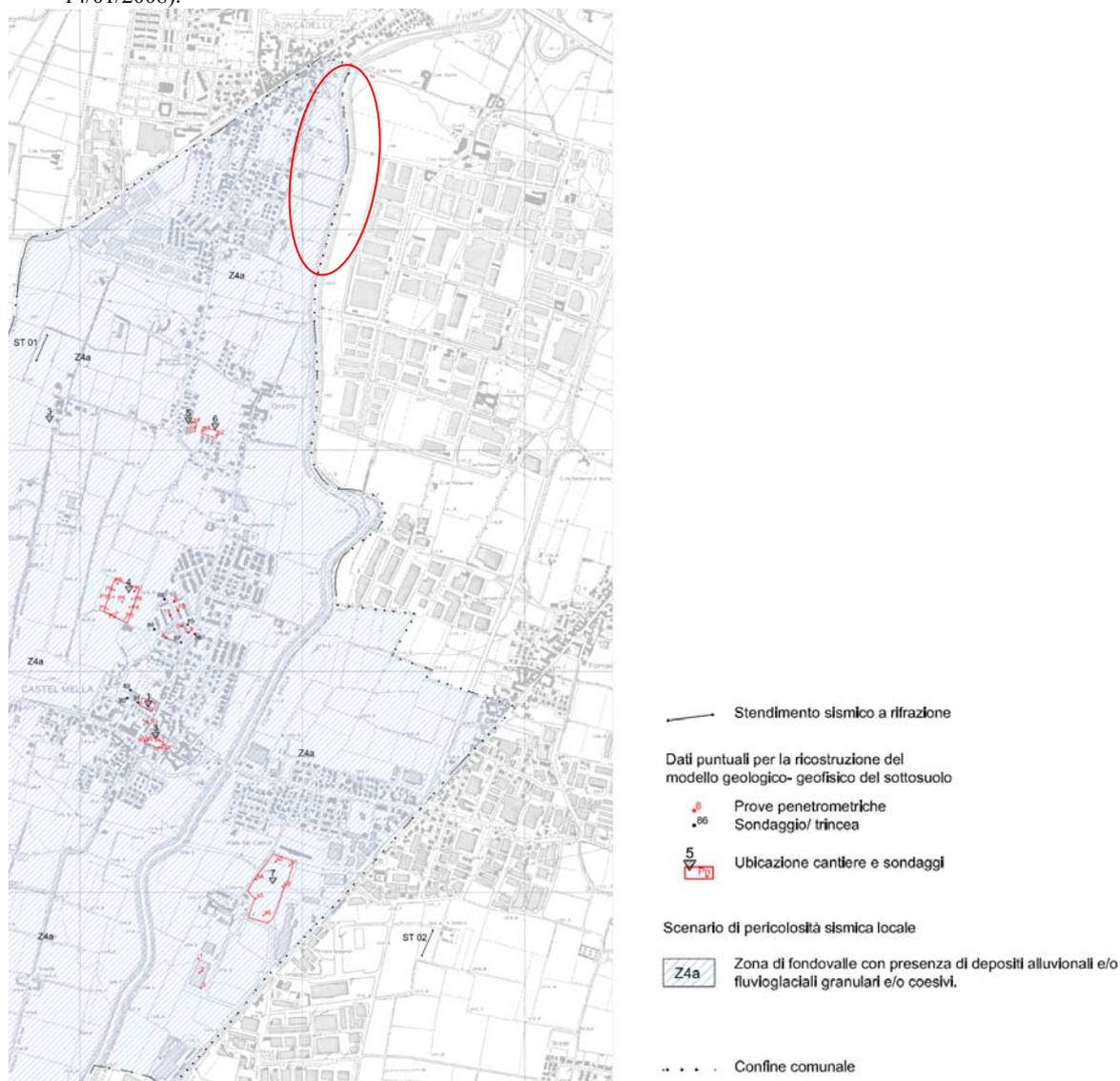
Dal punto di vista della **Pericolosità Sismica Locale** l'area è stata classificata nel documento di piano - *Componente Geologica a supporto del PGT del Comune di Castel Mella* entro lo **scenario di pericolosità sismica "Z4a – Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi"** per il quale:

AREE IN SPONDA DESTRA DEL MELLA

**NON vengono segnalati**, sulla base delle analisi di 2° livello eseguite in fase pianificatoria (ai sensi dell'All.5 della D.G.R. 8/7374 del 2008) **valori di Fa di sito superiori a quelli di "soglia"** e quindi potenziali **fenomeni di amplificazione sismica** tali da rendere insufficiente l'utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente per la Categoria di Sottosuolo B (D.M. 14/01/2008).

AREE IN SPONDA SINISTRA DEL MELLA

**vengono segnalati**, sulla base delle analisi di 2° livello eseguite in fase pianificatoria (ai sensi dell'All.5 della D.G.R. 8/7374 del 2008) **valori di Fa di sito superiori a quelli di "soglia"** e quindi potenziali **fenomeni di amplificazione sismica** tali da rendere insufficiente l'utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente per la Categoria di Sottosuolo C (D.M. 14/01/2008).

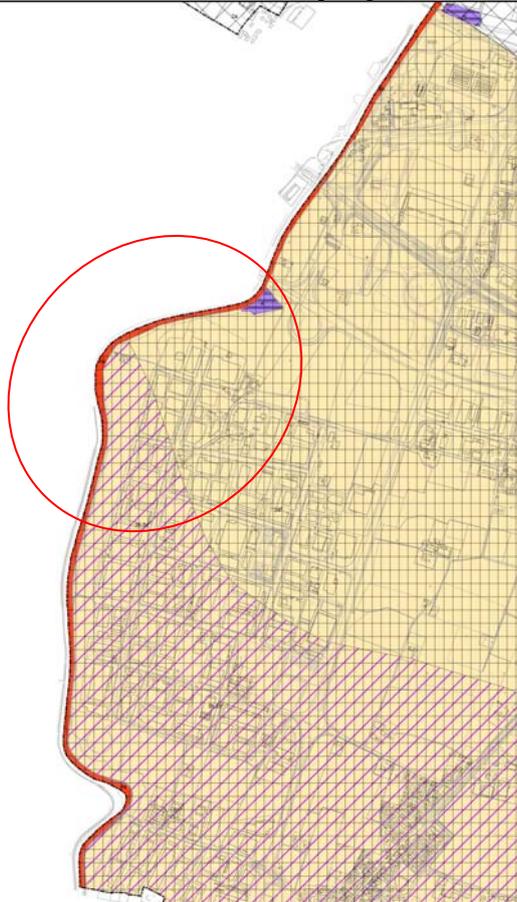


Estratto da: Tav. 7 "Carta della Pericolosità Sismica Locale" – Luglio 2009

### 1.1.2 Comune di Brescia

E' stato consultato lo studio di *Adeguamento della Componente Geologica, Idrogeologica e sismica del PGT del Comune di Brescia al PGRA* che comprende la Carta di Fattibilità vigente ed aggiornata (Dot. Geol. D. Gasparetti et al., Marzo 2018).

*Estratto da: Tav. V.I.-ALall04n "Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di piano (Sud)" – Settembre 2021*



La fascia del F. Mella, di interesse progettuale, in territorio di Brescia, ricade nella:

- **Classe di Fattibilità 4a** con gravi limitazioni d'uso lungo l'alveo e le sponde



**Classe 4a**

Fascia A del PAI, Aree RP-P3 del PGRA esterne a edificato esistente, Aree RP-P3/P2/P1 del PGRA interne o esterne all'edificato esistente valutate a pericolosità idraulica H4 e Aree RP-P3 del PGRA non valutate.



**Per l'area di interesse progettuale gli ambiti immediatamente adiacenti le fasce fluviali, in città di Brescia sono classificate come segue:**

- **Classe di Fattibilità 3b** con consistenti/modeste limitazioni d'uso

 **Classe 3b**  
Area a bassa soggiacenza della falda.

- **Classe di Fattibilità 2d<sup>2</sup>** con modeste limitazioni d'uso

**Classe 2d**  
Aree con caratteristiche geotecniche scadenti:

 **2d<sup>1</sup>** - Settore ovest – Zona Mandolossa.

 **2d<sup>2</sup>** - Settore sud-ovest

- **Classe di fattibilità 4i (puntualmente) con gravi limitazioni**

 **Classe 4i**  
Aree golenali o depresse in prossimità degli alvei.

Per quanto riguarda le **normative sismiche** si rilevano i seguenti scenari:

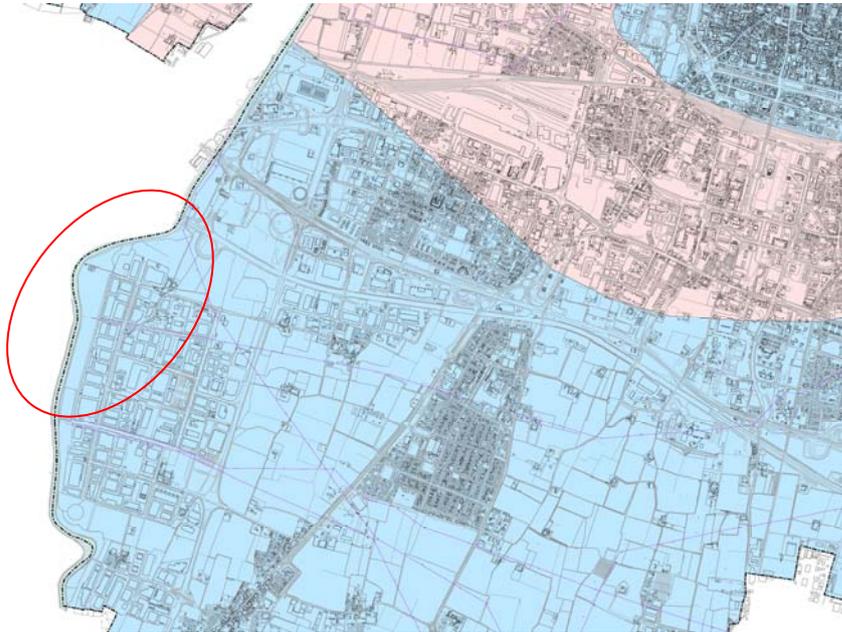
**Scenari per i quali risulta un Fa maggiore del valore di soglia comunale per la categoria di sottosuolo individuata** e al cui interno, in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi:

 **Z4a - Categoria di sottosuolo identificata B:** in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

 **Z4a - Categoria di sottosuolo identificata C:** in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo D (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

Infatti dal punto di vista della **Pericolosità Sismica Locale** l'area è stata classificata nel documento di piano - *Componente Geologica a supporto del PGT del Comune di Brescia* entro lo **scenario di pericolosità sismica "Z4a – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi"** (Tav. ALall04f "Carta della Pericolosità sismica locale – 2° livello" – Dott. Geol. D. Gasparetti Dott. Geol. G. Quassoli – Gennaio 2016) per il quale vengono segnalati, sulla base delle analisi di 2° livello eseguite in fase pianificatoria (ai sensi dell'All.5 della D.G.R. 9/2616) **valori di Fa di sito superiori a quelli di "soglia"** e quindi potenziali fenomeni di amplificazione sismica **tali da rendere insufficiente l'utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente per la Categoria di Sottosuolo C (D.M. 17/01/2018). Sono pertanto richiesti approfondimenti sismici ovvero l'utilizzo di specifici spettri di norma caratteristici per tipologie edilizie con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s.**



*Estratto da: Tav. V-ALall04f "Car* Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

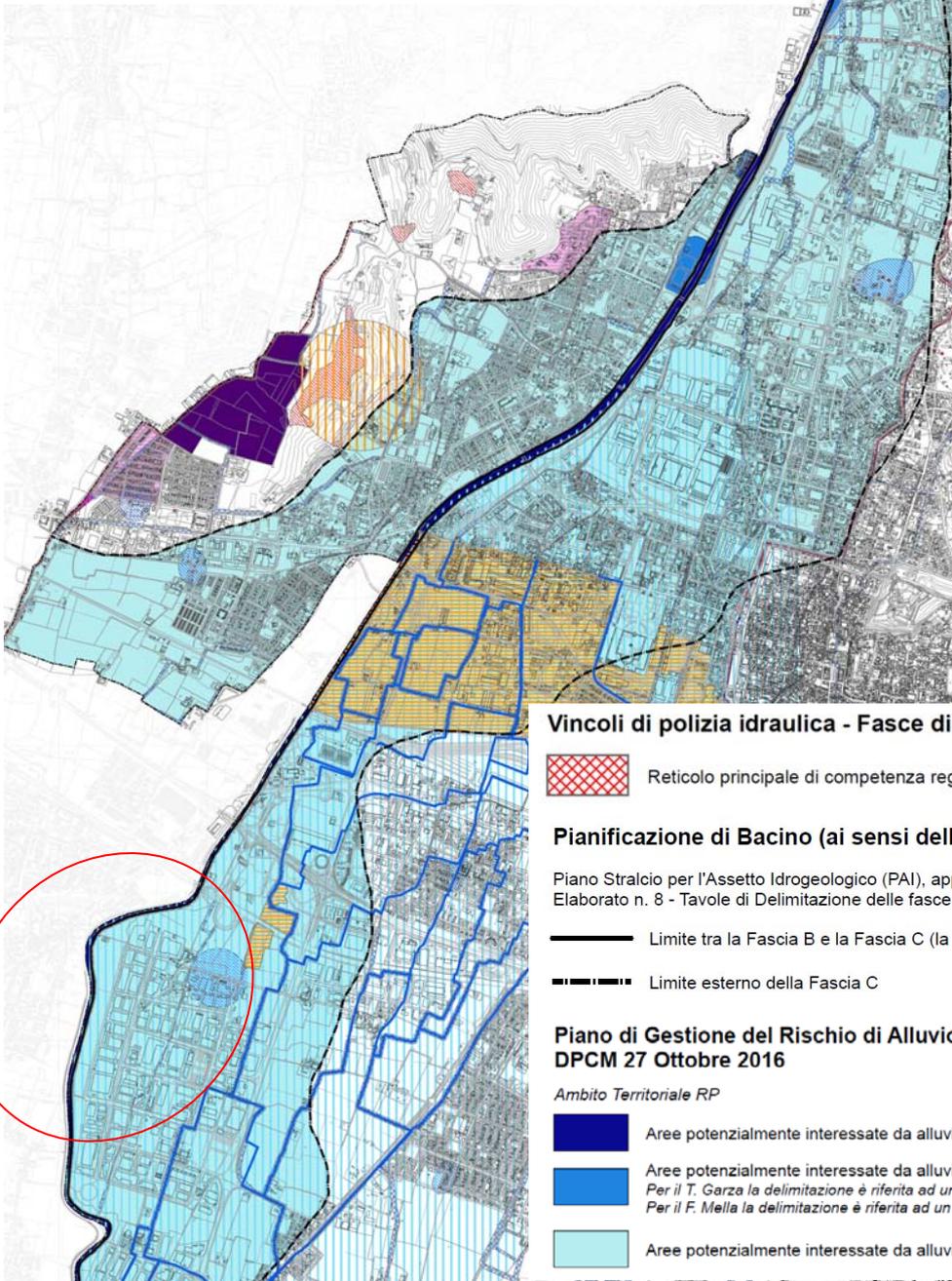
 **Z4a - Categoria di sottosuolo identificata B:** in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo C (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

 **Z4a - Categoria di sottosuolo identificata C:** in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, è prevista l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione degli effetti di amplificazione litologica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.3) o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo D (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.2.2).

Nello stesso studio si segnala la presenza, entro l'area di intervento, di **normative di vincolo** correlate alle **Fasce di Rispetto dei copri idrici**, al **Piano di Gestione del rischio alluvioni (PGRA)** ed al **SIN Brescia Caffaro Acque e Terreni**.

**Sito Inquinato di Interesse Nazionale Brescia-Caffaro (D.M. 24/02/2003)**

 SIN Terreni     
  SIN Falda     
  SIN Rogge



Estratto da: Tav. V.I.A.Lall04h "Carta dei vincoli - Dott. Geol. D. Gasparetti Dott. Geol. G. Quassoli – Ottobre 2020

### 1.1.3 NORME PGRA (DGR 10/6738/2017)

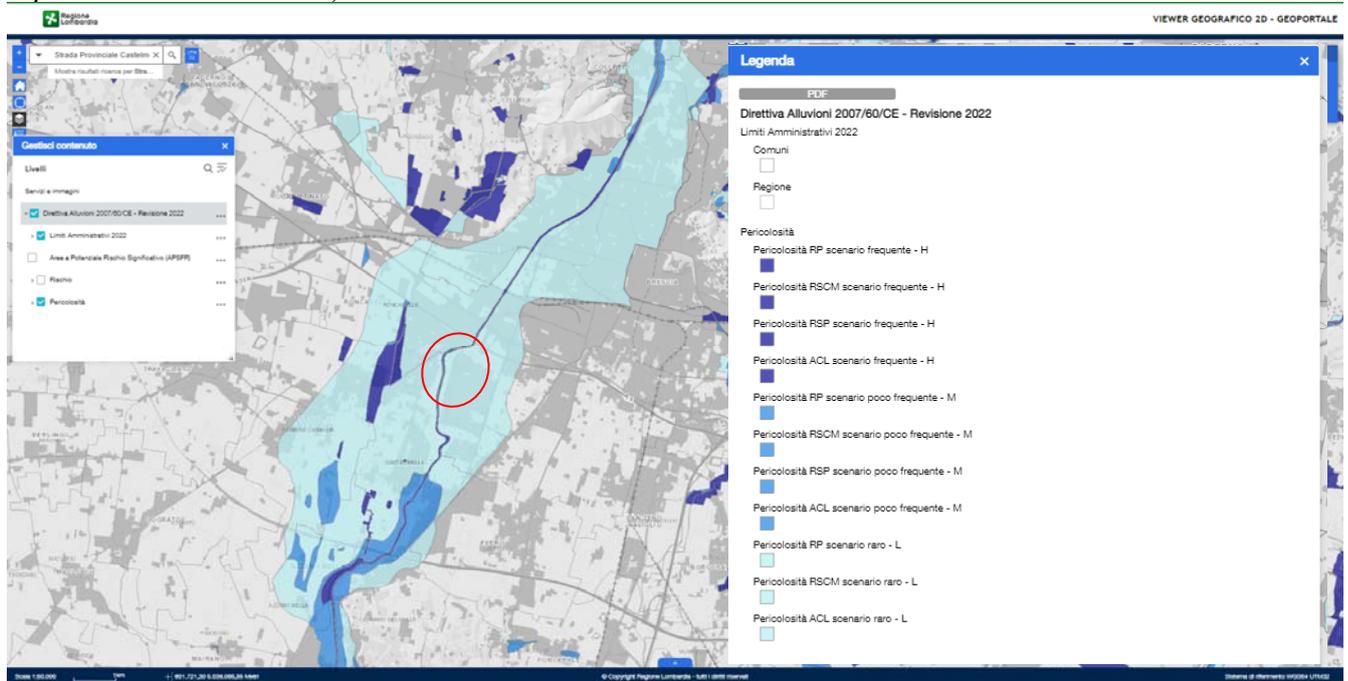
Gli studi della *Componente Geologica, Idrogeologica e sismica del PGT del Comune di Roncadelle e di CastelMella non risultano adeguati alle Norme PGRA* derivanti dall'entrata in vigore della DGR 10/6738/2017.

Si segnala per entrambi i territori e per le aree di interesse progettuale l'inclusione in **ambiti ricadenti** entro il **Piano di Gestione del rischio alluvioni (PGRA)** quali **“Ambito territoriale Reticolo Principale – RP”**

Le Mappe di pericolosità individuano lungo il Fiume Mella **aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), da alluvioni poco frequenti (aree P2/M) e da alluvioni rare (aree P1/L).**

Tali aree non coincidono esattamente con le Fasce fluviali A, B e C già definite nel PAI e nei PGT vigenti, in quanto i criteri che hanno portato alla loro delimitazione sono differenti, come illustrato nell'Allegato A (par. 3.1) alla D.G.R X/6738/2017. L'Autorità di Bacino del Fiume Po procederà successivamente, in accordo con Regione Lombardia, ad avviare specifiche varianti al PAI a scala di asta fluviale (varianti d'asta) relative alle fasce fluviali, al fine di aggiornare le fasce fluviali tenendo conto delle aree individuate sulle Mappe di pericolosità.

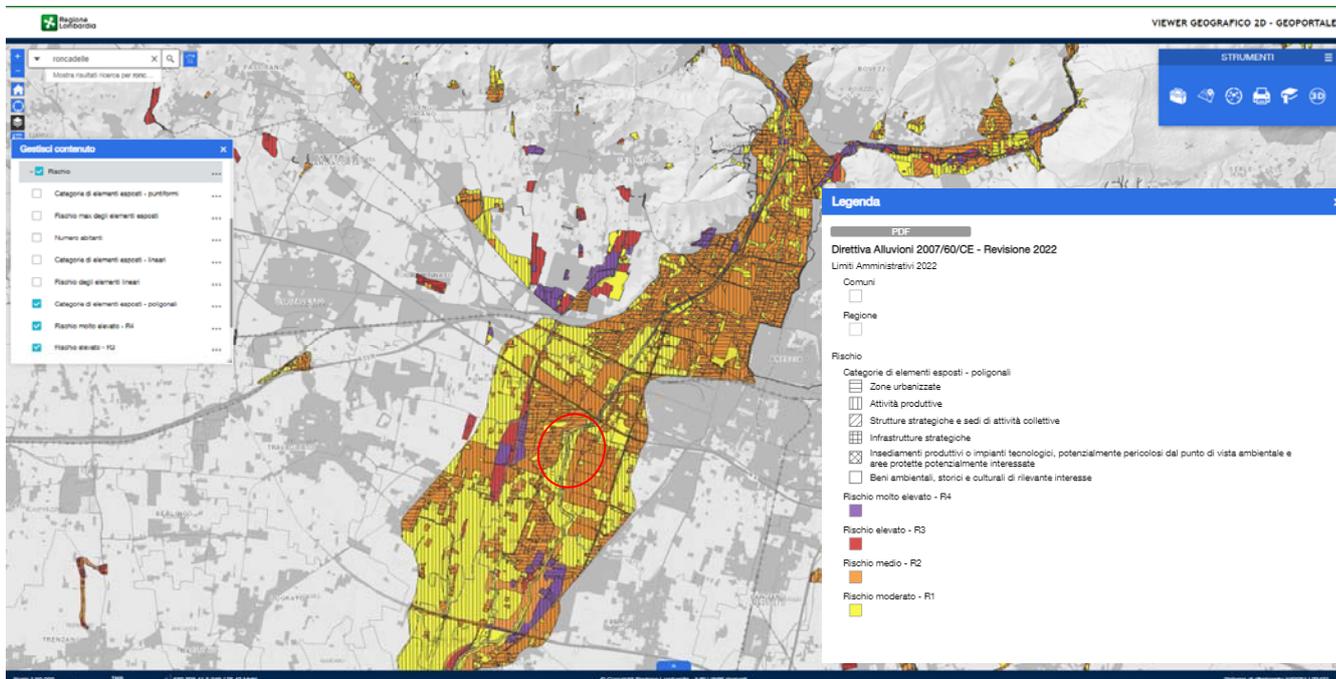
Lungo tutta la fascia di progetto della Greenway, da CastelMella all'estremità Nord di Brescia, sono presenti aree a pericolosità *“Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (P3/H – Tr 10-20 anni), poco frequenti (P2/M – tempo di ritorno 100-200 anni) e rare (P1/L – tempo di ritorno superiore a 100-200 anni).*



Estratte da: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/viewer25> - Viewer Geografico - Geoportale – Regione Lombardia

Le aree P3/H coincidono sostanzialmente con l'alveo del F. Mella e talora gli argini adiacenti; le aree esterne agli argini ricadono in gran parte in aree P1/L e solo localmente in aree P2/M.

In relazione alla pericolosità individuata ed agli elementi esposti sono altresì individuati vari *scenari di Rischio da molto elevato (R4) a moderato (R1)*.



Estratte da: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/viewer25> - Viewer Geografico - Geoportale – Regione Lombardia

Per l'alveo e le aree esterne agli argini si segnala la presenza prevalente di scenari di Rischio moderato (R1) o medio (R2); per le aree arginali ed i manufatti di attraversamento sono localmente individuate aree a Rischio elevato (R3) o molto elevato (R4).

In comune di Brescia le norme vigenti entro questi ambiti PGRA/RP sono già definite nelle Norme di fattibilità in relazione al loro recepimento nel PGT vigente.

Per il Comune di CastelMella, in assenza di recepimento delle aree PGRA negli strumenti urbanistici comunali si applicano le norme contenute nell'All.A alla DGR 10(6738/2017) e per le aree PGRA/RP in particolare si applica il punto 3.1 e per le aree riferibili al F. Mella il **punto 3.1.4 Disposizioni per i corsi d'acqua GIA' interessati nella pianificazione di bacino vigente dalla delimitazione delle fasce fluviali.**

Si riporta un estratto:

Normativa

Fino all'adozione delle specifiche varianti PAI a scala di asta fluviale (con le relative norme di salvaguardia) che porteranno alla revisione delle fasce fluviali vigenti, entrambe le perimetrazioni restano in vigore. In caso di sovrapposizione deve essere applicata la classificazione e di conseguenza la norma più restrittiva.

Come nel caso dei corsi d'acqua privi di fasce fluviali, anche per il caso presente:

- a) nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme di cui al "Titolo II - Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del PAI;
- b) nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del "Titolo II - Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del PAI;
- c) nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1/L), si applicano le disposizioni di cui all'art. 31 delle N.d.A. del PAI.

Procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici comunali

Al sensi dell'art. 59 delle N.d.A. del PAI (introdotta con il nuovo Titolo V), tutti i Comuni, ove necessario, provvedono ad adeguare i rispettivi strumenti urbanistici conformandoli alla normativa sopraindicata.

In particolare, nelle aree allagabili per la piena frequente (P3/H), poco frequente (P2/M) e rara (P1/L):

1. i Comuni **applicano da subito** la normativa sopraindicata sulle aree allagabili così come presenti nelle mappe di pericolosità del PGRA (accessibili attraverso il GEOPortale della Lombardia secondo le modalità descritte nell'Allegato 1), modificando di conseguenza le previsioni degli strumenti urbanistici comunali che risultassero in contrasto, ed aggiornando conseguentemente i Piani di Emergenza Comunali secondo le indicazioni fornite al paragrafo 7. "Disposizioni integrative rispetto a quanto contenuto nella d.g.r. VIII/4732/2007 relative all'attuazione della variante normativa al PAI nel settore della Pianificazione dell'emergenza alla scala comunale";
2. **entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) i Comuni sono tenuti a verificare e, ove necessario, aggiornare le valutazioni dettagliate delle condizioni di pericolosità e rischio locali** già svolte in passato. In particolare:
  - a. I Comuni con edificati esistenti ricadenti all'interno delle fasce A e B, che hanno già svolto una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, devono verificarla e, se necessario, aggiornarla sulla base dei nuovi dati (portate, livelli, topografia) utilizzati per la mappatura delle aree allagabili del PGRA, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011<sup>10</sup>;
  - b. per l'edificato esistente in precedenza non ricadente in fascia A o B ma che si trova ora a ricadere in P3/H e P2/M, il Comune competente è tenuto a valutare in dettaglio le condizioni di pericolosità e rischio locali attraverso una nuova analisi o un'estensione dell'analisi già svolta, d'intesa con l'Autorità regionale o provinciale competente in materia. L'intesa si intende raggiunta se le valutazioni vengono svolte secondo le metodologie riportate nell'Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011<sup>11</sup>;
  - c. le valutazioni di cui ai punti a) e b) devono avere le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio". Tali valutazioni devono essere trasmesse a Regione Lombardia che le utilizzerà sia nell'ambito dei previsti riesami e aggiornamenti delle mappe e del PGRA sia ai fini del **monitoraggio delle misure di prevenzione del rischio previste nel PGRA**;
3. **entro le aree che risultano classificate come R4 - rischio molto elevato (ovvero entro le aree che risultano già edificate nell'Ortofoto AGEA 2015 pubblicata sul GEOPortale della Regione Lombardia) nelle more del completamento/aggiornamento della valutazione dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali di cui al punto 2. e del suo recepimento nello strumento urbanistico comunale, è facoltà del Comune applicare, anche all'interno degli edificati esistenti, le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M (fasce A e B) o richiedere che gli interventi edilizi siano supportati da uno studio di compatibilità idraulica che, partendo dalla valutazione delle condizioni di pericolosità e rischio già svolta (qualora presente) e recepita nel PGT, ne approfondisca gli esiti utilizzando come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza);**
4. entro i territori compresi tra un limite B di progetto e un limite di fascia C delle fasce vigenti: se si è proceduto in passato a svolgere una valutazione più dettagliata delle condizioni di pericolosità e rischio locali, questa valutazione deve essere verificata e, ove necessario, aggiornata tenendo conto dell'estensione dell'area allagabile contenuta nelle mappe di pericolosità del PGRA e dei relativi dati associati (portate, livelli, topografia<sup>12</sup>). In particolare:
  - a. se in passato si è utilizzato solo il metodo semplificato di cui all'Allegato 2 alla d.g.r. VII/7365/2001, che pertanto ha condotto ad un tracciamento dell'area allagabile a tergo del limite di progetto tra la fascia B e la fascia C, tale tracciamento deve essere sostituito con la nuova area allagabile tracciata nelle mappe PGRA, se diversa. Il Comune è tenuto a valutare le condizioni di rischio di eventuali edificati che ricadessero all'interno delle nuove aree allagabili con le finalità descritte al paragrafo 4. "Disposizioni relative all'edificato esistente esposto al rischio";
  - b. se in passato si è utilizzato il metodo approfondito di cui all'Allegato 3 alla d.g.r. VII/7365/2001 (ora Allegato 4 alla d.g.r. IX/2616/2011) occorre verificare e, se necessario, aggiornare tale valutazione considerando i nuovi dati di riferimento utilizzati nel PGRA (portate, livelli, topografia) ed estendendo la valutazione a tutta la nuova area allagabile). Nelle more di tale aggiornamento e del suo recepimento nello strumento urbanistico comunale è facoltà del Comune applicare le norme riguardanti le aree P3/H e P2/M (fasce A e B) o richiedere che gli interventi edilizi siano supportati da uno studio di compatibilità idraulica che,



partendo dalla valutazione delle condizioni di pericolosità e rischio già svolta (qualora presente) e recepita nel PGT, ne approfondisca gli esiti utilizzando come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza);

5. entro e non oltre i termini stabiliti dall'art. 5 della l.r. 31/2014 per l'adeguamento del Piano di Governo del Territorio (PGT), i Comuni **procedono** con il recepimento delle aree allagabili e relative norme (incluse quelle di dettaglio derivanti dalla valutazione del rischio svolta sugli edifici esistenti che si trovano a ricadere entro le aree allagabili P3/H e P2/M) nello strumento urbanistico comunale secondo le modalità già definite per le fasce fluviali nelle N.d.A. del PAI nonché nella d.g.r. IX/2616/2011, parte II, paragrafo 5.1, punti 1 e 2. Considerato che per il tracciamento delle aree allagabili si sono utilizzati rilievi LIDAR di elevato dettaglio e che le aree allagabili rappresentano uno step del percorso per l'introduzione delle fasce fluviali, gli aggiustamenti morfologici previsti al comma 3 art. 27 delle N.d.A. del PAI e dalla d.g.r. IX/2616/2011 non sono di norma consentiti o devono essere adeguatamente motivati;

Il tracciamento alla scala locale dei limiti delle aree allagabili, da effettuarsi sulla medesima base topografica del PGT, sarà consegnato a Regione nell'ambito delle procedure di pubblicazione degli strumenti urbanistici comunali attraverso la carta PAI-PGRA descritta nel seguito (Paragrafo 5. "La carta PAI - PGRA" e Allegato 5).

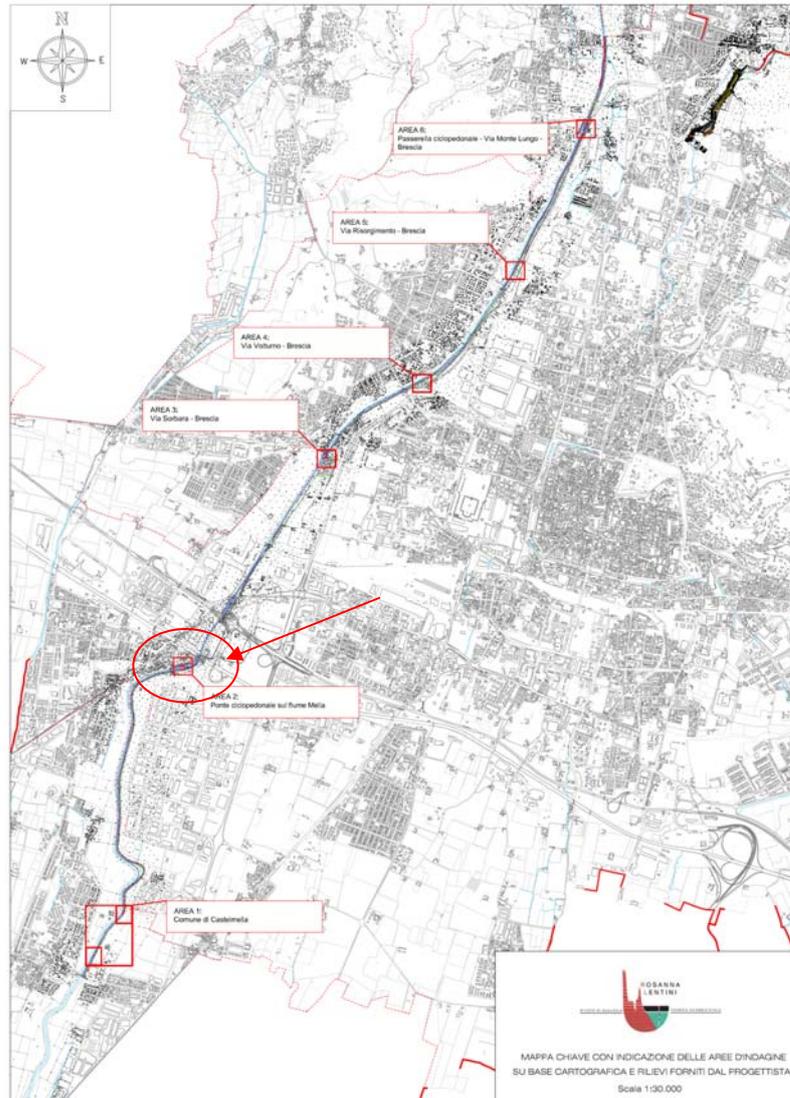
## 1.2 RIFERIMENTI METODOLOGICI

Tenuto conto di quanto sopra verificato (§1.1) relativamente alle Norme di PGT e sovracomunali vigenti, la **relazione geologica** sarà redatta sulla base di tutti i dati geognostici raccolti e con particolare riguardo alla valutazione del **Modello Geologico** (D.M. 17/01/18) e **Geofisico** (D.M. 16/01/96, Ord. 3274/2003, Ord. 3519/2006, D.M. 17/01/18, D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/5001/2016) del sito di progetto e ad una verifica della **compatibilità dell'intervento con le normative vigenti** ed all'individuazione **di eventuali prescrizioni/interventi necessari per la sua realizzazione**. Essa prevedrà l'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area nonché l'inquadramento della sismicità regionale e la determinazione dei parametri relativi alla Pericolosità Sismica di Sito (Categoria di sottosuolo-Categoria Topografica, Amplificazione Stratigrafica e Topografica, Parametri Sismici Normativi  $-a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ - stimati per varie frequenze annuali di superamento, ecc.) con applicazione dei livelli di approfondimento richiesti dalla normativa regionale (D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/5001/2016), tenuto conto delle Norme di PGT vigenti.

**La relazione geotecnica** e sarà redatta sulla base di tutti i dati raccolti e con particolare riguardo alla valutazione del **Modello Geotecnico** (D.M. 17/01/18).



Nella presente relazione sono stati dapprima utilizzati i dati raccolti nell'ambito della progettazione preliminare dell'intero intervento **definiti con riferimento a 6 ambiti di approfondimento**, tra cui risultava compreso anche il Lotto I di attuale interesse progettuale denominato "Area 2- Ponte ciclopedonale sul F. Mella" (vedi *Mappa chiave con indicazione delle aree di indagine*, sottoriportata).



Per la caratterizzazione geologica-geotecnica dei terreni, in adempimento alle norme di fattibilità geologica previste negli strumenti urbanistici e per gli scenari di PSL individuati è stata predisposta nel 2022 presso l'area di progetto un specifica campagna d'indagine con esecuzione di **n°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo** con esecuzione in foro di **prove penetrometriche (SPT)** presso gli argini interessati dalla realizzazione delle spalle del ponte e dallo spostamento puntuale del percorso esistente, mediante riprofilatura del lato esterno dell'argine esterno mediante "terre armate".

Per la caratterizzazione geofisica e per la valutazione delle velocità  $V_{seq}$  di sito sono stati acquisiti presso entrambi gli argini di progetto **dati geofisici** mediante **misure/registrazione di sismica passiva HVSR (tromografo)** con accoppiati **stendimenti di sismica attiva MASW con analisi delle onde superficiali**; successivamente è stata predisposta l'**analisi congiunta dei dati**.

Per l'attuale fase di progettazione definitiva verranno integrati i dati raccolti mediante predisposizione di N° 4-5 prove **penetrometriche dinamiche standard (SCPT/DPHS)** ubicate presso terminazione Nord del lotto di progetto, in cui verrà realizzato un percorso di raccordo tra la viabilità esistente ed il percorso pedonale lungo argine mediante un rilevato su "terre armate".

Tutte le indagini si sono svolte in ottemperanza alle normative di legge vigenti in materia secondo le *prescrizioni e gli oneri contenuti nelle raccomandazioni A.G.I. (1977)*.

Numerosi altri dati relativi alla natura litologica ed alle caratteristiche litologiche, geotecniche e geofisiche dei terreni presso la fascia di territorio di progetto derivano da vari studi geologici eseguiti dalla scrivente presso siti posti in aree prossime a quella di studio e/o riportati in letteratura e nei PGT vigenti.

Si specifica che in adempimento alla normativa vigente (D.M. 17/01/18, D.G.R. 10/5001/2016) la presente relazione geologica può essere utilizzata solo per i siti indicati ed in riferimento alla fase di progettazione preliminare. Si diffida qualsiasi differente utilizzo, che sarà perseguibile a norma di legge.

Si allegano:

- Sezione Geologico-Geotecnica schematica (scala 1:200)

Estratti da Relazione Geologica Preliminare – Greenway del Mella:

- AREA 2 – INTERVENTI DI NUOVA REALIZZAZIONE: PONTE CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA (Brescia-Roncadelle)
  - ✓ Planimetria con ubicazione indagini (scala 1:1.000)
  - ✓ Stratigrafia dei sondaggi geognostici
  - ✓ Allegato fotografico
  - ✓ Stratigrafie pozzi estratte da PGT
- CAP. 0 - APPENDICE INDAGINI GEOFISICHE – METODOLOGIE E STRUMENTAZIONI
- Schede di stima degli effetti litologici – Analisi sismiche di 2° livello (All. 5 DGR 9/2616/2011)



## **2 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO**

L'intera area di progettazione della *Greenway del Mella* segue l'andamento del Fiume Mella, collocandosi per lo più in sponda Sx del corso d'acqua; essa si diparte a Sud dal territorio comunale di Castel Mella per poi entrare in comune di Brescia e Roncadelle e raggiungere l'estremità nord del territorio comunale di Brescia e Collebeato.

Nella presente relazione viene fornito, sulla base di tutti i dati raccolti un inquadramento geologico generale e vengono descritte le unità litologiche, presenti nell'area oggetto di intervento ed in un intorno significativo.

Lo studio delle caratteristiche geomorfologiche ed idrografiche del territorio d'interesse e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, si è articolato mediante una prima fase di acquisizione dei dati reperibili in letteratura, tra cui lo studio di *Aggiornamento della Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio di Brescia* e gli studi *della Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio di CastelMella, Roncadelle e Collebeato* e, in aggiunta, di quelli relativi a studi geologici ed indagini geognostiche eseguiti, anche dalla scrivente, entro l'area di studio e/o siti prossimi o di omologhi ambiti geologici.

Quindi si è proceduto alla fase di analisi mediante i rilievi geomorfologici e strutturali di campagna estesi per un intorno significativo rispetto all'area di progetto.

### **2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE**

L'area oggetto d'intervento è compresa nella *Medio-Alta Pianura Padana Bresciana*, in corrispondenza e subito a Nord della fascia detta delle "risorgive o fontanili" disposta con asse orientato circa E-W che segna il passaggio tra l'Alta e la Medio-Bassa Pianura.

L'evoluzione geologica della parte di pianura in esame è collegata inizialmente allo sviluppo delle avansosse alpina ed appenninica, un grande bacino che durante il Pliocene e parte del Pleistocene risulta corrispondere ad un golfo occupato da acque marine e caratterizzato da successive ingressioni e regressioni del mare.

Nel corso del Pleistocene medio-superiore il bacino appare in gran parte colmato e divengono attivi i processi geomorfologici legati in particolare al reticolo idrografico.

Nel Quaternario la storia geologica risulta caratterizzata da ripetuti fenomeni di espansione e successivo ritiro dei ghiacciai. Gli apparati morenici, individuati durante le diverse fasi glaciali, hanno diffusamente interessato più a N le aree di catena, con particolare riguardo allo sbocco delle principali vallate alpine verso la pianura dove si sono depositati sedimenti glaciali e fluvioglaciali. Allo scioglimento delle masse glaciali nei periodi interglaciali, sono da correlare le potenti sequenze fluvioglaciali, riprese successivamente dai corsi d'acqua olocenici, cui può essere riferito il livello fondamentale della pianura padana attuale.

Nel Quaternario recente i fiumi hanno quindi ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco vallivo, si sono così formati sistemi sedimentari piuttosto estesi che, in pianta, presentano una morfologia a ventaglio, mentre in tre dimensioni possiedono una forma simile ad un cono appiattito (conoidi alluvionali).





## 2.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE - SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

La litologia, in questo settore della pianura padana, è prevalentemente riferibile a terreni a granulometria da media a grossolana, quali sabbie, ghiaie medio-fini, sabbie limose ed in subordine limi sabbioso-argillosi. Il modello deposizionale fluvioglaciale-alluvionale prevede in ogni caso una marcata variabilità laterale con presenza di lenti o livelli più francamente sabbioso-ghiaiosi o limoso-argillosi.

La successione stratigrafica delle unità litologiche presenti lungo l'ambito di interesse progettuale risulta piuttosto omogeneo identificandosi con il fondovalle del Fiume Chiese e può essere così schematizzata, dai termini più antichi ai più recenti:

### DEPOSITI ALLUVIONALI/FLUVIOGLACIALI ATTUALI O RECENTI

(Olocene – Pleistocene inf. e Olocene)

Si tratta dei depositi che costituiscono il conoide alluvionale del F. Mella che deve la sua deposizione all'attività del corso d'acqua durante il quaternario in diretta connessione con i rilevanti fenomeni erosivi che interessavano i retrostanti rilievi montuosi della Val Trompia. Sono costituiti prevalentemente da depositi sabbioso-ghiaiosi alternati a orizzonti più francamente limosi.

### MATERIALI DI RIPORTO

Nel contesto urbanizzato del territorio sono diffusamente presenti coltri discontinue di materiali di riporto di spessore alquanto variabile. Si tratta di materiali eterogenei per natura e granulometria accumulati in passato in relazione alle attività antropiche (pratiche agricole e progressiva urbanizzazione). Per l'area di interesse assumono particolare rilievo i materiali di riporto accumulati per la realizzazione degli argini fluviali e delle infrastrutture delle vie di comunicazione.



## 2.3 IDROGRAFIA

Si descrivono a seguire i caratteri principali del reticolo idrografico di interesse con particolare riferimento alla descrizione proposta nella **Relazione tecnica** dello **Studio di individuazione del reticolo idrico minore e regolamento di polizia idraulica** (Dott. Ing. Giuseppe Rossi – Gennaio 2007)

L'ossatura principale della rete idrografica naturale è costituita dal **Fiume Mella** e dal **Torrente Garza**, i quali entrano nel territorio comunale di Brescia al termine dei loro percorsi nei rispettivi bacini montani delle Valle Trompia e della Valle di Nave e di Caino. Essi rappresentano il recapito finale delle acque meteoriche della maggior parte del territorio comunale, sia direttamente che attraverso altri corsi d'acqua successivamente confluenti nei due predetti ricettori.

Al bacino del Mella afferiscono le Rogge Mandolossa, Garzetta delle Fornaci e Garzetta di San Zenone, le quali raccolgono le acque meteoriche delle zone Ovest e Sud del territorio comunale. La Roggia Mandolossa è un corso d'acqua naturale a carattere torrentizio, posto al confine con i comuni di Gussago e di Roncadelle, mentre la Garzetta delle Fornaci e la Garzetta di San Zenone sono canali artificiali, utilizzati a scopo irriguo e quali recapito del drenaggio urbano.

### **FIUME MELLA**

Il Fiume Mella trae origine dal Monte Crestoso, in alta Valle Trompia, a quota 2215 m e termina confluendo nel Fiume Oglio, dalla sponda sinistra, in Comune di Seniga, a quota 34 m, dopo un percorso di circa 104 km.

**Il tronco del Fiume Mella nel territorio di Brescia è lungo circa 11,6 km, fra le quote altimetriche 185 e 110 m slm.**

Il bacino imbrifero montano del Mella, chiuso alla sezione di Ponte Stocchetta, all'estremo Nord del Comune di Brescia a quota 185 m, misura 311 km<sup>2</sup>. Esso è interamente compreso nel territorio della Provincia di Brescia, fra i bacini del Sebino ad Ovest, della Valle Canonica a Nord e della Valle Sabbia a Est.

Le maggiori quote del bacino si riscontrano lungo lo spartiacque al confine con il bacino della Valle Canonica, ove superano di poco i 2000 metri.

La rete idrografica si compone di un gran numero di convalle, tra le quali le maggiori sono quelle dei Torrenti Mella di Sarle e di Zerlo (26,25 km<sup>2</sup>), Valle Morina (26,55 km<sup>2</sup>), Valle di Inzino (17,85 km<sup>2</sup>), e Valle di Gombio (15,10 km<sup>2</sup>), affluenti di destra e delle Valli di Marmentino (13,60 km<sup>2</sup>), di Lodrino (16,10 km<sup>2</sup>), e del Torrente Faidana (30,20 km<sup>2</sup>), affluenti di sinistra.

Il regime pluviometrico è di tipo **Subcontinentale alpino**, caratterizzato da due periodi annuali di massima precipitazione, in primavera ed in autunno, e due minimi, in inverno ed in estate.

Non si trovano nel bacino ghiacciai o nevi perenni, né invasi rilevanti che possano influire sulla formazione dei deflussi.

Le precipitazioni nevose, alle quote maggiori, non sono in genere rilevanti, per cui il disgelo primaverile, anche se rapido, non produce di per sé eventi di piena preoccupanti.

**Sono invece particolarmente temibili gli eventi piovosi di forte intensità e di durata limitata, verificandosi i quali, in passato, si sono prodotte veloci ed irruente ondate di piena, causa di diffusi allagamenti e rotte di argini ed opere idrauliche, lungo tutto il corso del Mella.**

Dalle origini al Ponte Stocchetta, questo fiume percorre complessivamente circa 44 km.

Dal punto di vista geologico, la parte settentrionale del bacino è caratterizzata dalla presenza di rocce metamorfiche e scistose (Micascisti del Maniva), notevolmente fratturate ed alterate in superficie. Sul basamento cristallino si trovano le formazioni di rocce sedimentarie, a volte anche notevolmente estese, la cui permeabilità varia a seconda del litotipo.

**Complessivamente, la parte settentrionale del bacino presenta bassa permeabilità, la quale, unita alla forte acclività dei versanti, produce eventi di piena rilevanti nelle convalle del Mella, in occasione di piogge intense, specialmente se persistenti, a causa della rapida saturazione dei micascisti.**

La parte mediana, fino a Gardone Val Trompia, è caratterizzata dall'affioramento di formazioni rocciose diverse, fra le quali prevalgono quelle calcaree e dolomitiche. I depositi superficiali sono diffusi, costituiti da falde e conoidi di detrito.

In questa zona la permeabilità del bacino è medio alta e la morfologia è caratterizzata dalla presenza di valli incise e profonde, con versanti ripidi, per effetto della resistenza della roccia agli agenti endogeni.

La parte bassa del bacino presenta rocce calcaree, calcareo-marnose e silicee stratificate. La permeabilità, variabile a seconda del litotipo, è complessivamente media, mentre il reticolo idrografico è ben sviluppato.

Nel bacino montano le acque del Mella sono utilizzate per la produzione idroelettrica in più punti, attraverso numerosi canali derivati, ad iniziare da Tavernole in alta Valle.

*In località Noboli del Comune di Sarezzo, deriva dalla destra il canale principale di alimentazione della rete irrigua del Consorzio Generale Federativo delle Utenze del Mella, dal quale prendono origine, in Comune di Concesio e di Collebeato, i principali corsi d'acqua del reticolo minore del Comune di Brescia.*

*Alla chiusura di Ponte Stocchetta, le acque del bacino transitano, oltre che nel Mella, anche nei due canali irrigui derivati, l'uno a destra (Roggia Cobiada) e l'altro a sinistra (Roggia Massarola) del corso fluviale, con priorità di portata delle acque di magra in stagione estiva.*

**Per il tratto di interesse progettuale della *Greenway del Mella* viene riportata la seguente descrizione:**

*Partendo dal ponte della Stocchetta, inizialmente il Mella segue il confine con il Comune di Collebeato, fino alla località Pendolina, per la lunghezza di circa 1,8 Km, successivamente è compreso interamente nel territorio comunale di Brescia, fino al ponte della Ferrovia Brescia – Iseo, per la lunghezza di circa 3,8 Km, oltre il quale, per i successivi 6,0 Km, fino alla località Fornaci, delimita il confine con i Comuni di Roncadelle e Castelmella.*

*La regione fluviale del Mella, nel tronco d'interesse per il Comune di Brescia, dalla Stocchetta alle Fornaci, si limita all'alveo inciso monocursale, privo di golene e zone d'espansione per le acque. Esso è dotato di argini in frodo, sui quali le vie alzaie consentono ovunque il transito pedonale e solo localmente, per brevi tratti, anche il transito carraio.*

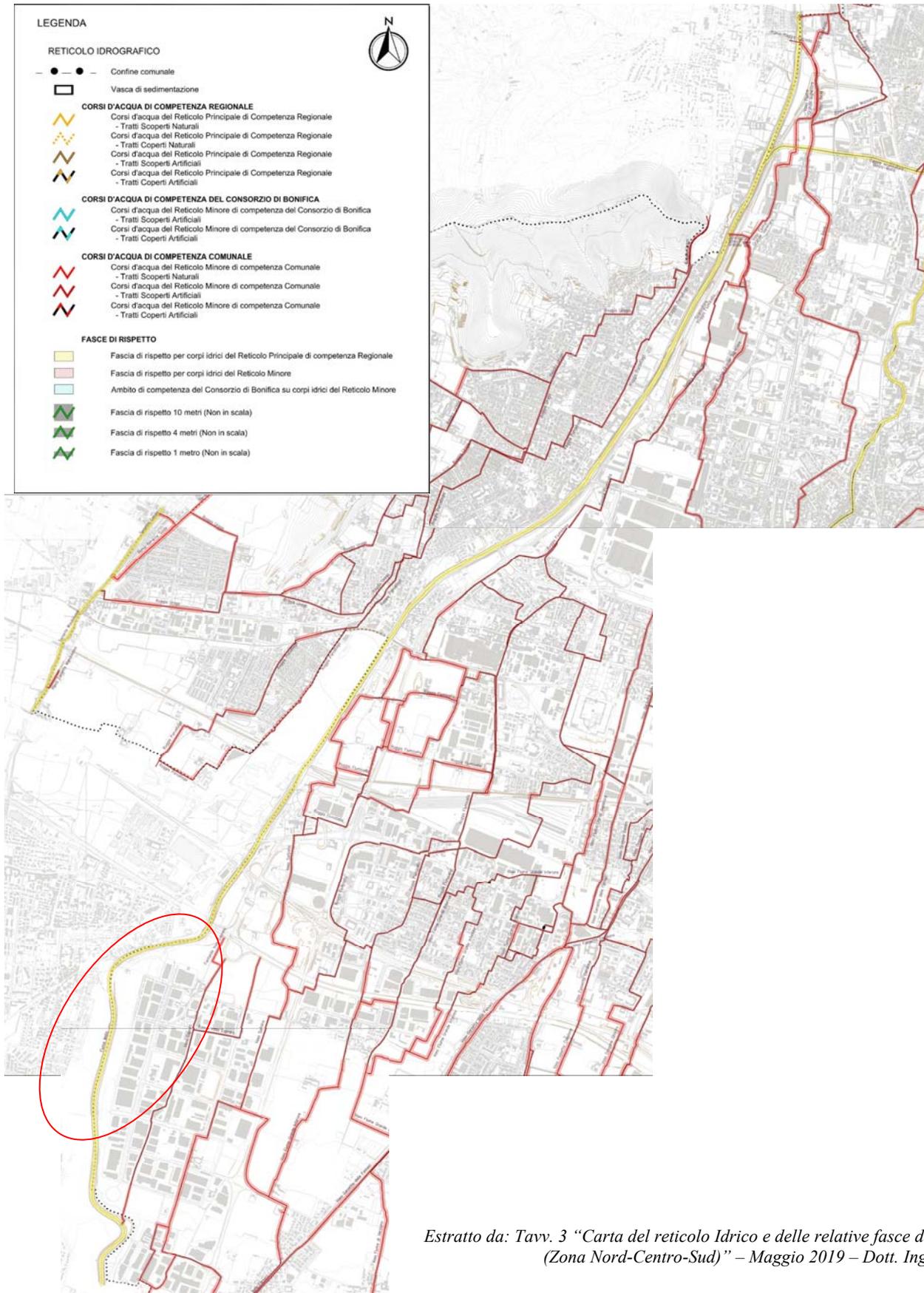
*L'andamento planimetrico vede l'alternarsi di tratti rettilinei a curve regolari ad ampio raggio.*

***Le sezioni trasversali hanno ampiezza variabile dai 40 ai 50 metri. L'alveo presenta generalmente fondo regolare e piano, con qualche accumulo consistente di materiale alluvionale solamente in corrispondenza degli slarghi, presso i ponti o le cascate e nelle zone interne delle curve. L'ossatura del fondo e degli accumuli è costituita da ciottoli e sassi di medie e grosse dimensioni nel deposito fine.***

***Gli argini sono dotati di difese radenti, originariamente costituite da mantellate di ciottoli a formazione di un rivestimento continuo delle superfici delle scarpate, sostenute al piede da muri d'unghia in calcestruzzo, localmente ma diffusamente sostituite, nel corso del tempo, da rivestimenti e scogliere di fondazione in massi di pietrame, lungo i tratti oggetto di numerosi interventi di consolidamento e di ripresa delle corrosioni.***

***In senso longitudinale l'alveo è regimato da numerose traverse e briglie in muratura, situate principalmente in corrispondenza dei ponti d'attraversamento stradale e ferroviario, le quali riducono la pendenza del piano di scorrimento a valori attorno allo 0,6 %.***

*Dai documenti relativi agli eventi alluvionali verificatisi negli ultimi vent'anni, non si riscontrano episodi di allagamento del Mella in Comune di Brescia, né di insufficienza del franco delle quote degli argini rispetto al livello delle piene, se non solamente lungo il breve tratto della lunghezza di circa 60 metri, compreso fra il ponte della Stocchetta e la successiva briglia Sifone, tracimato durante l'evento alluvionale del 8 e 9 Ottobre 1993, senza peraltro provocare danni di rilievo. Si sono registrati, invece, numerosi episodi di cedimento delle difese radenti degli argini e delle briglie, a causa delle elevate velocità delle piene e dalla tendenza del fiume all'erosione ed all'approfondimento del fondo. Attualmente le opere di difesa idraulica del Mella in Comune di Brescia sono efficienti ed in discreto stato di conservazione, non rilevandosi particolari situazioni critiche.*



Estratto da: Tavv. 3 "Carta del reticolo Idrico e delle relative fasce di rispetto (Zona Nord-Centro-Sud)" – Maggio 2019 – Dott. Ing. R. Telò

## 2.4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'assetto geomorfologico delle aree di intervento, poste in corrispondenza degli argini fluviali del F. Mella (prevalentemente in Sx idrografica) ricadono in un contesto sostanzialmente pianeggiante profondamente inciso dall'alveo del corso d'acqua e comunque intensamente urbanizzato e con presenza di opere di protezione idraulica e di manufatti di attraversamento (vedi §2.3).

La pianura è stata infatti modellata, in epoca tardoglaciale, dall'azione degli scaricatori fluvioglaciali alimentati dallo scioglimento dei ghiacciai e successivamente dai corsi d'acqua a regime alluvionale. L'assetto morfologico del territorio risulta piuttosto monotono e regolare.

Le originarie condizioni topografiche sono state in parte modificate da interventi di accumulo di terreni di riporto; lungo le sponde del F. Mella sono presenti con continuità argini artificiali rilevati rispetto al p.c. generale.

Peraltro l'elemento antropico condiziona fortemente il paesaggio dell'intera medio-alta Pianura Bresciana in modo particolare presso i centri abitati e le aree agricole e produttive.

Per l'ambito di progetto si segnala che la sommità degli argini risulta già occupata con marcata continuità da un percorso ciclopedonale o pedonale.

## 2.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

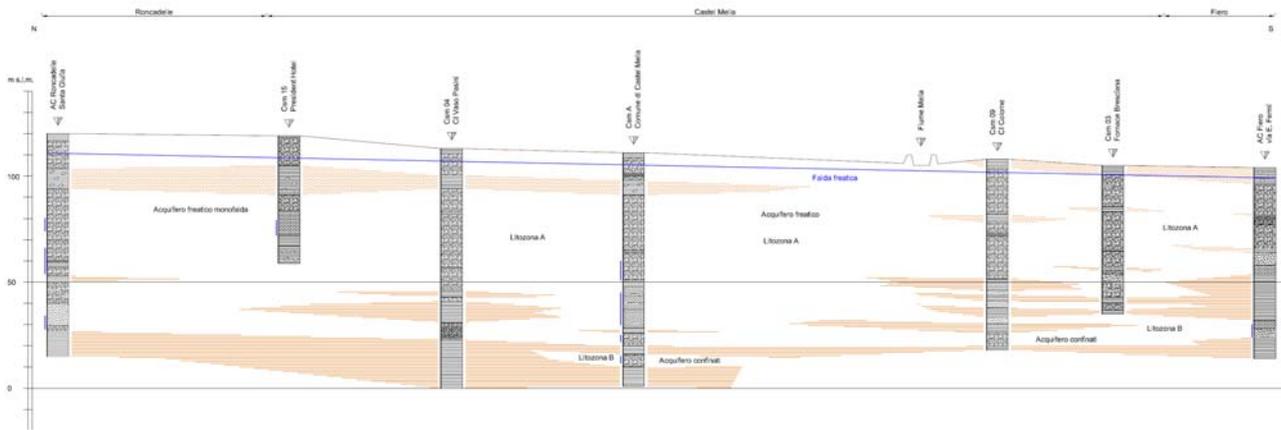
Dal punto di vista idrogeologico, la successione dei depositi della pianura padana è definita, partendo dal basso, dall'Unità Villafranchiana (Pleistocene Inferiore), caratterizzata da **depositi di facies marina e continentale prevalentemente a granulometria fine** (argille, limi, limi sabbiosi e argillosi grigio-azzurri) **cui si intercalano rari intervalli sabbiosi-ghiaiosi**. Entro questa unità circolano le cosiddette "falde profonde continentali", che costituiscono gli acquiferi profondi, confinati e ad elevato grado di protezione naturale rispetto alla superficie (Unità idrostratigrafiche C e D – III acquifero).

L'intervallo argilloso del Villafranchiano rappresenta quindi il substrato impermeabile rispetto agli acquiferi sovrastanti appartenenti al cosiddetto "acquifero tradizionale", che consta di una falda superficiale per lo più non confinata (unità idrostratigrafica A – I acquifero) e una seconda falda generalmente semiconfinata (unità idrostratigrafica B – II acquifero), costituenti molto frequentemente un'unica falda.

L'"acquifero tradizionale" circola quindi entro la **sequenza conglomeratica** riferibile al Pleistocene Medio ("Ceppo"), costituita da conglomerati compatti e/o fessurati permeabili per fratturazione (coefficiente di permeabilità  $k = 10^{-2}-10^{-3}$  cm/sec), con intercalazioni di ghiaie, sabbie e più raramente limi e argille. La sovrastante **sequenza ghiaioso-sabbiosa** del Pleistocene Superiore-Olocene, che rappresenta per lo più il non saturo, è costituita da ghiaie e sabbie con ciottoli e grossi trovanti e possiede uno spessore di circa 20-30 metri con permeabilità elevata ( $k = 10^{-1}-10^{-2}$  cm/sec).



Il modello idrogeologico di riferimento per questo settore di pianura è quindi quello di un acquifero di tipo multistrato con orizzonti acquiferi separati seppure, a larga scala, in connessione idrogeologica ed in equilibrio.



**LEGENDA**

- argille- limi
- sabbie
- ghiaie
- conglomerati
- litozone argillose limose superficiali
- principali litozone limoso- argillose
- tratto fenestrato

**Litozona A:** Acquifero freatico principale "Monofalda" con ottime potenzialità idriche costituito da successioni di ghiaie e sabbie con locali intercalazioni impermeabili

**Litozona B:** Argille e limi alla base del faldone principale. Presenza di lenti ghialoso- sabbiose sede di acquiferi confinati con mediocri potenzialità idriche

Estratto da: Tav. 6 – Sezioni Idrogeologiche – Studio geologico comune di CastelMella - Dott. Geol. M. Marella - Luglio 2009

La serie idrogeologica è esemplificata come segue:

Sottounità	Unità idrogeologica	Caratteri idrogeologici	Spessore		
			Alta pianura	Bassa pianura	
Alluvioni fluvioglaciale recente	Acquifero superficiale e primo acquifero	Falde libere di elevata trasmissività nella parte alta della pianura	In media 40 m	Circa 10 m	
Fluvioglaciale antico o "Diluvium medio"	Secondo acquifero	Acquifero tradizionale	Falde semiconfinatye nell'alta pianura, confinate nella media e bassa pianura, trasmissività media	In media 80 m	In media 120 m
Fluvioglaciale antico o "Diluvium medio"					
Ceppo					
Acquifero sotto il ceppo					
Villafranchiano	Acquifero profondo o terzo acquifero	Falde confinate, trasmissività scarsa	Circa 150m		

Tabella 6: schema delle unità idrogeologiche della pianura (da: Acque sotterranee in Lombardia)

Estratto da: relazione illustrativa Studio geologico di CastelMella – Dott. Geol. M. Marella - Luglio 2009

L'alimentazione della falda deriva essenzialmente dall'infiltrazione diretta delle acque meteoriche nelle estese zone di ricarica dell'Alta Pianura Padana e da dispersioni di subalveo da parte della rete idrica superficiale, compresa la rete artificiale irrigua

Significative oscillazioni piezometriche sono segnalate sul breve (stagioni) e sul medio/lungo termine (periodi di siccità prolungata). Tra i fattori in grado di influenzarne l'andamento stagionale, oltre che le precipitazioni, meritano di essere citati le irrigazioni ed il Fiume Mella. Il periodo irriguo rappresenta infatti una fonte di ricarica significativa per la falda freatica con conseguente innalzamento della stessa. Normalmente i massimi piezometrici si registra proprio al termine della stagione irrigua. L'azione di ricarica della falda freatica, oltre che alle acque direttamente utilizzate sui campi è legata anche alle perdite per infiltrazione dagli alvei del reticolo idrico. In tale contesto la cementificazione degli stessi rappresenta un fattore sicuramente negativo in termini di ricarica della falda freatica.

Per quanto riguarda le relazioni tra la prima falda ed il Fiume Mella, dai dati a disposizione e considerando le **quote di fondo alveo e del piano campagna circostante (condizioni di alveo pensile)**, risulta come la sua influenza sia limitata all'intorno dell'asse fluviale, dove per alcuni tratti in sinistra idrografica si ha una situazione di fiume alimentante la falda. La relazione falda freatica-fiume Mella è comunque strettamente legata alle portate in alveo ed al tirante idrico. Nel caso di eventi di piena l'azione di alimentazione del fiume sulla falda assume un peso maggiore rispetto a condizioni di magra.

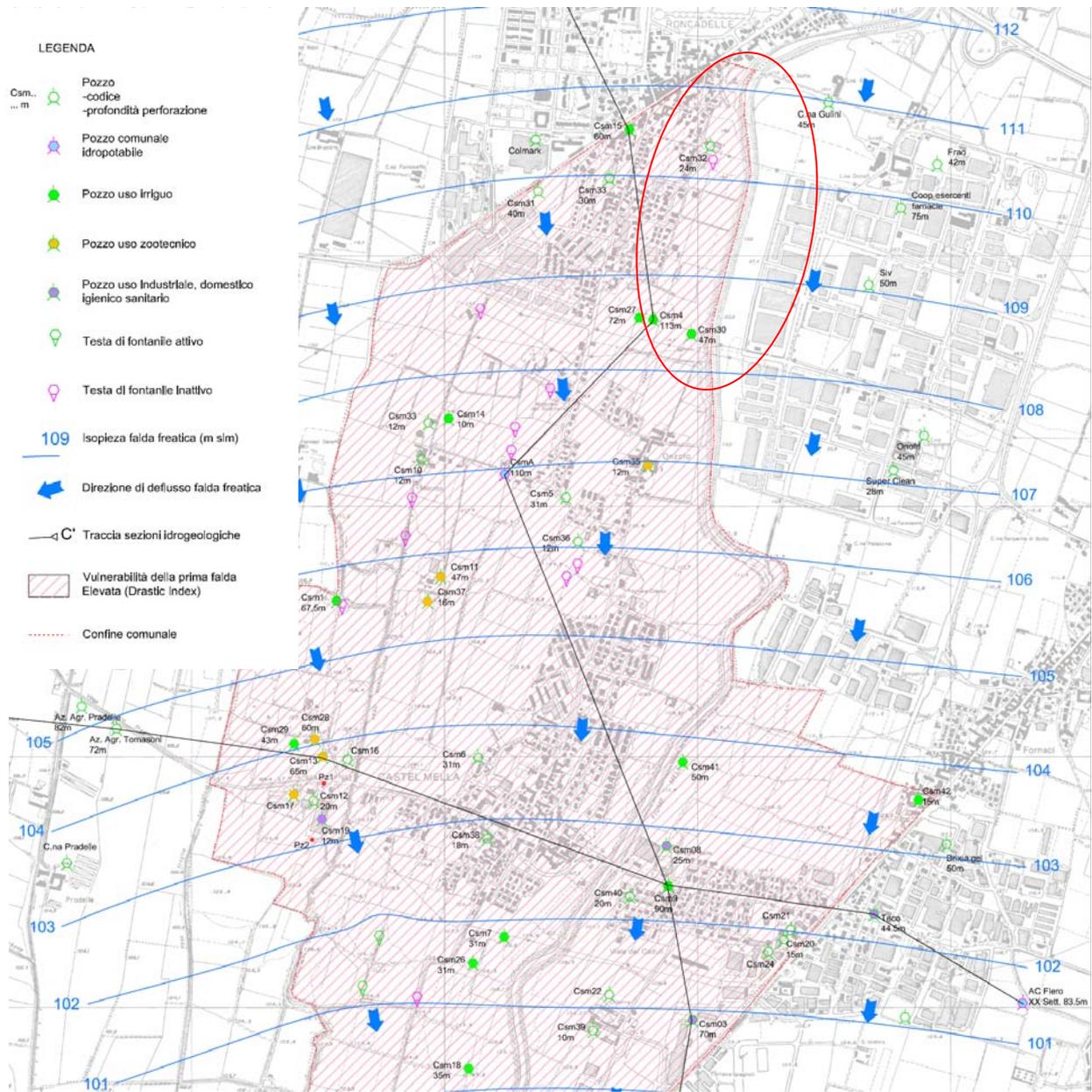
In **comune di CastelMella** nella cartografia del Luglio 2009 è stata ricostruita la piezometria mediante analisi dei dati storici disponibili e l'esecuzione di una **campagna di misure nell'Ottobre/Novembre 2017**. Per la fascia del Fiume Mella di interesse progettuale si segnala una soggiacenza variabile da Sud (pochi metri dal p.c.) a Nord (fino ad una decina di metri) con flusso orientato in direzione NNE-SSW.

La cartografia idrogeologica per l'ambito territoriale d'interesse in **comune di Brescia** tiene conto di un **periodo compreso tra il 1990 ed il 1994** (*Carta Idrogeologica* allegata allo "Studio Geologico del Territorio Comunale di Brescia"); in corrispondenza dell'area di progetto viene riportata la presenza della falda freatica "principale" circolante entro i depositi fluvioglaciali/alluvionali, per lo più a media-elevata permeabilità, a profondità estremamente variabile da Sud (da pochi ad una decina di metri dal p.c.) a Nord (maggiore di 40-60 m dal piano campagna) e con notevole oscillazione del livello di falda. Le oscillazioni del livello di falda tra il periodo di minima (1994) e massima (1990) soggiacenza risultano talora molto marcate (poco meno di una decina di metri); anche l'andamento delle isofreatiche nelle due condizioni risulta avere caratteri piuttosto peculiari anche con riferimento al Fiume Mella; esso risulta principalmente orientato da NNE verso SSW nel 1994 (minima soggiacenza) e più articolato con direzione WNW-ESE nel 1990 (massima soggiacenza).

Per il **comune di Roncadelle** nella cartografia del Gennaio 2010 è stata ricostruita la piezometria mediante una **campagna di misure del maggio 1994**. Per la fascia del Fiume Mella di interesse progettuale si segnala una direzione di flusso orientata da WNW verso ESE e pertanto verso l'alveo del F. Mella, in Dx idrografica, con quote piezometriche pari a circa 112 m s.l.m. e soggiacenza pari a circa una decina di metri rispetto al piano campagna generale

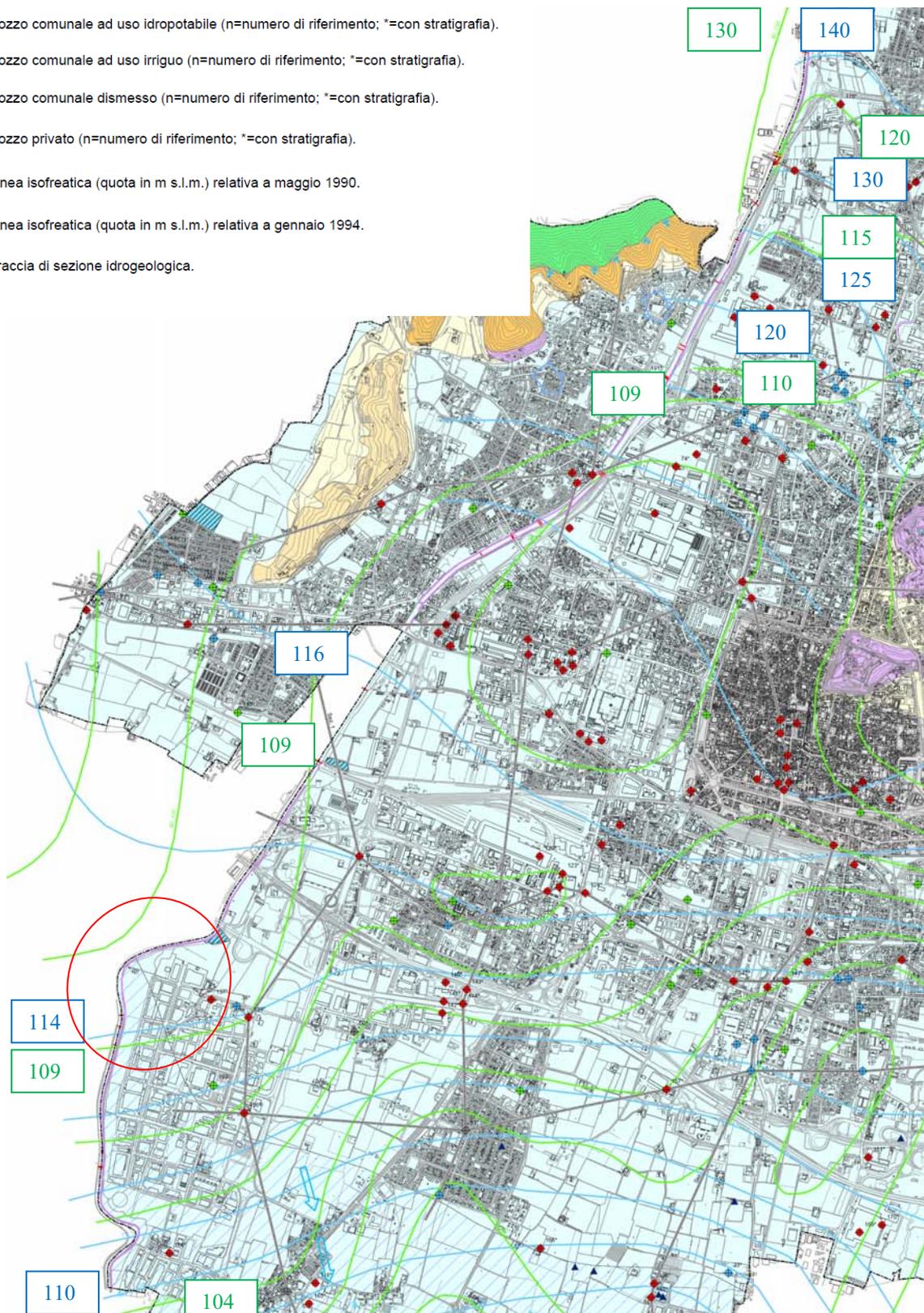
Successivi e più recenti **dati freaticometrici rilevati da ARPA** nell'ambito dei monitoraggi ambientali del SIN Brescia Caffaro mostrano valori comunque ricompresi nelle misure stimate per i territori comunali di Brescia, CastelMella e Roncadelle, seppure significativi per lo più di valori di medio-elevata soggiacenza.





Estratto da: Tav. 5 - Carta idrogeologica – Sudio geologico Comune di CastelMella - Dott. Geol. M. Marella - Luglio 2009

- ◆ Pozzo comunale ad uso idropotabile (n=numero di riferimento; \*=con stratigrafia).
- ◆ Pozzo comunale ad uso irriguo (n=numero di riferimento; \*=con stratigrafia).
- ◆ Pozzo comunale dismesso (n=numero di riferimento; \*=con stratigrafia).
- ◆ Pozzo privato (n=numero di riferimento; \*=con stratigrafia).
- Linea isofreatica (quota in m s.l.m.) relativa a maggio 1990.
- Linea isofreatica (quota in m s.l.m.) relativa a gennaio 1994.
- Traccia di sezione idrogeologica.



Estratto da: Tav. V.I.-ALall04c1 - Carta idrogeologica – Studio geologico Comune di Brescia Dott. Geol. D. Gasparetti et Al – Marzo 2018

### 3 SISMICITA'

In questo settore, che ricade nell'area padana e lungo il bordo sudalpino centrale, i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali.

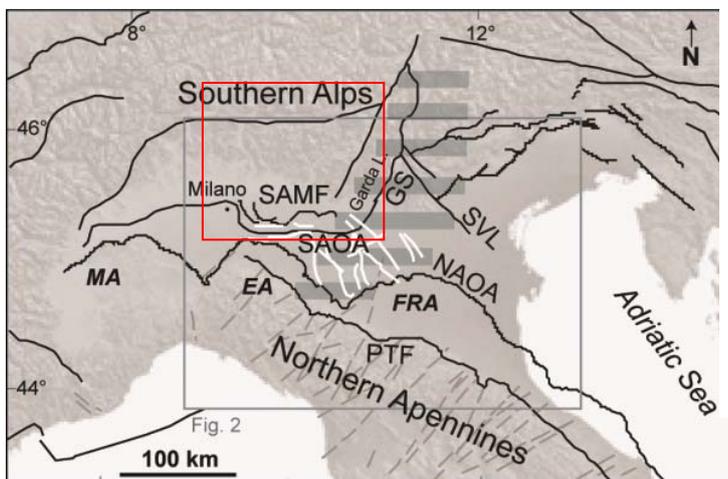
Nel settore settentrionale della pianura è presente il sistema di sovrascorrimenti S-N costituiscono la continuazione in pianura delle Prealpi Lombarde. Nella fascia meridionale un pronunciato sistema di embricazione N-vergente che costituisce l'avanfossa ess-pliocenica dell'Appennino settentrionale.

I due sistemi entrano in collisione nella parte mediana della pianura; il fronte settentrionale inquadrabile all'interno dei sistemi di deformazione del Miocene medio-superiore, quello meridionale è essenzialmente pliocenico. A partire dalla fine del Pleistocene inf. entrambi i margini Padano sono in sollevamento in seguito alla formazione di un bacino flessurale più simmetrico.

Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico risente di movimenti in modo maggiormente consistente rispetto al margine settentrionale.

Per quanto concerne l'evoluzione tettonica della pianura meridionale a partire dal Pleistocene inferiore fino a tutto il Pleistocene si evidenzia una lenta subsidenza generalizzata non contrastata dalla sedimentazione (Baraldi et alii, 1980). Nell'intervallo successivo (fino a 18.000 anni fa) si assiste ad un progressivo riempimento del bacino ed il motivo tettonico predominante continua ad essere l'abbassamento generalizzato di tutta l'area; tale movimento è stato dedotto dagli Autori in base alla notevole spessore dei sedimenti continentali.

Pertanto attraverso alcuni milioni di anni il processo di collisione tra la Placca Africana e della Placca Europea ha determinato prima un sollevamento delle porzioni assiali creando il paesaggio delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale, e quindi un abbassamento delle porzioni assiali creando il paesaggio delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale.



#### LEGENDA

	LITOLOGIA	PERMEABILITA' DELL'ACQUIFERO	POTENZIALITA' DELL'ACQUIFERO
AF	Aluvioni fluviali sabbiose e sabbioso-ghiaiose con intercalazioni limoso-argillose depositate dal Fiume Mella	Permeabilità alta per porosità	Buona
FG	Depositi fluvio-glaciali ghiaioso-sabbiosi con orizzonti ciottolosi e locali intercalazioni di sabbia più o meno limosa	Permeabilità alta per porosità	Buona

-   $n^*$   
 $n$  Pozzo comunale ( $n = n^*$  di riferimento; \* = con stratigrafia;  $n =$  quota falda misurata nel maggio 1994)
-   $n^*$   
 $n$  Pozzo privato ( $n = n^*$  di riferimento; \* = con stratigrafia;  $n =$  quota falda misurata nel maggio 1994)
-   $n^*$   
 $n$  Pozzo privato chiuso ( $n = n^*$  di riferimento; \* = con stratigrafia;  $n =$  quota falda misurata nel maggio 1994)
-  Isopiezometrica riferita a maggio 1994 ( $n =$  quota della falda espressa in m s.l.m.)
-  Direzione di flusso delle acque sotterranee
-  Reticolo idrico principale.
-  Reticolo idrico minore.
-  Traccia di sezione idrogeologica
-  Confine comunale

l'ele

he

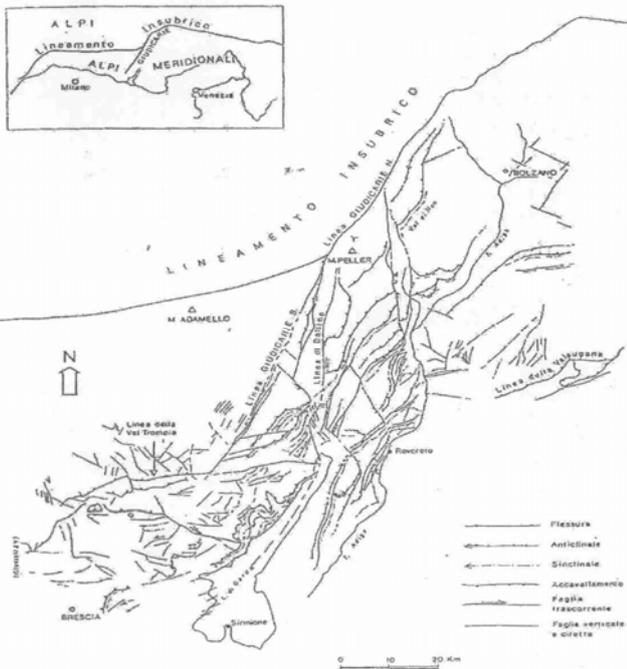
na

i;

lle

Nel bresciano, dalla sponda occidentale del Garda fino ai dintorni di Brescia, le strutture di maggiore risalto morfo-strutturale sono quelle NNE-SSW del Sistema delle Giudicarie (GS), nonché le più antiche linee ad orientamento dinarico (NW-SE) e valsuganese/valtriumplino (circa E-W - SAOA), talora riattivate. Le strutture distensive più recenti sembrano essere attribuibili in ogni caso alle fasi di sollevamento plio-pleistocenico, con direzioni prevalenti NE-SW e NW-SE.

A livello strutturale la zona di Brescia, localizzata all'interno della cintura di deformazione dei sistemi della Valsugana e Val Trompia (circa E-W) e delle Giudicarie (NNE-SSW), si differenzia nettamente dall'area veronese, collocata all'esterno della stessa cintura sul bordo di una zona più rigida, tabulare e omoclinale.



**Figura 1** – “Strutture del Sistema delle Giudicarie e Val Trompia a S del Lineamento Insubrico” Schema semplificato da numerosi Autori in Castellarin (1981).

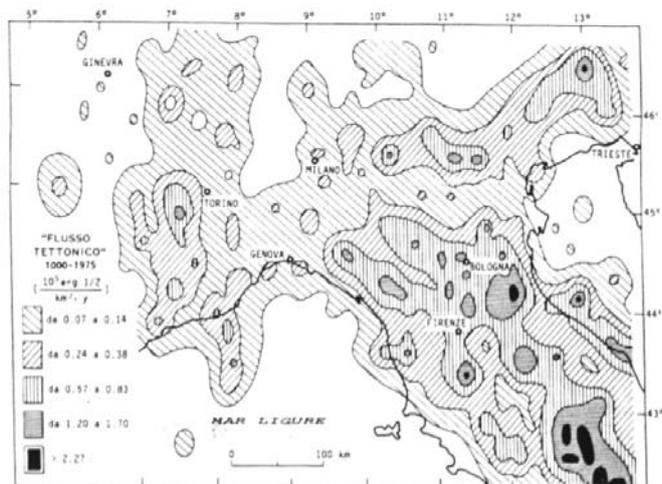
Tuttavia sebbene siano aree inserite in un contesto “strutturale” differente, l’attività sismica storica sia attorno a Verona che a Brescia documenta un legame tra i due settori, in quanto afferente ad una contesto “sismotettonico” maggiormente omogeneo.

La localizzazione dell’attività sismica nelle Prealpi si concentra infatti lungo il margine della pianura e nelle fasce immediatamente adiacenti la zona pedemontana (vedi Figura 2).

Al contrario, la zona del nucleo della catena, del massiccio dell’Adamello, la zona del Lineamento Insubrico sono totalmente prive di attività sismica

significativa e ancor meno sono attivi i nuclei strutturali più interni della catena nordalpina adiacente.

**Figura 2** – “Flusso tettonico” medio (energia prodotta dai terremoti che attraversa l’unità di superficie nell’unità di tempo), valutato per gli ultimi 1000 anni nell’Italia settentrionale e in Lombardia. (Cattaneo et al., 1978).



La più importante area tettonica “sorgente” è rappresentata dall’area tirrenica e dalla zona appenninica interna, che sono state sottoposte a processi distensivi dal Miocene superiore in poi. A questa si associa lo spostamento della placca africana verso N al ritmo di circa 1 cm/anno.

L’effetto di questi due meccanismi si esprime soprattutto lungo i limiti dei grandi domini morfostrutturali, come la zona pedemontana compresa tra la Pianura Padana e le Prealpi ed anche la giunzione Alpi-Dinaridi (sistema Friulano).

Secondo alcuni autori la localizzazione comune dell’area di Verona e di Brescia, e più in generale di questa porzione dell’area padana, rispetto al campo tensionale residuo in atto sarebbe dunque la causa principale della loro sismicità.

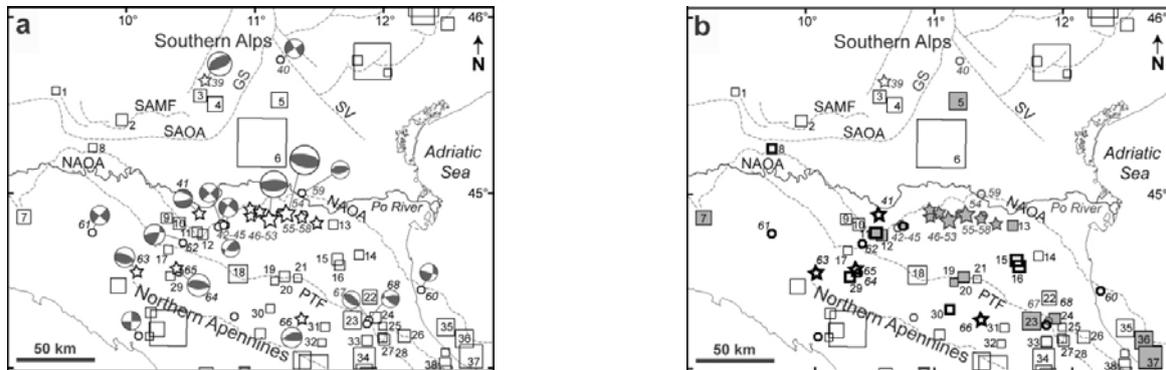
Più recentemente la relativamente elevata sismicità del territorio bresciano è stata interpretata come indicativa di una consistente attività neotettonica nella zona. Pur mancando uno studio che ricostruisca su vasta scala e in maniera soddisfacente i movimenti neotettonici nell’area bresciana, alcuni lavori di dettaglio ed il recente studio pubblicato su *Pure and Applied Geophysics* (03 Jul 2014 - ***The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain-*** Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise) permettono di delineare un primo quadro interpretativo. In particolare la corrispondenza e la connessione tra le strutture geologiche e le zone sismicamente attive dimostrerebbero come siano ancora in atto movimenti tettonici connessi all’orogenesi alpina. Molti autori ritengono infatti che la maggior parte delle superfici tettoniche segnalate nella letteratura geologica rivestano un’elevata e significativa importanza nel quadro sismotettonico generale. Ciò è confermato dall’ubicazione degli ipocentri sismici del bresciano, posti in corrispondenza della parte più pellicolare della crosta (tra i 5 e i 15 km). Oltre ai movimenti lineari che si possono verificare lungo superfici di discontinuità preesistenti e che portano a classificare le faglie e le superfici tettoniche come attive, si sviluppano anche movimenti areali di carattere neotettonico. A tal proposito le strutture delineatesi a partire dal Pleistocene inf. possono costituire una sorgente sismogenetica, lungo le più recenti direzioni NE-SW e NW-SE o riattivando i sistemi già delineatisi nel neogene (E-W), riutilizzando le antiche superfici di sovrascorrimento e i loro frequenti svincoli trasversali.

Identificare e parametrizzare le faglie responsabili dei principali terremoti della Pianura Padana – ossia le sorgenti sismogenetiche – richiede che si prenda in dovuta considerazione la loro profondità, geometria e cinematica, sia rispetto all’assetto delle due catene montuose attualmente “in avvicinamento” (le Alpi e gli Appennini), sia rispetto all’assetto paleogeografico preesistente. L’avvicinamento delle due catene è infatti fortemente condizionato dalla presenza di un contesto geologico “ereditato”, caratterizzato da antiche piattaforme carbonatiche e depositi di bacini marini profondi separati da faglie estensionali sviluppatesi durante l’apertura della Tetide. Questa articolata paleogeografia controlla fortemente lo sviluppo, l’evoluzione e la forma dei fronti montuosi sepolti al di sotto dei depositi della pianura. La conoscenza della paleogeografia dell’area oggi occupata dalla Pianura Padana è quindi molto importante per individuare e caratterizzarne le sorgenti sismogenetiche.

I dati di letteratura attribuiscono ai sistemi distensivi descritti una valenza superficiale, non superando i 10 km di profondità. E’ possibile che a livelli strutturali più profondi l’edificio della catena sia ancora influenzato da processi collisionali subduttivi. Sebbene sia ritenuta possibile la coesistenza di eventi sismici con caratteri compressivi in profondità che passino a sismi legati a distensione in superficie, non è stato tuttora elaborato un modello geodinamico che tenga conto in



modo soddisfacente della coesistenza tra contrazione e distensione.

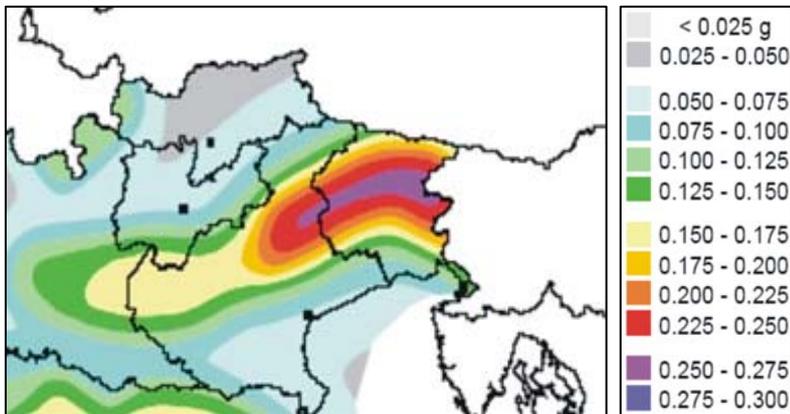


**Figura 4 bis** (tratta da *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy)*: *Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*- Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise): Terremoti storici e strumentali (CPT111, Bollettino Sismico Italiano e ISIDE). I terremoti storici con  $M \geq 5.3$  sono rappresentati con quadrati. I terremoti strumentali con  $M \geq 5.0$  sono rappresentati con stelle; quelli con  $4.5 \leq M \leq 4.9$  sono rappresentati con pallini. Tutti i terremoti sono collegati alle tabelle 1 e 2 attraverso il loro ID. a) Sismicità e meccanismi focali disponibili (Pondrelli et al., 2006; TDMT database). b) Terremoti multipli e terremoti profondi (i terremoti multipli sono rappresentati con pattern grigio; i terremoti profondi in grassetto).

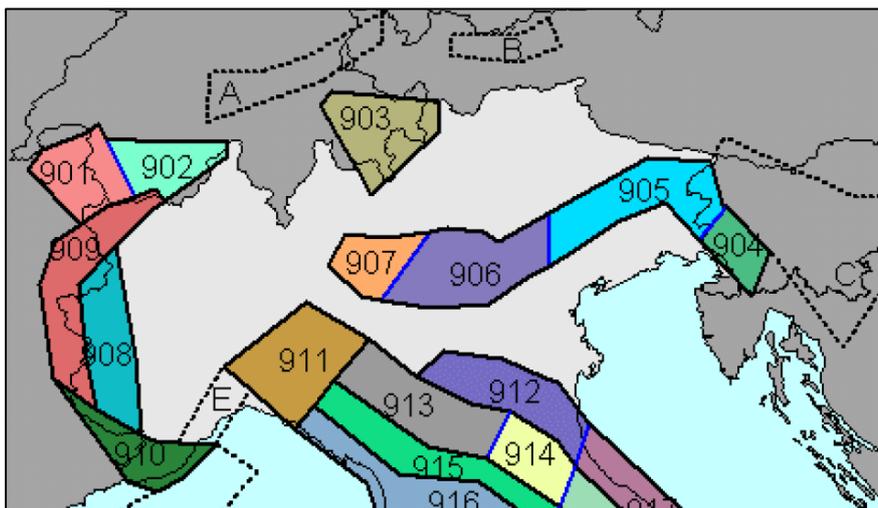
Al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono quindi strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimonia sia la sismicità strumentale dell'area, sia il verificarsi di importanti terremoti storici (Figura 4 bis). Recentemente, i *thrust* sepolti dell'Appennino Settentrionale si sono attivati durante la sequenza dell'Emilia del 2012. Una caratteristica comune delle sequenze emiliane del 1570, 1929 e 2012 è quella di essere costituite da più terremoti potenzialmente distruttivi, anche con magnitudo simile, che si susseguono nell'arco di giorni, settimane o mesi. Ma il più forte terremoto di cui si ha notizia nell'area padana è quello che il 3 gennaio del 1117 ha duramente colpito Verona e le aree poste a sud di essa (magnitudo stimata 6.7). La precisazione "di cui si ha notizia" è doverosa perché per molti secoli la Pianura Padana è stata sede di ampie aree paludose e di fitte e impraticabili foreste con sporadici nuclei abitati; esiste quindi la possibilità che altri forti terremoti accaduti nell'area siano stati poco risentiti dall'uomo o non siano stati risentiti affatto, e quindi che non siano stati adeguatamente documentati, apparendo come terremoti minori o scomparendo del tutto dalle fonti storiche.

Si vuole infine sottolineare come la distribuzione dell'intensità sismica (Figura 2) e l'andamento delle "zone sismiche" (Figura 3 – "Mappa di Pericolosità Sismica – Ord. P.C.M. 3519/2006) e "sismogenetiche" (Fig. 4 tratta da App. 2 al "Rapporto Conclusivo" – Marzo 2004" a cura di C. Meletti e G. Valensise; Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica - OPCM 3274/2003 - INGV) testimoniano un legame tra l'attività sismotettonica del margine prealpino ed il settore di giunzione Alpi-Dinaridi.

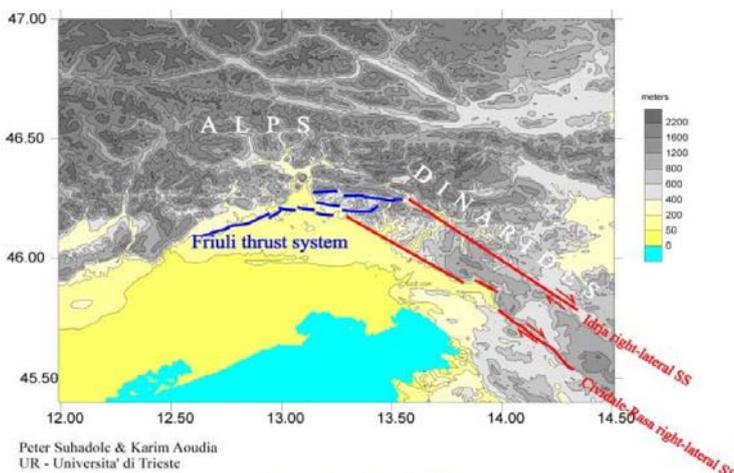
L'andamento delle aree sismiche cui afferisce il territorio gardesano pur seguendo l'andamento del margine prealpino, possiede infatti massima intensità in corrispondenza del Sistema Friulano.



**Figura 3** – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza P.C.M. n° 3519 del 27/04/06).



**Figura 4** – Schema Zonazione Sismogenetica ZS9 tratta da “App. 2 al Rapporto Conclusivo – Marzo 2004” a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (OPCM 3274/2003 - INGV).



**Figura 5** – Schema strutturale della giunzione Alpi-Dinaridi.

Si rileva inoltre una sostanziale continuità tra le aree sismogenetiche del Sistema Dinarico-

Friulano (zone ZS9 904-905) e quelle del margine prealpino veronese-bresciano-bergamasco (Zone ZS9 906-907) (Figura 4).

Alla giunzione Alpi-Dinaridi le deformazioni quaternarie e recenti riflettono il trasferimento delle deformazioni dal sistema di faglie trascorrenti destre, ad andamento dinarico, verso i sovrascorrimenti del sistema di *thrust* friulano, S-vergente (Figura 5).

### 3.1 SISMICITÀ STORICA



L'area bresciana è stata interessata in epoca storica a partire dall'anno 1000 da eventi sismici inseriti già nel Catalogo CNR (Figura 6) e quindi nel "Catalogo Parametrico dei terremoti italiani" a cura del Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (Tabella 1).

**Figura 6** – Terremoti segnalati in Lombardia dall'anno 1000 al 1984. La dimensione dei poligono è proporzionale alla magnitudo dei sismi. (tratto da A.A.V.V. "Guide Geologiche Regionali -Alpi e Prealpi Lombarde-11 itinerari", 1990).

**Tabella 1** – Eventi sismici con Magnitudo > 4, inclusi nel "Catalogo Parametrico dei terremoti italiani" avvenuti entro il 2002 nel raggio di raggio di 70 km da Brescia.  
**Msp: Magnitudo; ZS9: zona sorgente**

Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Lat	Lon	Msp	ZS9
1065	3	27	6			BRESCIA	45.55	10.22	4.99	907
1197						BRESCIA	45.55	10.22	4.80	907
1222	12	25	11			BASSO BRESCIANO	45.48	10.68	6.05	906
1303	3	22	23			PIACENZA	45.052	9.693	4.25	911
1334	12	4				VERONA	45.43	11	4.25	906
1365	9	21	5	45		VERONA	45.43	11	4.25	906
1383	7	24	20			PARMA	45.058	9.915	4.25	911
1402						VERONA	45.438	10.994	4.53	906
1445	3	21	13	30		VERONA	45.438	10.994	4.25	906
1465	4	6	21	30		VERONA	45.12	10.661	4.25	
1471						BRESCIA	45.544	10.214	4.25	907
1521	1	26	10	30		BRESCIANO	45.55	10.217	4.53	907
1522	10	5	8			CREMONA	45.136	10.024	4.25	
1540	9	1				BRESCIA	45.533	10.217	4.53	907
1576	9	26	6			BERGAMO	45.667	9.667	4.53	907
1593	3	8				BERGAMO	45.694	9.67	4.80	907
1606	8	22				BERGAMO	45.694	9.67	4.80	907
1642	6	13	22			BERGAMO	45.694	9.67	4.80	907
1661	3	12				MONTECCHIO	45.73	10.07	4.99	907
1693	7	6	9	15		GOITO	45.28	10.644	5.13	906
1771	8	15				SARNICO	45.667	10	4.53	907
1781	9	10				CARAVAGGIO	45.497	9.644	4.80	907
1783	7	28				VAL DI LEDRO	45.878	10.808	4.80	906
1786	4	7				PIACENZA	45.298	9.595	5.18	911

Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Lat	Lon	Msp	ZS9
1799	5	29	19			CASTENEDOLO	45.403	10.271	4.84	906
1802	5	12	9	30		VALLE DELL'OGLIO	45.42	9.85	5.54	907
1810	5	1				MALCESINE	45.764	10.809	4.53	906
1826	6	24	12	15		SALO'	45.6	10.517	4.40	906
1829	9	6	19	30		CREMONA	45.136	10.024	4.84	
1839	8	9	8	45		BAGNOLO MELLA	45.5	10.167	4.53	907
1851	8	3				GIUDICARIE	45.938	10.561	4.70	
1866	8	11	23			MONTE BALDO	45.727	10.783	4.99	906
1868	2	20	20			GARDA OR.	45.709	10.774	4.53	906
1868	5	22	21			ROVERETO	45.888	10.869	4.25	
1876	4	29	10	49		MONTE BALDO	45.75	10.78	4.74	906
1877	10	1	7	27		MALCESINE	45.764	10.809	4.80	906
1879	2	14				GARGNANO	45.607	10.536	4.25	906
1882	2	27	6	30		ROVETTA	45.878	9.926	4.70	907
1882	9	18	19	25		MONTE BALDO	45.72	10.77	4.99	906
1884	9	12				PONTOGLIO	45.57	9.856	4.53	907
1885	2	26	20	48		SCANDIANO	45.208	10.169	5.06	
1891	6	15				PESCHIERA	45.43	10.767	4.53	906
1892	1	5				GARDA OCC.	45.591	10.482	4.70	906
1894	11	27				FRANCIACORTA	45.568	10.192	4.69	907
1895	10	12	1	45		M.ALTISSIMO NAGO	45.767	10.833	4.53	906
1898	11	16				SALO'	45.636	10.458	4.25	906
1901	10	30	14	49	58	SALO'	45.58	10.5	5.55	906
1918	1	13	12			LODI	45.333	9.5	4.56	911
1918	4	24	14	21		LECCHESE	45.778	9.631	4.86	907
1918	7	19	19	3		SALO'	45.326	10.438	4.17	906
1919	11	23	1	50		BRESCIANO	45.656	10.245	4.46	907
1931	4	14	22	13		GIUDICARIE	45.973	10.665	4.60	
1932	2	19	12	57	11	MONTE BALDO	45.63	10.73	4.77	906
1934	3	23	1	46	50	PISOGNE	45.8	10.1	4.25	907
1936	6	22	3	44	55	CASTELNUOVO	45.5	10.767	4.53	906
1942	6	20	14	42		ARCO	45.916	10.882	4.09	906
1947	12	25	20	42	34	GARDONE TROMPIA	45.7	10.2	4.46	907
1948	7	17	19	34	3	BAZENA	45.9	10.4	4.69	907
1951	5	15	22	54		LODIGIANO	45.254	9.55	5.09	911
1960	2	19	2	30		GIUDICARIE	45.806	10.625	4.53	906
1961	11	23	1	12	5	CAPRINO BERGAMASCO	45.717	9.567	4.53	907
1970	4	19	18	16	32	GAVARDO	45.65	10.45	4.16	906
1975	1	11	15	54		GARDA OR.	45.621	10.733	4.18	906
1976	12	13	5	24		RIVA DEL GARDA	45.894	10.799	4.60	906
1979	2	9	14	44		TREZZO SULL'ADDA	45.617	9.467	4.80	907
1987	5	24	10	23	25	GARDA	45.722	10.661	4.47	906
1995	10	29	13		28	BRESCIA-BERGAMO	45.709	9.927	4.39	907

Per quanto concerne le denominazioni delle zone sorgente si fa riferimento a “Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo – Marzo 2004” a cura di C. Meletti e G. Valensise (Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (OPCM 3274/2003 - INGV).

Per la zona sismogenetica di riferimento (ZS9 → 906) i terremoti più antichi e di magnitudo più elevata sono segnalati nel 1222 (M=6.05) con epicentro nel bresciano, nel 1693 (M=5.13) con epicentro a Goito e nel 1866 e nel 1882 (M=4.99) con epicentro a Monte Baldo. Nel secolo scorso per l’area gardesana sono i terremoti con epicentro a Salò e Monte Baldo che hanno fatto segnare i valori di magnitudo più elevati (1901 M=5,55 e 1932 M=4,77).

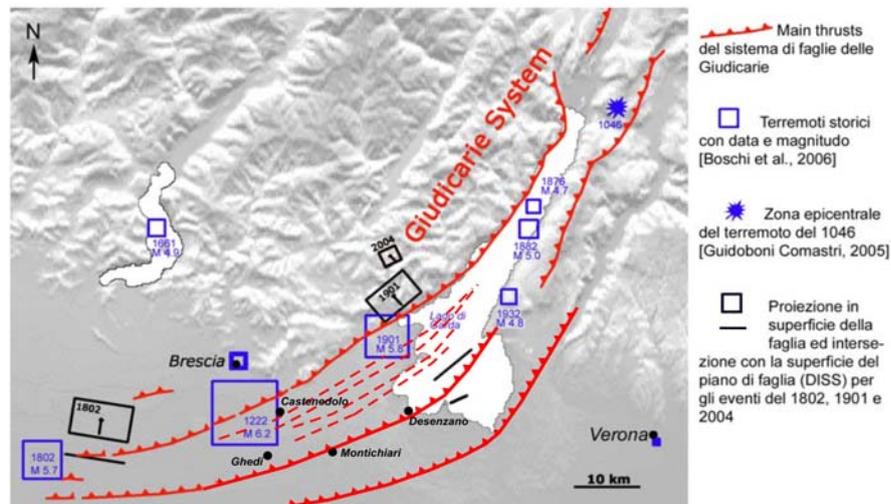
Anche l’evento sismico localizzato in Friuli (M=5.8 e 6.6 del 1976) ed i sismi di magnitudo maggiore avvenuti nel recente passato nella Regione Dinarica hanno prodotto un certo risentimento nell’area bresciana e bergamasca.

Successivamente al 2002 (anno di riferimento della tabella in allegato) si sono verificati altri eventi, seppure di magnitudo non elevata, con epicentro nel Bresciano (area sebina e area gardesana meridionale). Si segnala invece per intensità l’evento sismico verificatosi il 24/11/04, con magnitudo 5.2 e con epicentro nell’immediato entroterra di Salò (Figura 7).



**Figura 7:** Area epicentrale del sisma del 24/11/2004

L’epicentro del sisma si colloca in corrispondenza dei *thrust* del Sistema delle Giudicarie (Figura 8), affioranti nel settore montano prealpino (dove generano i sismi gardesani) e sepolti in corrispondenza della Pianura Padana (dove generano i sismi di Brescia, nel 1222, e della Valle dell’Oglio, nel 1802). Si noti il generale accordo tra la localizzazione degli eventi sismici e l’andamento delle strutture tettoniche.



**Figura 8:** Schema sismotettonico dell'area Gardesana con proiezione dei principali sismi storici dell'area (modificato da "Progetto S3 - Scenari di scuotimento in aree di interesse prioritario e/o strategico - F. Pacor e M. Mucciarelli - Luglio 2007)

Si segnala un **recente terremoto di Magnitudo 4.0** avvenuto il giorno **28 Agosto 2014** e localizzato nel distretto sismico *Zona Lago di Garda*, a circa 2,6 km di profondità e pochi chilometri di distanza dalle coste di **Gargnano** (Figura 9); è seguita nella stessa area e nella medesima giornata (h. 19.52) un ulteriore evento sismico di magnitudo 2.6 registrato a circa 9,2 km di profondità.

Un terremoto di **magnitudo 2.7** è stato rilevato nei giorni seguenti nel distretto sismico *Prealpi Lombarde* e più precisamente in *Val Sabbia* il **giorno 4 Settembre 2014** alle ore 4.56 (Figura 10).



**Figura 9:** Area epicentrale del sisma del 28/08/2014 ore 19:49 (M= 4.0)



**Figura 10:** Area epicentrale del sisma del 04/09/2014 ore 4:56 (M= 2.7)

Anche in questo caso l'epicentro dei sismi si colloca in corrispondenza dei *thrust* del Sistema delle Giudicarie (Figura 8) confermando l'accordo tra la localizzazione degli eventi sismici gardesani e prealpini e l'andamento delle medesime strutture tettoniche.

Si segnalano infine nel 2011 e nel 2012 due "crisi sismiche" che hanno interessato il nord Italia con terremoti che hanno quasi raggiunto o superato magnitudo 5.



**Figura 11:** Localizzazione del sisma principale dello sciame sismico dell'estate 2011 (stella rossa) e della serie di sismi verificatisi nell'inverno 2012 (stelle bianche)

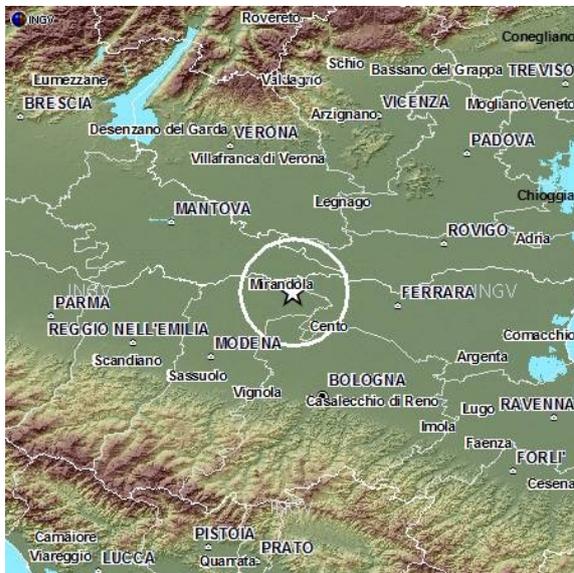
Lo **sciame sismico dell'estate 2011** ha avuto come scossa più significativa il terremoto del 17 Luglio 2011 di magnitudo 4.7, con area epicentrale a ridosso dei confini provinciali di Mantova e Rovigo (come si evince dalla Figura 11), nel distretto sismico denominato *Pianura Padana Lombarda* dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).

Tali sismi così come quelli con le massime intensità storiche riscontrate nei comuni del sud-ovest della Provincia di Mantova, sono da collegarsi con la vicinanza all'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese - Parmense (zone sismogenetiche ZS9 → 912-913, Figura 4) e con la presenza dell'edificio appenninico (*thrust* nord-vergenti) sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura.

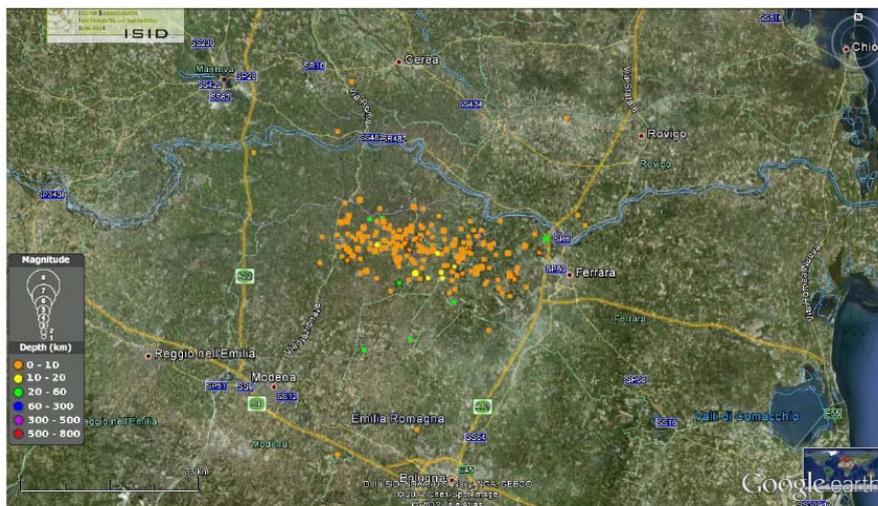
Lo **sciame sismico dell'inverno-primavera 2012** è stato caratterizzato da una serie di sismi (Figura 11) le cui scosse più intense sono avvenute con il terremoto del 25 Gennaio 2012 di magnitudo 4.2 (area epicentrale posta a circa 10 km dalla città di Verona nel distretto sismico *Prealpi Venete*) e con i terremoti del 25 e 27 Gennaio 2012 rispettivamente di magnitudo 4.9 e 5.0 (area epicentrale tra Parma e Reggio Emilia nel distretto sismico denominato *Pianura Padana Emiliana* il primo e nel distretto sismico denominato *Frignano* il secondo). Il 18 Marzo è stato registrato il sisma di magnitudo inferiore (M=3.1), che ha avuto luogo con area epicentrale nei pressi di Ala (TN), nel distretto sismico denominato *Lago di Garda*.

In primavera si è attivata la sequenza sismica di Modena-Ferrara del Maggio 2012 che ha compreso il terremoto del 20 Maggio 2012 di magnitudo 5.9, avvenuto alle ore 04:03:52 italiane, con area epicentrale posta presso Finale Emilia-Mirandola (MO) (Figura 12), nel distretto sismico *Pianura Padana Emiliana*. Seguono nella stessa area, nelle giornate del 20-21 Maggio, oltre 190 repliche tra cui un sisma di magnitudo 5.1 (Figura 13) e ben dieci sismi con magnitudo compresa tra 4 e 5 (Figura 14).

**Figura 12:** Area epicentrale del sisma del 20/05/2012 ore 4:03 (M= 5.9)



**Figura 13:** Area epicentrale del sisma del 20/05/2012 ore 15:18 (M= 5.1)



**Figura 14:** Mappa epicentrale aggiornata alle 19 del 21 Maggio 2012. Le stelle indicano i terremoti di magnitudo maggiore di 4. L'intera struttura delineata dalle repliche si estende per quasi 40 km in senso Est-Ovest tra la bassa modenese e la periferia Ovest di Ferrara (fonte: *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Comunicato del 21/05/2012*).

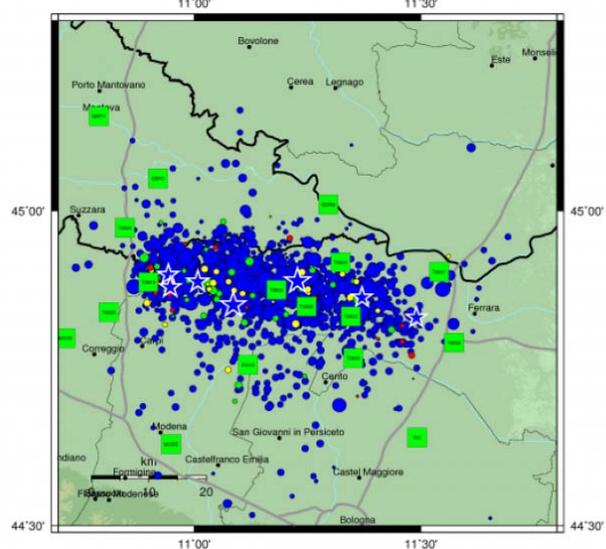
La distribuzione degli epicentri mostra chiaramente che tutte le scosse siano riferibili ad un'articolata e complessa struttura tettonica compressiva a direzione circa E-W appartenente alla porzione frontale, sepolta, dell'Appennino settentrionale (arco sepolto ferrarese).

La serie sismica è proseguita intensamente fino alla data del 07 Giugno 2012 con un numero complessivo di 1587 eventi.

**Mappa Epicentrale della Sequenza Sismica**  
 per il periodo 16-05-2012 : 07-06-2012

Nella mappa epicentrale della sequenza sismica elaborata da INGV (Figura 15) si evidenzia la progressiva attivazione di un'area sempre più ampia della struttura tettonica con spostamento dell'attività verso Ovest; la sequenza ha compreso un ulteriore terremoto di magnitudo molto elevata ( $M=5.8$ ) avvenuto alle ore 9 del giorno 29 Maggio e, in totale, ben 7 scosse sismiche con magnitudo  $M > 5$ .

**Figura 15** – (fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Comunicato del 07/06/2012).



Aggiornata al 2012-06-07,05:45:01 UTC, numero di eventi 1587

	Oggi	Ieri	2gg fa	Precedenti
MI < 3.0	● 18	● 28	● 39	● 1302
3.0 ≤ MI < 4.0	● 1	● 0	● 0	● 166
4.0 ≤ MI < 5.0	● 0	● 0	● 0	● 26
MI ≥ 5.0	★ 0	★ 0	★ 0	★ 7

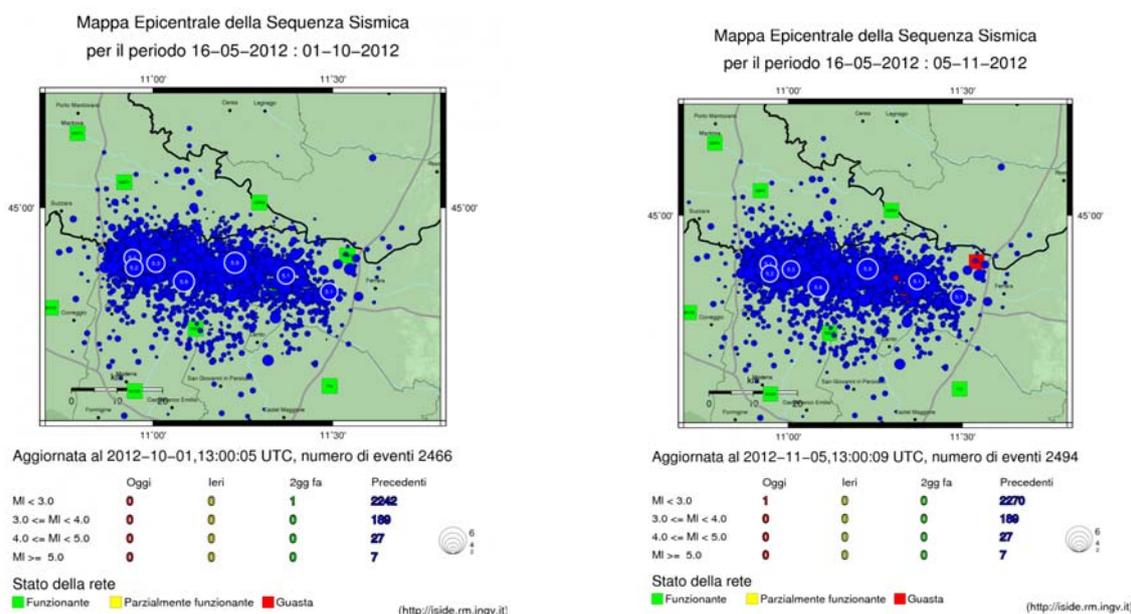
Stato della rete

■ Funzionante    ■ Parzialmente funzionante    ■ Guasta

(<http://iside.rm.ingv.it>)

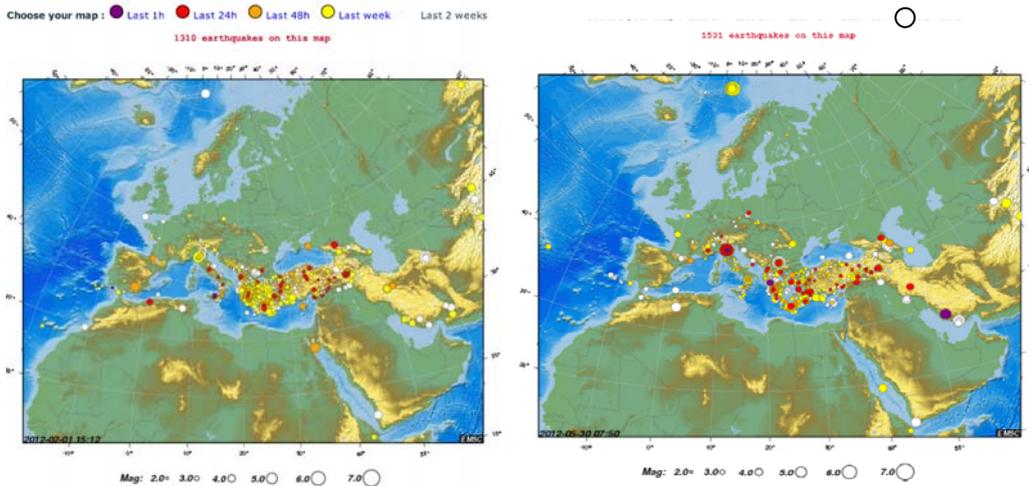
Durante la stagione estiva ed autunnale 2012 l'attività sismica in queste aree ha proseguito seppure con sismi di intensità minore, con un numero complessivo di eventi registrati alla data del 1 Ottobre pari a 2466 sismi (di cui 2241 con  $M < 3$ , 189 con  $3 < M < 4$ ; 27 con  $4 < M < 5$ , e 7 con  $M > 5$ ); si segnala un terremoto avvenuto il giorno 3 Ottobre c.a. di Magnitudo pari a 4.5, avvenuto alle ore 16:41 italiane, con area epicentrale posta in prossimità dei Comuni Bettola-Farini-Morfasso (PC), nel distretto sismico denominato *Valle del Trebbia*, alle medesime latitudini dei terremoti parmensi-ferraresi ma verso quadranti più occidentali; le strutture tettoniche attivate mostrano meccanismi di attivazione trascorrenti.

Nel comunicato di aggiornamento *Terremoti in Pianura Padana* redatto il 5 Novembre 2012 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e consultabile sul sito internet <http://terremoti.ingv.it/it/ultimi-eventi/842-terremoti-in-pianura-padana-emiliana.html> si evidenzia come non vi sia stato negli ultimi mesi dell'anno 2012 un incremento significativo sia per intensità che per numero degli eventi sismici (il numero di eventi registrati tra 1 Ottobre 2012 e 5 Novembre 2012 è pari a 28 sismi con  $M < 3$  – Figura 16). Potrebbe pertanto essere in fase di esaurimento la "crisi sismica" iniziata nel Gennaio 2012; si rileva altresì che contestualmente alla diminuzione di questa attività si siano attivati altri distretti sismici italiani seppure con magnitudo massime di minore entità.



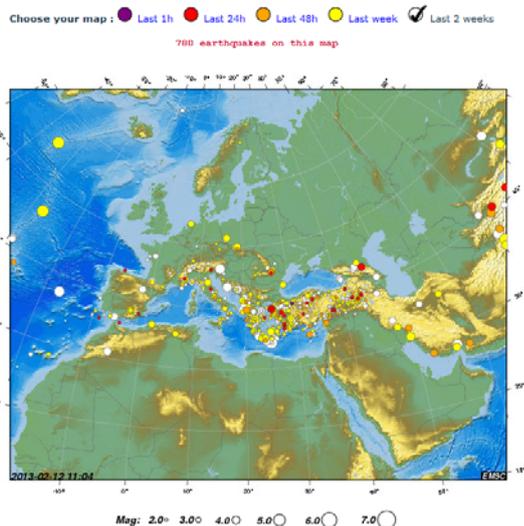
**Figura 16** – (fonte: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Comunicato del 01/10/2012 e Comunicato del 05/11/2012).

Appare in ogni caso plausibile che i recenti sismi italiani, seppure ubicati in zone sismogenetiche diverse e caratterizzati da profondità ipocentrali e meccanismi focali differenziati e peculiari di sistemi di faglie differenti, siano riferibili ad un unico scenario “geodinamico” a larga scala. Infatti l’intera regione mediterranea è stata interessata, nello stesso periodo, da una fase di marcata attività sismica lungo i margini delle placche tettoniche ed in particolare della microplacca adriatica, come esemplificato dalla mappa dei sismi di seguito riportata e relativa al giorno 1 Febbraio 2012 e 30 Maggio 2012 (Figura 17).



**Figura 17** – Mappe dei sismi del 1 Febbraio e del 30 Maggio 2012 (European Mediterranean Seismological Centre).

Peraltro la mappa dei sismi del giorno 12/02/2013 (Figura 18) mostra una significativa e generalizzata diminuzione di attività tellurica nell’area mediterranea rispetto all’anno 2012.



**Figura 18** – Mappe dei sismi del 12 Febbraio 2013 (European Mediterranean Seismological Centre).

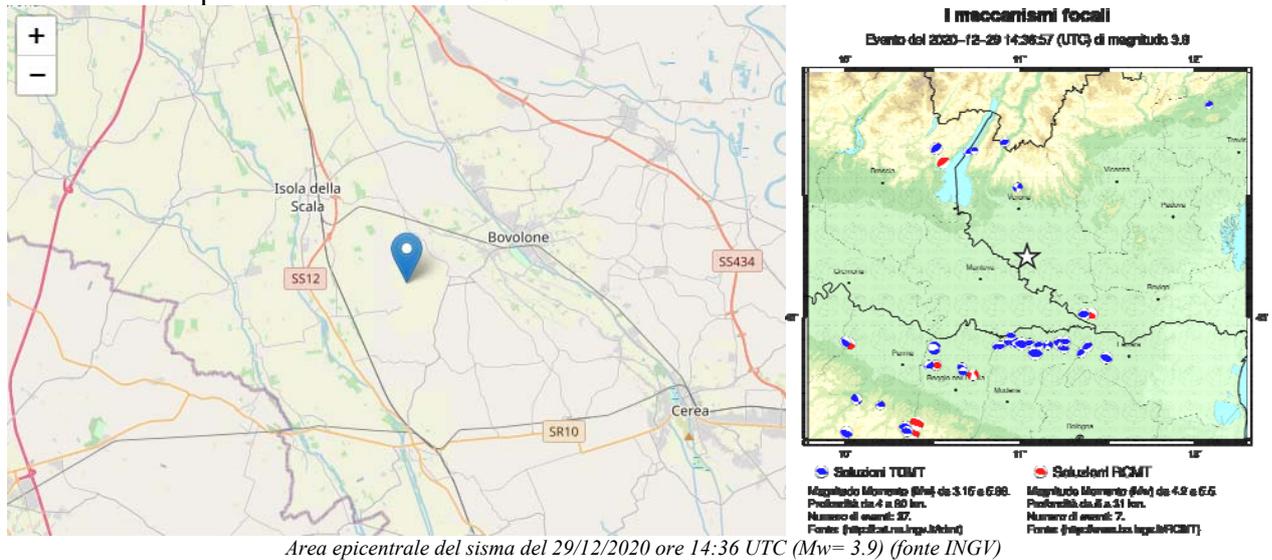
Una sostanziale conferma della ricostruzione sopraproposta dei recenti eventi sismici che hanno interessato l’area padana viene dalla lettura dello studio *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain* (Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise, Luglio 2014).



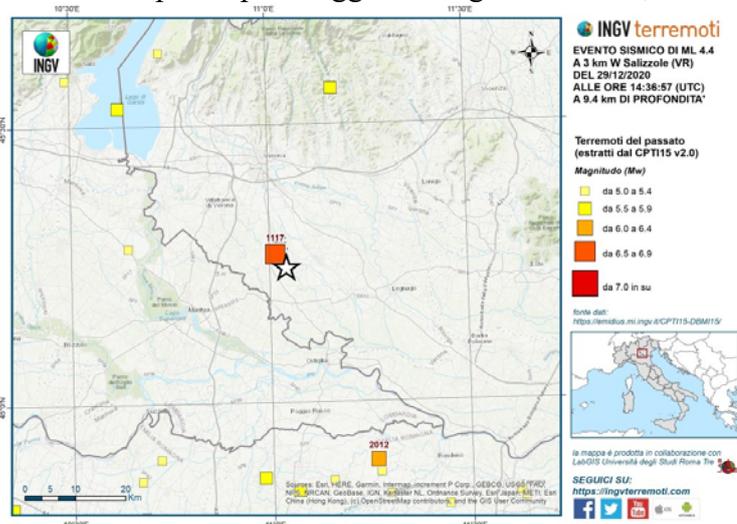
### 3.2 SISMICITÀ RECENTE

L'area bresciana/gardesana è stata interessata negli **ultimi anni** da numerosi eventi sismici di **Magnitudo  $M > 2$** , con aree epicentrali tra le provincie di Brescia, Trento e Verona.

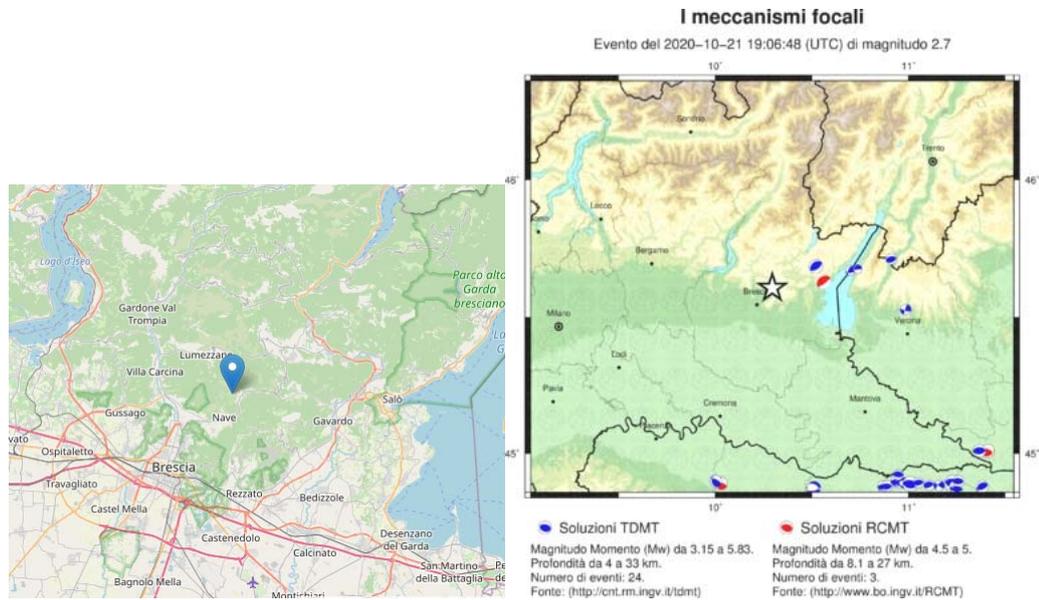
Di recente in provincia di Verona un terremoto di **magnitudo  $M_w 3.9$**  è stato registrato dalla Rete Sismica Nazionale alle ore 15:36 italiane del giorno **29 dicembre 2020**. L'epicentro è stato localizzato a 3 km da Salizzole (VR), 22 km a S di Verona e 52 km a SW di Vicenza e ipocentro a una profondità di 9 km. L'evento è stato preceduto da due terremoti di magnitudo  $M_l$  3.4 e 2.8 e seguito da una scossa alle 16.26 di  $M_l$  2.3 nella medesima giornata; infine nella giornata del 11/01/2021 è stato registrato un ulteriore sisma sempre a Salizzole di  $M_l$  1.5.



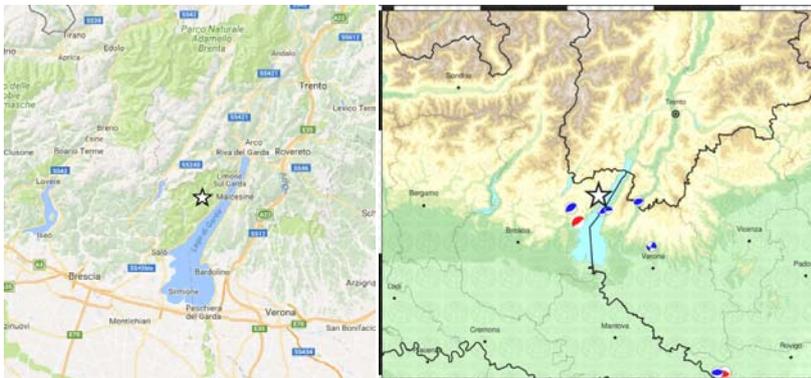
In un raggio di 25 km dalla localizzazione di questo terremoto sono noti una decina di terremoti, di energia relativamente moderata ( $M_w < 5$ ), primo fra tutti quello del 25 aprile 1907 (a Bovolone,  $M_w$  4.8 e localizzato a pochi chilometri dal terremoto odierno), che produsse danni molto leggeri in diverse località. Molto prossima alla localizzazione odierna è un terremoto ben più importante per la storia sismica italiana, quello avvenuto nel primo pomeriggio del 3 gennaio 1117, di  $M_w$  stimata 6.5.



In provincia di Brescia si segnala un terremoto di **Magnitudo 2.7** del **21/10/2020** ore 21:06:48 con epicentro localizzato a 2 km in direzione Ovest da Caino (BS), e profondità a circa 9 km.



Una serie di sismi sono avvenuti tra i comuni di Tignale e Gargnano nella mattinata del **03 Settembre 2017**, di **Magnitudo compresa tra 2.2 e 3.4**, nel medesimo distretto sismico della **Zona Lago di Garda**, e localizzati a circa 3-5 km di profondità (*Fig. 19a-b*).

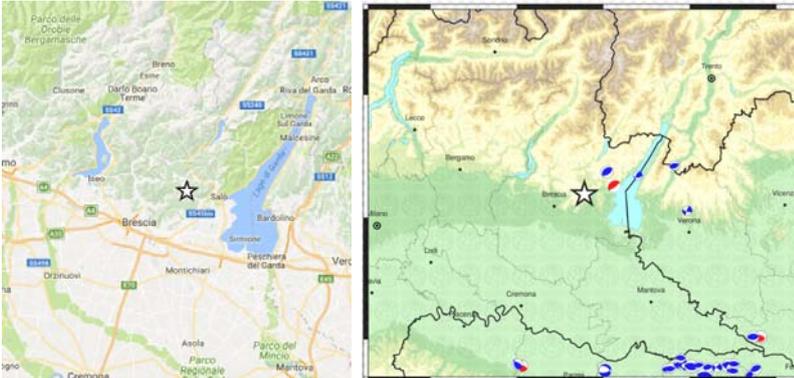


**Figura 19a:** Area epicentrale del sisma del 03/09/2017 ore 11:15 ( $M=3.4$ ) e ore 11:18 ( $M=2.3$ ) - Meccanismo Focale



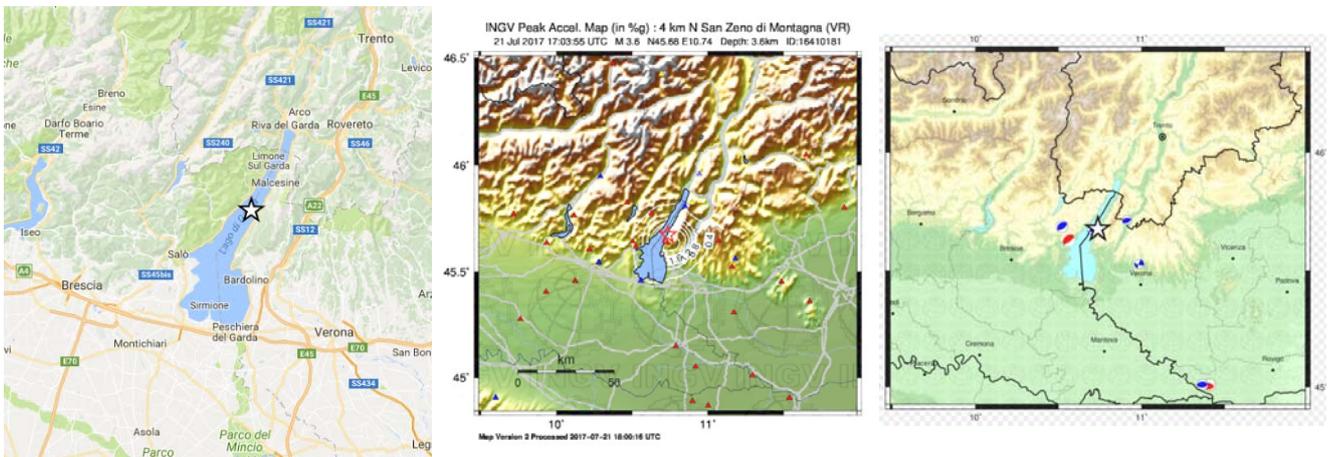
**Figura 19b:** Area epicentrale del sisma del 03/09/2017 ore 11:22 ( $M=2.2$ ) - Meccanismo Focale

Un terremoto di Magnitudo 2.5 è avvenuto, nel medesimo distretto sismico della *Zona Lago di Garda* il giorno **23 Luglio 2017**, localizzato a circa 2 km SW di Vallio Terme (BS) a circa 4 km di profondità (Fig. 19c).



**Figura 19c:** Area epicentrale del sisma del 23/07/2017 ore 20:07 ( $M= 2.5$ ) - Meccanismo Focale

Si segnalano inoltre nel distretto sismico *Zona Lago di Garda* due **sismi entrambi di Magnitudo 3.6** avvenuti il giorno **21 Luglio 2017** e il giorno **04 Giugno 2017** e localizzati rispettivamente a circa 4 km e 10 km di profondità entro il bacino lacustre a circa 4-7 Km dai comuni di Gargnano (BS), San Zeno di Montagna (VR), Torri del Benaco (VR) e Toscolano-Maderno (BS).



**Figura 19d:** Area epicentrale del sisma del 21/07/2017 ore 19:03 ( $M= 3.6$ ) - Mappa di scuotimento – Meccanismo Focale



In provincia di Brescia è stato registrato in **Dicembre 2015** un sisma di **Magnitudo 2.9** con area epicentrale in **Sarezzo/Villa Carcina (Val Trompia)** ed a circa 3 km di profondità (Fig. 20).



**Figura 20:** Area epicentrale del sisma del 15/12/2015 ore 01:15 ( $M = 2.9$ ) (fonte INGV)

Per l'interpretazione strutturale e sismotettonica dei sismi sopradescritti si rimanda al paragrafo precedente (§3.1) ed in particolare allo schema sismotettonico dell'area Gardesana e Bresciana (Fig. 8).

### 3.3 NORMATIVE SISMICHE – Valori di $a_g$

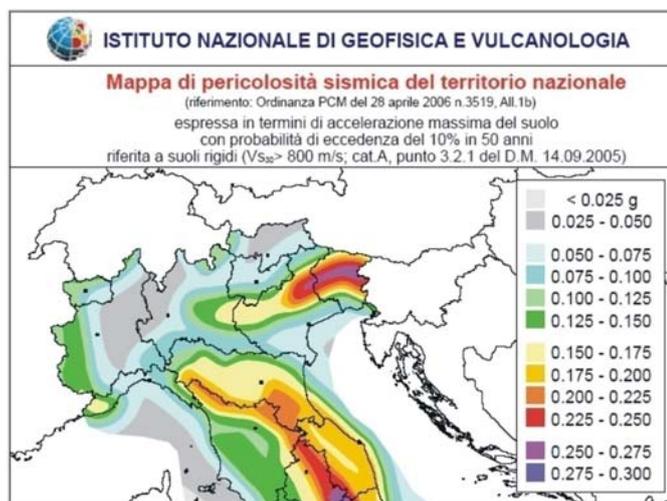
La normativa sismica (D.M. 16 Gennaio 1996) in Italia, anteriormente al Marzo 2003, suddivideva il territorio nazionale in tre categorie di pericolosità (elevata, media e bassa). Per ciascuna categoria sono assegnati un grado di sismicità ( $S$ ) ed un coefficiente di intensità sismica ( $C = (S - 2)/100$ ). Lo spettro di progetto  $S_a(T)$  si ottiene moltiplicando il coefficiente  $C$  (pari a  $0.10g - 0.07g - 0.04g$  in ordine decrescente di pericolosità sismica) per una forma spettrale  $R(T)$  indipendente dalle condizioni del sottosuolo. Queste normative sismiche non tengono conto del ruolo del terreno sulla modifica di forme ed ordinate spettrali, se non con la moltiplicazione dello spettro per il coefficiente di fondazione  $\varepsilon$  che di regola è unitario, salvo che per “terreni particolarmente compressibili” per i quali si consiglia di incrementare  $\varepsilon$  fino a 1.3.

L'Ordinanza PCM n° 3274 del 20/03/03 e Norme Tecniche allegate, che inserisce i territori di **Brescia e CastelMella in zona sismica 3**, fa riferimento a metodologie più recenti in cui il moto sismico è caratterizzato anche in relazione alle condizioni locali. In tale direzione si è già mosso l'Eurocodice 8 (EC8) che stabilisce le regole per il progetto e la costruzione di strutture in zona sismica per i paesi membri della Comunità Europea. Secondo l'EC8, come anche secondo l'OPCM 3274/03, i territori nazionali vengono suddivisi in zone sismiche in funzione della pericolosità locale, descritta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa alla superficie di un sito rigido di riferimento ( $a_g$ ). I valori di accelerazione massima fissati nella nuova ordinanza per le zone 1, 2, 3 e 4 (rispettivamente  $0.35g - 0.25g - 0.15g - 0.05g$ ) recepiscono la proposta del G.N.D.T. (1985) e risultano maggiori di quelli della precedente normativa. La normativa allegata all'OPCM 3274/03 richiede alle Regioni di eseguire la valutazione di  $a_g$  sul proprio territorio e quindi di assegnarli ad una delle zone della nuova classificazione.

La Regione Lombardia con D.G.R. 7/14964 del 7/11/03 ha fornito alcune disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM 3274/03, confermando la classificazione dei territori comunali lombardi riportata nell'Ordinanza e l'adeguamento alle norme tecniche allegate.

In ogni caso la normativa sismica ed i parametri relativi a ciascun territorio risultano in veloce e continua revisione, soprattutto nell'ambito della convenzione tra INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e DPC (Dipartimento Protezione Civile) che prevede l'assistenza per il completamento e la gestione della "mappa di pericolosità sismica" prevista dall'OPCM 3274.

Già l'**Ordinanza PCM 3519 del 27/04/06** fornisce una revisione dei valori di  $a_g$  sul territorio nazionale ed inserisce i territori di **Brescia-CastelMella in zona sismica 2/3**, ed in particolare nella sottozona caratterizzata da **valori di  $a_g$  compresi tra 0.125 e 0.150 e tra 0.150 e 0.175** (accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).



Nell'ambito della revisione 2008 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa.

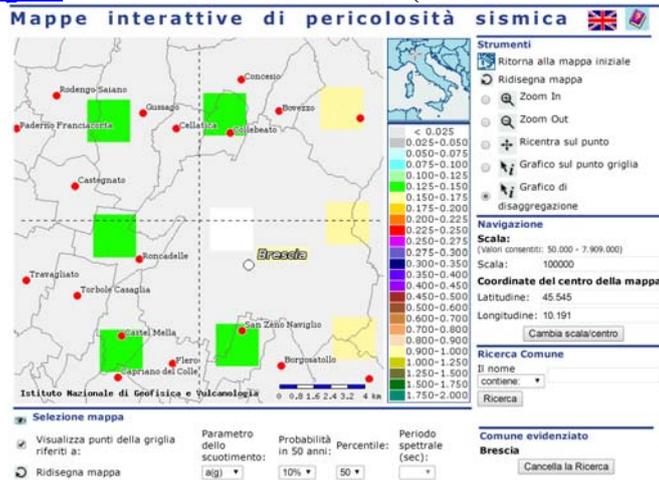
La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011 (punto 1.4.3) che ***“la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell’OPCM 3274/03) individua unicamente l’ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria”*** e specifica altresì che ***“ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell’All. B al citato D.M.”***.

I dati riportati nell’All. B del D.M. 14/01/2008, la cui applicazione è confermata al §3.2 delle NTC 2018, coincidono con quelli riportati nell’Ord. 3519/2006, e sono in ogni caso determinabili mediante le coordinate geografiche e l’utilizzo di programmi applicativi, quali “Spettri-NTC ver.1.0.3” (vedi paragrafi successivi).

Regione Lombardia con D.G.R. n. X/2129 del 11/07/14 ha approvato un ***“Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”***, che recepisce definitivamente la classificazione dell’OPCM 3519/2006 e che, sulla base della successiva D.G.R. 10 ottobre 2014 - n. X/2489, è entrato in vigore il 10 Aprile 2016.

La nuova D.G.R. ha pertanto confermato **per i Comuni di Brescia e CastelMella la zona sismica 2/3, rispettivamente con valore di  $a_{gmax}$  0,146574 e 0,154219**, anche a livello regionale e pertanto ai fini amministrativi pianificatori. Ciò ha di fatto sanato una difformità di classificazione nazionale/regionale che creava non pochi problemi tecnico-progettuali.

Si forniscono in proposito i dati di pericolosità sismica riportati sul link <http://zonesismiche.mi.ingv.it> relative al sito d'interesse (riferendosi al territorio della città di Brescia):



Già con l'entrata in vigore del Testo Unico 2008, che definisce con D.M. 14/01/08 le “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”, è divenuto vigente l'obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica; tale obbligo risulta reiterato dal nuovo Testo Unico 2018 (D.M. 17/01/2018).

Le NTC 2018 non ammettono in nessun caso metodi di calcolo previsti dalle normative precedenti alle NTC 2008 (Verifiche alle Tensioni Ammissibili secondo il D.M. 14/02/92, il D.M. 20/11/87 ed il D.M. 11/03/88).

La recente L.R. 33 del 12/10/2015 definisce le “*Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche*” e di fatto trasferisce ai comuni, singoli o associati, numerose funzioni prima assegnate alla Regione (di cui agli art. 61, 90 comma 2, 93 comma 1, 94 comma 1, 96, 97, 99, 100 e 104 del D.P.R. 380/2001) ed in particolare inerenti “*Norme per le costruzioni in zone sismiche*” e “*Vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche*”; essa è definitivamente entrata in vigore con la pubblicazione della D.G.R. 10/5001 del 30/03/2016 “*Approvazione delle Linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai Comuni in materia sismica (art.3, comma 1 e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)*”, sul B.U. di Regione Lombardia del 07 Aprile 2016.

Ciò comporta, tra l'altro, specifiche prescrizioni nella redazione degli elaborati tecnici a corredo dei progetti e, in zona sismica 2 (ai sensi del DPR 380/2001 come modificato dalla L. 55 del 14/06/2019), l'obbligo di acquisire l'Autorizzazione Sismica di cui all'Art.8 comma 1 della L.R. 33/2015, da rilasciare a carico dei Comuni o della Regione entro 60 gg dalla data di protocollo (fatto salvo il ricorso da parte del comune al parere regionale) o l'Attestazione di avvenuto Deposito di cui all'Art.7 comma 1 della L.R. 33/2015, da rilasciare a carico dei Comuni all'atto del deposito stesso.

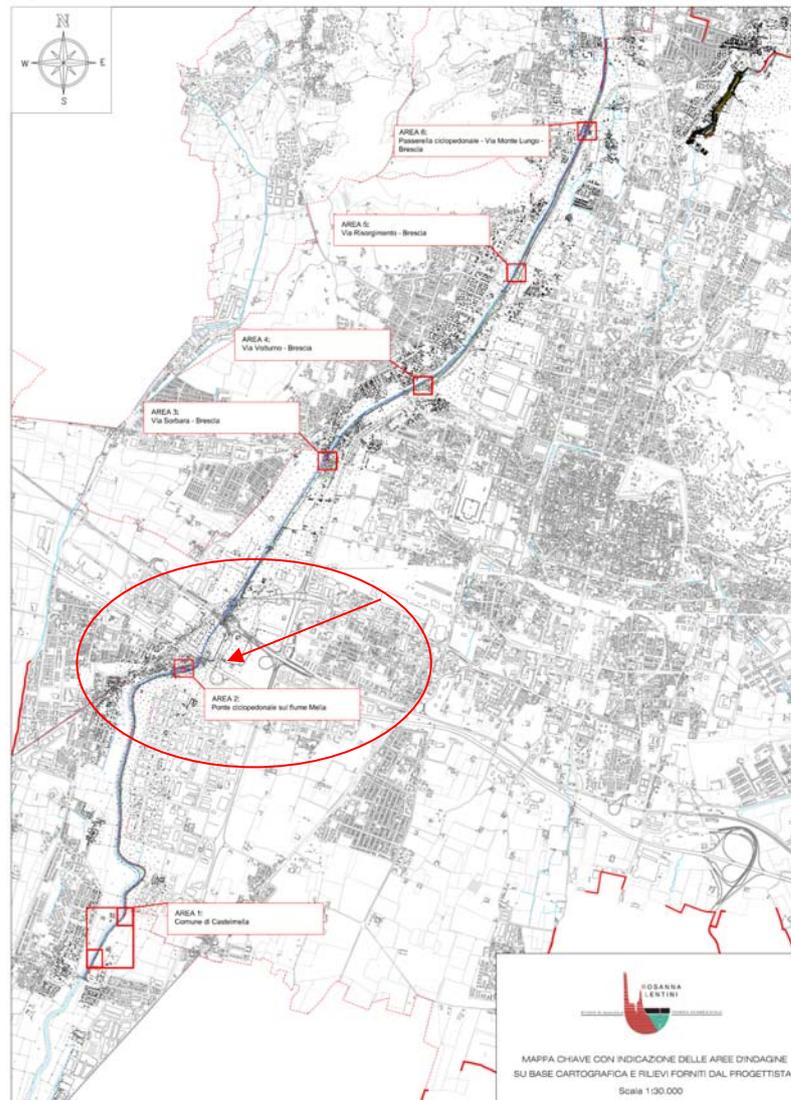
Spetta in ogni caso al Progettista la definizione delle normativa cui risulta assoggettato l'intervento di progetto e la classificazione della tipologia di intervento ai sensi dell'art. 94 bis del D.P.R 380/2001 e s.m.i..

## **4 CAMPAGNA DI INDAGINE GEOGNOSTICA**

Vengono di seguito esposte le metodologie ed i risultati della campagna d'indagine eseguita nei giorni **10-11 Ottobre 2022**, finalizzate alla definizione dei seguenti punti:

- ricostruzione stratigrafica e sismostratigrafica dei terreni presenti;
- caratterizzazione geotecnica e geofisica dei terreni presenti;
- verifica della presenza/profondità di eventuali falde acquifere superficiali

Nella presente relazione sono stati utilizzati i dati raccolti nell'ambito della progettazione preliminare dell'intero intervento della *Greenway del Mella* **definiti con riferimento a 6 ambiti di approfondimento**, tra cui risultava compreso anche il **Lotto I** di attuale interesse progettuale denominato "Area 2- Ponte ciclopedonale sul F. Mella" (vedi *Mappa chiave con indicazione delle aree di indagine*, sottoriportata).



Per la caratterizzazione geologica-geotecnica dei terreni è stata predisposta presso l'area di

50



**Sede operativa:** Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS) - Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

**E-mail:** [info@lentinirosannageologia.it](mailto:info@lentinirosannageologia.it) - **Sito Web:** [www.lentinirosannageologia.it](http://www.lentinirosannageologia.it)

**E-mail dedicate:** [amministrazione@lentinirosannageologia.it](mailto:amministrazione@lentinirosannageologia.it) - [ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it](mailto:ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it)

**Sede Legale:** Via Dugali, 34 - 25080 Padenghe sul Garda (BS) - C.F. LNTRNN69C43C351F - P. I.V.A. 01940640988

progetto un specifica campagna d'indagine con esecuzione di **n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo** con esecuzione in foro di **prove penetrometriche (SPT)** presso gli argini interessati dalla realizzazione delle spalle del ponte e dallo spostamento puntuale del percorso esistente, mediante riprofilatura del lato esterno dell'argine esterno mediante "terre armate".

Per la caratterizzazione geofisica e per la valutazione delle velocità  $V_{s_{eq}}$  di sito sono stati acquisiti presso entrambi gli argini di progetto **dati geofisici** mediante **misure/registrazione di sismica passiva HVSR (tromografo)** con accoppiati **stendimenti di sismica attiva MASW con analisi delle onde superficiali**; successivamente è stata predisposta l'**analisi congiunta dei dati**.

Per l'attuale fase di progettazione definitiva verranno integrati i dati raccolti mediante predisposizione di **N° 4-5 prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT/DPHS)** ubicate presso terminazione Nord del lotto di progetto, in cui verrà realizzato un percorso di raccordo tra la viabilità esistente ed il percorso pedonale lungo argine mediante un rilevato su "terre armate". **Si rimanda in proposito alla specifica relazione predisposta per la progettazione delle "Terre Armate"**.

Tutte le indagini si sono svolte in ottemperanza alle normative di legge vigenti in materia secondo *le prescrizioni e gli oneri contenuti nelle raccomandazioni A.G.I. (1977)*.

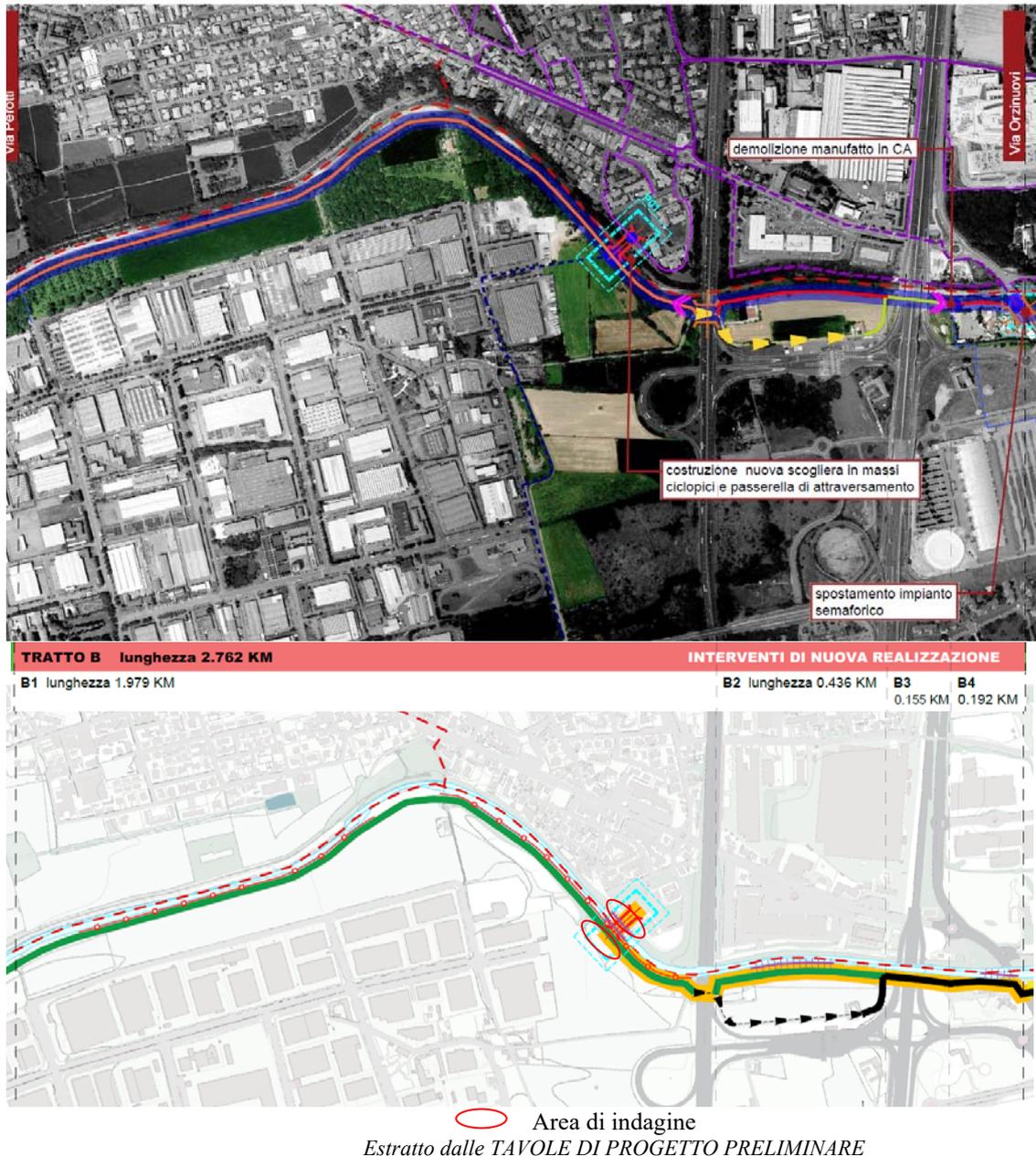
La **campagna d'indagine geognostica** può essere considerata idonea ad ottemperare quanto richiesto dal contesto geologico, come descritto nei precedenti capitoli di inquadramento (Cap. 2) e con particolare riferimento alla caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni e dei riporti presenti, e dalle norme di fattibilità geologica previste negli strumenti urbanistici (vedi §1.1), cui si correlano gravi limitazioni d'uso in relazione alle problematiche idrauliche ascrivibili al F. Mella (alveo e argini) e consistenti/modeste limitazioni d'uso ascrivibili a problematiche idrauliche o ambientali e/o idrogeologiche e più limitatamente alla possibile presenza di terreni a scadenti caratteristiche geotecniche.

Le **indagini geofisiche** eseguite sono risultate necessarie in funzione delle normative vigenti (D.M. 17/01/2018) degli scenari di PSL Z4a individuati per i territori comunali di interesse con individuazione di valori  $F_a$  di sito  $>$   $F_a$  di soglia comunale per la Categoria di sottosuolo C e pertanto con obbligo di approfondimento sismico per la definizione della Categoria di Sottosuolo di progetto.



#### 4.1 Indagini 2022: PONTE CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA (Brescia-Roncadelle)

L'area in cui si colloca il lotto I ricade in territorio di Brescia e Roncadelle ed il progetto prevede quale intervento di maggiore impatto la realizzazione di un **nuovo ponte ciclopedonale sul Fiume Mella** che collega la sponda Dx, in territorio di Roncadelle, con la sponda Sx, in territorio di Brescia; in corrispondenza del nuovo ponte sono previsti anche interventi di consolidamento delle sponde.



**LEGENDA**

**PROGETTO INTERVENTI**

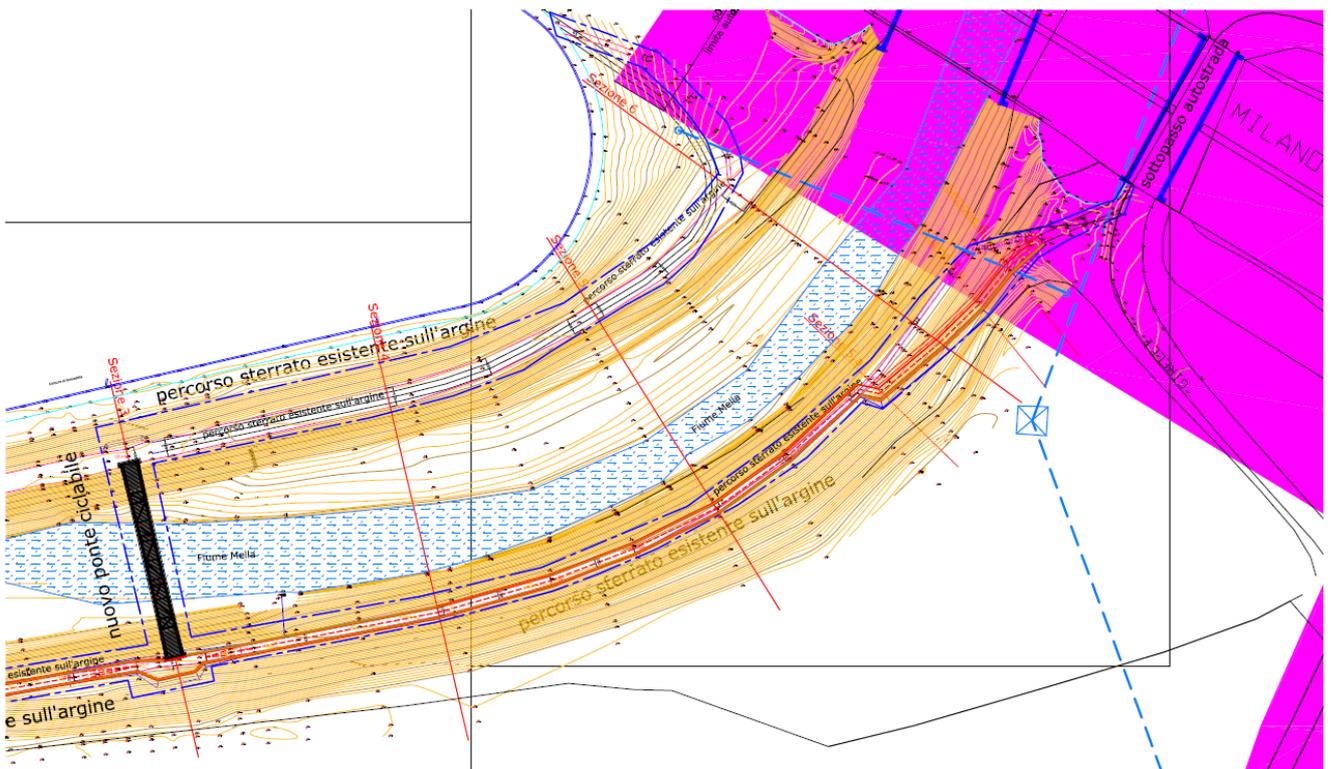
- manutenzione ordinaria
- riqualificazione
- nuova costruzione su sentiero esistente
- nuova costruzione
- tratti oggetto di altre progettazioni
- - - sentiero esistente
- - - strada
- - - confini amministrativi
- 061 TP sezioni ponti di attraversamento Mella
- approfondimenti progettuali - dettagli
-  sottopassi
-  ponti / passerelle
- rete ciclabile principale
- - - rete ciclabile secondaria
- connessione a rete ciclabile primaria
- connessione a rete ciclabile secondaria
- > pendenze > 5%
- Roncadelle Bicipan**
- rete ciclabile principale
- - - rete ciclabile secondaria
- rete ciclabile principale di progetto
- - - rete ciclabile secondaria di progetto
- P01 passerelle di attraversamento

**LEGENDA TIPOLOGIA MANTI**

**PROGETTO**

- percorso ciclopedonale in battuto di CLS
- percorso ciclopedonale in stabilizzato calcareo
- percorso asfaltato
- - - tratti oggetto di altre progettazioni
- - - sentiero con ghiaietto
- - - sentiero in terra battuta
- autobloccante
- carreggiata asfaltata
-  consolidamenti mediante massi ciclopici, terre armate o ingegneria naturalistica
- - - realizzazione nuove stazionarie/parapetti
- - - manutenzione stazionarie/parapetti esistenti
- I.P. dedicata esistente
- I.P. stradale esistente
- nuova I.P.

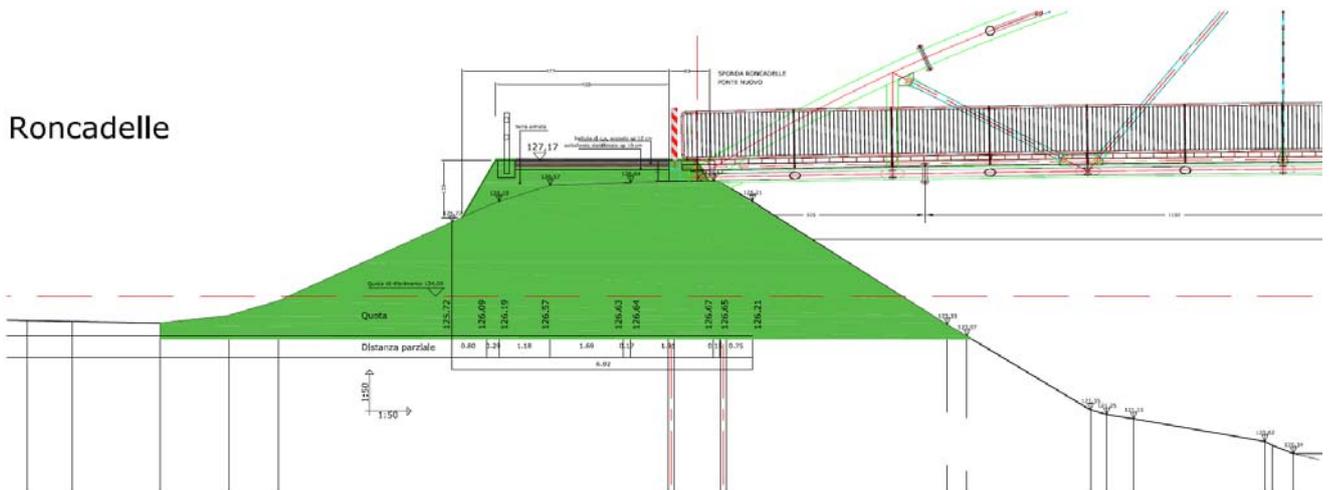
*Estratto dalle TAVOLE DI PROGETTO PRELIMINARE*



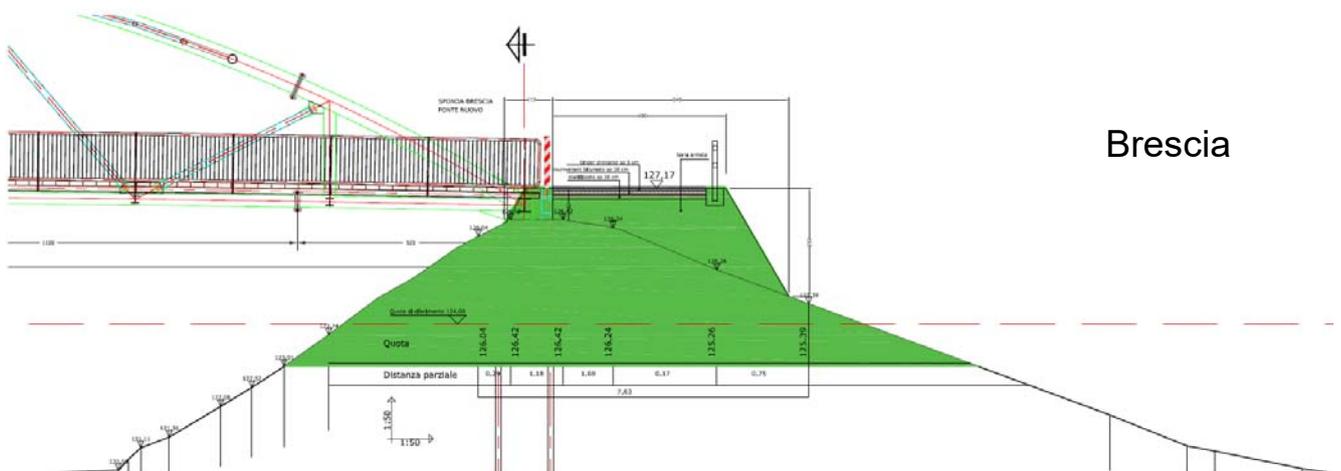
*Estratto dalle TAVOLE DI RILIEVO/PROGETTO DEFINITIVO*

Le indagini sono state ubicate presso le due spalle del ponte di progetto e pertanto in corrispondenza della sommità degli argini del corso d'acqua:

- l'argine Dx (Sponda Roncadelle) risulta posto ad una quota di circa 126,6 m s.l.m. ed appare rilevato di circa 3-4 m dal p.c. generale adiacente e di circa 6 m rispetto al corso d'acqua.



- l'argine Sx (Sponda Brescia) risulta posto ad una quota di circa 126,4 m s.l.m. ed appare rilevato di circa 6 m dal p.c. generale adiacente e di circa 6 m rispetto al corso d'acqua.



#### 4.1.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO (S1-S2)

Entro l'area in cui verrà realizzato il nuovo ponte pedonale sono stati eseguiti **n. 2 sondaggi a carotaggio continuo** (vedi Planimetria con ubicazione dei punti di indagine 2022 – Area 2 in allegato), mediante perforatrice idraulica Beretta T44 e tecnica di avanzamento con carotiere semplice (diametro 101 mm) e di tubi di rivestimento (diametro 127 mm); i sondaggi sono stati approfonditi fino a -15,00 m dal p.c. con recupero del 100% dei materiali attraversati.

La quota di inizio foro coincide con il p.c. corrispondente alla sommità argine ed è stimato pari a 126,4/126.6 m s.l.m. (sulla base dei rilievi forniti da Brescia infrastrutture per la progettazione esecutiva).

Le caratteristiche tecniche dei sondaggi e la loro ubicazione è stata definita in accordo con i Tecnici del *Comune di Brescia* ed i Progettisti strutturali/geotecnici, incaricati anche della fase di progettazione definitiva, in funzione delle esigenze di progettazione e dell'accessibilità dei luoghi.

In avanzamento con la perforazione, a differenti quote, sono state eseguite **n. 10 prove S.P.T. in ciascun sondaggio** con maglio a sganciamento automatico.

	SONDAGGIO	QUOTA INIZIO FORO (m s.l.m.)	PROFONDITA' RAGGIUNTA (m dal p.c.)	PROVE SPT IN FORO profondità dal p.c. numero colpi di infissione - SPT punta chiusa
Lato Roncadelle sponda Dx	S1	126,6 m	-15,00 m	-1,50 m 36/30/20 -3,00 m 21/14/16 -4,50 m 8/6/5 -6,00 m 10/8/9 -7,50 m 9/12/15 -9,00 m 21/14/12 -10,50 m 23/25/23 -12,00 m 24/22/17 -13,50 m 32/24/22 -15,00 m 27/19/16
Lato Brescia sponda Sx	S2	126,4	-15,00 m	-1,50 m 5/7/7 -3,00 m 23/19/24 -4,50 m 17/35/38 -6,00 m 33/32/26 -7,50 m 36/45/45 -9,00 m 40/38/28 -10,50 m 3/7/9 -12,00 m 2/2/3 -13,50 m 31/30/20 -15,00 m 27/22/26

La prova S.P.T. consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di una punta a partire dal fondo di un foro di sondaggio e consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63,5 kg, da un'altezza di 760 mm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitata una punta conica chiusa o aperta che viene scelta in considerazione della tipologia di terreno. Il numero di colpi necessario per una penetrazione della punta pari a 300 mm (dopo 150 mm d'infissione dinamica per il posizionamento) è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione. Si rimanda alle stratigrafie di sondaggio per una migliore esemplificazione dei risultati relativi alle prove S.P.T. eseguite.

In base al numero di colpi  $N_{spt}$  misurato è stato stimato il grado di addensamento/consistenza dei terreni (riportato in stratigrafia) secondo il seguente schema di riferimento per i terreni granulari e coesivi:

<b>TERRENI COESIVI</b>	
$N_{spt}$	<b>Grado di consistenza</b>
< 2 colpi	Privo di consistenza
Da 2 a 4 colpi	Poco consistente (molle)
Da 4 a 8 colpi	Moderatamente consistente
Da 8 a 15 colpi	Consistente
Da 15 a 30 colpi	Molto consistente
> 30 colpi	Estremamente consistente (duro)

<b>TERRENI GRANULARI</b>	
$N_{spt}$	<b>Grado di addensamento</b>
Da 0 a 4 colpi	Sciolto
Da 4 a 10 colpi	Scarsamente addensato
Da 10 a 30 colpi	Moderatamente addensato
Da 30 a 50 colpi	Addensato
> 50 colpi	Molto addensato

Classificazione orientativa dello stato di compattezza dei terreni incoerenti e coesivi sulla base di prove SPT (Terzaghi, 1948) – Raccomandazioni AGI (1977)

#### 4.1.2 CONDIZIONI DI CIRCOLAZIONE D'ACQUA

Nel corso dell'esecuzione del Sondaggio S2 (lato Brescia – sponda Sx) è stata riscontrata la presenza di livelli molto umidi a partire da circa -10,40 m dal p.c. e fino a -13,30 m dal p.c.; si ritiene che essi possano rappresentare livelli acquiferi sospesi presumibilmente alimentati anche dalle acque di subalveo e che solo in condizioni di minima soggiacenza essi possano essere raggiunti dall'acquifero freatico principale.

Le condizioni riscontrate risultano coerenti con i dati idrogeologici raccolti (vedi §2.5) e significative delle condizioni di elevata soggiacenza correlata all'attuale periodo di prolungata e marcata siccità.

#### 4.1.3 INDAGINI SISMICHE (MASW1/HVSR1 – MASW2/HVSR2)

Per la valutazione delle **velocità  $V_{seq}$  di sito** e del **periodo/frequenza del sito T** sono stati acquisiti presso l'area 2 **dati geofisici mediante sismica attiva e passiva**.

In particolare sono stati considerati i dati riferiti a:

- n°2 **stendimenti di sismica attiva multicanale** con acquisizione delle onde superficiale, anche a bassa frequenza, ed analisi dei dati mediante metodologia MASW;
- n°2 **indagini di sismica passiva mediante geofono tridimensionale ed analisi dei dati mediante metodologia HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura).

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente.

La HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una metodologia di indagine geofisica che consente in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito e di conseguenza il suo periodo di sito (T). I dati acquisiti in campo libero potranno essere eventualmente confrontati con i valori stimati per l'edificio e le strutture di progetto.

Mediante l'analisi congiunta MASW-HVSR verrà eseguita la stima dei sismostrati e del parametro normativo  $V_{seq}$  attraverso metodi di modellazione diretta.

L'analisi congiunta permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali ( $V_s$ ) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico con maggiori punti di vincolo interpretativo e fino a profondità maggiori di quelle di norma raggiungibili con la sola metodologia MASW.

L'elaborazione dei dati è stata quindi eseguita mediante il software winMASW 3C- 7.2 (creato dalla Eliosoft).

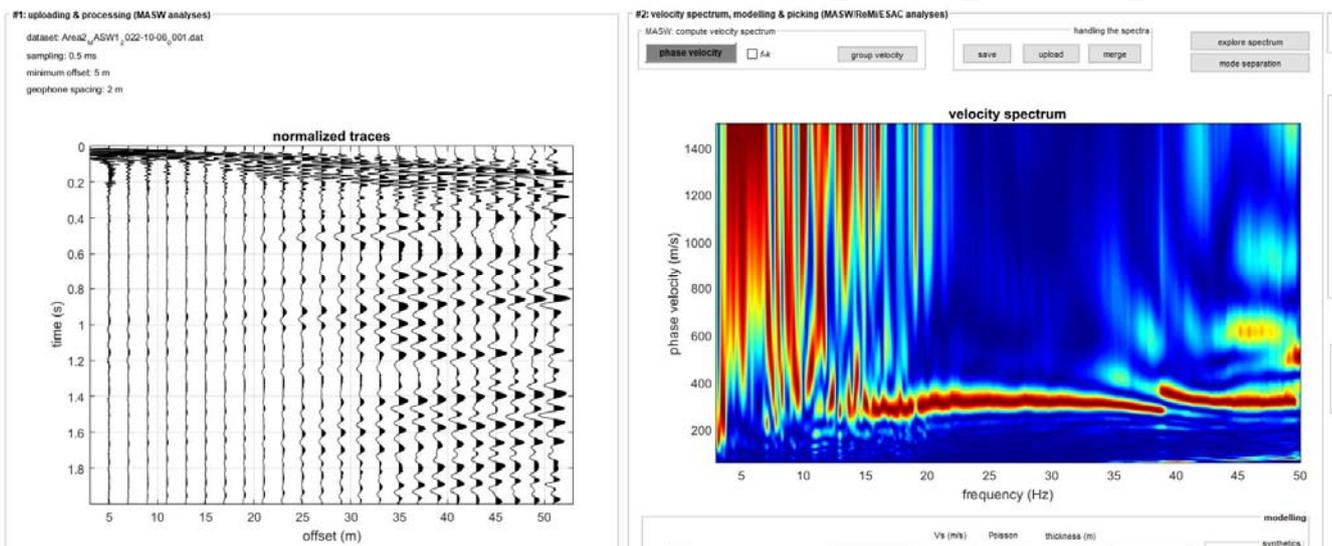
Il risultato finale è la determinazione, in corrispondenza dello stendimento sismico, del **profilo verticale medio della  $V_s$**  (velocità delle onde di taglio), necessario per gli eventuali approfondimenti sismici (procedure previste dalle normative regionali All. 5 alla D.G.R. 9/2616/2011) e per la classificazione della Categoria di Sottosuolo prevista dalle normative D.M. 17/01/18 e D.G.R. 9/2616/2011.

Vengono qui di seguito riportati i dati, le procedure ed i risultati relativi alle indagini sismiche predisposte entro l'area d'interesse. Si rimanda al *Cap. 0. Appendice indagini geofisiche* per maggiori dettagli sulla metodologia e la strumentazione.

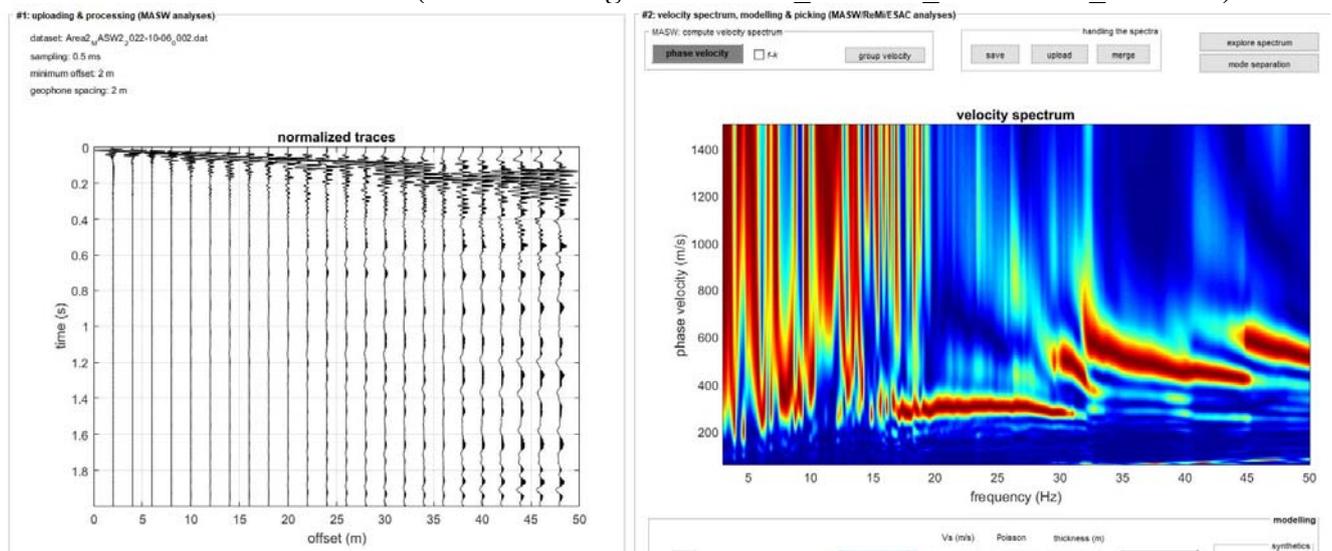
#### 4.1.3.1 Stendimenti di sismica attiva con analisi delle onde superficiali ed elaborazione dati MASW

La prima operazione eseguita in fase di analisi dei dati è la lettura dei files acquisiti in campagna

##### LATO RONCADELLE - (common-shot gather : *Area2\_MASW1\_2022-10-06\_0001.dat*)



##### LATO BRESCIA - (common-shot gather : *Area2\_MASW2\_2022-10-06\_0002.dat*)



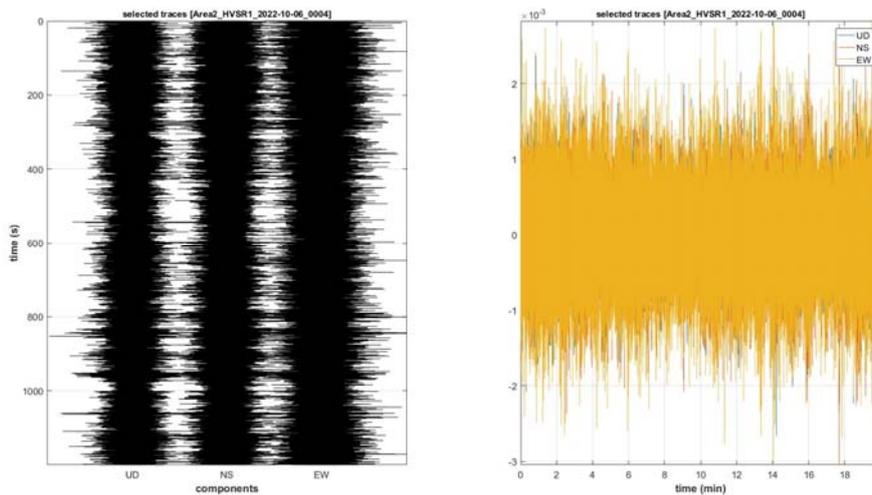
Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).

Nel caso specifico per l'elaborazione del modello sismostratigrafico verrà utilizzata il *modelling* diretto mediante l'analisi congiunta di dati MASW e HVSR (vedi §4.1.3.3).

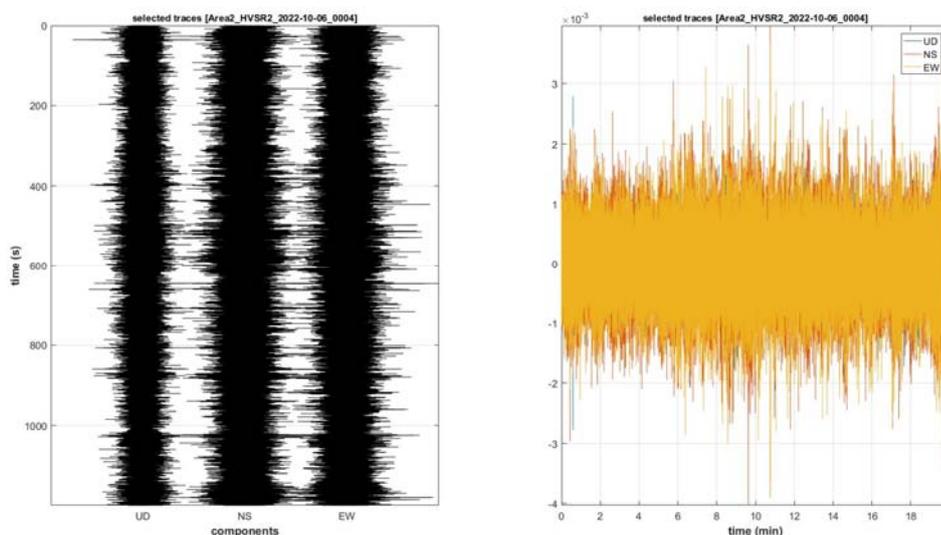
#### 4.1.3.2 Indagini di sismica passiva (HSVR) in campo libero

Il risultato che deriva dall'acquisizione dei dati di sismica passiva è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali i tempi di arrivo al geofono tridirezionale, le frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

**LATO RONCADELLE - Dati acquisiti presso il sito di progetto – HVSR1**



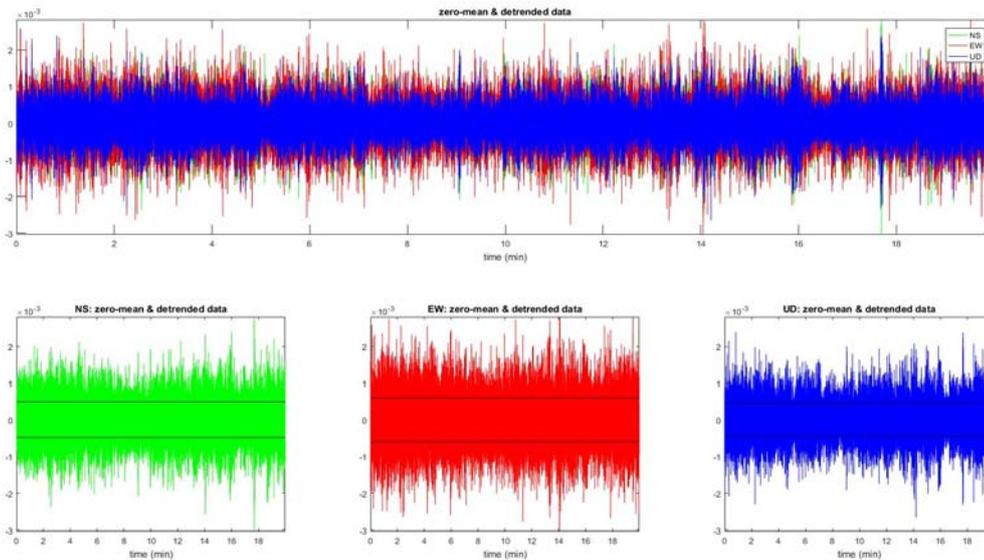
**LATO BRESCIA - Dati acquisiti presso il sito di progetto – HVSR2**



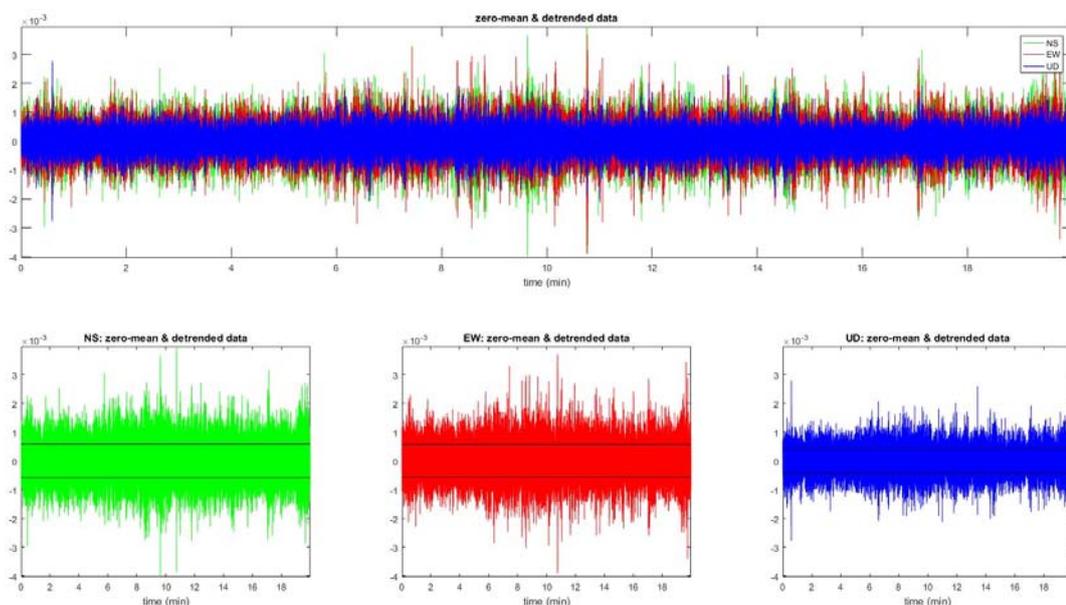
La successiva elaborazione dei dati acquisiti è stata effettuata con un *software* dedicato (*Winmasw 3C/7.2*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi e restituzione finale.

La fase iniziale consiste in un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre “*long*”, che sono sincronizzate fra le tracce.

LATO RONCADELLE - *Dati acquisiti presso il sito di progetto: tracce nelle tre direzioni spaziali – HVSR1*

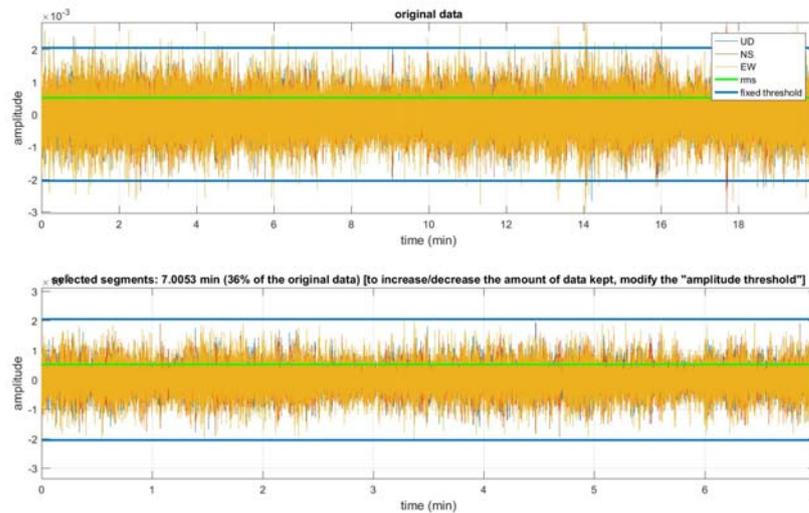


LATO BRESCIA - *Dati acquisiti presso il sito di progetto: tracce nelle tre direzioni spaziali – HVSR2*

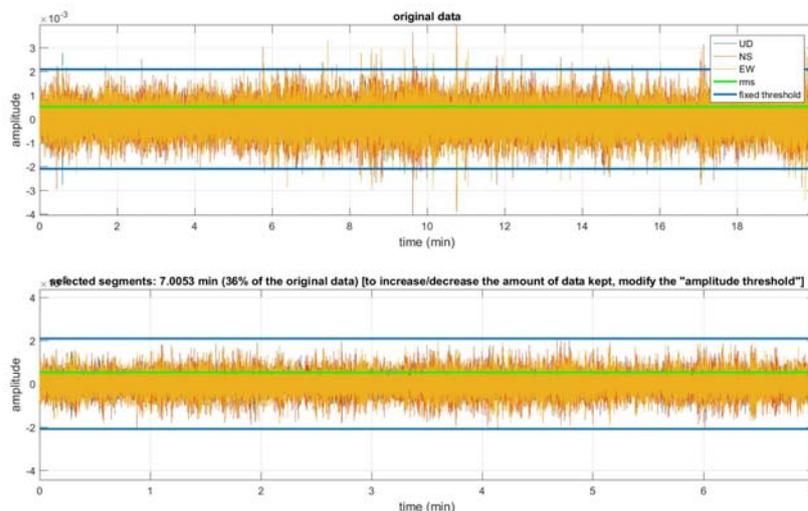


Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

#### LATO RONCADELLE - Dati acquisiti presso il sito di progetto ed elaborazione – HVSR1

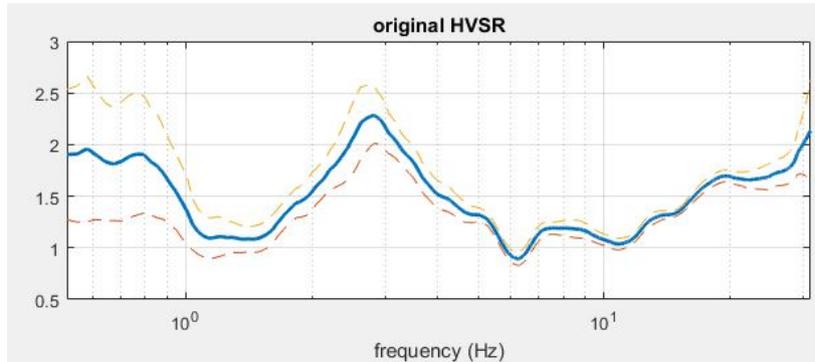


#### LATO BRESCIA - Dati acquisiti presso il sito di progetto ed elaborazione – HVSR2

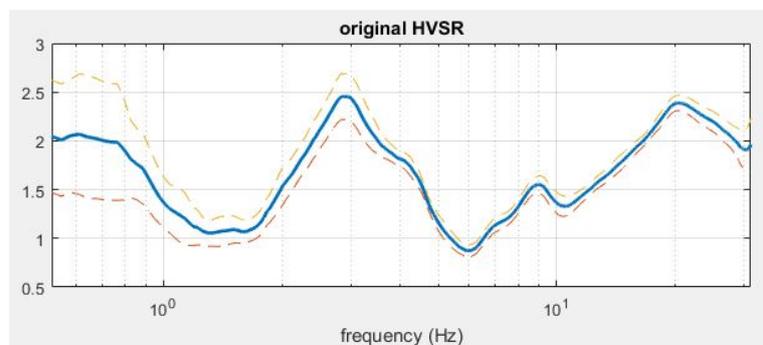


Mediante le successive elaborazioni (si rimanda al *Cap. 0. Appendice indagini geofisiche* per maggiori dettagli sulla metodologia e la strumentazione) si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

LATO RONCADELLE - *Rapporto H/V – Frequenza con intervallo di fiducia – HVSR1*



LATO BRESCIA - *Rapporto H/V – Frequenza con intervallo di fiducia – HVSR2*



L'analisi dei rapporti spettrali ha consentito di stimare l'amplificazione naturale di sito individuando le frequenze maggiormente significative che sostanzialmente risultano coincidenti presso i due argini indagati:

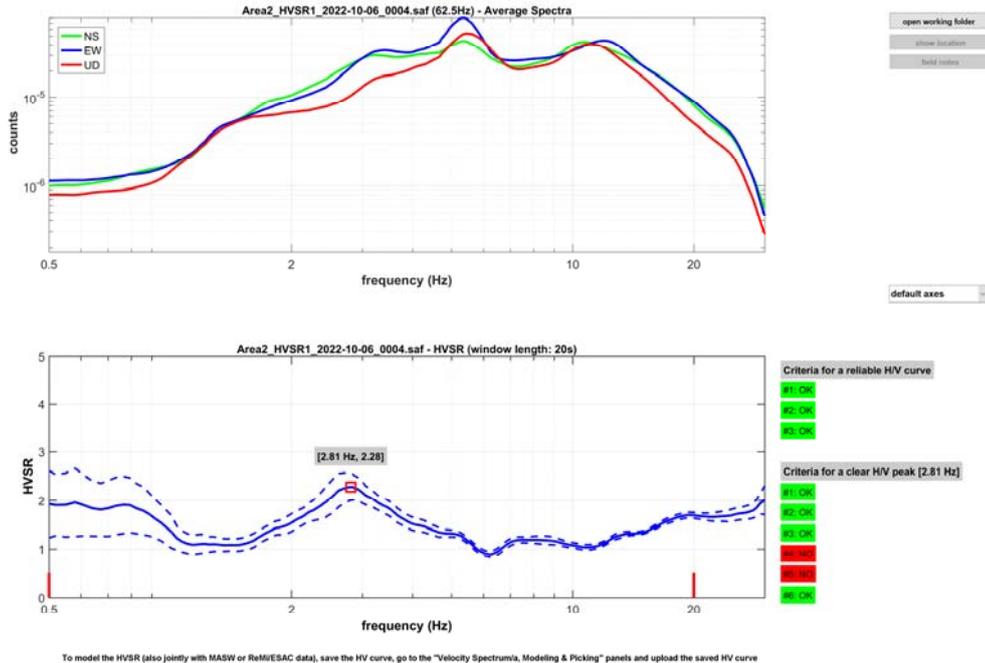
Periodo picco principale (sec)	frequenza picco principale (Hz)	rapporto spettrale H/V picco principale
0,357	2,8	2,3/2,5

Le analisi HVSR1/HVSR2 hanno pertanto individuato, tra 0,5 e 20 Hz, sulla base delle elaborazioni eseguite, come picco principale quello posto a circa 2,8 Hz che soddisfa quasi appieno i criteri di SESAME.



## LATO RONCADELLE – HVSR1

Dataset: Area2\_HVSR1\_2022-10-06\_0004.saf  
 DATA PROCESSING Date: 31 10 2022 Time: 16 48  
 Sampling frequency (Hz): 62.5  
 Window length (sec): 20  
 Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.25Hz  
 Length of analysed dataset (min): 20.0  
 Tapering (%): 2 Smoothing (%): 15



*Spettri medi nelle tre direzioni spaziali e curva HVSR con applicazione dei criteri sesame*

```

##### SESAME criteria #####
In the following the results considering the data in the 0.5–20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 2.8 (a1.1)
Peak HVSR value: 2.3 (a0.3)

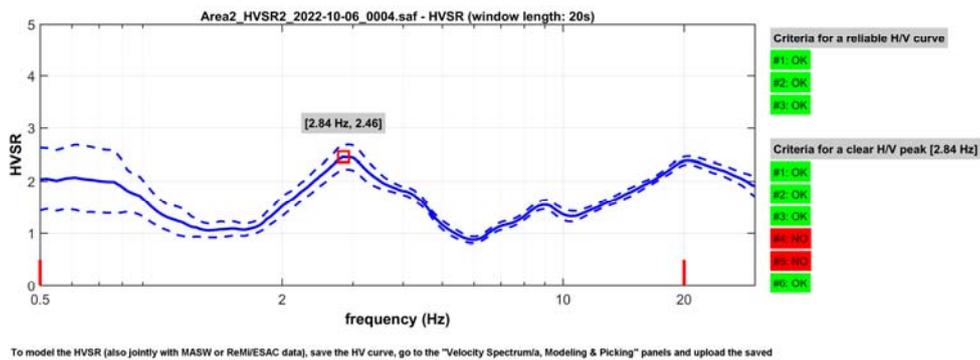
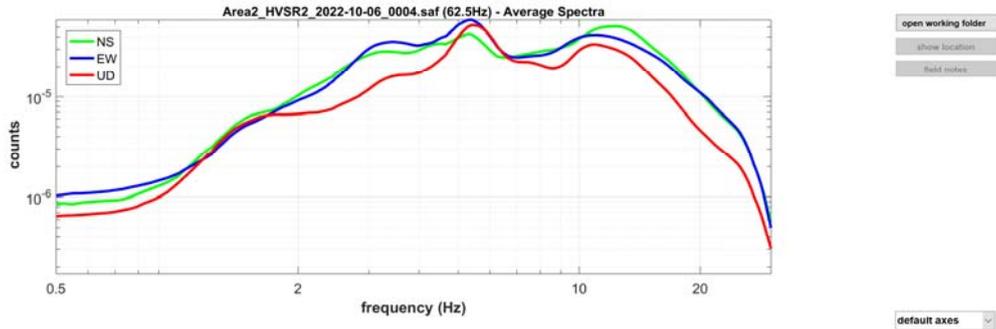
=== Criteria for a reliable H/V curve =====
#1. [f0 > 10/Lw]: 2.810 > 0.5 (OK)
#2. [nc > 200]: 2304 > 200 (OK)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 1.1Hz (OK)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 5.6Hz (OK)
#3. [A0 > 2]: 2.3 > 2 (OK)
#4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (NO)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 1.077 > 0.141 (NO)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.490 < 1.58 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless
numerical instabilities.
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the
processing parameters the results may change.
  
```

## LATO BRESCIA - HVSR2

Dataset: Area2\_HVSR2\_2022-10-06\_0004.saf  
 DATA PROCESSING Date: 2 11 2022 Time: 10 56  
 Sampling frequency (Hz): 62.5  
 Window length (sec): 20  
 Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.25Hz  
 Length of analysed dataset (min): 20.0  
 Tapering (%): 2 Smoothing (%): 15



*Spettri medi nelle tre direzioni spaziali e curva HVSR con applicazione dei criteri sesame*

```

##### SESAME criteria #####
In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range
Peak frequency (Hz): 2.8 (a6.5)
Peak HVSR value: 2.5 (a0.2)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====
#1. [f0 > 10/Lw]: 2.841 > 0.5 (OK)
#2. [nc > 200]: 2330 > 200 (OK)
#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====
#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 1.2Hz (OK)
#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 4.9Hz (OK)
#3. [A0 > 2]: 2.5 > 2 (OK)
#4. [fpeak[Ah/v(f) a sigmaA(f)] = f0 a 5%]: (NO)
#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 6.518 > 0.142 (NO)
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.371 < 1.58 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless
numerical instabilities.
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the
processing parameters the results may change.
  
```

#### 4.1.3.3 Analisi congiunta indagini simiche MASW e HSRV – Modello Geofisico proposto

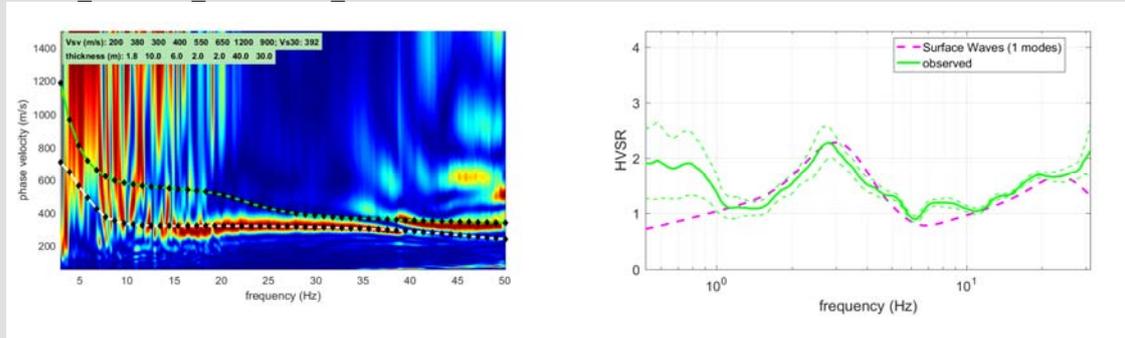
In relazione all'acquisizione di misure H/V finalizzate a definire empiricamente la frequenza di sito (vedi §4.2.3.2) ed all'elaborazione delle curve di dispersione date da misure MASW (vedi §4.2-3.1) si è proceduto ad una loro analisi congiunta al fine di determinare un profilo  $V_S$  vincolato e spinto almeno fino a 30 m e, laddove possibile, fino al raggiungimento del *bedrock sismico*.

Si è pertanto proceduto avendo cura di far coincidere il più fedelmente possibile le curve di dispersione del modello con i segnali dello spettro di velocità MASW1-2 e fare contestualmente coincidere la frequenza (trattando con non troppa testardaggine e rigore l'ampiezza) del principale picco della curva H/V relativo alla registrazione HVSRI-2.

Il risultato ottenuto risulta soddisfacente avendo ottenuto una discreta sovrapposizione tra le curve osservate e quelle derivanti dalla modellazione proposta.

#### LATO RONCADELLE – MASW1/HVSRI

**Dataset: Area2\_MASW1\_2022-10-06\_0001.da**



#### Subsurface Model

<b><math>V_s</math> (m/s):</b>	200	380	300	400	550	650	1200	900
<b>Thickness (m):</b>	1.8,	10.0,	6.0,	2.0,	2.0,	40.0,	30.0	

#### Approximate values for Density, Shear modulus, $V_p$ and Poisson \*\*

<b>Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values):</b>	1.84	1.97	1.94	1.98	2.04	2.08	2.22	2.15
<b>Shear modulus (MPa) (approximate values):</b>	74	285	175	317	618	880	3193	1739
<b><math>V_p</math> (m/s):</b>	416	711	624	748	953	1126	1960	1470
<b>Poisson:</b>	0.35	0.30	0.35	0.30	0.25	0.25	0.20	0.20

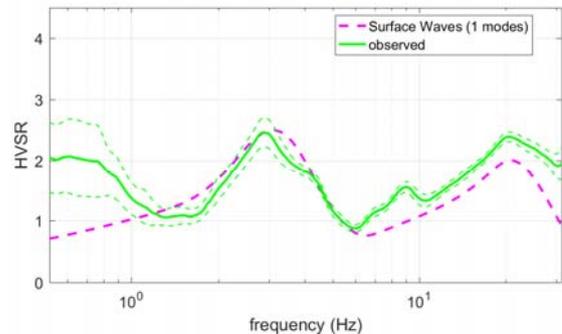
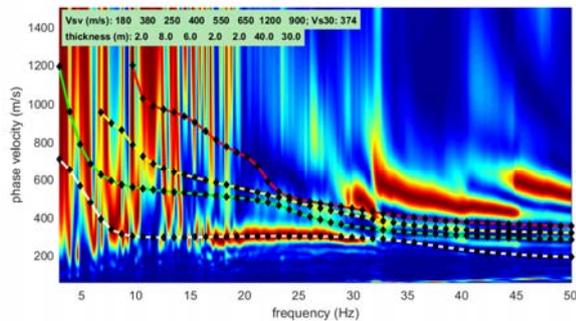
**\*\* Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati, superiori di circa un ordine di grandezza rispetto a quelli ottenibili, per lo stesso tipo di terreno, in situazione di grandi deformazioni. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante.**

**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) e del profilo verticale VS.**

winMASW 3C - 7.2 Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves [www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)

## LATO BRESCIA – MASW2/HVSR2

**Dataset: Area2\_MASW2\_2022-10-06\_0002.dat**



### Subsurface Model

<b>Vs (m/s):</b>	<b>180</b>	<b>380</b>	<b>250</b>	<b>400</b>	<b>550</b>	<b>650</b>	<b>1200</b>	<b>900</b>
<b>Thickness (m):</b>	<b>2.0,</b>	<b>8.0,</b>	<b>6.0,</b>	<b>2.0,</b>	<b>2.0,</b>	<b>40.0,</b>	<b>30.0</b>	

### Approximate values for Density, Shear modulus, Vp and Poisson \*\*

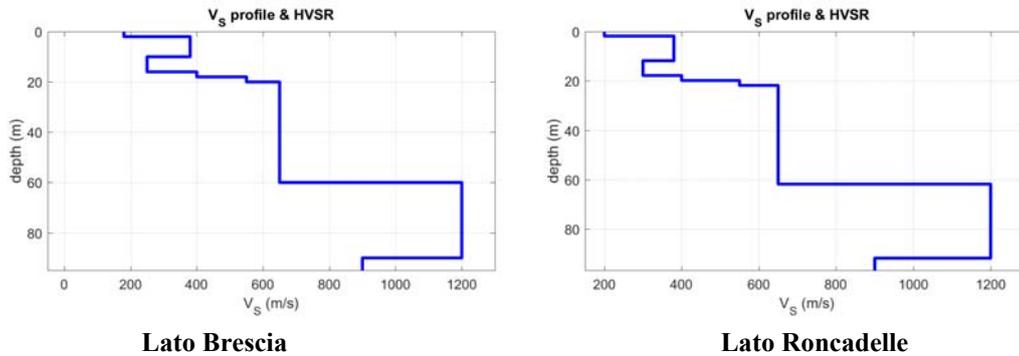
<b>Density (gr/cm3) (approximate values):</b>	<b>1.82</b>	<b>1.97</b>	<b>1.90</b>	<b>1.98</b>	<b>2.04</b>	<b>2.08</b>	<b>2.22</b>	<b>2.15</b>
<b>Shear modulus (MPa) (approximate values):</b>	<b>59</b>	<b>285</b>	<b>118</b>	<b>317</b>	<b>618</b>	<b>880</b>	<b>3193</b>	<b>1739</b>
<b>Vp (m/s):</b>	<b>374</b>	<b>711</b>	<b>520</b>	<b>748</b>	<b>953</b>	<b>1126</b>	<b>1960</b>	<b>1470</b>
<b>Poisson:</b>	<b>0.35</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>	<b>0.30</b>	<b>0.25</b>	<b>0.25</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>

**\*\* Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati, superiori di circa un ordine di grandezza rispetto a quelli ottenibili, per lo stesso tipo di terreno, in situazione di grandi deformazioni. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante.**

**ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa vigente (NTC 2018) e del profilo verticale VS.**

winMASW 3C - 7.2 Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves [www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)

Si riassumono qui di seguito le sezioni sismostratigrafiche schematiche estese fino al substrato rigido:



Si ritiene che dal punto di vista sismico possano essere individuate le seguenti unità:

Unità Sismostratigrafica	Spessore	Vs
<b>Unità 1</b> ≡ <b>Unità Geotecnica R1</b>	~ 2,0 m	180-200 m/sec
<b>Unità 2</b> ≡ <b>Unità Geotecnica R1/Unità Geotecnica AL</b>	~ 8,0-10,0 m	380 m/sec
<b>Unità 3</b> ≡ <b>Unità Geotecnica AL</b>	~ 6,0 m	250-300 m/sec
<b>Unità 4</b> ≡ <b>Unità Geotecnica AL/FG</b>	~ 4,0 m	400-550 m/sec
<b>Unità 5</b> ≡ <b>Unità Geotecnica FG</b>	~ 40,0 m	650 m/sec
<i>Bedrock sismico (depositi fluvioglaciali cementati/ sequenza conglomeratica)</i>	Oltre ~60 m dal p.c.	>800 m/sec

La sismostratigrafia definita risulta coerente con quanto riscontrato, per la porzione più superficiale, in corrispondenza delle indagini geotecniche e, per la porzione profonda, con l'assetto geologico dei luoghi e con le stratigrafie dei pozzi analizzate.

## 5 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO E GEOFISICO

Mediante i dati raccolti durante le campagne di indagine ed i rilievi geologici è stato possibile procedere alla **definizione di un modello geologico-geotecnico e geofisico**.

Per quanto concerne la stima dei parametri geotecnici principali sono state utilizzate formule di letteratura applicate in funzione della natura litologica di ciascuna unità, della loro profondità e delle condizioni di saturazione. Il modello geofisico è stato ipotizzato correlando i dati geotecnici con quelli sismici acquisiti mediante gli stendimenti di sismica multicanale con registrazione delle onde superficiali (metodologia MASW+HVSr).

Schematicamente, in relazione ai risultati delle indagini geognostiche eseguite ed illustrate ai §4.1.1/4.1.2/4.1.3, viene proposta la seguente sequenza litologica e geotecnica/geofisica:

### **Unità R1 – Terreno vegetale/rimaneggiato/riportato**

Si rileva inizialmente la presenza **fino a circa -4,00m (S1)/-6,00m (S2) dal p.c. di terreno vegetale** (circa 20-40 cm) limoso-sabbioso e debolmente ghiaioso, umido di colore marrone, cui segue **terreno rimaneggiato/riportato prevalentemente sabbioso-limoso da debolmente ghiaioso a con ghiaia e con ciottoli e sabbioso-ghiaioso con ciottoli di colore marrone e marrone/grigio da asciutto a debolmente umido**. L'unità si presenta da mediamente addensata (Sondaggio S2 fino a circa -3,00 m →  $N_{spt}$  caratteristico → 14 colpi) a mediamente addensata/addensata ( $N_{spt}$  caratteristico → 30-50 colpi e > 50 colpi).

A questa unità, pur variabile in relazione alla natura antropica, indicativamente possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$	17-18 kN/m <sup>3</sup>	<b>Peso unitario del terreno sopra falda</b> <i>(Terzaghi &amp; Peck 1967 – Bowles, 1982)</i>
Cu	-- kPa	<b>Coesione non drenata</b>
$\phi$	31° 35°- 37°	<b>Angolo di resistenza al taglio efficace</b> <i>(Meyerhof)</i>
Dr	40% 65%-85%	<b>Densità relativa</b> <i>(Terzaghi-Peck e Gibbs-Holtz)</i>
Vs	180-200 m/sec 380 m/sec	<b>Velocità di propagazione delle onde S</b> <i>(stimata sulla base dei dati sismici – analisi MASW+HVSr)</i>

### Unità AL

Segue da **-4,00m (S1)/-6,00m (S2) dal p.c. fino a circa -10,40 m (S1)/-13,30m (S2) m dal p.c.** un'unità geotecnica correlabile a **depositi alluvionali** litologicamente costituiti da sabbia debolmente limosa da debolmente ghiaiosa a con ghiaia, di colore nocciola/grigio e da ghiaia con rari ciottoli con sabbia di colore grigio. L'unità risulta da asciutta a debolmente umida e da mediamente addensata (**S1 → N<sub>spt</sub> caratteristico → 11-17 colpi e 26-27 colpi**) a molto addensata (**S2 → N<sub>spt</sub> caratteristico → >50 colpi**). Nel Sondaggio S2, tra -10,40 m e -13,30 m dal p.c., sono presenti livelli di sabbie medio-fini limose-argillose di colore nocciola, molto umide e da scarsamente a mediamente addensate (N<sub>spt</sub> caratteristico → 5-16 colpi).

A questa unità geotecnica, nel complesso, possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$	19-20 kN/m <sup>3</sup>	Peso unitario del terreno sopra falda (Terzaghi & Peck 1967 – Bowles, 1982)
Cu	-- kPa	Coesione non drenata
$\phi$	25°-29° 31° 33°	Angolo di resistenza al taglio efficace (De Mello)
Dr	20%-45% 60%-85%	Densità relativa (Terzaghi-Peck e Gibbs-Holtz)
Vs	250-300 m/sec	Velocità di propagazione delle onde S (stimata sulla base dei dati sismici – analisi MASW+HVSr)

### Unità AL/FG

Da **-10,40/-13,30 m dal p.c. e fino a -15,00 m dal p.c.** seguono **depositi alluvionali/fluvioglaciali** costituiti da ghiaia con sabbia limosa di colore da grigio a marrone, umida addensata (N<sub>spt</sub> caratteristico → 35-50 colpi).

A questa unità geotecnica, nel complesso, possono essere attribuiti i seguenti parametri:

$\gamma$	19-20 kN/m <sup>3</sup>	Peso unitario del terreno sopra falda (Terzaghi & Peck 1967 – Bowles, 1982)
Cu	-- kPa	Coesione non drenata
$\phi$	32°-33°	Angolo di resistenza al taglio efficace (De Mello)
Dr	65%-85%	Densità relativa (Terzaghi-Peck e Gibbs-Holtz)
Vs	400-550 m/sec	Velocità di propagazione delle onde S (stimata sulla base dei dati sismici – analisi MASW+HVSr)

In base ai dati sismostratigrafici seguono a partire da circa -20 m dal p.c. depositi fluvioglaciali a maggiore grado di addensamento (Vs pari a 650 m/sec). Il *bedrock* sismico si riconosce a circa -60 m dal p.c.

## **6 RISPOSTA SISMICA DEL SITO**

Per la valutazione dell’Azione Sismica il Testo Unico aggiornato (D.M. 17/01/18) richiede l’utilizzo dei metodi, delle formule e delle tabelle in esso riportate, nonché l’applicazione di quanto previsto ai paragrafi 3.2.3.1, 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.3.4 e 3.2.3.5. Non sono state condotte specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; sono stati quindi utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 17/01/18.

L’indagine geognostica e sismica e lo studio geologico hanno quindi permesso di definire un modello geologico-geotecnico e geofisico e di analizzare le caratteristiche geomorfologiche del sito al fine di definire la Categoria di Sottosuolo e la Categoria Topografica, che potranno essere utilizzate per la stima dell’Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere.

Mediante il programma Excel “Spettri-NTC (ver. 1.0.3)” è possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica definiti per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV (**Fase 1**).

Lo sviluppo delle **Fasi 2 e 3**, per la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, necessita la conoscenza e/o la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti delle opere.

Nei paragrafi successivi si forniscono quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, i dati inerenti la Risposta Sismica e la Pericolosità Sismica del Sito nonché i parametri sismici normativi (Fase 1 e parzialmente Fase 2). **Si rimane altresì disponibili per un’eventuale sviluppo congiunto, delle fasi 2 e 3 e quindi della definizione dei parametri relativi all’azione sismica di progetto.**

Dal punto di vista della **Pericolosità Sismica Locale** l’area è stata classificata nei documenti di piano - *Componente Geologica a supporto del PGT del Comune di CastelMella e Brescia* entro lo **scenario di pericolosità sismica “Z4a – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi”** per il quale vengono **talora** (sponda Sx) segnalati, sulla base delle analisi di 2° livello (ai sensi dell’All.5 della D.G.R. 8/7374 del 2008) **valori di Fa di sito superiori a quelli di “soglia”** e quindi **potenziali fenomeni di amplificazione sismica tali da rendere insufficiente l’utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente per la Categoria di Sottosuolo C** (D.M. 17/01/2018).

**Sono pertanto previsti approfondimenti sismici ovvero l’utilizzo di specifici spettri di norma caratteristici per tipologie edilizie con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s.**

L’area di progetto non è stata altresì classificata entro alcuno scenario di pericolosità sismica Z2a o Z2b quali ambiti soggetti a cedimenti e liquefazione e riferiti rispettivamente a “Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti” e “Zone con depositi granulari fini”; pertanto **non è richiesto un Approfondimento sismico di 3° livello**, secondo le procedure indicate nel paragrafo 2.3.2 dell’All.5 della D.G.R. 9/2616/2011.

E’ stata in ogni caso presa in esame la **stabilità del sito nei confronti della liquefazione**, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4 del D.M. 17/01/18.



## 6.1 Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica

Viene di seguito fornita una classificazione e caratterizzazione dei terreni secondo quanto indicato dalle norme tecniche per il progetto sismico allegate al D.M. 17/01/18 ed in applicazione di quanto richiesto dalla normativa regionale (D.G.R. 9/2616/2011) e comunale (Norme Sismiche di PGT).

### 6.1.1 Categoria di Sottosuolo - Approfondimento Sismico Analisi di 2° Livello (All. 5 D.G.R. 9/2616/2011)

#### 6.1.1.1 Categoria di sottosuolo secondo le NTC 2018

Per quanto concerne le **caratteristiche litologiche** il sottosuolo è stato classificato secondo le tabelle allegate al D.M. 17/01/18 e riportate di seguito:

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Applicando il D.M.17/01/18 e tenuto conto dei dati sismostratigrafici acquisiti entro alcune delle aree di approfondimento (vd §4.1.4-§4.2.3-§4.3.3-§4.6.3) ed applicando il D.M.17/01/18 può essere quindi stimato il valore  $V_{s,eq}$  mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [3.2.1]$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

In base a quanto indicato nelle NTC 2018 per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato andrebbe considerata a partire dal piano di imposta delle stesse o dalla testa palo; in relazione alla possibile tipologia fondazionale su pali da dottare per le opere di maggiore importanza ed in ogni caso in via cautelativa è stato considerato quale riferimento il p.c..

Solo per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Applicando il D.M.17/01/18 a partire dal piano campagna ed in base al modello geofisico proposto può quindi essere assegnata alle aree di progetto:

<u>area di indagine</u>	$V_{Seq}=V_{S30}$ (m/sec)	<u>Categoria sottosuolo NTC 2018</u>
Lotto I $\equiv$ Area 2 Prog. Preliminare	374	B
	392	B

#### 6.1.1.2 Approfondimento Sismico Analisi di 2° Livello (All.5 D.G.R. 9/2616/2011) – Definizione

##### della Categoria di Sottosuolo di progetto

Sono state quindi applicate entro il sito di progetto le procedure di 2° livello previste dall'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011 per la stima degli effetti litologici e del relativo Fattore di Amplificazione di Sito (Fa Calcolato entro il sito - FAC) da correlare al Fattore di Soglia comunale (FAS) individuato dalla normativa regionale attualmente vigente.

Si segnala che le analisi di 2° livello sito specifiche eseguite in riferimento all'applicazione dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011 fanno riferimento a valori soglia e Categorie di Sottosuolo definite sulla base delle metodologie delle NTC 2008. Ad oggi tuttavia non si hanno schede e valori soglia differenti rispetto a quanto definito nella D.G.R. 9/2616/2011.

Il primo passo della procedura prevede la definizione della scheda di valutazione (All. 5 - D.G.R. 9/2616 del 2011) più idonea alla stima degli effetti litologici. Nell'elaborazione dei dati sono state utilizzate le schede, tenuto conto in via prioritaria delle descrizioni litologiche solo se compatibili con i campi di validità riportati nei diagrammi Z-Vs (secondo quanto indicato dalla normativa) per  $V_s < 600$  m/sec. Ai fini di una maggiore esplicitazione delle scelte fatte si specifica che, per il sito di interesse, è stata ritenuta adeguata la SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2 in quanto coerente con i campi di validità previsti.

In accordo con la procedura, le successioni stratigrafiche di riferimento, lo spessore e la velocità di ciascuno strato definiti nei modelli geofisici, sono stati riportati nelle “*Schede di Stima degli Effetti Litologici*” (in allegato). I risultati, elaborati tenendo conto sia del periodo di sito derivante dall'applicazione delle norme regionali che di quello stimato mediante analisi HVSR, sono riassunti nelle tabelle seguenti:

<b>Periodo Manufatti di progetto</b>	<b>Fa di soglia comunale (FAS)</b>	<b><u>Categoria sottosuolo NTC 2018</u></b>	<b>Fa di sito calcolato (FAC)</b>	<b><u>Categoria sottosuolo di progetto</u> <u>2° livello DGR 9/2616/2017</u></b>
<b>0,1 s &lt; T &lt; 0,5 s</b>	<b>B <math>\rightarrow 1,4 \pm 0,1</math> C <math>\rightarrow 1,8 \pm 0,1</math></b>	B	1,8	C
<b>0,5 s &lt; T &lt; 1,5 s</b>	<b>B <math>\rightarrow 1,7 \pm 0,1</math> C <math>\rightarrow 2,4 \pm 0,1</math></b>	B	1,3/1,4	B

Le analisi sito-specifiche di 2° livello eseguite hanno pertanto verificato che:

- **per manufatti con periodo T compreso tra 0,1 e 0,5 s** si ottiene un valore Fa di sito compatibile con quello di soglia previsto per la **Categoria di sottosuolo C**
- **per manufatti con periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s** si ottiene un valore Fa di sito compatibile con quello di soglia previsto per la **Categoria di sottosuolo B**

Il progettista delle strutture, definito il Periodo di progetto dei manufatti, adotterà la categoria di sottosuolo più idonea.

### 6.1.2 Categoria Topografica

Per quanto concerne le **condizioni topografiche** si potrà fare riferimento alla tabella 3.2.III del D.M. 17/01/18.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per le aree di progetto che si collocano per lo più in corrispondenza degli argini spondali con pendenza  $> 15^\circ$ , si potrà tenere conto di una **categoria topografica T2**.

Le Norme di PGT non richiedono alcun approfondimento sismico specifico inerente l'amplificazione topografica.

## 6.2 Pericolosità Sismica del Sito – Parametri sismici di riferimento

Per il sito di progetto, possono essere stimati per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ) relativi alla Pericolosità Sismica mediante il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, utilizzando le coordinate geografiche corrispondenti alla fascia di progetto del nuovo ponte.

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:       LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:       PROVINCIA:       COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

---

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Nel caso specifico si è tenuto conto, su indicazione dei progettisti, di una **Classe d'Uso III** (paragrafo 2.4.2 NTC-18) ed è stata ipotizzata una strategia di progettazione per manufatti che prevedano affollamenti significativi (**Fase 2**). Si rimanda al Tecnico Progettista l'eventuale definizione di una diversa classe d'uso e di conseguenza di una strategia di progettazione differente.

In particolare si propongono i seguenti parametri progettuali ed i relativi periodi di riferimento da utilizzare per i diversi Stati Limite:

Vita Nominale della costruzione (in anni) - $V_N$	50			
Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U$	1,5			
Periodo di Riferimento per la costruzione (in anni) $T_R$	SLO	SLD	SLV	SLC
	45	75	712	1462

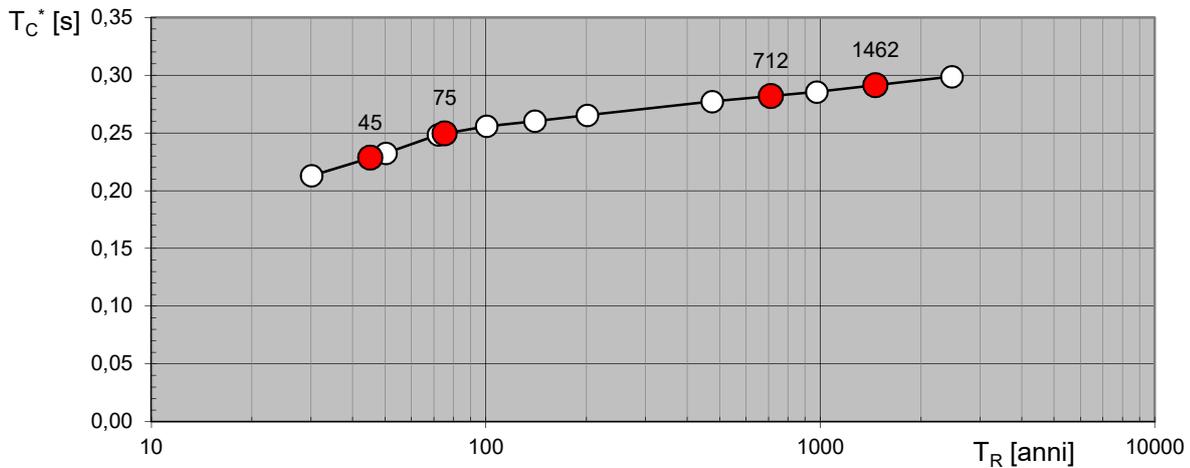
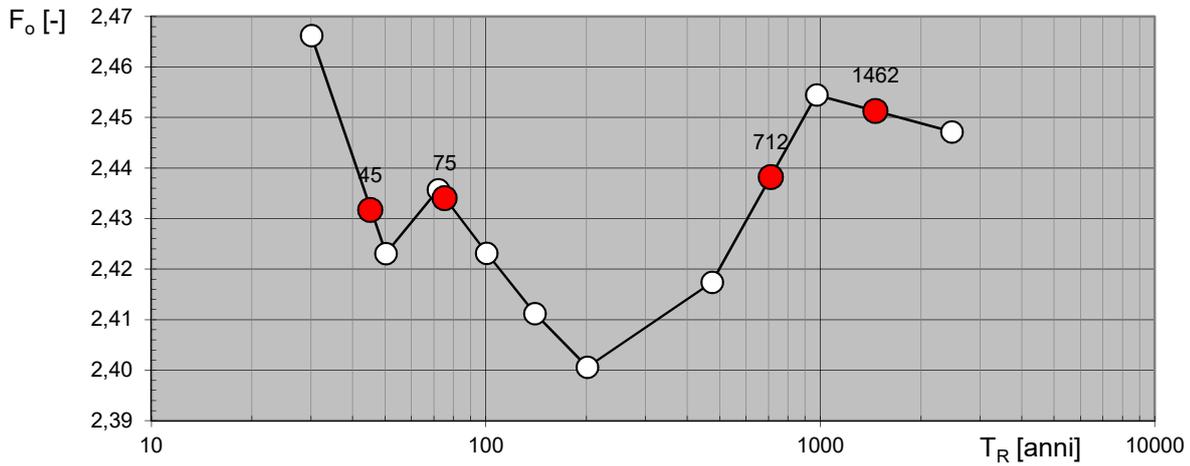
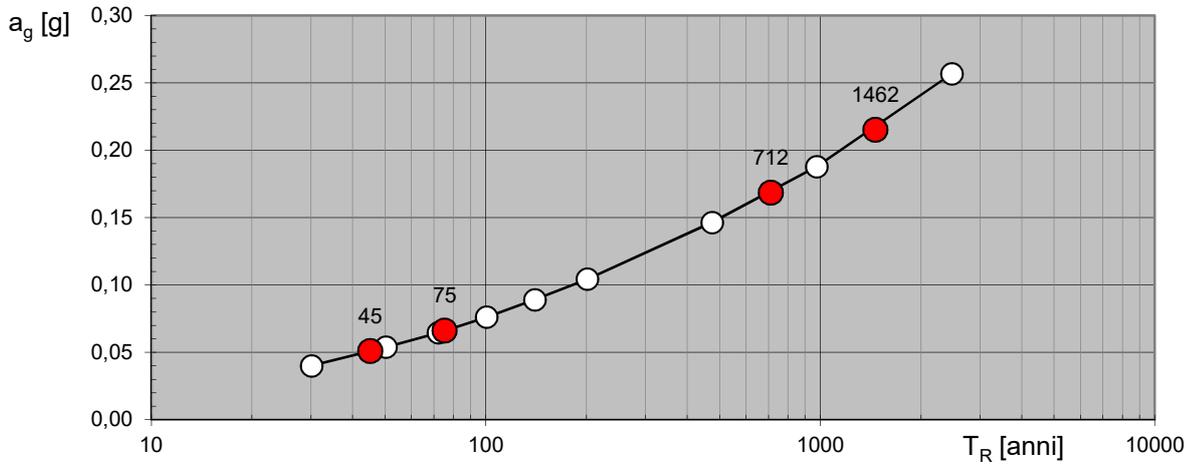
I valori dei parametri sismici normativi ( $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ) relativi alla pericolosità sismica stimati secondo la strategia di progettazione prescelta sono di seguito elencati:

#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_0$ , $T_c^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

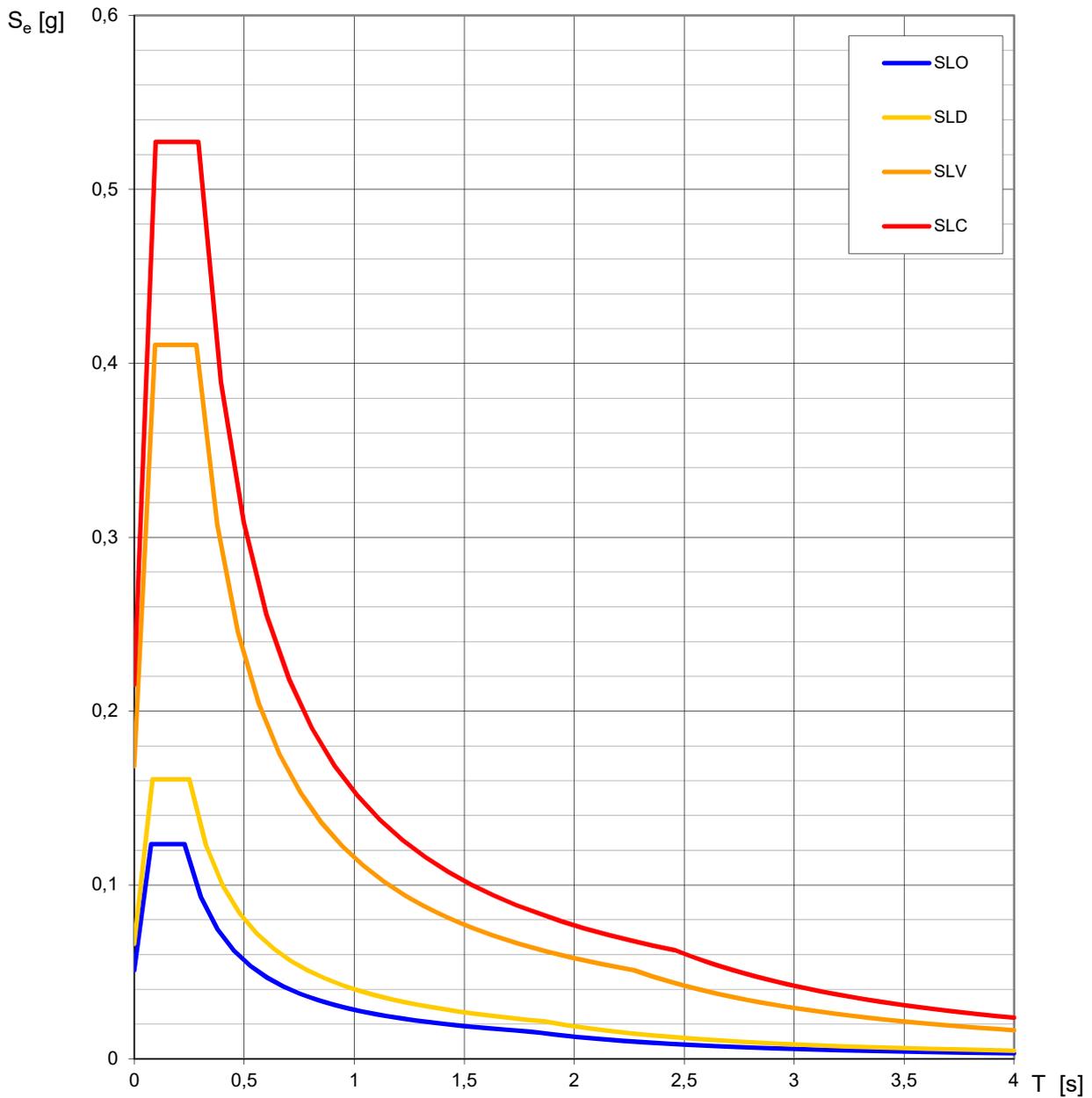
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0,051	2,432	0,228
SLD	75	0,066	2,434	0,249
SLV	712	0,168	2,438	0,282
SLC	1462	0,215	2,451	0,291

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Valori di progetto dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$**



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Si allegano gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL, nonché i diagrammi con la variabilità dei valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  in funzione del periodo di ritorno  $T_R$  associati a ciascun SL.

Si rimanda al Tecnico Progettista delle Strutture, o ad un'eventuale valutazione congiunta, la determinazione (**Fase 3**) dell'Azione Sismica di Progetto e quindi dello Spettro di Progetto Elastico (SLE) o Inelastico (SLU).

### 6.3 Amplificazione Stratigrafica ( $S_s$ ) e Topografica ( $S_t$ )

Per l'utilizzo dei metodi, delle formule e delle tabelle riportate nella nuova versione aggiornata del Testo Unico (D.M. 17/01/18) si potrà tenere conto della categoria di sottosuolo stimata e dei valori dei parametri di pericolosità sismica del sito e potranno essere applicate le seguenti espressioni (§3.2.3.2.1):

Tab. 3.2.IV – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per l'intervento di progetto per le verifiche allo Stato Limite di Danno (SLD) ed allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si possono utilizzare i seguenti valori:

<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C</b> Manufatti con periodo $0,1 s < T < 0,5 s$	SLD	$S_s$	1,500	SLV	$S_s$	1,454
		$C_c$	1,660		$C_c$	1,595

<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B</b> Manufatti con periodo $0,5 s < T < 1,5 s$	SLD	$S_s$	1,200	SLV	$S_s$	1,200
		$C_c$	1,452		$C_c$	1,417

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella seguente tabella:

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Per il sito d'intervento si potrà tenere conto di una categoria topografica T2, che comporta valori di  $S_T$  pari a 1,2.

#### 6.4 Stabilità del sito nei confronti della liquefazione – Esclusione della verifica a liquefazione ai sensi del D.M. 17/01/18

Le aree di progetto non sono state classificate, negli Studi della Componente Geologica dei PGT vigenti entro i territori comunali di CastelMella, Brescia e Roncadelle entro alcuno scenario di pericolosità sismica Z2a o Z2b quali ambiti soggetti a cedimenti e liquefazione e riferiti rispettivamente a “Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti” e “Zone con depositi granulari fini”; **pertanto non è richiesto un Approfondimento sismico di 3° livello**, secondo le procedure indicate nel paragrafo 2.3.2 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011.

Nel presente capitolo verranno in ogni caso prese in considerazione le problematiche di stabilità del sito di progetto nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni drenate.

Nel presente capitolo verranno in ogni caso prese in considerazione le problematiche di stabilità del sito di progetto nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni drenate.

La valutazione della suscettibilità di liquefazione di un terreno verrà eseguita in applicazione di quanto previsto al paragrafo §7.11.3.4 del D.M. 17/01/18. Laddove fossero ipotizzati effetti di liquefazione dei terreni tali da influire sulle condizioni di stabilità del sito o dei manufatti di progetto occorrerà procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o a trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Sinteticamente si può affermare che il fenomeno di liquefazione dei terreni si può verificare durante un evento sismico in presenza di terreni sabbiosi o sabbioso-limosi saturi poco addensati.



Per la determinazione empirica del potenziale di liquefazione dei terreni di fondazione devono essere considerati i seguenti fattori:

- età dei depositi;
- magnitudo del sisma di riferimento;
- pressione di confinamento;
- storia tensionale (sollecitazioni sismiche pregresse);
- presenza di intervalli di sabbie fini o sabbie limose in falda con fuso granulometrico che ricade nell'intervallo granulometrico compreso tra 0.075 mm e 2.0 mm;
- uniformità granulometrica con sabbie e sabbie limose con indice di plasticità IP inferiore al 10 %;
- addensamento molto scarso dei terreni sabbiosi con valori di densità relativa ( $D_r$ ) inferiore al 50 % e correlata a bassi valori di NSPT, in ogni caso funzione della profondità.

Parte di tali fattori risultano di fatto determinare anche le “circostanze” di esclusione dalla verifica a liquefazione elencate al punto §7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018 e che verranno analizzate nell'ordine richiesto dalla normativa e fino ad eventuale riscontro di una di esse:

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  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  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 Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

La verifica a liquefazione potrà essere omessa quando si manifesti almeno una delle soprariportate circostanze.

#### 6.4.1 Circostanze di esclusione relativi all'*input* sismico

Si è pertanto proceduto a verificare inizialmente, in applicazione della normativa, la circostanza di esclusione prevista al punto 1 del paragrafo §7.11.3.4.2 correlata a fattori legati all'*input* sismico e definita dal valore di accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti.

Durante un terremoto infatti il terreno può essere visto come sottoposto ad una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso.

In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per produrre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico. In definitiva quindi una elevata magnitudo del sisma (maggiore intensità degli sforzi di taglio applicati al terreno) e una lunga durata dello stesso (maggior numero di cicli di carico) rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito sabbioso saturo.

Anche depositi sciolti con medio-bassa predisposizione possono subire liquefazione se interessati da un terremoto con una magnitudo e una durata sufficientemente elevate.



I parametri fondamentali legati all'evento sismico sono:

- Accelerazione sismica orizzontale
- Magnitudo
- Durata

Riguardo l'accelerazione sismica orizzontale massima ( $a_{max}$ ) il D.M. 17/01/2018 al comma 1 del paragrafo §7.11.3.4.2 indica quale circostanza di esclusione dalla verifica a liquefazione valori di  $a_{max}$  inferiori a 0,1 g.

L'accelerazione sismica orizzontale massima ( $a_{max}$ ) in superficie è direttamente legata allo sforzo di taglio applicato sul terreno e poiché si riferisce alla superficie è necessario tener conto degli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica; il parametro si ricava direttamente dalla caratterizzazione sismica del sito in esame e più specificatamente dai parametri (riferiti allo Stato Limite Ultimo SLV) presenti nella seguente relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.5]$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il valore soglia non coincide con quanto suggerito dall'Eurocodice 8 che lo pone a 0,15 g: tale differenza è giustificata dal contesto sismico italiano nel quale risulta molto improbabile l'innescio di fenomeni di liquefazione in corrispondenza di  $a_g$  minori di 0,10 g.

In merito alla **magnitudo di un sisma** la nuova versione delle NTC 2018, in analogia a quanto contenuto nell'Eurocodice 8, non viene tenuta in considerazione a differenza del precedente D.M. 14/01/2008 che indicava quale circostanza di esclusione dalla verifica a liquefazione "eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5".

Per quanto riguarda la **durata dell'evento sismico** il numero di cicli di carico a cui è sottoposto il terreno dipende dalla durata del sisma e quindi maggiore è la durata dell'evento e maggiore sarà la probabilità di innescio della liquefazione in depositi suscettibili. La durata dell'evento sismico assume grande importanza in aree distanti dall'epicentro poiché un numero abbastanza elevato di cicli di carico potrebbe portare all'accumulo di sovrappressioni in grado di generare la liquefazioni nonostante il moto sismico e quindi lo sforzo di taglio indotto nel terreno sia notevolmente attenuato dalla lontananza dall'epicentro. Tuttavia il testo aggiornato del D.M. 17/01/2018, confermando quanto precedentemente stabilito nel 2008, non indica in che modo tener conto di questo fattore.

Si è quindi tenuto conto di un **valore di accelerazione sismica orizzontale pari a 0,168 g (SLV)**, di un fattore S determinato dal prodotto dell'amplificazione morfologica ( $S_T=1,2$ ) e dell'amplificazione litologica (**Ss pari al valore massimo di 1,45** per lo spettro di progetto SLV). Si è pertanto considerato un **valore complessivo di accelerazione sismica orizzontale pari a 0,2923 g**.



Tale valore di  $a_{g \max}$  risulta superiore a quello previsto quale soglia di esclusione dal comma 1, si procede alla verifica delle condizioni dei commi successivi.

#### 6.4.2 Circostanze di esclusione relativi a fattori geologici-geotecnici

I commi 2-3-4 del paragrafo §7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/18 forniscono di fatto i riferimenti quantitativi “normativi” da applicare per definire la necessità per un sito di procedere alla verifica a liquefazione dei terreni per fattori geologico-geotecnici; essi prendono infatti in esame la profondità della falda, le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti al di sotto del piano di fondazione e la loro distribuzione granulometrica (Fig. 7.11.1).

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  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  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 Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

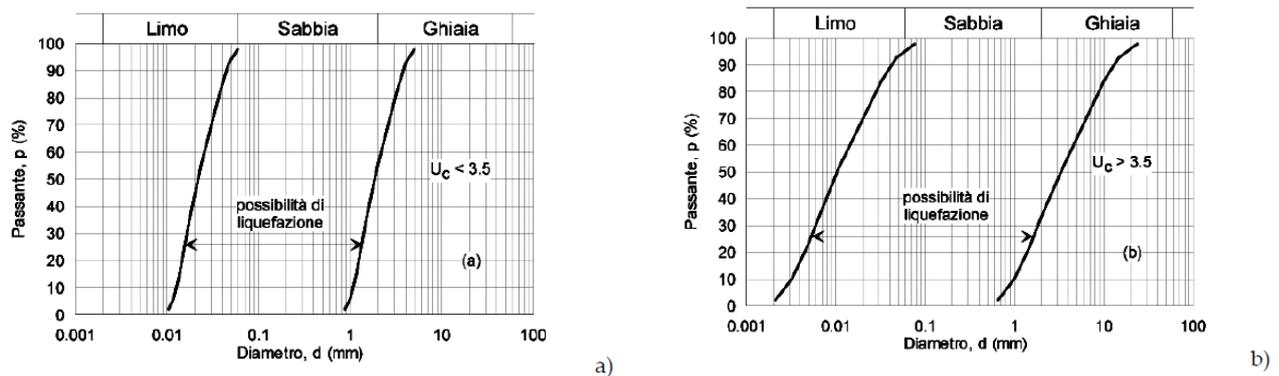


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Per la fascia di interesse progettuale le indagini eseguite a partire dalla sommità arginale **hanno escluso la presenza di falde idriche entro i primi 15 m di profondità** (comma 2) (vd. Cap. 4); in ogni caso le unità potenzialmente saturate risultano francamente grossolane e con elevate caratteristiche geotecniche.

**Si ritiene quindi le aree di progetto soggette ad esclusione alla verifica alla liquefazione ai sensi del D.M. 17/01/18.**

**Tale problematica, per l’area d’interesse, non viene segnalata negli Studi del PGT (mancanza di zone di Pericolosità Sismica Z2).**

## **7 INTERVENTO DI PROGETTO – PROBLEMATICHE REALIZZATIVE - PRESCRIZIONI**

L'intervento di progetto si configura sostanzialmente come una riqualificazione e manutenzione del percorso ciclopedonale esistente con locale realizzazione di opere di protezione spondale e prevede localmente la realizzazione di opere e manufatti presso le interferenze con altre strutture viarie e la realizzazione di un nuovo ponte ciclopedonale.

Le scelte progettuali ed i criteri realizzativi dovranno essere finalizzati a garantire, in ogni caso, l'esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza, la verifica della pressione limite e delle resistenze dei terreni di fondazione anche in funzione dei cedimenti previsti in fase d'esercizio, nonché la compatibilità con l'assetto idrogeologico ed idrografico del territorio.

Mediante la **campagna di indagine geognostica eseguita presso l'area di pertinenza del Lotto I** è stato ricostruito un **modello geologico-geotecnico-geofisico** che è risultato piuttosto omogeneo anche con quanto riscontrato lungo tutta la fascia di progetto della **Greenway del Mella**, in relazione alla collocazione presso un contesto riferibile sostanzialmente con gli argini del F. Mella.

Dapprima si riconosce l'unità riferibile ai **terreni vegetali/riportati/rimaneggiati (Unità R1), di spessore pari a circa 4-6 m, a litologia prevalentemente ghiaioso-sabbiosa con ciottoli e sabbioso-limosa con ghiaia e ciottoli e grado di addensamento prevalentemente da scarso a medio ma talora localmente da addensato a molto addensato**

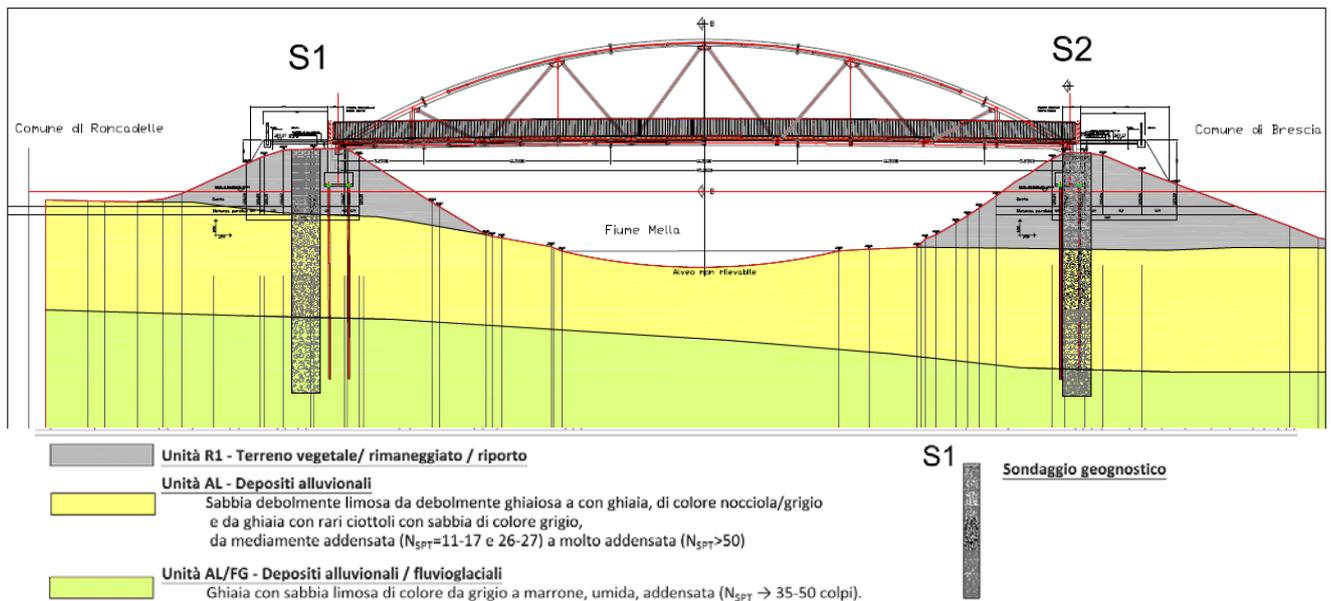
Seguono unità afferenti ai **depositi Alluvionali (Unità AL) e Alluvionali/Fluvioglaciali (Unità AI/FG)** prevalentemente grossolani a caratteristiche geotecniche da discrete/buone a ottime ma con lenti o livelli più francamente limoso-sabbioso-argillosi a caratteristiche geotecniche per lo più discrete e localmente mediocri.

Non si sono riscontrate condizioni di circolazione d'acqua riferibili alla falda principale entro i primi 15 m dal p.c. ma talora livelli molto umidi riferibili a locali falde sospese alimentate presumibilmente dalle acque di subalveo del Fiume Mella.

Si sottolinea che i riscontri relativi alle modalità di circolazione idrica risultano coerenti con il quadro idrogeologico ricostruito tenuto anche conto che le indagini sono state esperite nell'attuale periodo di prolungata siccità e marcato abbassamento delle falde di pianura.



Gli interventi di maggiore rilievo, quali il **nuovo ponte sul F. Mella**, potranno essere realizzati mediante strutture di fondazioni su pali; in corrispondenza di tale area le unità AL/FG a ottime caratteristiche geotecniche e maggiormente idonee all'intestazione dei pali sono presenti a partire da circa -10,40/-13,50 m dal p.c. ≡ sommità arginale.



Seppure anche l'unità AL possieda caratteristiche geotecniche complessivamente idonee all'intestazione dei pali di fondazione si ritiene che essa garantisca delle prestazioni inferiori e presenti una maggiore variabilità e pertanto **si consiglia il raggiungimento dell'unità AL/FG** anche in sponda Brescia.

Per la **riqualificazione del percorso esistente** si potrà tenere conto delle caratteristiche comunque buone delle unità antropiche che costituiscono i rilevati arginali esistenti; interventi di consolidamento delle scarpate spondali potranno essere idoneamente realizzati anche tenendo conto del modello geologico-geotecnico riferibile agli argini stessi.

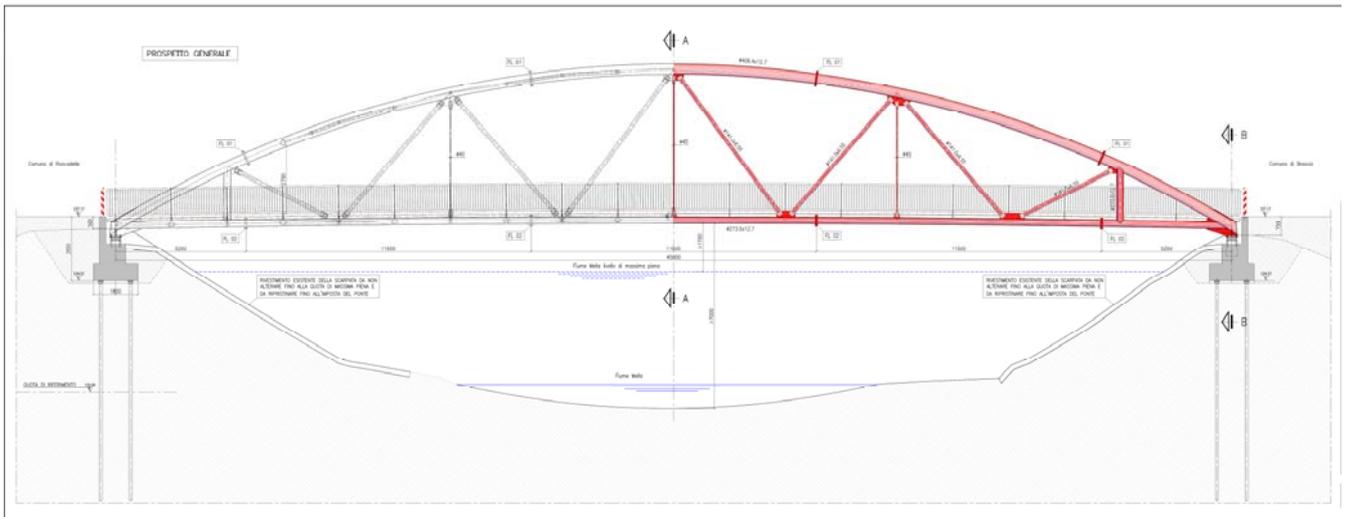
Per la **realizzazione della pista di raccordo alla viabilità esistente**, presso la terminazione Nord del lotto I ed in corrispondenza delle spalle del ponte dovranno essere eseguiti degli interventi di riprofilatura mediante realizzazione di rilevati con utilizzo di terre armate. Per le terre armate si prevede un appoggio a mezzacosta rispetto al lato esterno dell'argine esistente; si rimanda alle specifiche relazioni di progetto per ogni maggiore dettaglio.

Tutti gli interventi ricadono o lambiscono aree di pericolosità idraulica (PAI -PGRA) cui si correlano specifiche normative; nella progettazione dei singoli interventi bisognerà pertanto tenere conto in maniera attenta e puntuale di tali norme e si dovranno eventualmente prevedere specifiche opere di mitigazione rispetto a tali problematiche idrauliche. Si rimanda in proposito agli specifici progetti idraulici.

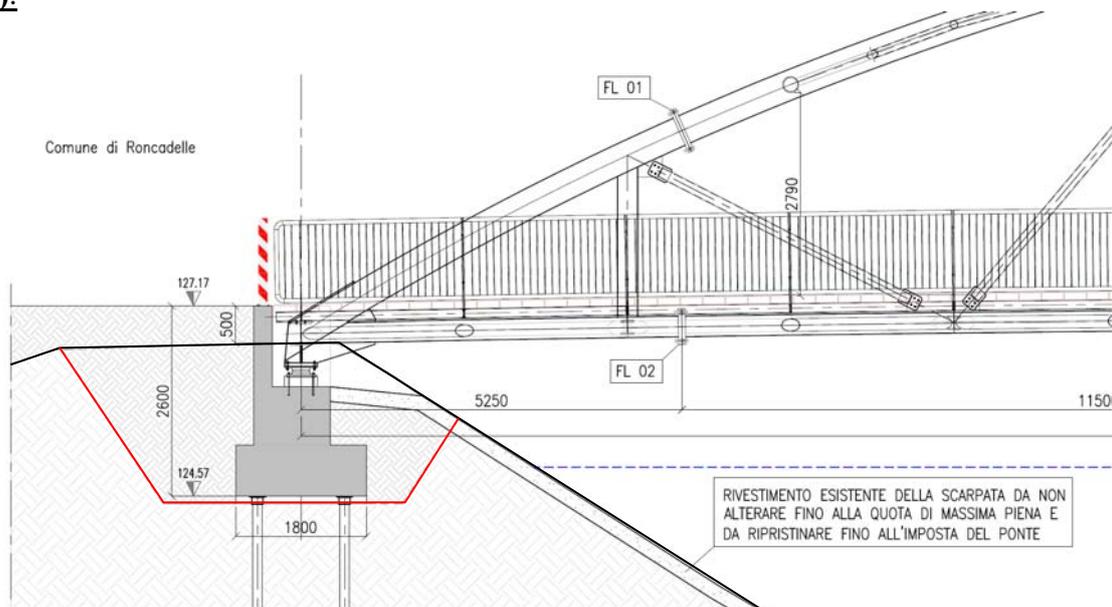
## 8 OPERAZIONI DI SCAVO E DI RIPROFILATURA

### 8.1 Modalità esecutive/prescrizioni degli scavi in condizioni di sicurezza

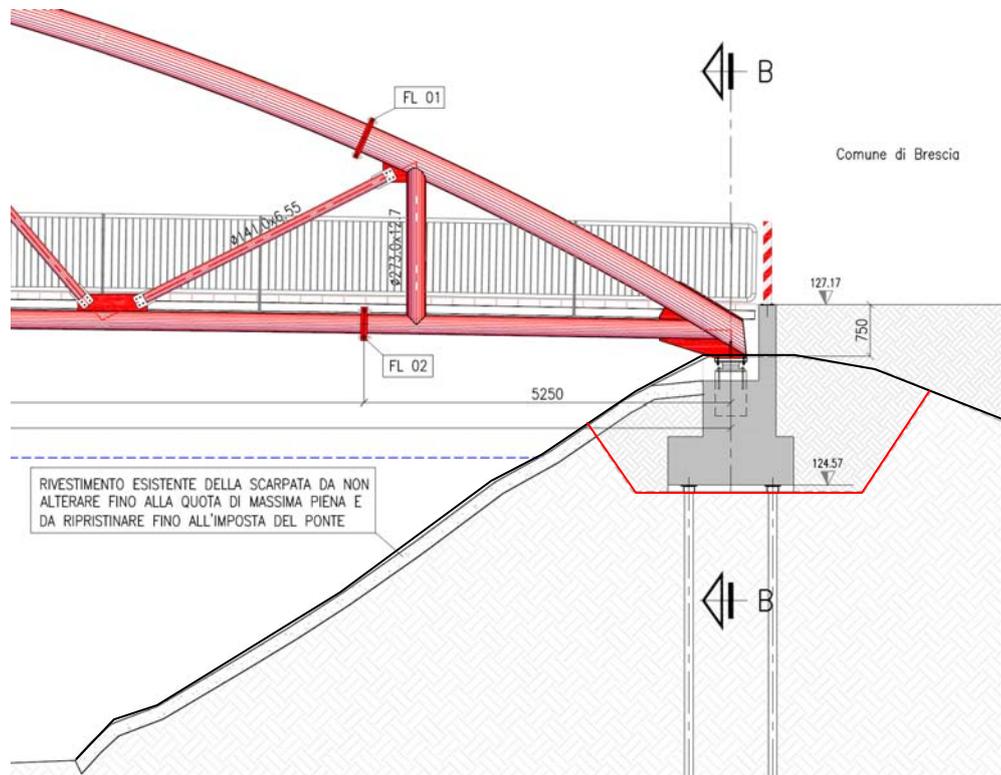
La realizzazione delle opere di progetto prevede la possibile esecuzione di interventi di **scavo** da eseguirsi per lo più presso gli argini spondali



Gli scavi avranno un'altezza di circa 2,0 m e pertanto interesseranno le **unità geotecniche superficiali** presenti fino alle **fino a circa -4,00m (S1)/-6,00m (S2) dal p.c.** rappresentata, al di sotto di una sottile coltre di **terreno vegetale** (circa 20-40 cm), da **terreno rimaneggiato/riportato prevalentemente sabbioso-limoso** da debolmente ghiaioso a con ghiaia e con ciottoli e **sabbioso-ghiaioso con ciottoli di colore marrone e marrone/grigio** da asciutto a debolmente umido. Questa unità nell'area di studio si presenta da **mediamente addensata (Sondaggio S2 fino a circa -3,00 m →  $N_{spt}$  caratteristico → 14 colpi)** a **mediamente addensata/addensata ( $N_{spt}$  caratteristico → 30-50 colpi e > 50 colpi).**



Sponda Dx – Roncadelle



Sponda Sx - Brescia

I rilievi di dettaglio eseguiti hanno evidenziato la presenza lungo il lato interno dell'argine spondale di un rivestimento, per il quale è stato prescritto di non prevedere alcuna alterazione fino alla quota di massima piena individuata. Lo stesso rivestimento verrà ripristinato ad opere ultimate fino all'imposta del ponte.

In relazione alle limitate altezze di scavo ed alle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti si ritiene che le inclinazioni di progetto (circa 60°) possano essere idonee a garantire la tenuta dello scavo a breve termine. In ogni caso si ritiene opportuno adottare, anche in relazione alla presenza di macchine operatrici per l'esecuzione delle fondazioni profonde adottare **specifiche modalità realizzative con eventuale casseratura/puntellatura delle pareti di scavo e/o interventi di consolidamento preventivo dei fronti di scavo.**

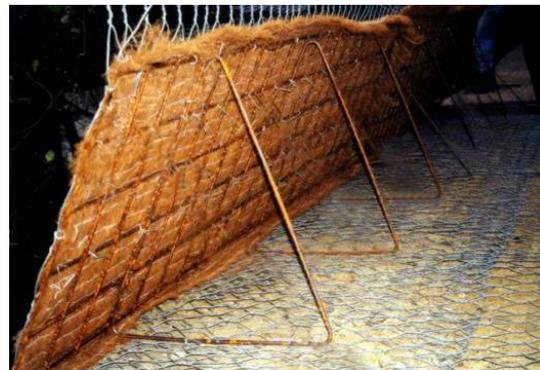
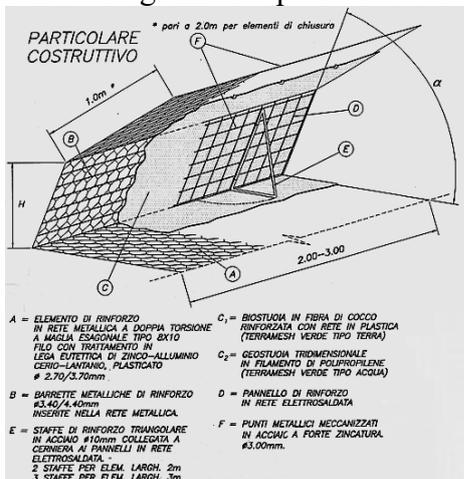
In fase d'indagine non sono stati rilevati fenomeni di circolazione d'acqua alle profondità d'interesse progettuale e pertanto in relazione all'assetto idrogeologico ricostruito si ritengono assenti significative interferenze tra le operazioni di scavo e fenomeni di filtrazione idrica.

Per tutti gli sbancamenti si raccomanda, infine, di non abbandonare i fronti di scavo aperti per periodi di tempo prolungati. A seguito di piogge intense tali fronti possono essere soggetti a fenomeni di dilavamento con conseguenti crolli delle pareti di scavo. In caso di pioggia i fronti di scavo dovranno essere protetti dal dilavamento superficiale mediante teloni impermeabili.

## 8.2 Riprofilatura del pendio mediante Terre Armate

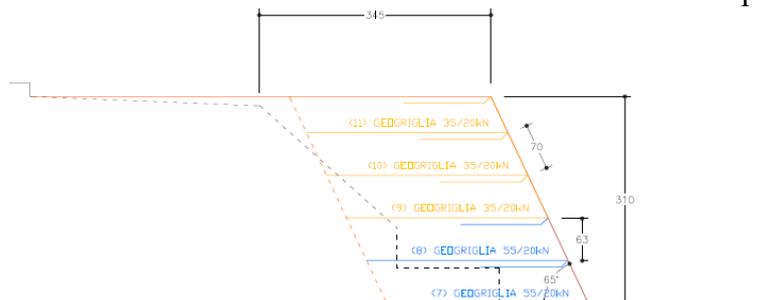
L'intervento di ampliamento della sommità arginale in corrispondenza delle spalle del nuovo ponte e la realizzazione della rampa di raccordo alla viabilità esistente presso l'estremità nord del lotto di intervento dovrà essere realizzato mediante **terre rinforzate** con materiali idonei (reti metalliche tipo HYDROGEO), posati ed assemblati a regola d'arte in cantiere.

Le reti andranno riempite a tergo con terreno idoneo, compattato con mezzo meccanico a strati sovrapposti a scalare, rivestiti verso l'esterno con biostuoia in fibra di cocco rinforzata con rete in plastica (vedi schema costruttivo a seguire), la cui superficie verrà completata mediante l'esecuzione di idrosemina a spessore, atta a garantire un veloce rinverdimento delle arginature; l'opera andrà idoneamente dimensionata, anche tenuto conto delle caratteristiche tecniche dei materiali utilizzati; la ditta esecutrice dovrà quindi eseguire le necessarie verifiche di stabilità dell'opera di progetto, in funzione delle geometrie prescelte e dei materiali utilizzati.



SCHEMA COSTRUTTIVO TERRE ARMATE (HYDROGEO- BOLOGNA)

Per il sito di progetto può essere ipotizzato uno schema realizzativo quale il seguente (le misure dello schema sono solo indicative dei moduli costruttivi e non delle altezze di progetto);



Si sottolinea infine che i **fronti di scavo** necessari alla posa delle terre armate dovranno essere eseguiti in condizioni di sicurezza tenuto conto delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti; al fine di garantire la sicurezza per gli operatori, si raccomanda di mantenere sempre, anche localmente, altezze, inclinazioni e lunghezza dei fronti di scavo ridotte (fronti costituiti da più balze e modalità di "scavo a campione") e comunque rapportabili con le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti. ed eventualmente procedendo secondo campioni successivi.

Si rimanda alla SPECIFICA RELAZIONE SULLE TERRE ARMATE la definizione del corretto dimensionamento delle opere e del progetto definitivo che dovranno essere funzionali al miglioramento della stabilità del pendio.

Per quanto riguarda il modello geologico-geotecnico e geofisico da utilizzare per la progettazione e per ogni maggiore dettaglio inerente l'assetto geologico-geomorfologico-idrogeologico dei luoghi, si rimanda agli specifici capitoli della presente relazione.

Infine si consiglia di evitare il ruscellamento superficiale delle acque di pioggia lungo la scarpata; si dovrà a tal fine prevedere la realizzazione di adeguati sistemi di collettamento ed allontanamento delle acque (canalette poste a monte e, laddove necessario, lungo le scarpate) che potranno essere recapitate idoneamente verso valle.

### 8.3 Linee guida generali di utilizzo del materiale escavato

Nell'ambito della realizzazione delle opere si potrà prevedere la produzione di materiale derivanti da operazioni di scavo.

Il materiale escavato ha la possibilità di:

- **essere destinato allo stato naturale a fini di costruzione nello stesso sito in cui è stato escavato** (art. 185 D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. e art. 24 del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017).

Questo articolo è stato sottoposto ad "Interpretazione Autentica" di Legge già mediante l'**Art. 3 – Disposizioni in materia di matrici materiali di riporto e ulteriori disposizioni in materia di rifiuti**-della **L. 28 del 24/03/2012** (*Conversione in legge con modificazioni del D. L. 2 del 25/01/2012 recante Misure Straordinarie e urgenti in materia ambientale*).

Ai sensi dell'Art. 3 comma 1 della L. 28 del 24/03/2012 come modificato dall'art. 41 comma 3 lett. a) della L. 98/2013 (Decreto del Fare) "...omissis... i riferimenti al **suolo** contenuti all'art. 185 commi 1, lettere b) e c), e 4 del D. Lgs.152/06, si interpretano come riferiti anche alle **matrici materiali di riporto** di cui all'All. 2 alla parte IV del medesimo D. Lgs.", costituite da una miscela eterogenea di materiale di origine antropica quali residui e scarti di produzione e di consumo e di terreno, che compone un orizzonte stratigrafico specifico rispetto alle caratteristiche geologiche e stratigrafiche naturali del terreno in un determinato sito e utilizzate per la realizzazione di riempimenti rilevati e reinterri.

In sostanza l'Art. 3, comma1, del D. L. 2/2012 fornisce la definizione di "matrici materiali di riporto" evidenziando la volontà del legislatore di equiparare, al ricorrere di particolari condizioni, i materiali di riporto al suolo con conseguente applicazione dell'art. 185, comma 1, del D. Lgs 152/2006.Nello stesso senso depono il nuovo **D.P.R. 120/2017** con quanto definito dall'**Art. 4, comma 3**.

Al comma 2 dell'Art. 3 della L. 28 del 24/03/2012 come modificato dall'art. 41 comma 3 lett. b) della L. 98/2013 si specifica che "Fatti salvi gli accordi di programma per la bonifica sottoscritti prima della data di entrata in vigore della presente disposizione che rispettano le norme in materia di bonifica vigenti al tempo della sottoscrizione, ai fini dell'applicazione dell'Art. 185 comma 1 lettere b) c) del D. lgs. 152/06, le matrici materiali di riporto devono essere sottoposte a test di cessione effettuato sui materiali granulari ai sensi dell'art.9 del D. M. Amb. Del 5 Febbraio 1998 ....omissis...ai fini delle metodiche da utilizzare per escludere rischi di contaminazione delle

*acque sotterranee e, ove conformi ai test di cessione, devono rispettare quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di siti contaminati.”*

Recentemente il **TITOLO IV del D.P.R. 120/2017 (Art.24)**, fermo restando quanto previsto dall'art. 3, comma 2 del D.L. 25/01/2012 n. 2 convertito con modificazioni dalla L. n. 28 del 24/03/2012, ha specificato che **la non contaminazione, per il riutilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina rifiuti, deve essere verificata ai sensi dell'All. 4 “Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento delle qualità ambientali” del Regolamento D.P.R. n. 120 del 13/06/2017 mediante prelievo di campioni ed analisi chimiche (Art. 24 comma 1).**

Nel Novembre 2017 sono stati inoltre forniti da parte del Ministero per l'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM – registro uff. Protocollo 0015786.10-11-2017) alcuni **“Chiarimenti Interpretativi – Disciplina delle matrici materiali di riporto”** con specifico riferimento a:

- I. Definizione e qualificazione giuridica delle matrici materiali di riporto. Le novità introdotte dal D.P.R. 120/2017
- II. Quadro normativo di riferimento in materia di gestione
- III. Gestione delle terre e rocce da scavo contenenti matrici materiali di riporto.

Nel caso in cui la produzione di terre e rocce da scavo avvenga in siti sottoposti a VIA o AIA si applicano anche i commi 3-4-5 dell'Art. 2 e risulta necessario predisporre un **Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti** redatto ai sensi dell'art. 24 comma 3 D.P.R. n. 120/17). In questo caso l'art. 4 del D.P.R. 120/2017 stabilisce la **predisposizione in fase di progettazione o prima dell'inizio dei lavori delle analisi chimiche** (in conformità al Piano preliminare) **e di un progetto specifico delle attività da inviare ad ARPA ed all'autorità competente prima dell'avvio dei lavori.**



- **essere gestito con la qualifica di “rifiuto speciale”**, quindi trasportato all’esterno dal sito e conferito in discarica autorizzata (art. 184 D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.) nel rispetto di tutte le normative sui rifiuti vigenti:

3. Sono rifiuti speciali:

a) i rifiuti da attività agricole e agro-industriali, ai sensi e per gli effetti dell’[art. 2135 c.c.](#);  
*(lettera così modificata dall’articolo 11 del d.lgs. n. 205 del 2010)*

**b) b) i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall’articolo 184-bis;**

*(lettera così sostituita dall’articolo 11 del d.lgs. n. 205 del 2010)*

c) i rifiuti da lavorazioni industriali;

*(lettera così modificata dall’articolo 2, comma 21-bis, d.lgs. n. 4 del 2008)*

d) i rifiuti da lavorazioni artigianali;

e) i rifiuti da attività commerciali;

f) i rifiuti da attività di servizio;

g) i rifiuti derivanti dalla attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi;

h) i rifiuti derivanti da attività sanitarie;

**Sulla base del recente D.P.R. 120/2017 (Art. 23) è stata disciplinata la possibilità di disporre il deposito temporaneo, in attesa del conferimento:**

<p style="text-align: center;">Art. 23.</p> <p style="text-align: center;"><i>Disciplina del deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate rifiuti</i></p> <p>1. Per le terre e rocce da scavo qualificate con i codici dell’elenco europeo dei rifiuti 17.05.04 o 17.05.03* il deposito temporaneo di cui all’articolo 183, comma 1, lettera bb), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, si effettua, attraverso il raggruppamento e il deposito preliminare alla raccolta realizzati presso il sito di produzione, nel rispetto delle seguenti condizioni:</p> <p>a) le terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti contenenti inquinanti organici persistenti di cui al regolamento (CE) 850/2004 sono depositate nel rispetto delle norme tecniche che regolano lo stoccaggio dei rifiuti contenenti sostanze pericolose e sono gestite conformemente al predetto regolamento;</p>	<p>b) le terre e rocce da scavo sono raccolte e avviate a operazioni di recupero o di smaltimento secondo una delle seguenti modalità alternative: 1) con cadenza almeno trimestrale, indipendentemente dalle quantità in deposito; 2) quando il quantitativo in deposito raggiunga complessivamente i 4000 metri cubi, di cui non oltre 800 metri cubi di rifiuti classificati come pericolosi. In ogni caso il deposito temporaneo non può avere durata superiore ad un anno;</p> <p>c) il deposito è effettuato nel rispetto delle relative norme tecniche;</p> <p>d) nel caso di rifiuti pericolosi, il deposito è realizzato nel rispetto delle norme che disciplinano il deposito delle sostanze pericolose in essi contenute e in maniera tale da evitare la contaminazione delle matrici ambientali, garantendo in particolare un idoneo isolamento dal suolo, nonché la protezione dall’azione del vento e dalle acque meteoriche, anche con il convogliamento delle acque stesse.</p>
---	---

- **Essere qualificato e destinato ad utilizzo come sottoprodotto (terre e rocce da scavo)** ai sensi dell'art. 184 bis comma 1 del *D.Lgs 152/06* e art. 4 del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017:

**184-bis. Sottoprodotto**

*(articolo introdotto dall'articolo 12 del d.lgs. n. 205 del 2010)*

1. È un sottoprodotto e non un rifiuto ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera a), qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

Riguardo le modalità con cui verificare la conformità all'art. 184 bis del D.Lgs 152/06 e s.m.i. ed attuare in fase progettuale ed esecutiva l'utilizzo delle terre e rocce da scavo, **sono negli ultimi anni occorse numerose modifiche legislative soprattutto tra il 2012 ed il 2013.**

Tuttavia **il quadro normativo/applicativo appariva alla luce di questi "interventi normativi" piuttosto confuso e contraddittorio** con varie associazioni di categoria che avevano avviato richieste di chiarimenti agli Organi Competenti, soprattutto in riferimento alle normative da applicare a siti con volumi di scavo > 6.000 mc e non soggetti a VIA e AIA.

Con la *L. 98 del 09/08/2013 (Legge del Fare – Conversione con modificazioni, del D. L. 69 del 21/06/2013 – Disposizioni urgenti per il rilancio dell'Economia)* si era modificato il quadro normativo pervenendo ad un assetto piuttosto definito seppure rimandando a molteplici normative e risultando carente rispetto a numerose casistiche di applicazione.

Ad Agosto 2017 è entrato infine in vigore il *D.P.R. 120/2017 del 13/06/2017 (Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione terre e rocce da scavo, ai sensi dell'Art.8 del D.L. 12 settembre 2014, n.133, convertito con modificazioni dalla Legge 11 Novembre 2014, n. 164)* che ha introdotto una disciplina completa che sostituisce ed integra la precedente.

In particolare l'Art. 4 stabilisce i Criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti:

Art. 4.

*Criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti*

1. In attuazione dell'articolo 184-bis, comma 1, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il presente Capo stabilisce i requisiti generali da soddisfare affinché le terre e rocce da scavo generate in cantieri di piccole dimensioni, in cantieri di grandi dimensioni e in cantieri di grandi dimensioni non sottoposti a VIA e AIA, siano qualificati come sottoprodotti e non come rifiuti, nonché le disposizioni comuni ad esse applicabili. Il presente Capo definisce, altresì, le procedure per garantire che la gestione e l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti avvenga senza pericolo per la salute dell'uomo e senza recare pregiudizio all'ambiente.

2. Ai fini del comma 1 e ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera qq), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, le terre e rocce da scavo per essere qualificate sottoprodotti devono soddisfare i seguenti requisiti:

a) sono generate durante la realizzazione di un'opera, di cui costituiscono parte integrante e il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;

b) il loro utilizzo è conforme alle disposizioni del piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o della dichiarazione di cui all'articolo 21, e si realizza:

1) nel corso dell'esecuzione della stessa opera nella quale è stato generato o di un'opera diversa, per la realizzazione di reinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, miglioramenti fondiari o viari, recuperi ambientali oppure altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali;

2) in processi produttivi, in sostituzione di materiali di cava;

c) sono idonee ad essere utilizzate direttamente, ossia senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;

d) soddisfano i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal Capo II o dal Capo III o dal Capo IV del presente regolamento, per le modalità di utilizzo specifico di cui alla lettera b).

3. Nei casi in cui le terre e rocce da scavo contengano materiali di riporto, la componente di materiali di origine antropica frammisti ai materiali di origine naturale non può superare la quantità massima del 20% in peso, da quantificarsi secondo la metodologia di cui all'allegato 10. Oltre al rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui al comma 2, lettera d), le matrici materiali di riporto sono sottoposte al test di cessione, effettuato secondo le metodiche di cui al decreto del Ministro dell'ambiente del 5 febbraio 1998, recante «Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero», pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16 aprile 1998, per i parametri pertinenti, ad esclusione del parametro amianto, al fine di accertare il rispetto delle concentrazioni soglia di contaminazione delle acque sotterranee, di cui alla Tabella 2, Allegato 5, al Titolo 5, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, o, comunque, dei valori di fondo naturale stabiliti per il sito e approvati dagli enti di controllo.

Nel Novembre 2017 sono stati inoltre forniti da parte del Ministero per l'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM – registro uff. Protocollo 0015786.10-11-2017) alcuni **“Chiarimenti Interpretativi – Disciplina delle matrici materiali di riporto”** con specifico riferimento a:

- I. Definizione e qualificazione giuridica delle matrici materiali di riporto. Le novità introdotte dal D.P.R. 120/2017
- II. Quadro normativo di riferimento in materia di gestione
- III. Gestione delle terre e rocce da scavo contenenti matrici materiali di riporto.

Con il D.P.R. 120/17 (**Regolamento recante disciplina semplificata della gestione terre e rocce da scavo ai sensi dell'art. 8 del D.L. n. 133 12/09/2014 con modificazioni dalla L. 11/11/2014 n. 164**), vigente dal 22/08/2017, si perviene ad un quadro normativo che può essere così sintetizzato:

REGIME DI APPLICAZIONE DELL'ART. 184 BIS – D. Lgs. 152/05 e s.m.i.

Riferimenti Normativi

<p><b>Siti di grandi dimensioni soggetti a VIA e AIA</b> <i>Come definiti nell'articolo 2, comma 1, lettera u del D.P.R. 120/17</i></p>	<p><b>Siti di piccole dimensioni</b> <i>come definiti nell'articolo 2, comma 1, lettera t del D.P.R. 120/17</i></p> <p><b>Siti di grandi dimensioni non soggetti a VIA o AIA</b> <i>Come definiti nell'articolo 2, comma 1, lettera v del D.P.R. 120/17</i></p>
<p><b>Ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. 120/17</b> per verificare il regime di applicazione dell'articolo 184 bis per <b>Siti di grandi dimensioni soggetti a VIA e AIA</b> devono essere rispettati i requisiti di cui all'Art. 4 del D.P.R. 120/17 e si applica il <b>Capo II dello stesso D.P.R. che comprende gli artt. da 9 a 18</b> solo se, <i>sulla base della caratterizzazione ambientale effettuata in conformità agli allegati 1 e 2 del D.P.R. 120/17 siano soddisfatti i requisiti di qualità ambientale previsti dall'Allegato 4 dello stesso D.P.R. 120/2017 per le modalità di utilizzo specifico.</i></p> <p>Per questi siti si applicano le procedure dell'<b>Allegato I e 2 del DPR 120/2017</b> ed è necessario redigere un <b>Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo</b> (art. 9 del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017 e <b>All. 5</b>) al fine di comprovare la sussistenza dei requisiti da soddisfare affinché i materiali da scavo siano considerati sottoprodotti e non rifiuti (ai sensi dell'Art. 183 c.1 lett. qq del D. Lgs. 152/06 e s.m.i.).</p> <p>Il Piano di Utilizzo deve essere presentato dal proponente all'Autorità Competente ed all'Agenzia di protezione ambientale almeno <b>90 gg prima dell'inizio dei lavori</b> e, nel caso di opera soggetta a VIA o AIA, prima della conclusione del procedimento.</p> <p>Per la redazione del Piano di Utilizzo è indispensabile l'esecuzione di una <b>caratterizzazione ambientale del sito</b> predisposta con prelievo di campioni di terreno fino alle profondità di scavo e secondo un numero minimo di punti d'indagine pari a 3 (siti con superficie di scavo &lt;2500 mq) ed in ogni caso in stretta conformità con quanto prescritto dagli allegati dello stesso D.P.R. 120/2017.</p>	<p><b>Ai sensi dell'art. 20 e dell'art. 22 del D.P.R. 120/17</b> per verificare il regime di applicazione dell'articolo 184 bis per <b>siti di piccole dimensioni &lt; 6000 mc e siti di grandi dimensioni (&gt; 6000 mc) non soggetti a VIA o AIA</b> devono essere rispettati i requisiti di cui all'Art. 4 del D.P.R. 120/17 e si applicano il <b>Capo III (artt. 20 e 21) e Capo IV (art. 22)</b> se il produttore dimostra, qualora siano destinate a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, che <u>non siano superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B, Tabella I, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione, e che le terre e rocce da scavo non costituiscono fonte diretta o indiretta di contaminazione per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale.</u></p> <p>Per la gestione delle terre e rocce da scavo il produttore attesta il rispetto dei requisiti richiesti mediante <b>la predisposizione e la trasmissione della dichiarazione di cui all'Art. 21 - Dichiarazione di utilizzo per i cantieri di piccole dimensioni</b> secondo le procedure e le modalità indicate negli articoli 20 e 21.”(<b>All. 6 alla D.P.R. 120/2017</b>) da trasmettere almeno <b>15 gg prima dell'inizio lavori di scavo</b> al comune del sito di produzione ed all'Agenzia di protezione ambientale territorialmente competente (ARPA).</p>

Per tutti i tipi di sito si applicano gli **Artt. 4, 5, 6 e 7 del D.P.R. 120/2017** e pertanto in particolare:

- devono essere verificati i requisiti di qualità ambientale dei materiali di scavo mediante una **procedura di caratterizzazione chimico fisica e accertamento delle qualità ambientali** in applicazione dell'**Allegato 4 al D.P.R. 120/2017** con prelievo di campioni di terreno e successiva analisi chimica.
- Deve essere utilizzato il **Modulo di trasporto** di cui all'**Allegato 7 al D.P.R. 120/2017**
- Deve essere prodotta la **Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo (DAU – Allegato 8 al D.P.R. 120/2017)** entro il termini di validità del Piano di Utilizzo (siti di grandi dimensioni soggetti a VIA o AIA) o della dichiarazione di cui all'art. 21 (siti di piccole dimensioni o di grandi dimensioni non soggette a VIA o AIA)

**Vengono inoltre definitivamente abrogati dal D.P.R. 120/2017 il D.M. n. 161 del 10/08/2012, l'art. 184-bis comma 2-bis, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e gli articoli 41, comma 2, e 41-bis del decreto legge 21 giugno 2013, n. 69, convertito, con modificazioni, dalla legge 9 agosto 2013, n. 98.**

Nel caso di **attività da scavo da realizzare in siti oggetto di bonifica** (già caratterizzati ai sensi dell'articolo 242 del D.lgs 152/2006) si applica il Titolo V (Artt. 25 e 26) e risulterà necessario un **piano di dettaglio** comprensivo della lista degli analiti da ricercare concordato con ARPA; quest'ultima rilascia parere ed eventuali prescrizioni entro 30 gg dalla presentazione della richiesta. Il proponente 30 gg prima dell'avvio dei lavori trasmette e predisponde di un **piano operativo degli interventi** e dettagliato cronoprogramma con indicazione della data di inizio lavori (art. 25 D.P.R. 120/17). Sarà necessario in ogni caso garantire la conformità dei materiali da scavo alle CSC per la specifica destinazione d'uso o ai valori di fondo naturale (art. 26 D.P.R. 120/17).

Si ritiene pertanto opportuno per l'intervento di progetto, laddove sia verificata la mancanza di procedure VIA o AIA, **scegliere la procedura di utilizzo (in situ o fuori situ ovvero quale rifiuto speciale) e definire la normativa più idonea da adottare.**

Alla luce del quadro normativo esposto, **sia in caso di utilizzo entro sito che riutilizzo fuori sito viene richiesta la predisposizione di analisi chimiche dei terreni; in funzione alle procedure prettamente tecniche e qualificate richieste dal D.P.R. 120/2017 si consiglia vivamente di predisporre un Piano di Caratterizzazione Ambientale sotto la direzione del Geologo e/o di idonea figura professionale** che potrà essere utilizzato, comunque, sia ai sensi del Capo III e IV del D.P.R 120/2017 per l'applicazione del regime di art. 184 bis del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. (ri-utilizzo fuori sito) sia ai sensi del Titolo IV del D.P.R.120/2017 per la verifica dei "suoli non contaminati" per l'applicazione del regime dell'art. 185 del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. (ri-utilizzo in sito).

**Si segnala in proposito che è stata predisposta nell'ambito della progettazione preliminare un piano di campionamento dei terreni; si rimanda alla specifica relazione per ogni maggiore dettaglio.**

Ulteriori indicazioni circa le modalità di caratterizzazione dei terreni oggetto di escavazione sono contenute nel recente manuale **"Linea Guida sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo"** (ISPRA Del. 54/2019) vigente a livello nazionale a partire dal 9 Maggio 2019.

## **9 COMPATIBILITA' DELL'INTERVENTO DI PROGETTO CON LE RISULTANZE DEL PRESENTE STUDIO GEOLOGICO PRELIMINARE E CON LE NORMATIVE GEOLOGICHE DI FATTIBILITA', DI VINCOLO E DI PERICOLOSITA' SISMICA – CONCLUSIONI**

Presa visione delle normative comunali e pianificatorie di fattibilità e vincolo geologico (vedi §1.1) sono state prese in esame le condizioni geologiche-geomorfologiche-idrografiche ed idrogeologiche dell'area di intervento e di quelle ad essa limitrofe (vedi Cap. 2) ed è stato predisposto un inquadramento sismotettonico e della sismicità dell'area bresciana (vedi Cap. 3).

Mediante i rilievi geologici e la campagna di indagine geognostica eseguita (Cap. 4) è stato possibile eseguire gli approfondimenti relativi alle caratteristiche geotecniche dei terreni, compatibili con la tipologia di intervento e con le *Classi di fattibilità*, cui si correlano consistenti limitazioni d'uso ed alla variabilità geomorfologica del sito e formulare un modello geologico-geotecnico-geofisico (vedi Cap.5).

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area è stata classificata nei documenti di piano - *Componente Geologica a supporto del PGT del Comune di CastelMella e Brescia* entro lo scenario di pericolosità sismica “Z4a – Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi” per il quale vengono talora segnalati, sulla base delle analisi di 2° livello (ai sensi dell'All.5 della D.G.R. 8/7374 del 2008) valori di Fa di sito superiori a quelli di “soglia” e quindi potenziali fenomeni di amplificazione sismica tali da rendere insufficiente l'utilizzo dei parametri sismici definiti in base alla normativa vigente per la Categoria di Sottosuolo C (D.M. 17/01/2018) per tipologie edilizie con periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s.

In relazione al modello geotecnico-sismostratigrafico e geomorfologico del sito sono state quindi definite in via preliminare la *Categoria di Sottosuolo* e la *Categoria Topografica*, che potranno essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere (§6.1).

Le analisi di 2° livello sito-specifiche eseguite ai sensi dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011 (§6.1.1.2) ha permesso di confermare che, per quanto concerne l'amplificazione litologica (Z4), i parametri sismici della normativa più recente (D.M.17/01/18 e s.m.i.) sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica assumendo in progetto la Categoria di Sottosuolo C per manufatti con T compreso tra 0,1 s e 0,5 s; in caso di manufatti con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 s si potrà adottare in progetto la categoria di Sottosuolo B derivante dall'applicazione delle NTC 2018.

Sono quindi stati indicati (§6.2) gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica definiti dalle più recenti normative per il sito di progetto (risultati del progetto S1 – INGV).

Per una più mirata definizione della Risposta Sismica Locale per il sito, tenuto conto della tipologia degli edifici di progetto (§2.4.2 NTC-18) e della conseguente strategia di progettazione ordinaria, sono stati definiti i periodi di ritorno  $T_R$ , ed i relativi Spettri di Risposta Elastici e quindi parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , associati a ciascun Stato Limite. Sono stati infine valutati i valori di amplificazione litologica ( $S_s$ ) e morfologica di sito ( $S_t$ ) per alcuni Stati Limite (§6.3). Tali dati potranno essere utilizzati in via preliminare dal Tecnico Progettista delle Strutture per la determinazione dell'Azione Sismica di Progetto e quindi dello Spettro di Progetto Elastico (SLE) o Inelastico (SLU).

Per quanto concerne la *stabilità alla liquefazione* si è ritenuto il sito d'interesse soggetto ad

esclusione alla verifica alla liquefazione ai sensi del D.M. 17/01/8 (§5.4.2).

Sulla base del modello geologico-geotecnico definito (Cap. 5) sono pertanto state identificate le unità geotecniche a caratteristiche geotecniche idonee alla posa delle strutture di fondazione e le modalità progettuali da adottare (vedi Cap. 7) per le nuove strutture di fondazione e più in generale per la corretta realizzazione delle opere.

Sono state infine date alcune indicazioni sulle modalità di esecuzione in condizioni di sicurezza degli scavi di progetto (§8.1) e degli interventi di riprofilatura del rilevato esistente (§8.2) nonché riguardo le linee guida generali per il riutilizzo di eventuali materiali escavati in adempimento alle normative vigenti (§8.3).

Sulla base di quanto sopradescritto l'intervento di progetto, fatte salve le prescrizioni del presente studio e l'applicazione delle norme di vincolo idraulico (Fasce di tutela del Reticolo idrico Principale, aree PAI-PGRA) vigenti, risulta compatibile con le Classi di Fattibilità Geologica individuate e con le Normative di Vincolo Geologico e di Pericolosità Sismica vigenti.

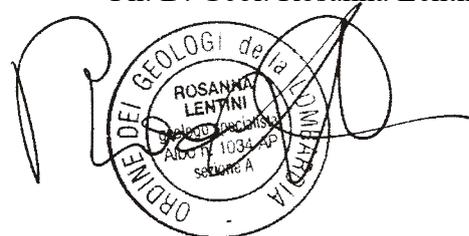
Si rimanda altresì alle specifiche relazioni idrauliche ed alla relazione sulle terre armate per quanto di diretto interesse di tali tematiche.

Essendo il modello geologico-geotecnico ipotizzato sulla base di indagini puntuali, si richiede attenta verifica delle ipotesi fatte nella presente relazione e specifiche integrazioni conoscitive/approfondimenti da eseguirsi in fase di progettazione definitiva ed esecutiva con particolare riguardo alla definizione delle caratteristiche geotecniche e dello spessore dell'unità superficiale.

Si specifica che in adempimento alla normativa vigente (D.M. 17/01/18 e D.G.R 10/5001/2016) la presente relazione geologica può essere utilizzata solo per i siti indicati ed in riferimento all'attuale fase di progettazione preliminare ed agli interventi come definiti nelle tavole cartografiche e nei paragrafi illustrativi. Si diffida qualsiasi differente utilizzo, che sarà perseguibile a norma di legge.

Padenghe sul Garda, 07/03/2023

Ph. D. Geol. Rosanna Lentini

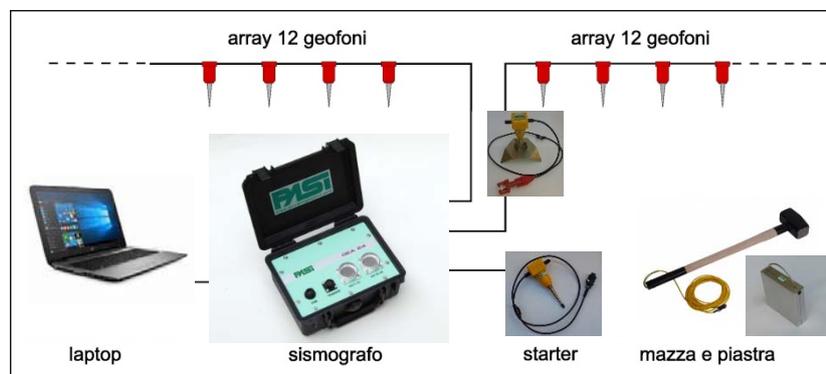


## 0 APPENDICE INDAGINI GEOFISICHE – METODOLOGIE E STRUMENTAZIONI

### 0.1 - Stendimento di sismica attiva con analisi delle onde superficiali ed elaborazione dati di tipo MASW

#### 0.1.1 Acquisizione dati e Strumentazione

L'acquisizione dei dati è avvenuta secondo le modalità “*common-shot gathers*”, utilizzando strumentazione “*Pasi Gea 24*” costituita da una centralina di acquisizione multicanale GEA 24 a 12+12 canali con scheda di acquisizione a 24 bit e interfaccia USB per PC esterno, con collegati 12 o 24 geofoni verticali (PASI – SIS – 911 – 050) con clip singola, puntale da 3” e frequenza di 4,5 Hz.



L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili.

L'energizzazione è stata ottenuta mediante massa battente manovrata a mano (mazza da 8 kg mod. SIS-020-000) agente a percussione su un piattello di battuta in alluminio (SIS-021-000), collocato all'esterno dello stendimento dei geofoni.

La **linea sismica MASW** ha previsto un allineamento con **n° 24 geofoni posti a distanza pari a 2,00 m**.

Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

Per ciascun punto di energizzazione viene applicato in fase di acquisizione dei dati lo *stacking* di 2 *shot* successivi.

Per l'elaborazione dati è stato utilizzato il software winMASW 3C 7.2 (Eliosoft) nella sezione “*single-component analysis (Rayleigh/Love + HV)*”.

### 0.1.2 Cenni sulla metodologia MASW

La procedura di analisi MASW utilizza la propagazione nel sottosuolo delle onde di superficie. Infatti le onde di Rayleigh (o di superficie) in un mezzo non stratificato si propagano in maniera lineare in funzione della distanza del geofono, al contrario in un mezzo stratificato subiscono il fenomeno della dispersione.

La curva di dispersione permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda ( $\lambda$ ), quindi frequenza, è infatti influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di  $\lambda-\lambda/2$ .

La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) è correlabile alla  $V_s$ , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Particolare attenzione nell'interpretazione dei dati deriva dalla considerazione che gli spostamenti indotti dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi* (frequenze diverse), che possono sovrapporsi, soprattutto nel dominio f-k, in funzione dei seguenti fattori:

- distribuzione dell'energia tra i vari modi
- particolari conformazioni geologiche
- *array* utilizzato in fase di acquisizione.

Se avviene tale sovrapposizione, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione e quindi nella successiva inversione. Al fine di individuare i *modi* non correlabili alla successione stratigrafica si eseguono numerosi scoppi a distanze variabili rispetto allo stendimento. Tutte le curve di dispersione vengono quindi visionate prima di procedere al processing del *dataset* prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e non costituiscono un "disturbo".

Anche l'utilizzo associato di altre metodologie di analisi sismica (quali ad esempio la sismica passiva con analisi HVSR) e delle indagini geognostiche (prove penetrometriche, sondaggi, ecc.) permette di vincolare maggiormente il modello interpretativo e di riconoscere in maniera corretta il "modo fondamentale" ed i "modi superiori".

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, la cui validità tecnica e scientifica risulta oramai consolidata, risulti pienamente idonea alla definizione dei dati richiesti soprattutto se associata ad indagini di sismica passiva ed indagini geognostiche.



Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. L'ampiezza delle *Surface Waves* dipende da  $\sqrt{r}$  e non da  $r$  come per le *Body Waves*.
3. Il metodo MASW non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.
4. Il metodo MASW è contraddistinto da una buona risoluzione, a differenza del metodo a riflessione.
5. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

#### 0.1.2.1 Metodi di analisi dei dati con procedura MASW

La stima dell'andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale, viene ottenuta a partire dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura prevede la possibilità di considerare tanto il "modo fondamentale" che quelli "superiori" e consta di due fasi operative principali:

- Determinazione dello spettro di velocità - Individuazione delle curve di dispersione
- Determinazione dell'andamento della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) sulla verticale - Inversione e/o *modelling* diretto della curva di dispersione.

La **determinazione delle curve di dispersione e quindi dello spettro di velocità** può essere eseguita mediante tre metodi:

- f-k
- $\tau$ -p
- *Phase Shift*

Il metodo *Phase Shift* non è influenzato dal *processing* dei dati, mantiene ottime *performance*, in termini di chiarezza del segnale, anche con un numero di tracce estremamente ridotto e ha tempi di calcolo minori rispetto al metodo  $\tau$ -p. La riduzione del numero di tracce provoca invece un sensibile scadimento della qualità dello spettro calcolato tramite trasformata  $\tau$ -p e forte *aliasing* nello spettro f-k. E' spesso utile determinare le curve di dispersione attraverso più metodi, al fine di enfatizzare porzioni di segnale più facilmente poste in evidenza da un metodo piuttosto che da un altro.

La **ricostruzione della distribuzione verticale delle  $V_s$**  rappresenta quindi il passo successivo, cruciale, e comporta alcuni passaggi piuttosto articolati.

La curva di dispersione dipende infatti, oltre che dalla velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), anche dallo spessore degli strati, dalla velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e dalla densità del terreno.

$$V(f) = F(V_s, \text{spessore}, V_p, \text{densità})$$

Ciò implica che la determinazione delle  $V_s$  a partire dalla curva di dispersione e quindi dalla Velocità di fase  $[V(f)]$ , costituisce un problema spiccatamente non lineare. Per la sua risoluzione bisogna quindi procedere ad una linearizzazione del problema (che comporta un certo grado di



approssimazione) o all'utilizzo di algoritmi basati su un approccio non lineare (e.g. Algoritmi Genetici).

## 0.2 Indagini di sismica passiva (HSVR) in campo libero (2021)

La HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una metodologia di indagine geofisica che consente in primo luogo di valutare la **frequenza di vibrazione naturale di un sito** e di conseguenza il **periodo di sito (T)**.

Successivamente, come ulteriore sviluppo ed in caso di segnale con specifiche caratteristiche o di analisi congiunta con altre metodologie di analisi sismica e/o indagini geognostiche, essa può permettere la stima dei sismostrati e del parametro normativo  $V_{s_{eq}}$  attraverso un processo di inversione del problema iniziale. I dati acquisiti in campo libero potranno essere eventualmente confrontati con i valori stimati per l'edificio e le strutture di progetto.

Per l'elaborazione dati è stato utilizzato il software winMASW 3C 7.2 (Eliosoft) nelle sezioni "passive seismics (ReMi, ESAC & HVSr)" e successivamente "single-component analysis (Rayleigh/Love + HV)".

### 0.2.1 Acquisizione dati - Strumentazione

L'indagine viene realizzata disponendo in posizione orizzontale un geofono tridirezionale, infiggendolo nel terreno con appositi puntali regolabili. Il geofono viene orientato con l'asse Y rivolto a Nord per poter valutare la direzionalità di eventuali sorgenti di rumore dominanti.

Nella campagna di indagine in oggetto è stata predisposta **n° 1 registrazione (HVSr 1)** della lunghezza di 1200 secondi (20 min).

Il geofono 3D è stato posizionato a quota del piano campagna su terreno vegetale. Nel sito di indagine non sono state rilevate fonti di rumore antropico o naturale in grado di interferire significativamente con il segnale sismico acquisito.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Geofono 3D di superficie – Modello 3DLG-2, dotato di un geofono tridirezionale frequenza propria di risonanza pari a 2 Hz, collegato allo strumento tramite cavo elettrico schermato.

Geofono 3D- Modello 3DLG- 2 collegato alla centralina di acquisizione multicanale GEA 24



Lo strumento è in grado di acquisire simultaneamente sui 3 canali. La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

## 0.2.2 Cenni sulla metodologia HVSR

La **HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** è una metodologia di indagine geofisica che consente di valutare la **frequenza di vibrazione naturale di un sito**.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Lo strumento acquisisce in continuo per almeno 20 minuti i segnali sismici in tre direzioni ortogonali tra loro provenienti dalle vibrazioni indotte nel terreno da fonti naturali o artificiali. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo.

Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali i tempi di arrivo al geofono tridirezionale, le frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione dei dati acquisiti è stata effettuata con un *software* dedicato (*Winmasw 3C/7.2*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi e restituzione finale.

La fase iniziale consiste in un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o liscio secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia.



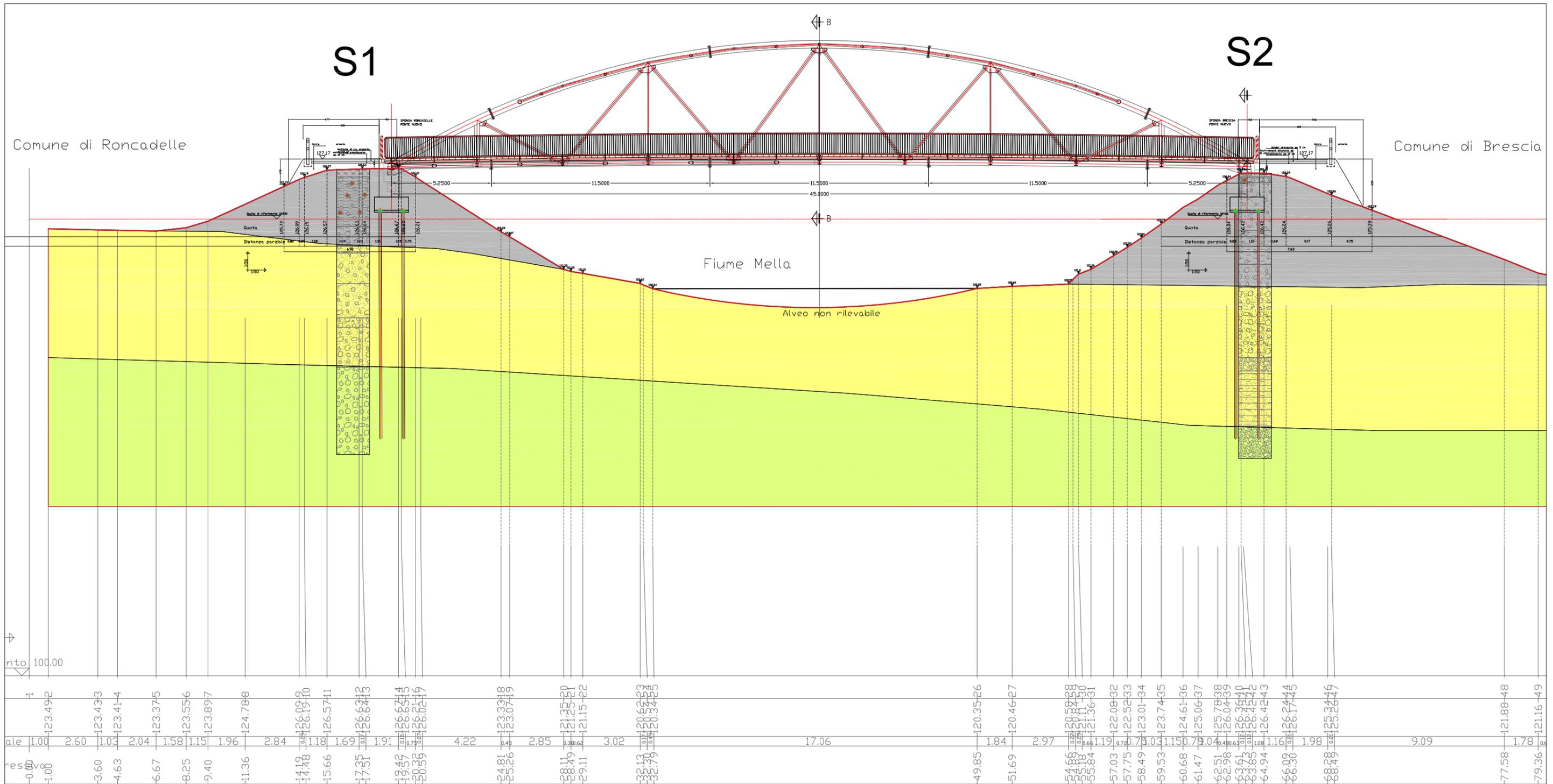
Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.



# SEZIONE GEOLOGICO GEOTECNICA SCHEMATICA

Scala 1: 200



Profondità (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Quota	123.492	123.433	123.414	123.375	123.556	123.897	124.788	126.099	126.191	126.571	126.673	126.744	126.874	126.851	126.819	123.331	123.071	121.251	121.152	120.623	120.375	120.352	120.462	120.588	120.581	121.363	122.083	122.523	123.013	123.743	124.613	125.063	125.783	126.043	126.344	126.385	126.424	126.423	126.744	125.244	121.884	121.164							
Distanza	1.00	2.60	1.03	2.04	1.58	1.15	1.96	2.84	1.18	1.69	1.91	1.91	4.22	2.85	3.02	17.06	1.84	2.97	1.19	0.72	0.75	0.03	1.15	0.79	0.04	0.63	0.75	0.75	1.15	0.79	0.04	0.63	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		
Spessore	0.00	1.00	3.60	4.63	6.67	8.25	9.40	11.36	14.19	14.48	15.66	17.31	18.57	19.57	20.35	24.81	25.26	28.11	28.49	29.11	32.73	32.79	49.85	51.69	54.68	55.18	55.84	57.03	57.75	58.49	59.53	60.68	61.47	62.51	62.98	63.93	63.85	64.94	66.03	68.28	77.58	79.36							

**Legenda**

- Unità R1 - Terreno vegetale/ rimaneggiato / riporto**
- Unità AL - Depositi alluvionali**  
Sabbia debolmente limosa da debolmente ghiaiosa a con ghiaia, di colore nocciola/grigio e da ghiaia con rari ciottoli con sabbia di colore grigio, da mediamente addensata ( $N_{SPT}=11-17$  e  $26-27$ ) a molto addensata ( $N_{SPT}>50$ )
- Unità AL/FG - Depositi alluvionali / fluvio-glaciali**  
Ghiaia con sabbia limosa di colore da grigio a marrone, umida, addensata ( $N_{SPT} \rightarrow 35-50$  colpi).

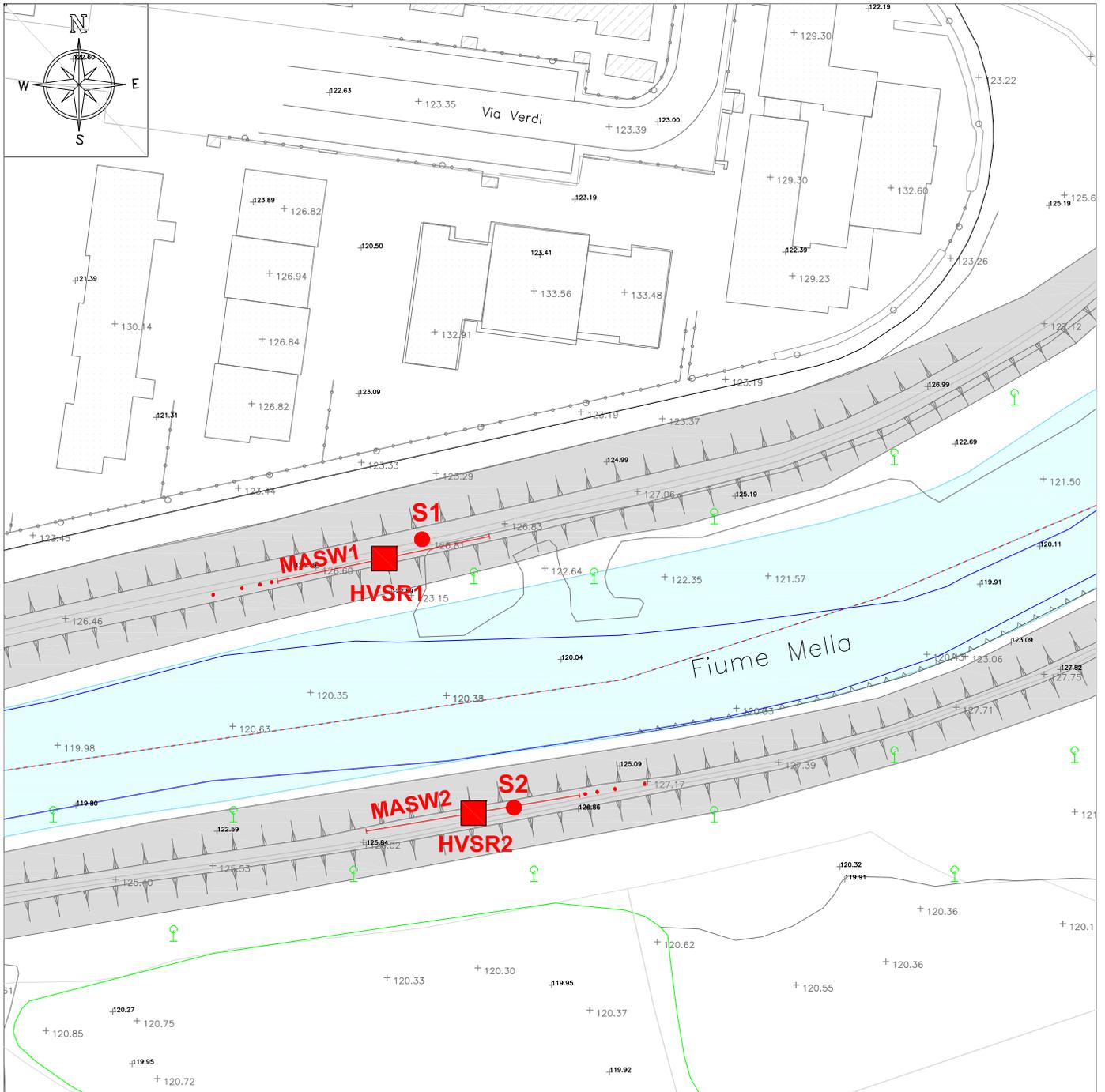
**S1**

**Sondaggio geognostico**

# AREA 2 - PONTE CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA (BRESCIA - RONCADELLE)

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI

Scala 1: 1000



LEGENDA:



Materiali di riporto (argini)

**S1**

Sondaggio a carotaggio continuo

**MASW1**

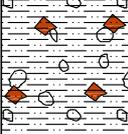
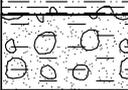
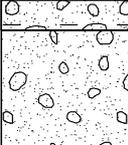
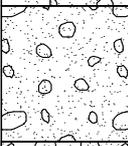
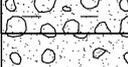
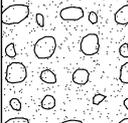
Indagine lineare di simca attiva (MASW)

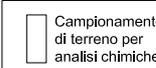
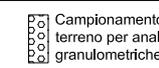
**HVSRI1**

Indagine puntuale di sismica passiva (HVSRI)

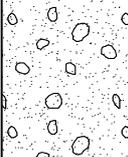
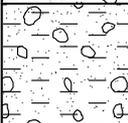
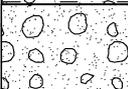
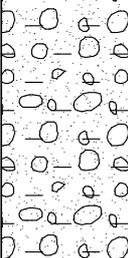
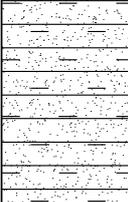
 Prova di permeabilità a carico variabile	 Prova di permeabilità a carico costante	Carotiere diam: 101 mm	Quota raggiunta: 15,0 m da p.c.
		Rivestimento diam: 127 mm	Quota raggiunta: 13,5 m da p.c.
 Campionamento di terreno per analisi chimiche	 Campionamento volatili	 Campionamento di terreno per analisi granulometriche	 Campionamento di terreno per la ricerca di FOC
		Soggiacenza	
		Data e ora lettura	

Profondità m da p.c.	Stratigrafia	Campioni	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Profondità m da p.c.	SPT	Piezometro Ø = 2"	Prova di Permeabilità
----------------------	--------------	----------	------------------------	----------------------	-----	-------------------	-----------------------

0,40			<b>TERRENO DI RIPORTO</b> Terreno vegetale limoso sabbioso debolmente ghiaioso, con apparati radicali, umido, di colore marrone.				
			Sabbia limosa debolmente ghiaiosa con frammenti di laterizio, addensata, debolmente umida, di colore marrone.	1,50	36 30 20		
3,00			Sabbia debolmente limosa ghiaiosa a clasti eterometrici poligenici, da subarrotondati a subangolari, moderatamente addensata, debolmente umida, di colore marrone chiaro.	3,0	21 14 16		
4,00			<b>TERRENO NATURALE</b>				
4,40			Sabbia debolmente limosa con ghiaia a clasti eterometrici poligenici e subarrotondati, moderatamente addensata, debolmente umida, di colore nocciola.	4,50	8 6 5		
			Sabbia debolmente ghiaiosa e rari ciottoli a clasti eterometrici (diam. max > 10 cm) poligenici e subarrotondati, moderatamente addensata, asciutta, di colore grigio.	6,00	10 8 9		
6,00			Sabbia ghiaiosa con rari ciottoli a clasti eterometrici (diam. max 9 cm) poligenici da subarrotondati a subangolari, moderatamente addensata, asciutta di colore grigio.				
7,80			Sabbia limosa con ghiaia a clasti eterometrici (diam. max 9 cm) poligenici e subangolari, moderatamente addensata, umida, di colore marrone.	7,50	9 12 15		
8,30			Sabbia con ghiaia e rari ciottoli a clasti eterometrici (diam. max > 10 cm) poligenici e subarrotondati, da moderatamente addensata ad addensata, umida, di colore grigio.	9,00	21 14 12		
10,40			Ghiaia e rari ciottoli con sabbia a clasti eterometrici (diam. max 10 cm) poligenici e subarrotondati, addensata, umida, di colore grigio.	10,50	23 25 23		
				12,00	24 22 17		
				13,50	32 24 22		
15,00				15,00	27 19 16		
<p>La descrizione dei terreni è stata eseguita utilizzando il criterio granulometrico per la descrizione delle terre (AGI 1977), secondo cui il terreno viene denominato gerarchicamente con il nome della frazione percentuale maggiore. Successivamente, la frazione gerarchicamente inferiore viene introdotta con il termine "con" se la percentuale è compresa tra il 25% e il 50% oppure con il suffisso "...oso" se la percentuale è compresa tra il 10% e il 25%, oppure dal suffisso "debolmente ...oso" se la percentuale è compresa tra il 5% e il 10%. Nella nomenclatura si trascura la frazione inferiore al 5%.</p>							

 Piezometro fessurato	 Piezometro cieco	 Ghiaietto	 Cemento Bentonite	 Compactionite	 Sabbia	Carotiere diam: 101 mm	Quota raggiunta: 15,0 m da p.c.
						Rivestimento diam: 127 mm	Quota raggiunta: 13,5 m da p.c.
 Campionamento di terreno per analisi chimiche	 Campionamento volatili	 Campionamento di terreno per analisi granulometriche	 Campionamento di terreno per la ricerca di FOC	Soggiacenza			
				Data e ora lettura			

Profondità m da p.c.	Stratigrafia	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Profondità m da p.c.	SPT	Piezometro Ø = 2"	Prova di Permeabilità
----------------------	--------------	------------------------	----------------------	-----	-------------------	-----------------------

0,20		<b>TERRENO DI RIPORTO</b> Terreno vegetale limoso sabbioso, con apparati radicali, umido, di colore marrone.				
0,50		Sabbia limosa con ghiaia e ciottoli (diam. max 9 cm), e con presenza di frammenti di laterizio, umida, di colore marrone.				
		Sabbia ghiaiosa con rari ciottoli a clasti eterometrici (diam. max 9 cm) poligenici, da subarrotondati a subangolari, moderatamente addensata, asciutta, di colore grigio.	1,50	5 7 7		
3,00		Sabbia debolmente limosa con ghiaia e rari ciottoli. Clasti eterometrici (diam. max 8 cm) poligenici, da subangolari a subarrotondati. addensata, debolmente umida, di colore marrone - grigio.	3,00	23 19 24		
4,80		Sabbia ghiaiosa con rari ciottoli e clasti eterometrici (diam. max 10 cm) poligenici, subarrotondati, addensata, asciutta, di colore marrone - grigio.	4,50	17 35 38		
6,00		<b>TERRENO NATURALE</b> Sabbia debolmente limosa con ghiaia e rari ciottoli. Clasti eterometrici (diam. max 9 cm) poligenici, subarrotondati, molto addensata, debolmente umida, di colore marrone - grigio.	6,00	33 32 26		
7,50			7,50	36 45 45		
9,70			9,00	40 38 28		
10,40		Ghiaia e rari ciottoli a clasti eterometrici (diam. max 8 cm) poligenici, subarrotondati, con sabbia, molto addensata, umida, di colore marrone - grigio.	10,50	3 7 9		
		Sabbia medio fine limosa, argillosa., da scarsamente a moderatamente addensata, molto umida, di colore nocciola.	12,00	2 2 3		
13,30		Ghiaia e rari ciottoli a clasti eterometrici (diam. max 9 cm) poligenici, subarrotondati, con sabbia limosa, addensata, umida, di colore marrone.	13,50	31 30 20		
15,00			15,00	27 22 26		
<p>La descrizione dei terreni è stata eseguita utilizzando il criterio granulometrico per la descrizione delle terre (AGI 1977), secondo cui il terreno viene denominato gerarchicamente con il nome della frazione percentuale maggiore. Successivamente, la frazione gerarchicamente inferiore viene introdotta con il termine "con" se la percentuale è compresa tra il 25% e il 50% oppure con il suffisso "...oso" se la percentuale è compresa tra il 10% e il 25%, oppure dal suffisso "debolmente ...oso" se la percentuale è compresa tra il 5% e il 10%. Nella nomenclatura si trascura la frazione inferiore al 5%.</p>						

## SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO



**POSTAZIONE SONDAGGIO S1 (lato Roncadelle)**



**CASSA 1: 0,00 / -5,00 m**



**Sede operativa:** Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS) - Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

E-mail: [info@lentinirosannageologia.it](mailto:info@lentinirosannageologia.it) - Sito Web: [www.lentinirosannageologia.it](http://www.lentinirosannageologia.it)

E-mail dedicate: [amministrazione@lentinirosannageologia.it](mailto:amministrazione@lentinirosannageologia.it) - [ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it](mailto:ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it)

**Sede Legale:** Via Dugali, 34 - 25080 Padenghe sul Garda (BS) - C.F. LNTRNN69C43C351F - P. I.V.A. 01940640988



**CASSA 2: -5,00 / -10,00 m**



**CASSA 3: -10,00 / -15,00 m**





**POSTAZIONE SONDAGGIO S2 (lato Brescia)**



**CASSA 1: 0,00 / -5,00 m**



**Sede operativa:** Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS) - Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

E-mail: [info@lentinosannageologia.it](mailto:info@lentinosannageologia.it) - Sito Web: [www.lentinosannageologia.it](http://www.lentinosannageologia.it)

E-mail dedicate: [amministrazione@lentinosannageologia.it](mailto:amministrazione@lentinosannageologia.it) - [ufficiotecnico@lentinosannageologia.it](mailto:ufficiotecnico@lentinosannageologia.it)

**Sede Legale:** Via Dugali, 34 - 25080 Padenghe sul Garda (BS) - C.F. LNTRNN69C43C351F - P. I.V.A. 01940640988



**CASSA 2: -5,00 / -10,00 m**



**CASSA 3: -10,00 / -15,00 m**



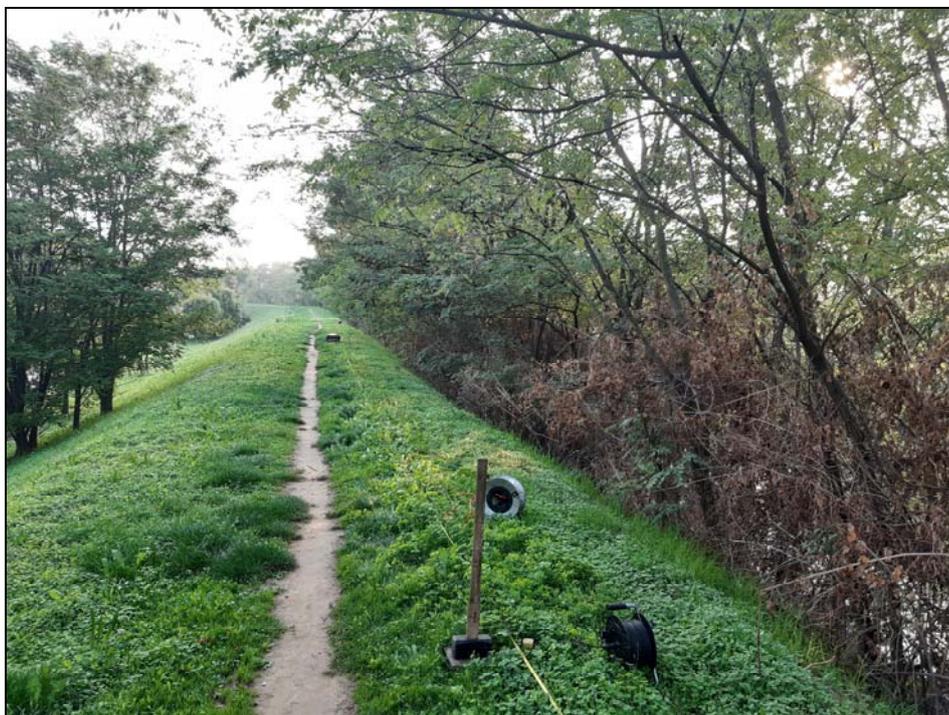
Sede operativa: Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS) - Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

E-mail: [info@lentinirosannageologia.it](mailto:info@lentinirosannageologia.it) - Sito Web: [www.lentinirosannageologia.it](http://www.lentinirosannageologia.it)

E-mail dedicate: [amministrazione@lentinirosannageologia.it](mailto:amministrazione@lentinirosannageologia.it) - [ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it](mailto:ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it)

Sede Legale: Via Dugali, 34 - 25080 Padenghe sul Garda (BS) - C.F. LNTRNN69C43C351F - P. I.V.A. 01940640988

## INDAGINI SISMICHE



INDAGINE LINEARE DI SISMICA ATTIVA (MASW1 lato - Roncadelle)



INDAGINE PUNTUALE DI SISMICA PASSIVA (HVSr1 – lato Roncadelle)



**Sede operativa:** Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS) - Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

**E-mail:** [info@lentinirosannageologia.it](mailto:info@lentinirosannageologia.it) - **Sito Web:** [www.lentinirosannageologia.it](http://www.lentinirosannageologia.it)

**E-mail dedicate:** [amministratore@lentinirosannageologia.it](mailto:amministratore@lentinirosannageologia.it) - [ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it](mailto:ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it)

**Sede Legale:** Via Dugali, 34 - 25080 Padenghe sul Garda (BS) - C.F. LNTRNN69C43C351F - P. I.V.A. 01940640988



**INDAGINE LINEARE DI SISMICA ATTIVA (MASW2 - lato Brescia)**



**INDAGINE PUNTUALE DI SISMICA PASSIVA (HVSAR2 - lato Brescia)**



**Sede operativa:** Via Verdi , 9 – 25080 Padenghe sul Garda (BS) - Tel/Fax 030 9914222 - cell. 3396012311

**E-mail:** [info@lentinirosannageologia.it](mailto:info@lentinirosannageologia.it) - **Sito Web:** [www.lentinirosannageologia.it](http://www.lentinirosannageologia.it)

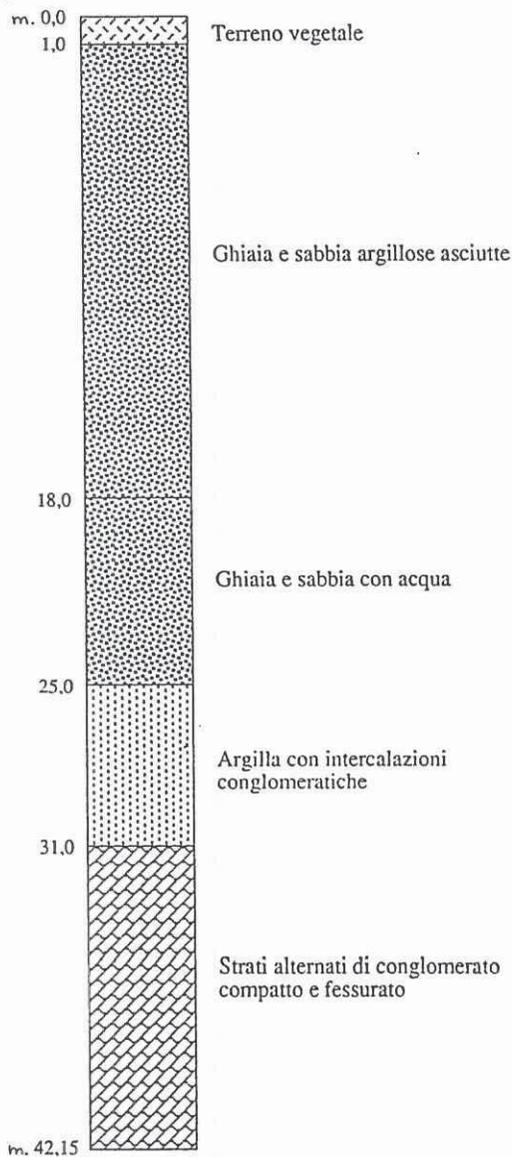
**E-mail dedicate:** [amministratore@lentinirosannageologia.it](mailto:amministratore@lentinirosannageologia.it) - [ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it](mailto:ufficiotecnico@lentinirosannageologia.it)

**Sede Legale:** Via Dugali, 34 - 25080 Padenghe sul Garda (BS) - C.F. LNTRNN69C43C351F - P. I.V.A. 01940640988

### POZZO 38 (FRAO S.p.A.)

Ubicazione: V. Girelli  
 Proprietà: FRAO S.p.A. (utilizzato da ASM Brescia)  
 Ditta perforatrice: ITA  
 Data di perforazione: -

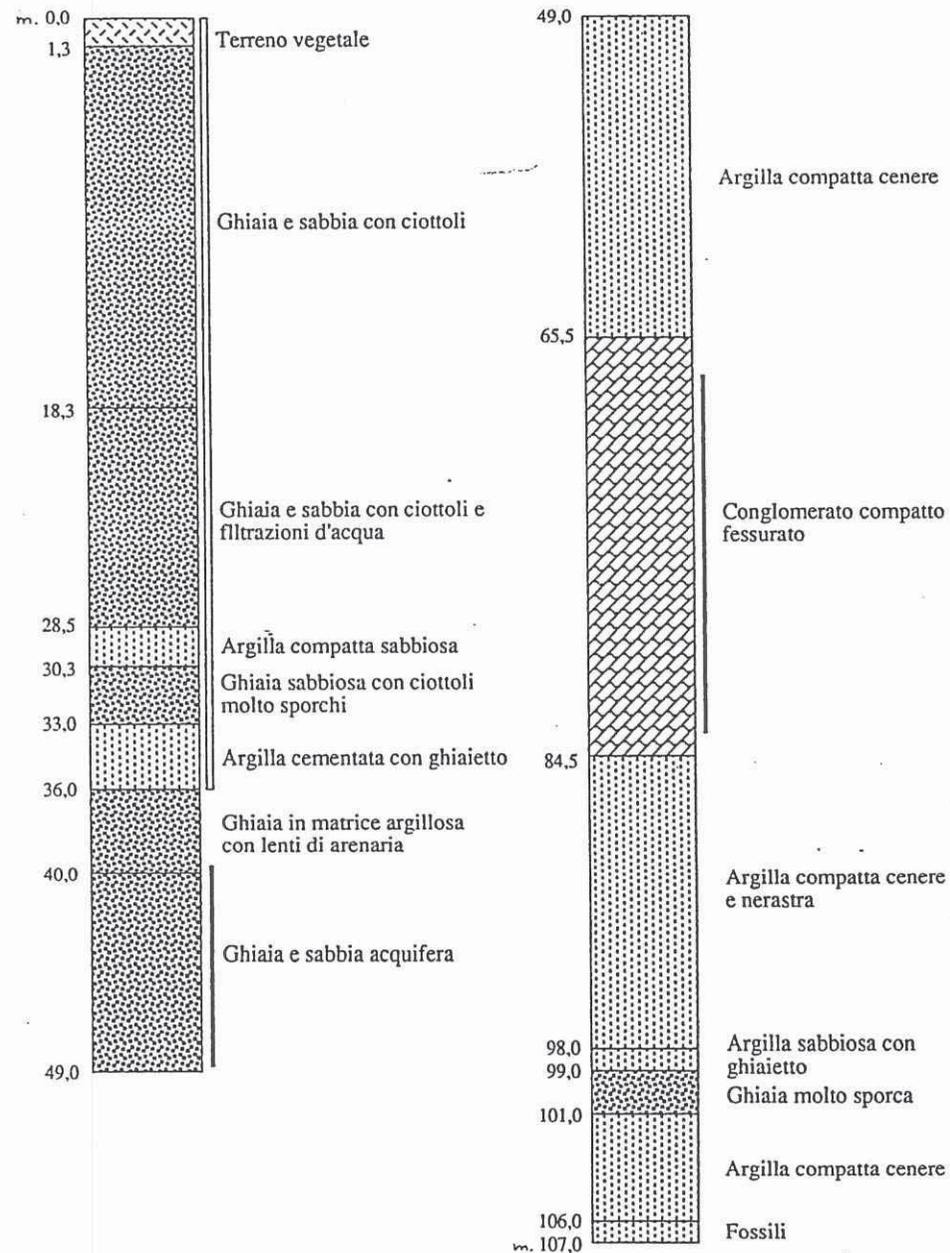
Diametro: -  
 Portata: 25 l/sec  
 Livello statico: - 10,2 dal p.c. (Set. '94)  
 Livello dinamico: - 10,7 dal p.c. (Set. '94)



### POZZO 39 (Caionvico)

Ubicazione: V. Salodiana (Caionvico)  
 Proprietà: ASM Brescia  
 Ditta perforatrice: IPTA - Torbole C. (BS)  
 Data di perforazione: 1992

Diametro (in mm): 457 (0-37 m), 323 (38-107 m)  
 Portata: 45 l/sec  
 Livello statico: - 18,6 dal p.c. (Set. '94)  
 Livello dinamico: - 21,6 dal p.c. (Set. '94)



proprietario del pozzo : WUHRER - Via Bornata

perforatore : Ballerini & Yalla

anno di perforazione : n.c.

STRATIGRAFIA :

da mt. 0.00 a mt. 1.50	terreno di riporto
1.50	11.00 argilla melmosa
11.00	21.10 argilla gialla
21.10	24.00 ghiaia argillosa
24.00	27.00 argilla scura
27.00	29.00 conglomerato
29.00	29.50 argilla gialla
29.50	30.00 conglomerato
30.00	32.25 <u>ghiaia con sabbia</u>
32.25	33.00 argilla gialla
33.00	34.70 <u>ghiaia con sabbia</u>
34.70	38.70 argilla gialla
38.70	39.00 sabbia con ghiaia
39.00	39.80 argilla gialla
39.80	42.20 <u>ghiaia con sabbia</u>
42.20	45.00 argilla gialla
45.00	46.50 <u>ghiaia e sabbia</u>
46.50	47.00 argilla cenere
47.00	48.00 torba
48.00	49.50 argilla con trovanti
49.50	54.50 argilla scura
54.50	57.40 conglomerato
57.40	60.00 <u>ghiaia e sabbia</u>
60.00	61.00 argilla gialla
61.00	64.00 <u>ghiaia con sabbia</u>
64.00	65.40 argilla gialla
65.40	72.40 ghiaia argillosa

Livello statico : -39.00 mt. dal p.c.

livello dinamico : -40.00 mt. dal p.c.

portata : l/sec 40

portata specifica: l/sec 40 per metro di abbassamento

I.T.A.  
IMPRESA TRIVELLAZIONI ARTESIANE  
BRESCIA

Brescia, 19.1.72.-LB/

Spett.S.p.A.

F R A O

B R E S C I A

Costruzione pozzo trivellato n° 1 - Stabilimento Via Girelli -

- Colonna definitiva ø 400 mm. -

cieco	fessurato	Totale
2,00	5,00	7,00
-	5,00	5,00
5,98	-	5,98
6,21	-	6,21
5,65	-	5,65
5,66	-	5,66
6,19	-	6,19
<hr/>		
31,69	10,00	41,69

- Stratificazioni attraversate -

da ml. 0,00 a ml. 0,50	= materiale di riporto
da ml. 0,50 a ml. 2,70	= terra vegetale
da ml. 2,70 a ml. 10,50	= ghiaia argillosa
da ml. 10,50 a ml. 15,50	= ghiaia e sabbia argillosa - <u>Filtrazioni</u>
da ml. 15,50 a ml. 16,50	= argilla
da ml. 16,50 a ml. 24,00	= <u>ghiaia e sabbia argillosa</u>
da ml. 24,00 a ml. 40,00	= <u>ghiaia e sabbia</u>
da ml. 40,00 a ml. 42,00	= argilla

*“ Schede di stima degli effetti litologici – Analisi sismiche di 2° livello ”  
(All. 5 DGR 9/2616/2011)*





## STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

secondo le procedure dell'All. 5 - D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

### TERRENO LIMOSO SABBIOSO - TIPO 2

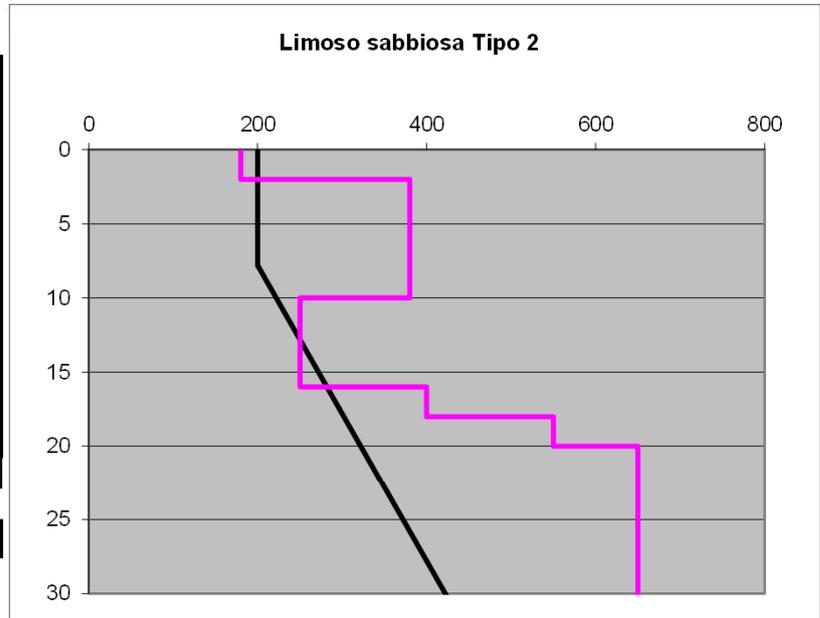
Prof base	Nspt	Vs
0		
2		180
10		380
16		250
18		400
20		550
60		650
90		1200
140		900
Oltre 60 m		> 800

<b>Vs 30</b>	374	Cat. B
--------------	-----	--------

<b>PERIODO DEL SITO (*)</b>	
T	0,439

<b>PRIMO STRATO</b>	
Prof. base	10
Vs	340

<b>Curva caratteristica</b>	
n°	3



Limosa sabbiosa 2

		Profondità primo strato																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60
velocità primo strato	200				1	1	1	1	1	1	1												
	250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1							
	300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2							
	350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
	400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
	450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
	600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

### VERIFICA

#### Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s	1,8
-------------------	-----

0,5 s < T < 1,5 s	1,4
-------------------	-----

#### COMUNE DI BRESCIA

#### Valori Fa di soglia

Terreni di tipo:

B	C	D	E
1,4	1,8	2,2	2
1,7	2,4	4,2	3,1

(\*) periodo di sito derivante dalla Normativa Regionale

**Indagine: AREA 2 - PONTE CICLOP. LATO BRESCIA**

Località BRESCIA

Cat. di sottosuolo ai sensi del D.M. 17/01/18: B

  Cat. di sottosuolo di sito ai sensi del D.M. 17/01/18

  Cat. di sottosuolo da adottare in progetto a seguito dell'analisi di II livello secondo le procedure dell'All. 5 D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011



