

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V./A.C. MILANO-VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I N 1 M 1 0 D 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Senni	Ottobre 2021	F. Paolucci Dott. Francesco Paolucci	Ottobre 2021	L. Barchi	Novembre 2021	M. Comedini Novembre 2021



File: IN1M10D69RGGE0001001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA.....	5
	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	9
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	9
2.1.1	<i>Assetto strutturale</i>	9
2.1.2	<i>Assetto stratigrafico</i>	11
2.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	15
2.3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO	19
3	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI.....	24
3.1	VINCOLO IDROGEOLOGICO E PAESAGGISTICO	24
3.2	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO	26
4	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DI DETTAGLIO.....	27
5	INDAGINI.....	29
5.1	PREMESSA.....	29
5.2	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2021 (PD POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA).....	29
5.3	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2019 (PE DEMOLIZIONE E COMPLETAMENTO BONIFICA)	31
5.3.1	<i>Indagini in Sito</i>	31
5.4	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	32
5.5	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2018 (PFTE TRAMVIA DI BRESCIA).....	33

5.6	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2012/2013 (PE INGRESSO URBANO)	34
6	INQUADRAMENTO SISMICO.....	36
6.1	PREMESSA.....	36
6.2	ZONAZIONE SISMICA DEL PGT DEL COMUNE DI BRESCIA	38
6.3	AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE.....	39
6.4	FAGLIE ATTIVE.....	43
6.5	INTENSITÀ MACROSISMICHE.....	44
6.6	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	45
6.6.1	<i>Generalità.....</i>	45
6.6.2	<i>Vita utile e classe d'uso.....</i>	46
6.6.3	<i>Stati limite e probabilità di superamento</i>	47
6.6.4	<i>Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g</i>	48
6.6.5	<i>Risposta sismica locale.....</i>	50
6.7	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	53
7	CONCLUSIONI.....	56
8	BIBLIOGRAFIA.....	58

TAVOLE DI RIFERIMENTO

Descrizione	Scala	Codifica																				
		I	N	1	M	1	0	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica	1:2000	I	N	1	M	1	0	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Profilo geologico (1/2)	1:2000/500	I	N	1	M	1	0	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Profilo geologico (2/2)	1:2000/500	I	N	1	M	1	0	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta idrogeologica	1:2000	I	N	1	M	1	0	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Profilo idrogeologico (1/2)	1:2000/500	I	N	1	M	1	0	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Profilo idrogeologico (2/2)	1:2000/500	I	N	1	M	1	0	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Planimetria ubicazione indagini	1:5000	I	N	1	M	1	0	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A

ELABORATI DI RIFERIMENTO

Descrizione	Scala	Codifica																				
		I	N	1	M	1	0	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Elaborato indagini	-	I	N	1	M	1	0	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Elaborato geofisica	-	I	N	1	M	1	0	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Elaborato prove di laboratorio	-	I	N	1	M	1	0	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Relazione indagini pregresse	-	I	N	1	M	1	0	D	6	9	R	H	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A

1 PREMESSA

L'attivazione della tratta AV/AC Milano – Brescia del 2016 ha consentito di liberare la capacità sulla linea storica Milano-Venezia anche per traffici merci da/per Milano. L'incremento di traffico futuro sull'asse ferroviario Torino-Venezia, richiede, tra gli altri, l'intervento di potenziamento dello Scalo di Brescia (Figura 1.1 e 1.2).

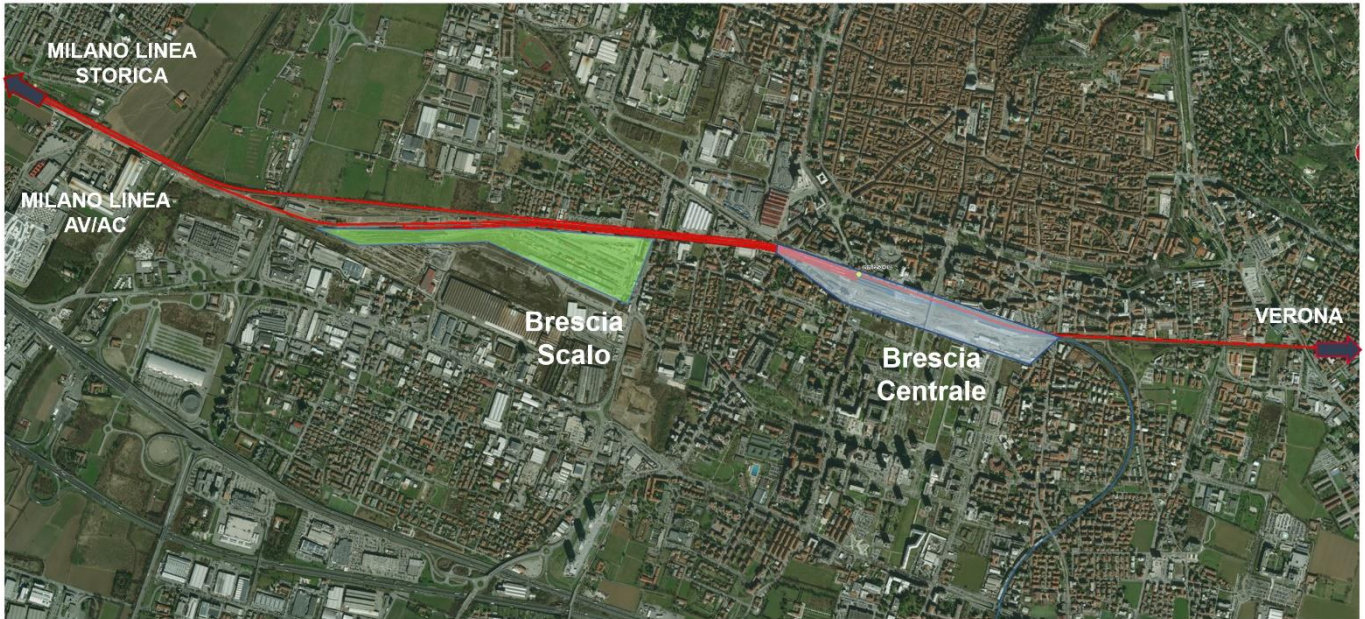


Figura 1-1 - Inquadramento area progetto - Brescia Scalo.

In tale scenario si inserisce il progetto in parola che deve compatibilizzare l'impianto attuale di Brescia (attivazione di fase 4) alle esigenze del futuro terminal intermodale di competenza di TerAlp, il quale sarà realizzato a sud dello scalo e comunicherà con il fascio merci dello scalo di Brescia. Il Terminal intermodale di TerAlp non è oggetto del presente progetto.

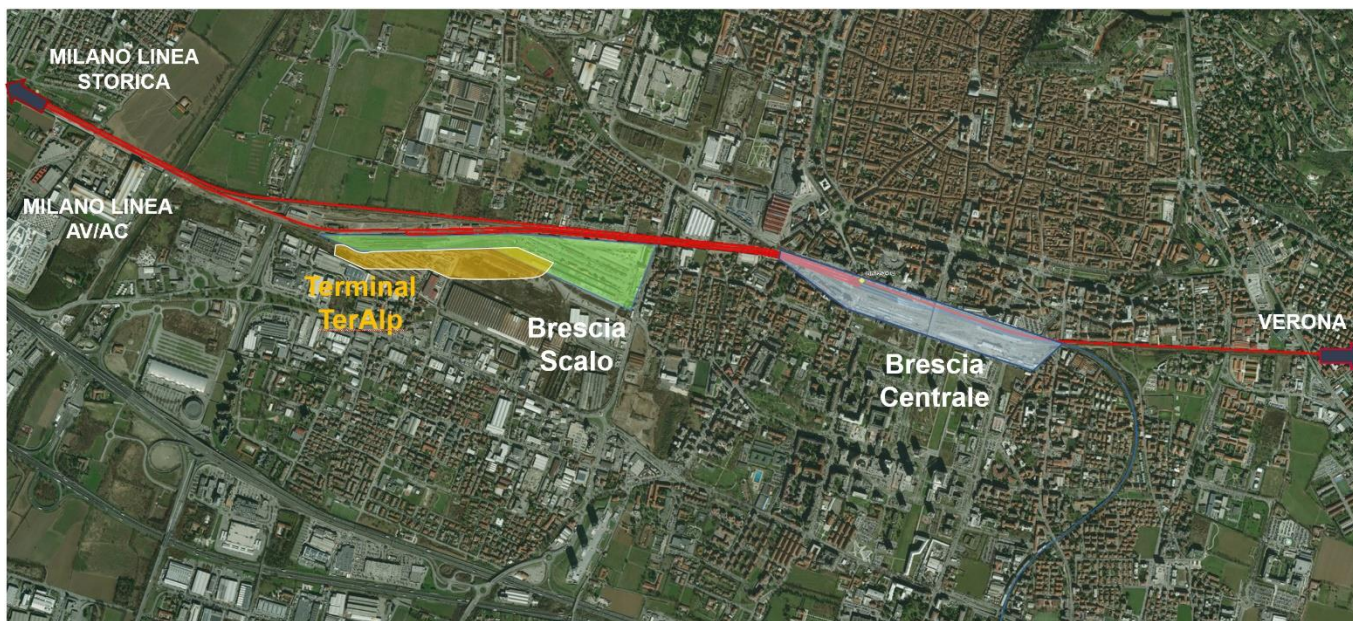


Figura 1-2 - Inquadramento area progetto e terminal TerAlp - Brescia Scalo.

In particolare, il Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia prevede l'adeguamento del fascio A/P del terminal e delle aste di manovra alle esigenze del futuro terminal intermodale; la realizzazione del nuovo PRG di scalo, per adeguarlo alle nuove esigenze di traffico merci, e la realizzazione di un'asta di manovra da 750 metri lato Milano, che permetterà l'instradamento dei treni verso Verona.

Nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche:


1. Inquadramento geografico.
2. Inquadramento generale dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici.
3. Cartografia del rischio e vincoli territoriali.
4. Descrizione delle indagini geognostiche pregresse.
5. Descrizione stratigrafica di dettaglio lungo il tracciato.
6. Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento.

A corredo della presente relazione è stata redatta la cartografia geologica e idrogeologica di riferimento con relativi profili elaborati sulla base delle informazioni stratigrafiche e idrogeologiche disponibili lungo la tratta.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- RFI DTC SI AG MA IFS 002 A del Dic. 2018: Manuale di progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 7 – Geologia.
- Tariffa IG di RFI in vigore.
- RFI DTC SI SP IFS 001 B del 22-12-2018 “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Sez. 3 – Rilievi geologici e indagini geognostiche”.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).
- RFI DTC INC LG IFS 001 A del 21-12-2012 – “Linea guida per la definizione della graduatoria di priorità dei tratti dell'infrastruttura ferroviaria interessati da fenomeni di dissesto idrogeologico, in base al valore di rischio ferroviario”.

- RFI DTC INC LG IFS 002 A del 09-07-2018 – “Procedure e interventi di protezione della sede dai fenomeni di dissesto idrogeologico”.
- PGT Comune di Brescia, aggiornamento del 2018.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA					
	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 9 di 93

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area d'interesse si sviluppa nel settore orientale della regione Lombardia, nella parte sud-occidentale del territorio comunale di Brescia, il quale occupa una superficie di 90.34 km² e presenta un massimo altimetrico pari a circa 874 m s.l.m. in corrispondenza del rilievo del M. Maddalena ed un minimo di circa 104 m s.l.m. in prossimità del confine meridionale. La parte più occidentale del tracciato è situata al confine con il comune di Roncadelle.

Le opere in progetto sono situate in un'area pianeggiante ed individuate nel poligono rosso evidenziato in Figura 2-1.




Figura 2-1 - Immagine aerea dell'area di Brescia, in rosso si evidenzia l'area di progetto e oggetto di studio. (Immagine, non in scala, da Google Earth).

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1.1 Assetto strutturale

L'area in esame è situata in corrispondenza dell'alta pianura lombarda, tra la zona montana-collinare inserita nell'ambiente prealpino che si raccorda mediante una fascia pedemontana al settore di pianura. Gli elementi che hanno formato la pianura, così come appare attualmente, sono l'attività neotettonica, l'azione dei ghiacciai e l'attività dei corsi d'acqua, che hanno depositato i materiali presenti in sito. L'elemento tettonico più significativo nell'ambito del territorio in esame è rappresentato dal sovrascorrimento del Monte Maddalena, piano di dislocazione orientato circa in senso NNE - SSO (direzione giudicariense) localmente disturbato da faglie trasversali, che ha portato i litotipi della Corna (vedi paragrafo 2.1.2) ad accavallarsi, scorrendo verso Est, su terreni più recenti ripiegati a costituire la struttura sinclinale di Botticino Sera. La porzione meridionale del sovrascorrimento ricade nel territorio di Brescia, a

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA					
	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 10 di 93

NO della località Caionvico (Figura 2-2), dove assume un andamento meridiano. L'area di studio, compresa nel settore prealpino bresciano orientale, è caratterizzata da un substrato roccioso rappresentato da unità stratigrafiche mesozoiche a litologia carbonatica ed in subordine calcareo-marnosa. Il substrato roccioso è interessato dalla presenza di coperture di origine gravitativa, di limitato spessore, derivanti dall'alterazione del substrato roccioso e accumulate in genere alla base dei versanti, nelle zone di rottura di pendio o in corrispondenza del bordo della pianura. Nel settore di pianura si hanno depositi alluvionali riferibili essenzialmente agli scaricatori glaciali quaternari ripresi successivamente dai corsi d'acqua Rio Rino, Rio della Valle di Virle ed il Fiume Chiese.

La successione carbonatica mesozoica è stata intensamente interessata da sovrascorrimenti e strutture plicative durante il Miocene. I sistemi di dislocazione che interessano il substrato roccioso sono globalmente riconducibili alle direttrici tettoniche regionali e identificabili con il Sistema Orobico o della Val Trompia, il Sistema Giudicariense ed il Sistema Dinarico. Il sovrascorrimento di Monte Maddalena può essere considerato la prosecuzione del sovrascorrimento di Tignale-Tremosine e risulta l'elemento strutturale principale dell'intera regione prealpina orientale bresciana. Si tratta di una struttura di importanza regionale ascrivibile alla fase di deformazione giudicariense ed è in grado di esercitare un forte controllo sulle strutture minori.

Il fianco occidentale della struttura sinclinalica di Botticino, al cui nucleo affiora la Scaglia Lombarda (paragrafo 2.1.2) verso Ovest, viene in contatto stratigrafico con i più recenti termini del Medolo (calcari più o meno marnosi), i cui litotipi si spingono fino a ridosso del centro storico della città di Brescia.

I depositi presenti nell'area di studio appartengono, in gran parte, al cosiddetto "Livello fondamentale della pianura", costituito da sedimenti in prevalenza grossolani, appartenenti agli eventi fluvioglaciali del Riss e del Würm. Si tratta di materiale proveniente dalle cerchie moreniche e trasportato dai corsi d'acqua, successivamente ridepositato dopo una selezione granulometrica. Si nota infatti una progressiva diminuzione della granulometria dei sedimenti da Nord a Sud. La separazione tra i due eventi fluvioglaciali è stata oggetto di dispute accademiche; gli Autori della Cartografia Ufficiale (Boni et alii) sottolineano che i depositi denominati "fgw" rappresentano gli eventi wurmiani, mentre quelli denominati "fg" sono considerati da alcuni autori come depositi più antichi (Riss), da altri invece come una variazione granulometrica verso monte dell'unità precedente. La linea delle risorgive, situata qualche chilometro a sud rispetto all'area di interesse, è la separazione tra le due unità stratigrafiche.

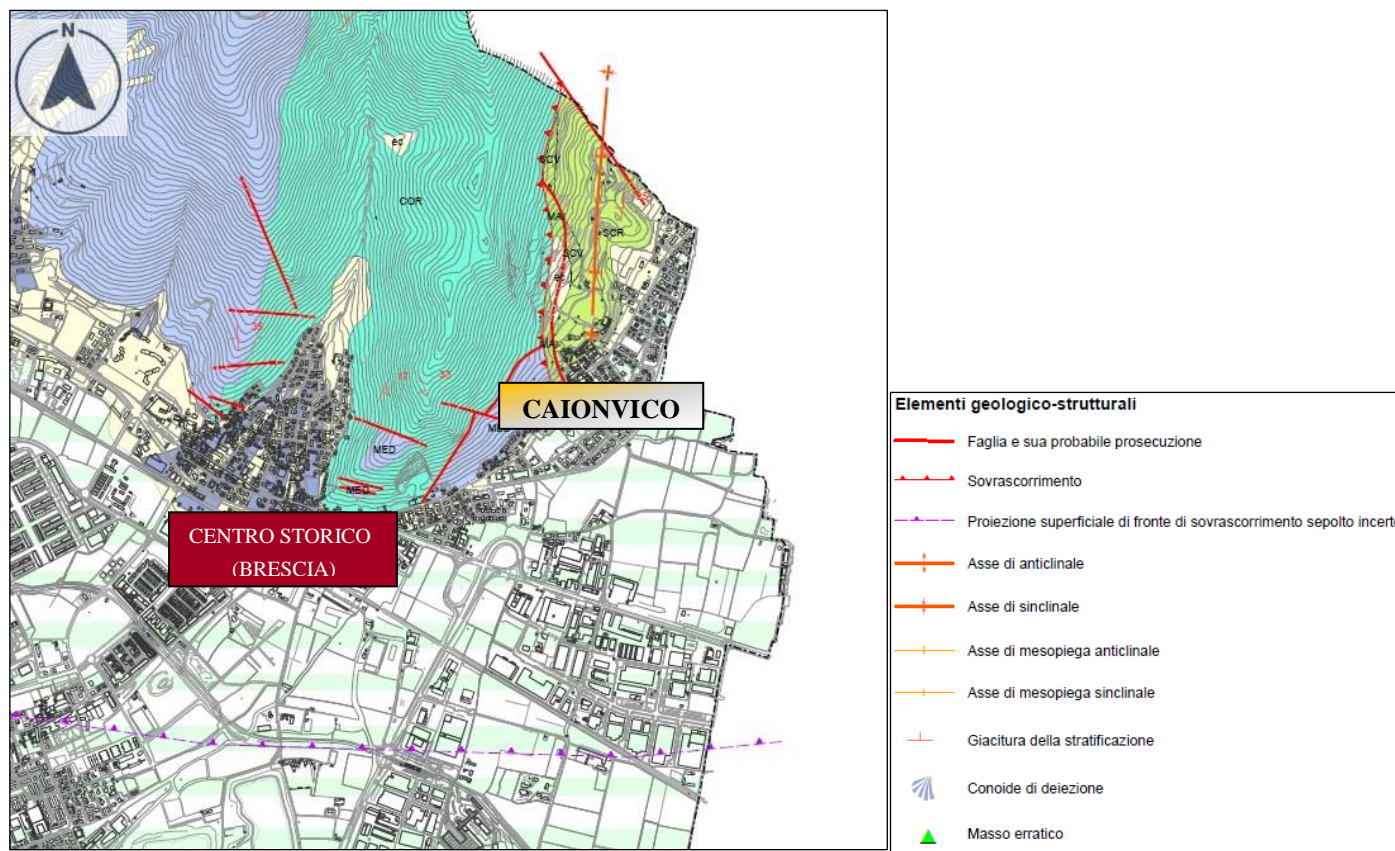



Figura 2-2 – Stralcio, non in scala, della Carta Geologico-Strutturale allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia e legenda delle diverse componenti geologiche e strutturali. Porzione meridionale del sovrascorrimento. Scala 1: 15.000.

2.1.2 Assetto stratigrafico

Il territorio di interesse è caratterizzato da un'ampia zona pianeggiante ascrivibile ai depositi fluviali e fluvio-glaciali trasportati dai corsi d'acqua e principalmente dal Fiume Mella e dal Fiume Chiese, i cui conoidi alluvionali sono costituiti prevalentemente da depositi grossolani ghiaiosi e sabbiosi, a tratti limosi. Soprattutto nella porzione occidentale del territorio i depositi fluviali sono caratterizzati dalla presenza di una matrice argilloso-limosa a tratti abbondante.

La fascia di raccordo tra la pianura ed i versanti montuosi è caratterizzata dalla presenza di depositi eluviali e/o colluviali e da falde e conoidi di detrito che possono generalmente essere considerati inattivi in quanto stabilizzati e colonizzati. Si tratta di depositi costituiti da elementi rocciosi di varia pezzatura, generalmente a spigoli vivi, immersi in matrice limoso-argillosa più o meno abbondante. Nei conoidi di detrito, di solito, aumenta la frazione grossolana rispetto alla matrice. I rilievi montuosi presenti all'interno del territorio sono costituiti da rocce prevalentemente calcaree e stratificate di età mesozoica con la sola eccezione del colle della Badia modellato in depositi clastici

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

cementati più recenti di età miocenica. I terreni interessati dal progetto (evidenziato in rosso in Figura 2-3) sono costituiti da depositi alluvionali e fluvioglaciali, sedimentati a partire dalla glaciazione del Riss.

Di seguito viene descritto l'assetto stratigrafico, dal più recente al più antico:

- **Depositi quaternari:**

- *Depositi eluviali e/o colluviali (ec):* Sono costituiti da sabbie e ghiaie a supporto di matrice limosa e argillosa, che a tratti può divenire predominante. Localmente risultano ricoperti da argille rosse di origine residuale di prevalente derivazione colluviali. Si trovano al margine dei rilievi collinari calcarei e costituiscono le fasce di raccordo con i depositi della pianura con i quali spesso si interdigitano nelle porzioni più distali. (Olocene).
- *Depositi alluvionali antichi (at), recenti o attuali (aa) del Fiume Mella:* Depositi che costituiscono il vasto conoide alluvionale del Fiume 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. (Olocene).
- *Alluvioni fluvioglaciali e fluviali (fg):* Si tratta di depositi alluvionali più antichi associati alle alluvioni fluvioglaciali dai quali frequentemente risultano indistinguibili. Sono costituiti da depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi con strato di alterazione superficiale argilloso, localmente ricoperti da coltre limosa. Si sviluppa principalmente nella porzione di pianura orientale e sud-orientale, dove sono caratterizzati da un'origine più francamente fluvioglaciale. (Olocene inf.? – Pleistocene sup.).

- **Successione Mesozoica:**

- *Scaglia Lombarda (SCR e SCV):* Affiora solamente lungo il versante orientale del M. Maddalena ed è suddivisa in Scaglia Rossa (SCR) e Scaglia Variegata (SCV). La prima è costituita da marne calcaree fogliettate, talora argillose e calcari marnosi rosa e rossi; la seconda presenta affioramenti più ridotti ed è costituita da marne fogliettate, talora argillose cui seguono verso l'alto stratigrafico calcari marnosi scagliosi. (Eocene inf. – Barremiano).
- *Maiolica (MAI):* Affiora in corrispondenza della dorsale M. Picastello – M. Ratto. È costituita da calcari biancastri compatti, ben stratificati, con selci chiare, passanti verso l'alto stratigrafico a calcari più o meno marnosi a stratificazione sottile con selci scure alternati a marne scagliose. (Barremiano – Titoniano).

- *Gruppo del Selcifero Lombardo (SLO)*: Argille silicee con letti di selce seguite da calcari marnosi e marne con lenti e noduli di selce con intercalazioni di argilliti silicee e selci stratificate, passanti verso l'alto stratigrafico a calcari marnosi rossi con selce rossastra in lenti. Questa litologia affiora solo lungo le pendici meridionali della dorsale M. Picastello – M. Ratto. (Titoniano inf. – Calloviano sup.).
- *Gruppo di Concesio (CON)*: Affiora lungo le pendici meridionali della dorsale M. Picastello – M. Ratto ed in corrispondenza del versante NW del Colle di S. Giuseppe. Si tratta di calcari marnosi prevalentemente grigiastri stratificati, separati da sottili giunti marnoso argillosi, passanti ad arenarie, con intercalazioni di marne grigio-verdastre. (Baiociano inf. – Toarciano inf.).
- *Gruppo del Medolo (MED)*: Si tratta, tra i terreni mesozoici, dell'unità arealmente più diffusa sul territorio di Brescia. Sono costituiti da calcari generalmente marnosi ben stratificati, talora con letti e noduli di selce, con intercalazioni più o meno abbondanti in marne, marne argillose o argilliti grigio-verdastre. (Aaleniano inf. – Hettangiano).
- *Formazione della Corna (COR)*: Questa formazione affiora lungo il versante orientale del M. maddalena ed è costituito da calcari talora dolomitici, in genere compatti. (Hettangiano – Retico inf.).

L'area di progetto (Figura 2-3) si imposta sui depositi alluvionali fluvioglaciali "aa" (cfr. la carta e profilo geologico redatti a corredo del presente studio, IN1M10D69G5GE0001001A, IN1M10D69FZGE0001001A-2A), caratterizzati da depositi sabbioso-ghiaiosi postglaciali (Figura 2-3).

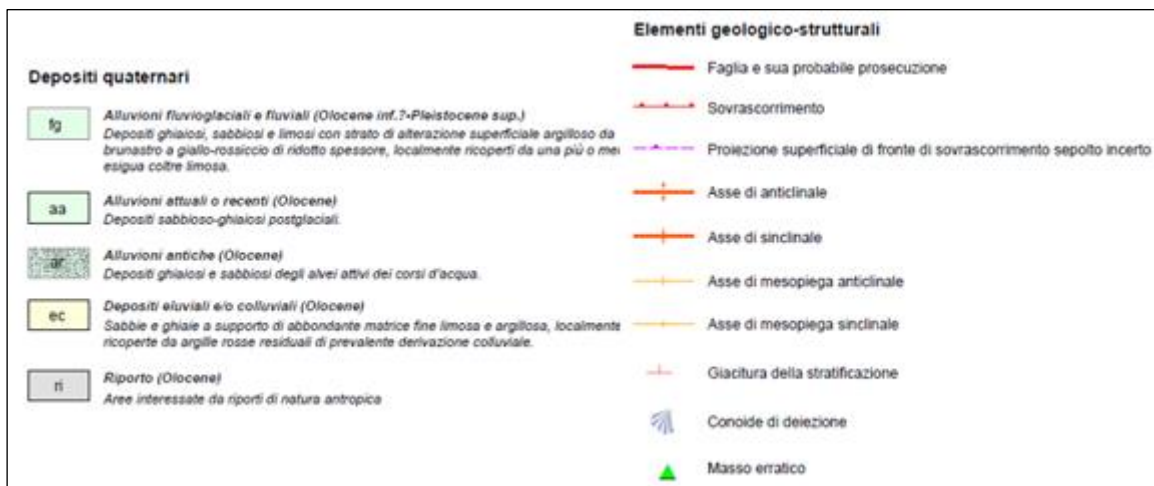
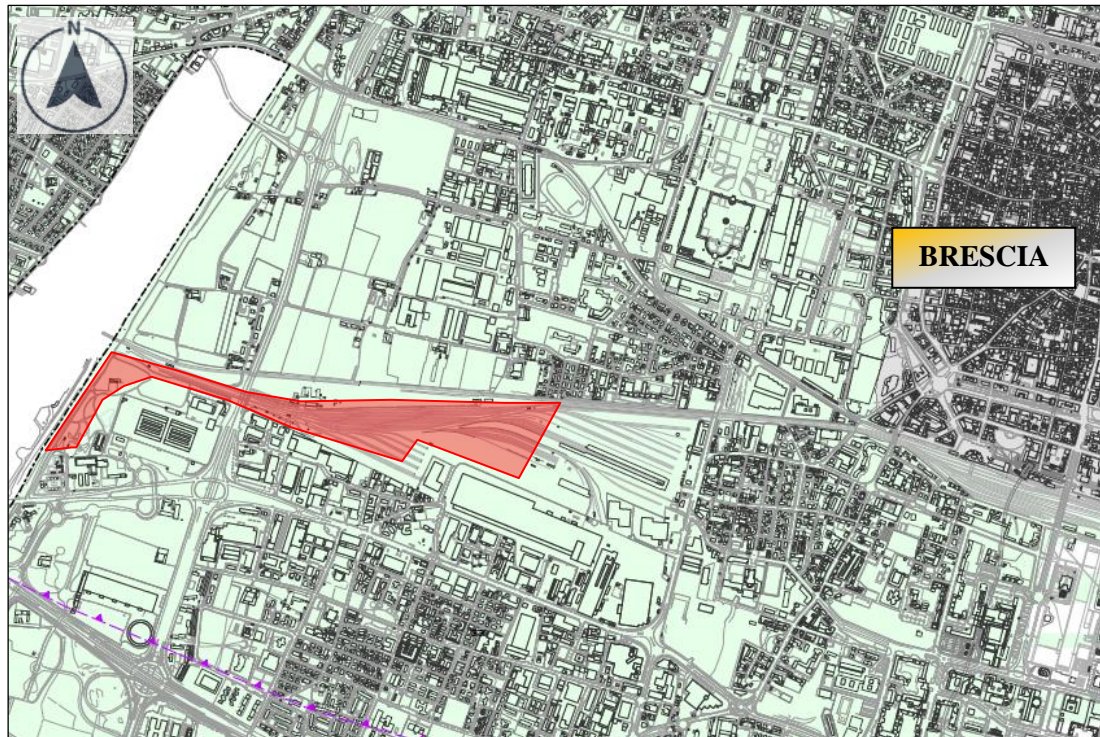



Figura 2-3 – Stralcio, non in scala, della Carta Geologico-Strutturale allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia e legenda delle diverse componenti geologiche e strutturali. In rosso si evidenzia l'area degli interventi di progetto. Scala 1: 15.000.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA					
	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 15 di 93

2.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio si sviluppa in pianura (Figura 2-4), con quote che variano da 130 a 140 m s.l.m. circa, su un'area sub pianeggiante con blande ondulazioni del piano campagna, coincidente con i ripiani dei depositi alluvionali e fluvioglaciali in cui è modellato il settore della pianura del territorio comunale. L'area si trova alla sinistra orografica del Fiume Mella, fiume a carattere torrentizio. Il Fiume Mella, maggiore corso d'acqua presente nell'area di studio, si presenta con modestissime scarpate rispetto al livello fondamentale della pianura; il paleoalveo più evidente del fiume è situato ad Est dell'attuale corso d'acqua ed è attualmente attraversato dal modesto Torrente Garza, che è il maggiore collettore delle acque meteoriche della città di Brescia. Il corso del Mella è rettilineo, segno di una regimazione iniziata in epoca antica. Il dislivello con la pianura circostante è di circa 2÷4 metri, con argini (spesso in muratura) che permettono un'ulteriore sopraelevazione di 1÷2 metri. Gli interventi antropici ed il corso rettilineo, unito a numerose opere trasversali come briglie, soglie e traverse, rendono stabile il profilo di fondo. La fisiografia dell'area è particolarmente complessa per la presenza, nella parte settentrionale, dei grandi laghi lombardi orientali (Iseo e Garda), di zone collinari e prealpine a rilievo pronunciato e della pianura nella parte centro meridionale.

Il territorio in esame può essere suddiviso in due ambiti principali, ovvero gli anfiteatri morenici (gardesano e sebino) ed il livello fondamentale della pianura, ed in altri due minori per estensione quali le Prealpi e le valli fluviali. Di seguito le descrizioni:

- *Prealpi*: Tra il Lago di Garda ed il Lago d'Iseo, immediatamente a nord della pianura, è presente la fascia prealpina. Si tratta di una zona collinare con rilievi che mediamente non superano gli 800 m s.l.m., i versanti sono spesso ripidi con pendenze comprese tra il 26 ed il 60 %. Le colline sono formate da rocce sedimentarie, principalmente calcari, nelle aree più meridionali; dolomie ed arenarie nell'area più settentrionale.

Nei fondivalle ed ai piedi dei versanti sono presenti depositi alluvionali e colluvi deposti durante il Quaternario.

- *Anfiteatri morenici*: Le colline moreniche lombarde sono il prodotto dell'attività dei ghiacciai quaternari; nella provincia bresciana gli anfiteatri morenici sono presenti in due aree distinte, la parte nord-orientale nei pressi del lago di Garda e quella nord-occidentale in corrispondenza del lago d'Iseo. In entrambe le aree sono individuabili cordoni morenici risalenti alle glaciazioni rissiana e würmiana. Nella zona gardesiana le colline sono disposte su cordoni concentrici, ritenuti essere di età rissiana i cordoni più esterni, e würmiana quelli più interni. Secondo studi più recenti (Cremaschi, 1988, 1990a, 1990b) le cerchie rissiane potrebbero essere ritenute di età würmiana, ma tale ipotesi non è universalmente accettata.

Anche nell'anfiteatro sebino possono essere individuate numerose cerchie alle quali sono state attribuite età diverse, anche qui i cordoni morenici più esterni vengono in genere ritenuti di età più antiche.

- *Livello fondamentale della pianura.* Al suo interno è possibile distinguere tre diverse porzioni, definite come “alta”, “media” e “bassa” pianura.

L'**alta pianura** è presente nella parte settentrionale della provincia, si presenta con superficie debolmente ondulata che sono le conoidi pedemontane, costruite in passato dagli apporti dei torrenti fluvioglaciali e successivamente rimodellate dai corsi d'acqua. Questo tratto di pianura ha composizione prevalentemente ghiaiosa o ghiaioso sabbiosa e pendenza media compresa tra 0.80-0.4 %. La **media pianura** è presente in due lembi, uno occidentale ed uno orientale. La porzione occidentale, compresa tra i corsi dell'Oglio e del Mella, ha composizione sabbioso ghiaiosa ed è caratterizzata dalla diffusa presenza di risorgive. La porzione orientale è meno ghiaiosa della precedente, e la pendenza media è compresa tra 0.4-0.15 %.

La **bassa pianura** si sviluppa nella metà meridionale della provincia di Brescia tra i corsi d'acqua dell'Oglio e del Chiese. Ha una superficie leggermente ondulata ed incisa dal F. Mella e da corsi d'acqua minori a sud. È costituita da sedimenti a composizione limoso-sabbiosa ed ha un'acclività media compresa tra 0.25-0.11%.

- *Valli fluviali:* I principali corsi d'acqua della pianura bresciana sono l'Oglio, il Mella ed il Chiese; l'Oglio scorre nella parte occidentale e meridionale della provincia, ha una valle ampia e terrazzata che può raggiungere i 5 km di larghezza ed ha inciso profondamente il livello fondamentale della pianura, con un fondovalle posto ad una profondità che varia dai 2 ai 15 metri rispetto alle aree circostanti.

La valle del Fiume Mella si presenta meno incassata, scorre in un letto depresso rispetto alla pianura. Sono presenti lungo la valle piccoli terrazzi formatisi durante l'Olocene.

Il fiume Chiese, analogamente al precedente, ha una valle poco incassata con piccoli terrazzi, il suo corso in pianura è di tipo meandriforme.

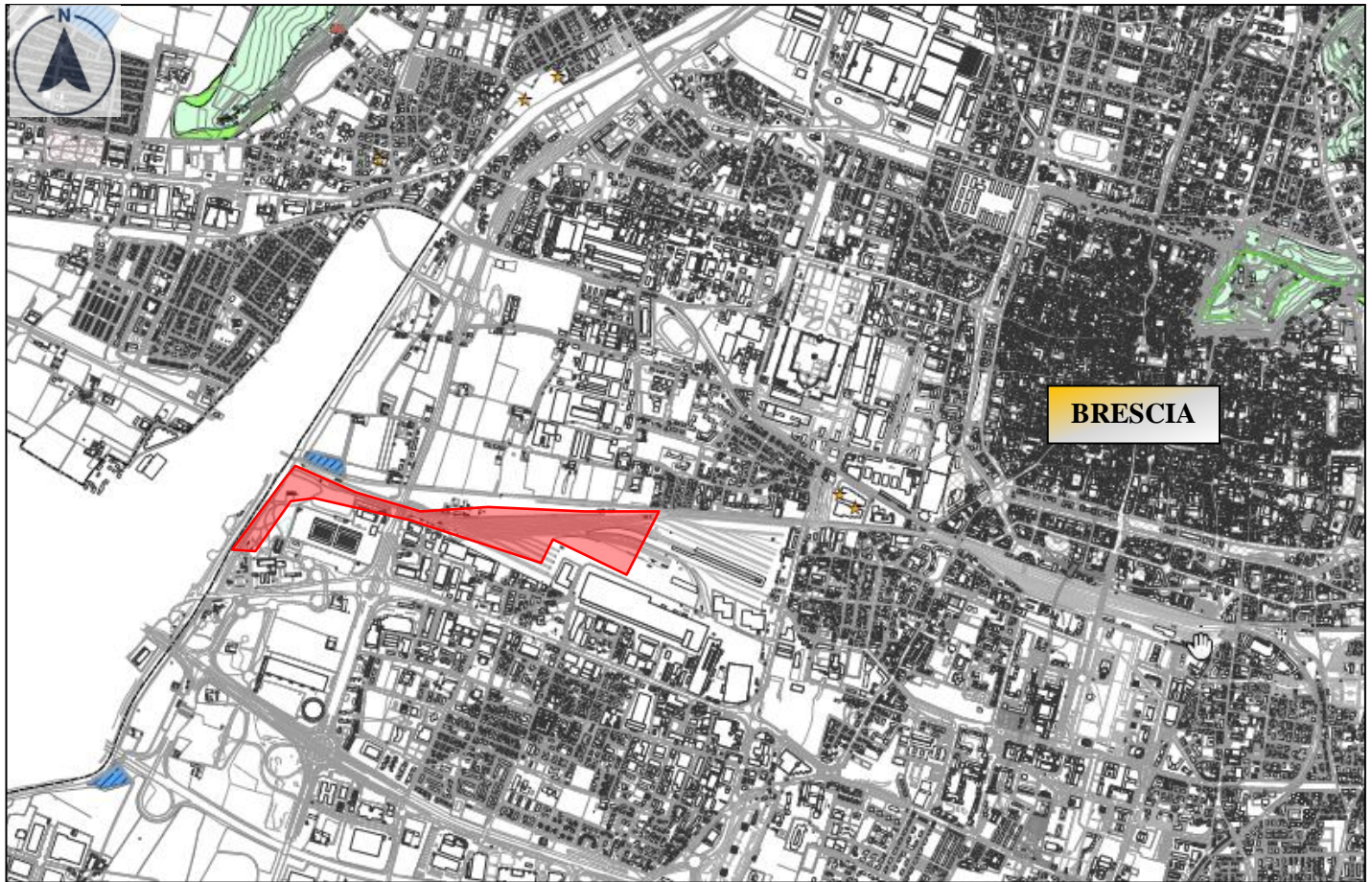



























Figura 2-4 – Stralcio, non in scala, della Carta Geomorfologica allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia. Scala 1: 15.000. In rosso è evidenziata l'area degli interventi di progetto.

Elementi geomorfologici

	Accumulo di paleofrana di dimensioni ridotte, complessivamente stabilizzato.
	Corpo di frana attiva e/o recente.
	Corpo di frana di ridotte dimensioni, non cartografabile.
	Tratto di versante interessato da frane di crollo.
	Zona interessata da ruscellamento diffuso.
	Conoide di deiezione.
	Traccia di paleoalveo.
	Aree golenali e aree depresse di origine antropica prossime all'alveo del F. Mella o del T. Garza potenzialmente allagabili ove non protette da arginature.
	Tratto di corso d'acqua interessato da intensa attività erosiva.
	Crinale.
	Orlo di scarpata morfologica:
	a) modellata da più fenomeni concomitanti
	b) di origine antropica
	Orlo di scarpata fluviale.
	Orlo di scarpata delimitante paleosuperficie.
	Masso erratico.
	Grotta di origine carsica.
	Dolina.
	Ambito Territoriale Estrattivo (A.T.E.).
	Laghetto di cava.
	Discariche attive.
	Discariche cessate.
	Area interessata da ritombamenti.
	Area interessata da riporti.
	Area interessata da riporti storici.

Limiti e riferimenti territoriali

 Confine comunale

Unità geomorfologiche







	Area subpianeggiante o con blande ondulazioni del piano campagna, coincidente con i ripiani dei depositi alluvionali e fluvioglaciali in cui è modellato il settore di pianura del territorio comunale e, parzialmente, con la fascia esterna dei depositi eluvio-colluviali. STABILE
	Area a bassa acclività corrispondente alle fasce di raccordo tra il settore di pianura e/o i fondovalle secondari con le pendici montuose, modellata in depositi eluviali e/o colluviali. DA STABILE A SUFFICIENTEMENTE STABILE
	Area coincidente con le pendici montuose modellate in roccia affiorante o subaffiorante, dotata di acclività da media a elevata. COMPLESSIVAMENTE STABILE
	Area corrispondente a porzioni di versante ad acclività da media a elevata impostata in coltri eluvio-colluviali alquanto potenti e a vario grado di cementazione. DA SUFFICIENTEMENTE STABILE A MEDIAMENTE STABILE
	Area interessata da acclività da media a elevata, modellata in una coltre di prevalente origine detritica, alquanto potente e mobilizzabile da parte delle acque torrentizie. POTENZIALMENTE INSTABILE

Figura 2-5 – Legenda della Carta Geomorfologica allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia.

Dall'analisi della carta geomorfologica allegata al PGT del Comune di Brescia, l'area di progetto non risulta essere interessata da particolari elementi geomorfologici, trovandosi lontano dai rilievi collinari e in una zona di pianura. Si fa però notare come, la vicinanza al Torrente Mella comporti la presenza di una piccola area depressa di origine antropica che potrebbe essere potenzialmente allagabile in caso di piena.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA					
	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 19 di 93

2.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO


Il sottosuolo del comune di Brescia è stato oggetto di numerosi studi e, anche grazie alla perforazione di numerosi pozzi profondi, è stato possibile definire alcune unità idrogeologiche sino alla profondità di circa 200 m da p.c.; tali unità sono costituite da litotipi con caratteristiche idrogeologiche abbastanza omogenee.

La pianura bresciana, come tutta la Pianura Padana, è interessata dalla circolazione di flussi idrici nel sottosuolo che, attraversando litotipi diversi per natura e permeabilità, assumono caratteri differenti. L'alta permeabilità dei terreni presenti nell'area settentrionale e centrale, nonché l'abbondante alimentazione idrica, determinano la presenza di una considerevole circolazione idrica sotterranea. Questa ha luogo all'interno di una potente coltre alluvionale le cui caratteristiche litologiche e il cui assetto strutturale favoriscono la formazione di un acquifero multistrato. Per ciò che riguarda l'area montana e collinare, la circolazione delle acque sotterranee è funzionale alla permeabilità dei litotipi presenti ed alle forme morfologiche.

I depositi alluvionali che definiscono in superficie il territorio (Figura 2-6), sono costituiti prevalentemente da depositi che caratterizzano le zone di pianura, costituiti da materiali porosi a tessitura prevalentemente grossolana (soprattutto ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa). La loro permeabilità, mediamente elevata o molto elevata, è comunque variabile in funzione della granulometria e del grado di cementazione e può risultare localmente molto ridotta in superficie, per via della presenza di coltri di alterazione argillose o di coperture di natura limosa.

Questa unità idrogeologica, denominata "ghiaioso-sabbiosa" (Denti, Lauzi, Sala, Scesi, 1988), è potente mediamente 30 m da p.c. con locali inspessimenti fino a circa 40 m da p.c. Localmente, alla profondità compresa tra 20 e 30 m dal p.c., può essere presente uno strato limoso argilloso, che secondo alcuni autori, è attribuibile a depositi fluvioglaciali più antichi. La permeabilità dei depositi ghiaioso sabbiosi è mediamente elevata. Più in profondità è presente l'unità conglomeratica", costituita da materiali conglomeratici, sabbiosi ed arenacei con intercalazioni argillose e ghiaiose. Questa unità spinge fino a circa 100 m di profondità, soprattutto nel settore settentrionale. Nella zona centrale è di circa 50 metri, mentre verso sud lo spessore dell'unità conglomeratica tende a diminuire significativamente. Questa unità rappresenta il principale serbatoio, dal quale emungono i pozzi pubblici e privati presenti nel comune di Brescia. All'interno dell'unità sono presenti livelli argillosi e limosi posti a differenti profondità, che possono determinare, localmente, una compartimentazione dell'acquifero che assume un carattere semiconfinato dato che non ha una sufficiente estensione areale. Per questo motivo l'acquifero mantiene le caratteristiche di falda libera e presenta un basso grado di protezione rispetto agli inquinanti provenienti dalla superficie.

Inferiormente si rinviene l'unità "Villafranchiana", rappresentata da argille e argille limose con intercalazioni ghiaiose o ghiaioso-sabbiose e rare lenti torbose. Tale unità è stata determinata fino alla profondità massima di 170-

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

200 m dal piano campagna, nel corso della perforazione di pozzi pubblici. I livelli ghiaiosi sabbiosi grossolani, contenuti all'interno dei depositi argillosi possono contenere falde confinate utilizzate a scopo acquedottistico.

Le unità idrogeologiche sopra descritte corrispondono alle seguenti unità idrostratigrafiche definite secondo la terminologia introdotta da studi recenti (AAVV, Geologia degli Acquiferi padani della Regione Lombardia, Regione Lombardia 2002).

- Unità Ghiaioso – Sabbiosa – *Gruppo Acquifero A* (Pleistocene Medio – Sup.).
- Unità Conglomeratica – *Gruppo Acquifero B* (Pleistocene Medio).
- Unità Argillosa Sabbiosa – *Gruppo Acquifero C e D* (Pleistocene Medio – Inf.).

I depositi alluvionali, su cui si trova l'area di progetto, sono costituiti da materiali porosi a tessitura prevalentemente grossolana che ospitano falde libere più o meno protette. La loro permeabilità, mediamente elevata o molto elevata, è comunque variabile in funzione della loro granulometria e del grado di cementazione e può risultare localmente molto ridotta in superficie, per via della presenza di coltri di alterazione argillose o di coperture di natura limosa.

Per quanto concerne il livello della falda è possibile ricostruirne l'andamento sia utilizzando la cartografia tematica del Piano di Governo del Territorio, sia utilizzando i dati bibliografici a disposizione. Seguendo l'andamento delle linee isofreatiche della carta idrogeologica del comune di Brescia del 2018 (Figura 2-6 e relativa legenda in Figura 2-7), relative a gennaio 1994, nella zona orientale queste aumentano da E a O lungo l'area di interesse (da 116 a 128 m s.l.m.). Nei profili idrogeologici (IN1M10D69FZGE0002001A-2A), redatti a corredo del presente studio, è possibile osservare il livello della superficie piezometrica, la quale rimane pressoché costante lungo tutta l'area di progetto. Per quanto concerne i sondaggi bibliografici a disposizione, i dati relativi al livello di falda disponibile sono riportati in Tabella 2-1. Si ricorda che tali dati sono stati registrati in corso di perforazione, e quindi potrebbero essere soggetti ad errori dovuti alla non ancora avvenuta stabilizzazione della falda. Per i sondaggi eseguiti durante questa fase progettuale, in

Tabella 2-2, è riportato la misura piezometrica misurata in corso di perforazione nel sondaggio S2 PD-BS ed il livello piezometrico misurato il 29 settembre 2021 nel sondaggio S1-PD-BS.

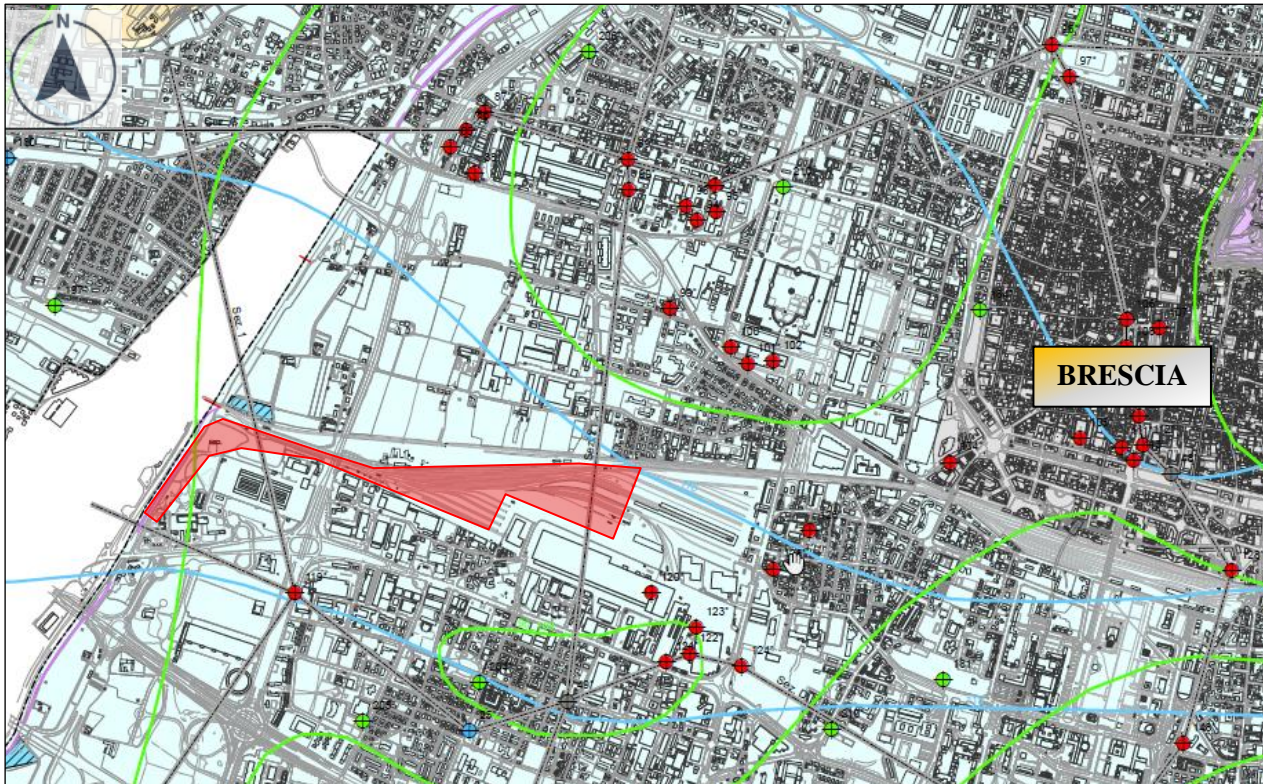
La struttura idrogeologica è determinata dalle successioni glaciali e dagli eventi alluvionali dei corsi d'acqua che attraversano l'area. Ad esse si associa la neotettonica e l'andamento irregolare del substrato roccioso. Le strutture idrogeologiche più rilevanti sono legate agli antichi alvei dei corsi d'acqua, che spesso si discostano dagli attuali. Il paleoalveo del fiume Mella, da cui il corso attuale dista alcuni chilometri, incide profondamente l'unità villafranchiana, con depositi prevalentemente conglomeratici spessi circa 150 metri. Tale paleoalveo risulta essere un notevole acquifero, con portate specifiche che variano da 20 l/s*m a 5 l/s*m.

Tabella 2-1 – Livelli di falda registrati durante l'esecuzione dei sondaggi (2018-2019)

ID	Anno	Livello di falda (m da p.c.)	Quota falda (m s.l.m.)
S1	2019	-12.45	120.21
S2	2019	-15.20	117,99
S2Tram	2018	-11.00	118

Tabella 2-2 – Livelli di falda registrati nei sondaggi eseguiti per la progettazione definitiva (Italferr 2021).
 * Misura effettuata nel piezometro il 29/09/2021.

ID	Anno	Livello di falda (m da p.c.)	Quota falda (m s.l.m.)
S1-PD-BS	2021	-12.40*	116,9
S2-PD-BS	2021	-11.00	119,16


Figura 2-6 – Stralcio, non in scala, della Carta Idrogeologica allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia. Scala 1: 15.000. Nel poligono rosso ricadono gli interventi di progetto.

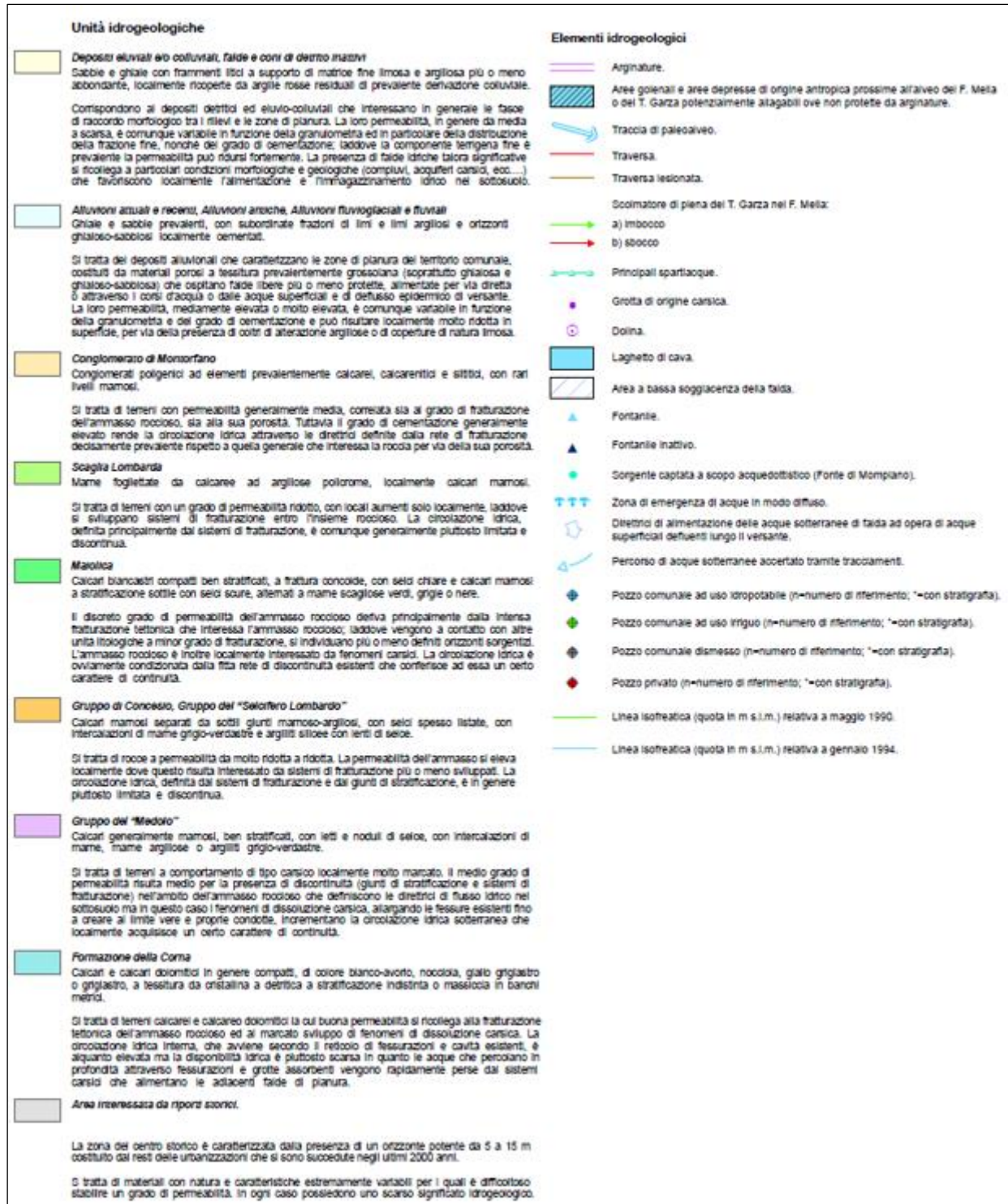


Figura 2-7 – Legenda della Carta Idrogeologica allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia.

3 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI

3.1 VINCOLO IDROGEOLOGICO E PAESAGGISTICO

La cartografia relativa ai vincoli territoriali interferenti con l'area di studio fa riferimento a quanto proposto nel PGT del Comune di Brescia. Nello stralcio cartografico riportato in Figura 3-1 si può notare come l'area ricada in parte all'interno di un'area classificata, secondo il Piano di Gestione del rischio Alluvioni (2016), come potenzialmente interessata da alluvioni rare (aree P1/L).

In tutta l'area si evidenzia la presenza di criticità di carattere ambientale relative alla falda potenzialmente interessata da inquinamento diffuso e/o focolai localizzati di contaminazione individuata dal perimetro del Sito Nazionale Brescia-Caffaro (D.M. 24/02/2003). Inoltre, a nord dell'area in esame, si evidenzia la presenza di criticità relative ai terreni/riporti potenzialmente inquinati.

Si evidenzia, infine, che l'area ferroviaria è attraversata da varie rogge irrigue, a valle dello stabilimento Caffaro, che sono potenzialmente inquinanti.

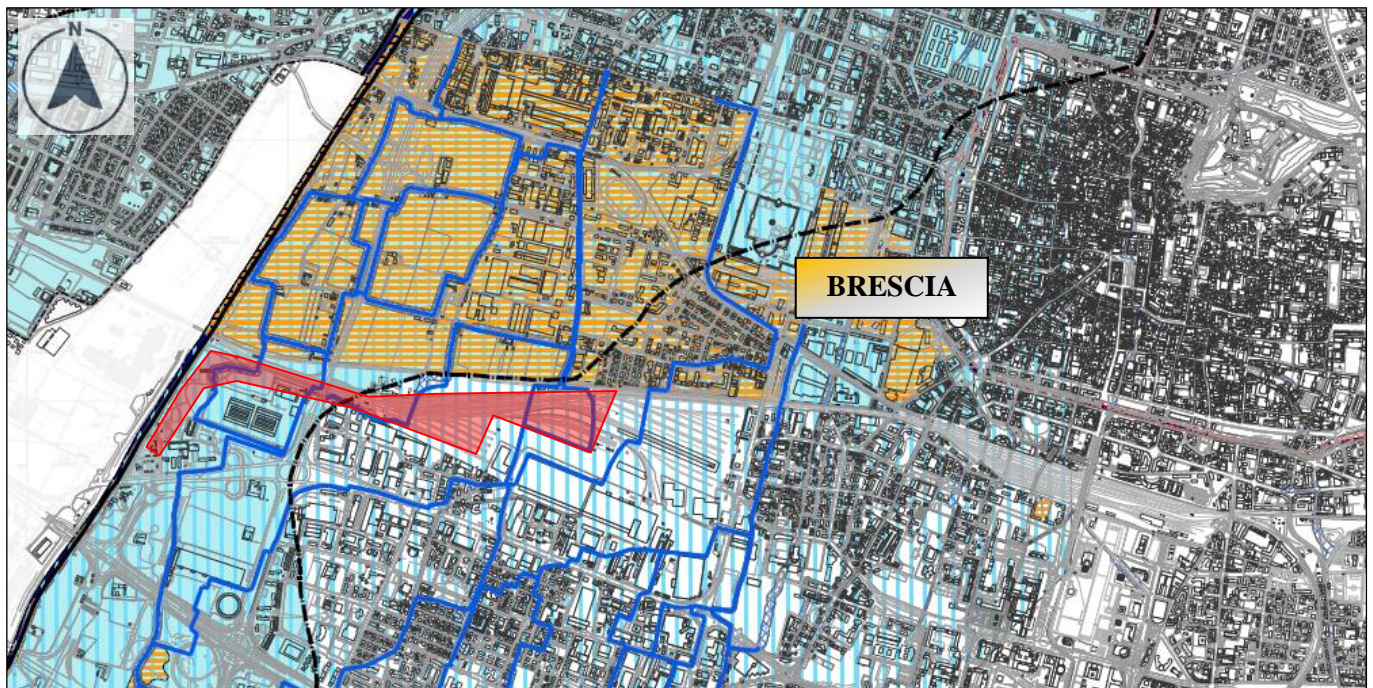


Figura 3-1 – Stralcio, non in scala, della Carta dei vincoli (2018) allegata al Piano di Governo del territorio del comune di Brescia (in rosso è evidenziato il tracciato oggetto di studio) e legenda. Scala 1: 15.000. Nel poligono rosso ricadono gli interventi di progetto.

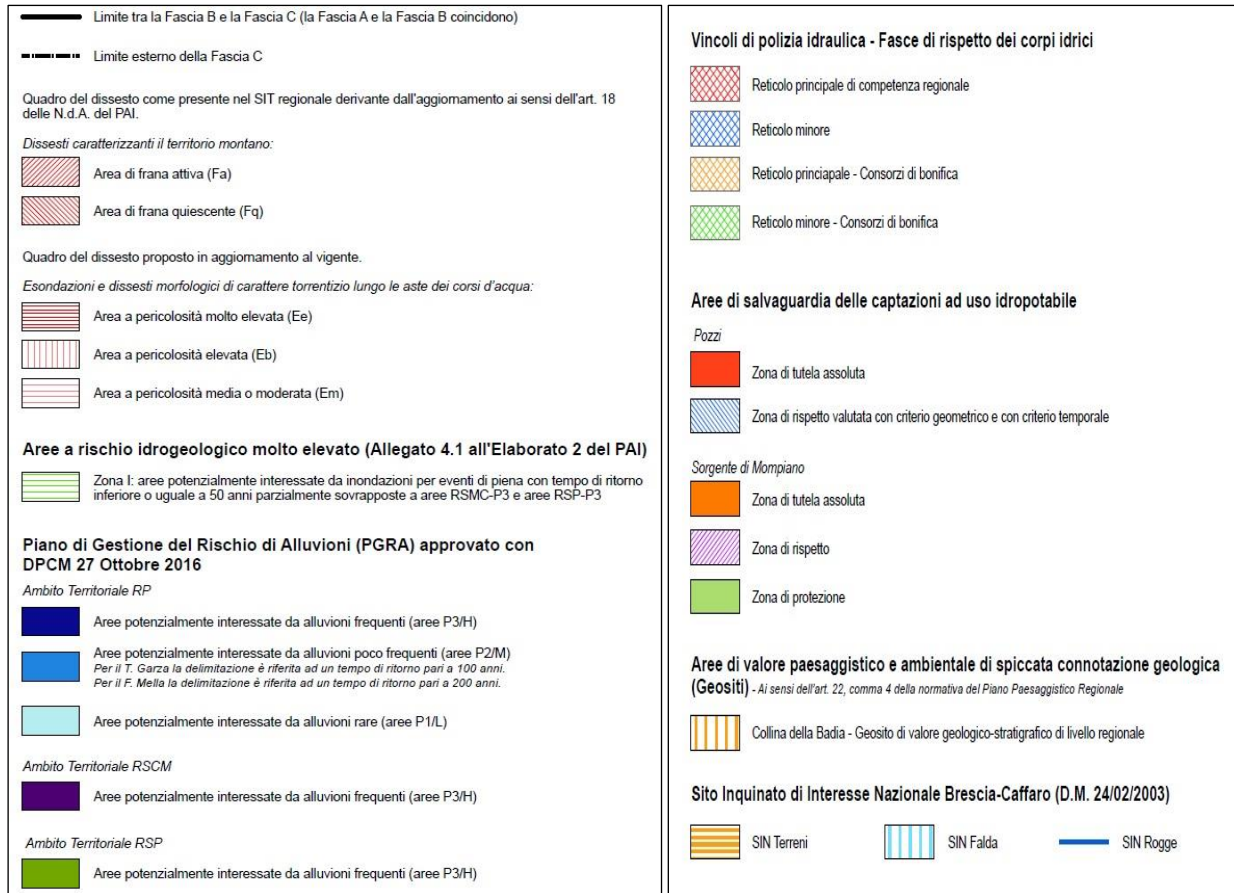


Figura 3-2 – Legenda della Carta dei Vincoli allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia.

3.2 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO

Lo stralcio cartografico riportato in Figura 3-3 (Carta PAI-PGRA 2018 del PGT comunale) riporta le medesime informazioni riportate nella cartografia dei vincoli di cui al paragrafo precedente; l'area, infatti, per buona parte della sua estensione, è interessata da alluvioni rare (aree P1/L). Infine, poiché l'area in esame si trova in una pianura alluvionale, non si segnalano aree di frana in prossimità della medesima.

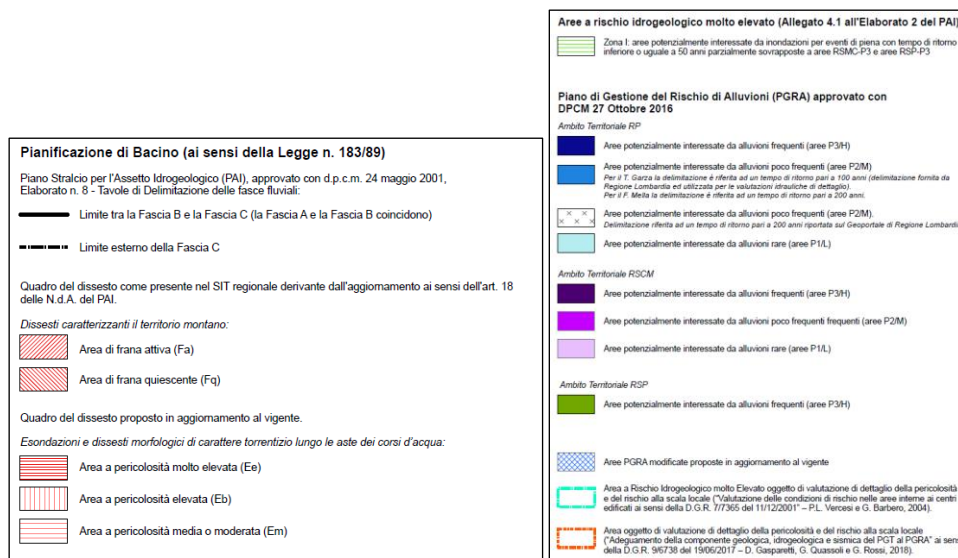
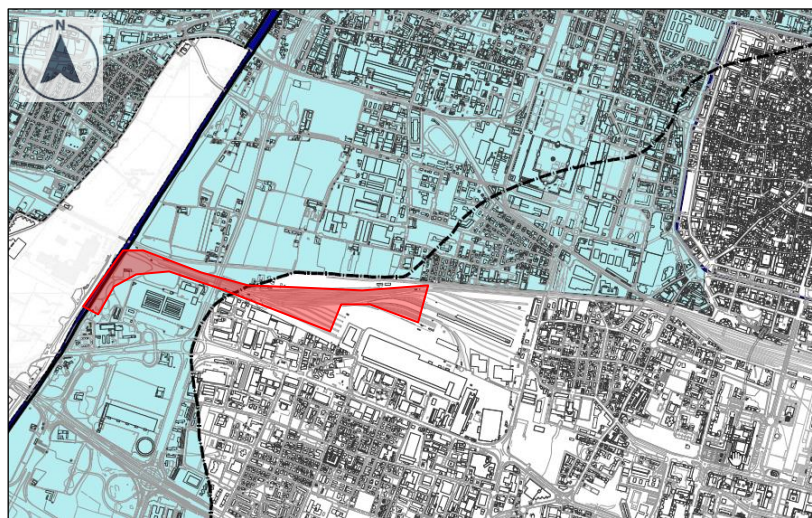



Figura 3-3 – Stralcio, non in scala, della Carta PAI-PGRA (2018) allegata al Piano di Governo del territorio del comune di Brescia. In rosso l'area oggetto del presente studio.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 27 di 58

4 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DI DETTAGLIO

Nel presente paragrafo si riporta una descrizione di dettaglio della stratigrafia dell'area in esame, con particolare riferimento ai profili geologici elaborati a partire dai sondaggi presenti (IN1M10D69FZGE0001001A-2A).

Partendo dalla zona occidentale di Brescia, al confine con il comune di Roncadelle, sino al termine della tratta in esame, l'area è stata investigata dai sondaggi S1-PD-BS e S2-PD-BS eseguite per la presente fase progettuale, dal sondaggio SI6 (Italferr 2012) e dalle prove penetrometriche DPSH 12, 12 bis, 13 e 23 eseguite per il PE "Ingresso urbano di Brescia Ovest", dal sondaggio S2 del progetto PFTE per la "Tramvia del Comune di Brescia" (denominato S2_Tram) e dai sondaggi S1 ed S2 eseguiti per il PE della "Demolizione del fabbricato Posto di Movimento 1, il completamento bonifica e gli interventi di realizzazione della sede ferroviaria del Posto di Manutenzione all'interno dello scalo ferroviario di Brescia".

Nei primi 800 metri vengono incontrati i sondaggi realizzati per l'attuale fase progettuale che mostrano una stratigrafia del sottosuolo costituita da materiale ghiaioso-sabbioso, con debole presenza di fine, in accordo con le aree cartografate a depositi fluvioglaciali e fluviali. In particolare, il sondaggio S1-PD-BS al km 0+324 mostra uno spesso strato di sabbia e ghiaia limosa lungo una profondità di 22 m, per passare poi a uno strato di circa 2.5 m di sabbia limosa con presenza di ciottoli. La stratigrafia continua poi fino a 30 m di profondità con un'alternanza di strati, di spessore di 1-3 metri, di materiale sabbioso ghiaioso, limoso. Procedendo lungo la tratta, in prossimità del km 0+547, è stato eseguito il sondaggio S2-PD-BS che nei primi 9 metri mostra la presenza di sabbia e ghiaia debolmente limosa, con la sola eccezione tra 1.5 metri e 2 metri di profondità in cui si nota la presenza di limo sabbioso. Al di sotto dei 9 metri, profondità a cui viene segnato il passaggio tra alluvioni attuali e alluvioni fluvioglaciali, si incontra ghiaia con ciottoli e sabbia per circa un metro, dopodiché il sondaggio interseca uno spesso strato di sabbia e ghiaia debolmente limosa fino a circa 17 metri di profondità; si incontra successivamente un metro di limo argilloso per poi continuare fino ai 30 m di profondità in un materiale composto da sabbia e ghiaia limosa con all'interno la presenza, tra i 21 e i 26 m di profondità, di uno strato di limo argilloso. Questa stratigrafia risulta in linea con quanto mostrato dalla prova DPSH12bis posta al chilometro 0+480. Al chilometro 0+547, il sondaggio SI6, posto ad una quota di 131 m s.l.m. e ad una distanza di 39 metri a nord dell'asse del profilo, mostra un primo strato di riporto di 0,1 m seguito da uno strato di ghiaia, spesso poco più di un metro, interrotto da una lente di 0,8 m di argilla limoso-sabbiosa. Dalla profondità di 2,1 m da p.c. sino a fondo foro (30 m) è stato intercettato uno spesso strato di ghiaia sabbiosa.


Al chilometro 0+967 il sondaggio S2_Tram, posto ad una quota di 129 m s.l.m. e ad una distanza di circa 450 m a sud dell'asse del profilo, mostra un primo strato di materiale di riporto (0,3 m), poi sino a 2 m da p.c. uno strato sabbioso

con un sottile strato sabbioso limoso da circa 1,4 m da p.c.. Proseguendo in profondità, sino a 6 m da p.c., è presente uno strato di ghiaia e sabbia fino a 6 m di profondità, seguito da una lente di argilla limosa sino a circa 8 m da p.c.. Da 8 metri fino alla massima profondità investigata (30 m) sono presenti materiali ascrivibili ai depositi fluvioglaciali (*fg*), caratterizzati da sabbia, sabbia limosa e debolmente limosa ed interrotti tra 13,20 e 15,5 m di profondità da una lente argillosa limosa.

Proseguendo verso est la si trova il sondaggio S1 al km 1+190 che conferma la successione stratigrafica precedentemente incontrata, con i depositi fluviali che mostrano uno spessore di circa 11 metri sopra i depositi fluvioglaciali che vengono intercettati sino a fondo foro (30 m). Il sondaggio S1 è posto ad una quota di 132,66 m s.l.m. ad una distanza di 20 m dalla traccia della sezione. Esso definisce uno spesso strato di ghiaia e sabbia (sino a 27,30 m da p.c.) intercalato da due lenti di materiale fine argilloso limoso tra i 2,5 e i 3 m di profondità e tra i 27,3 m e i 30 m (massima profondità investigata dal sondaggio).

Spostandosi in prossimità del km 1+563 della sezione, il sondaggio S2 (profondo anch'esso 30 m) mostra una stratigrafia simile al sondaggio precedente in cui la successione di 30 metri di ghiaia e sabbia viene interrotta da due lenti, di diverso spessore, in cui aumenta la presenza di materiale fine. A circa 1,5 m di profondità il sondaggio intercetta il primo strato di argilla limosa che termina a circa 3 m di profondità che, data la posizione rispetto al sondaggio precedente, lascia presumere la presenza di una sottile lente di materiale fine che prosegue sino al sondaggio S1, rendendolo un corpo continuo. Infine, a circa 15 m, è presente una lente spessa di sabbia e argilla che termina a circa 21 m da p.c..

Lungo tutta la sezione la successione stratigrafica rimane costante, con i depositi alluvionali, spessi circa 10 metri, che poggiano sui depositi fluvioglaciali i quali si sviluppano in profondità oltre i 30 metri investigati dai sondaggi. Inoltre, per quanto riguarda la falda, analizzando la carta idrogeologica allegata al PGT comunale del 2018, è possibile osservare come le linee isofreatiche mostrino la quota della falda tra i 115 e i 116 m s.l.m., mentre la lettura della falda eseguita a sondaggio finito, mostra un valore di soggiacenza di 12,45 m (sondaggio S1), di 15,20 (sondaggio S2), 11,00 m (sondaggio S2_Tram), 10,23 m (sondaggio S1-PD-BS) e 11,00 m (sondaggio S2-PD-BS) ponendo quindi la quota della falda tra 120,21 m s.l.m. e 116,9 m s.l.m.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 29 di 58

5 INDAGINI

5.1 PREMESSA

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano:

- dalla campagna di indagini in sito eseguita nel 2021 a supporto del Progetto Definitivo del “potenziamento infrastrutturale dello scalo di Brescia” che comprende n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, con associate prove SPT e prove di permeabilità Lefranc, spinti sino a 30 metri di profondità e da n. 1 tomografia di resistività elettrica (denominata ERT-PD-BS), n. 1 prova di tipo MASW (denominata MASW-PD-BS) e n. 1 prova di tipo HVSR (denominata HVSR-PD-BS).
- dalla campagna di indagini in sito eseguita nel 2019 a supporto del PE della “Demolizione del fabbricato Posto di Movimento 1, il completamento bonifica e gli interventi di realizzazione della sede ferroviaria del Posto di Manutenzione all’interno dello scalo ferroviario di Brescia” che comprende n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, con associate prove SPT e prove di permeabilità tipo Lefranc, spinti sino a 30 metri di profondità e n. 1 prova geofisica di tipo MASW (denominata MASW_1).
- dalla campagna di indagini in sito eseguita da Italferr nel 2018 a supporto del PFTE della “Tramvia di Brescia” comprendente n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto sino a 30 metri di profondità, con associate prove SPT e permeabilità tipo Lefranc.
- dalla campagna di indagini integrative in sito eseguita da Italferr (2012-2013) a supporto del PE relativo all’”Ingresso urbano dell’interconnessione Brescia Ovest tratta AC Milano – Verona, Linea AV/AC Milano – Venezia”, comprendente n. 4 prove penetrometriche superpesanti, n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di 30 metri da p.c., con associate prove SPT, una prova di tomografia elettrica e n. 2 prove geofisiche di tipo MASW (denominate MASW_4 e MASW_5).

5.2 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2021 (PD POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA)

Le indagini eseguite nel 2021 a supporto del presente progetto sono state riportate in Tabella 5-1. In Tabella 5-2 si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei due sondaggi, mentre in Tabella 5-3 e Tabella 5-4 vengono mostrati, rispettivamente, i risultati delle prove Lefranc e l’ubicazione ed i risultati della tomografia elettrica, della prova di tipo MASW e della prova di tipo HVSR.

Tabella 5-1 – Sondaggi campagna Italferr 2021.

ID	Profondità (m)	Quota (m s.l.m.)	Nord	Est
S1-PD-BS	30.0	129.3	5042996.36	1591605.57
S2-PD-BS	30.0	130.16	5043122.88	1591798.55

Tabella 5-2 – Valori di Nspt registrati nei sondaggi (Italferr 2021).

Profondità (m da p.c.)	S1-PD-BS Nspt	S2-PD-BS Nspt
1,5	71	8
3	43	38
4,5	5	24
6	18	46
7,5	22	23
9	54	34
12	25	20
15	51	48
18	62	24
21	57	30
24	32	45

Tabella 5-3 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio (Italferr 2021).

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S1-PD-BS	3.5	2.34E-04
	20	2.06E-05
S2-PD-BS	2	3.49E-04
	8	6.74E-05


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Tabella 5-4 – Ubicazione delle prove geofisiche effettuate (Italferr 2021).

Prove geofisiche					
Prova	Data esecuzione	Coordinate Gauss Boaga		Vseq (m/s)	Categoria di Suolo
		N	E		
ERT-PD-BS	2021	5042933.62	1591616.09	-	-
MASW-PD-BS	2021	5042975.02	1591613.3	326	C
HVSR-PD-BS	2021	5042975.02	1591613.3	-	-

5.3 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2019 (PE DEMOLIZIONE E COMPLETAMENTO BONIFICA)

5.3.1 Indagini in Sito

Le indagini eseguite nel 2019 sono schematizzate in Tabella 5-5, nella quale si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei due sondaggi, mentre in Tabella 5-7 e 5-8 vengono riportati, rispettivamente, i risultati delle prove Lefranc e l'ubicazione ed i risultati della prova di tipo MASW.

Tabella 5-5 – Sondaggi campagna Italferr 2019.

ID	Profondità (m)	Quota (m s.l.m.)	Nord	Est
S1	30.0	132.66	5043034.58	1592457.93
S2	30.0	133.19	5043044.92	1592867.62

Tabella 5-6 – Valori di Nspt registrati nei sondaggi (Italferr 2019).

Profondità (m da p.c.)	S1 Nspt	S2 Nspt
1,5	34	-
3	51	R
4,5	R	-
6,0	26	26
7,5	41	-
9	29	32
12	34	R

Profondità (m da p.c.)	S1 Nspt	S2 Nspt
15	34	19
18	30	45
21	27	88
24	52	41
27	42	37

Tabella 5-7 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio (Italferr 2019).

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S1	1,5	4.03E-05
S2	6	8E-05

Tabella 5-8 – Ubicazione della prova geofisica effettuata, MASW 1 (Italferr 2019).

Prove geofisiche					
Prova	Data esecuzione	Coordinate UTM Zone 32 T		Vseq (m/s)	Categoria di Suolo
		N	E		
MASW1	2019	5043007.14	592482.13	324	C

5.4 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

I campioni di terreni prelevati durante la campagna di indagine 2019 sono stati sottoposti alle prove di laboratorio geotecnico riepilogate nella Tabella 5-9.

Tabella 5-9 Riepilogo campioni prelevati e prove eseguite (Italferr 2019).

Sondaggio	Tipologia Campione	Profondità campione (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg
	CR1	1,5-2,0	X	
	CR2	4,5-5,0	X	

Sondaggio	Tipologia Campione	Profondità campione (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg
S1	CR3	6,0-6,5	X	
	CR4	9,0-9,5	X	
	CR5	12,0-12,5	X	
	CR6	19,0-19,5	X	X
	CR7	24,0-24,5	X	
S2	CR1	3,0-3,5	X	
	CR2	4,5-5,0	X	
	CR3	8,0-8,5	X	
	CR4	9,0-9,5	X	
	CR5	15,0-15,5	X	X
	CR6	18,0-18,5	X	

5.5 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2018 (PFTE TRAMVIA DI BRESCIA)

A supporto del presente studio è stato considerato n. 1 sondaggio eseguito nel 2018 a supporto della progettazione della tramvia di Brescia.


In Tabella 5-10, Tabella 5-11 e Tabella 5-12 si riportano i risultati schematizzati dell'indagine eseguita.

Tabella 5-10 – Sondaggi campagna Italferr 2018.

ID	Profondità (m)	Quota (m s.l.m.)	Latitudine	Longitudine	Attrezzatura
S2_Tram	30,0	129,40	45°31'52.56" N	10°10'38.54" E	Piezometro T.A. 3"

Tabella 5-11 – Valori di N_{spt} registrati nel sondaggio S2_Tram (Italferr 2018).

Profondità (m da p.c.)	S2_Tram N _{spt}
4,5	18
9,0	21
15	26
19,5	34

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Profondità (m da p.c.)	S2_Tram Nspt
22,5	38

Tabella 5-12 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio (Italferr 2018).

Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
8,6	4.29E-05
14,7	1.22E-05

5.6 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2012/2013 (PE INGRESSO URBANO)

A supporto del presente studio sono stati considerati n. 1 sondaggio a carotaggio continuo, n. 4 prove penetrometriche superpesanti e n. 2 prove MASW eseguiti nel 2012 per la progettazione dell'”Ingresso urbano per l’interconnessione di Brescia Ovest”.

In Tabella 5-13, Tabella 5-14 si riportano i risultati schematizzati delle indagini eseguite.

Tabella 5-13 Indagini campagna Italferr 2012.

ID	Profondità (m)	Quota (m s.l.m.)	Latitudine	Longitudine	Attrezzatura
SI6	30.0	131	45°32'6.48"N	10°10'46.40"E	Piezometro T.A. 3”
DPSH12	30.0	131	45°32'6.47"N	10°10'47.00"E	-
DPSH12bis	30.0	132	45°32'10.68"N	10°10'26.43"E	-
DPSH13	30.0	128	45°32'5.77"N	10°10'48.30"E	-
DPSH23	15.0	129	45°32'6.86"N	10°10'50.10"E	-

Tabella 5-14 Valori di Nspt registrati nel sondaggio SI6 (Italferr 2012).

Profondità (m da p.c.)	N. Colpi
3	22
4,5	23
6	26
7,5	16
9	35

Tabella 5-15 – Ubicazione delle prove geofisiche effettuate, MASW4 e MASW5 (Italferr 2012).

Prove geofisiche					
Prova	Data esecuzione	Coordinate UTM Zone 32 T		Vseq (m/s)	Categoria di Suolo
		N	E		
MASW4	2012	5043193.77	591656.78	304	C
MASW5	2012	5043031.41	592209.38	300	C

6 INQUADRAMENTO SISMICO

6.1 PREMESSA

Di seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e dei risentimenti macrosismici osservati al sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, sulla scorta delle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere, la loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati. Seguendo sempre le indicazioni normative, l'accelerazione di progetto si definirà in base all'effettiva localizzazione delle opere.

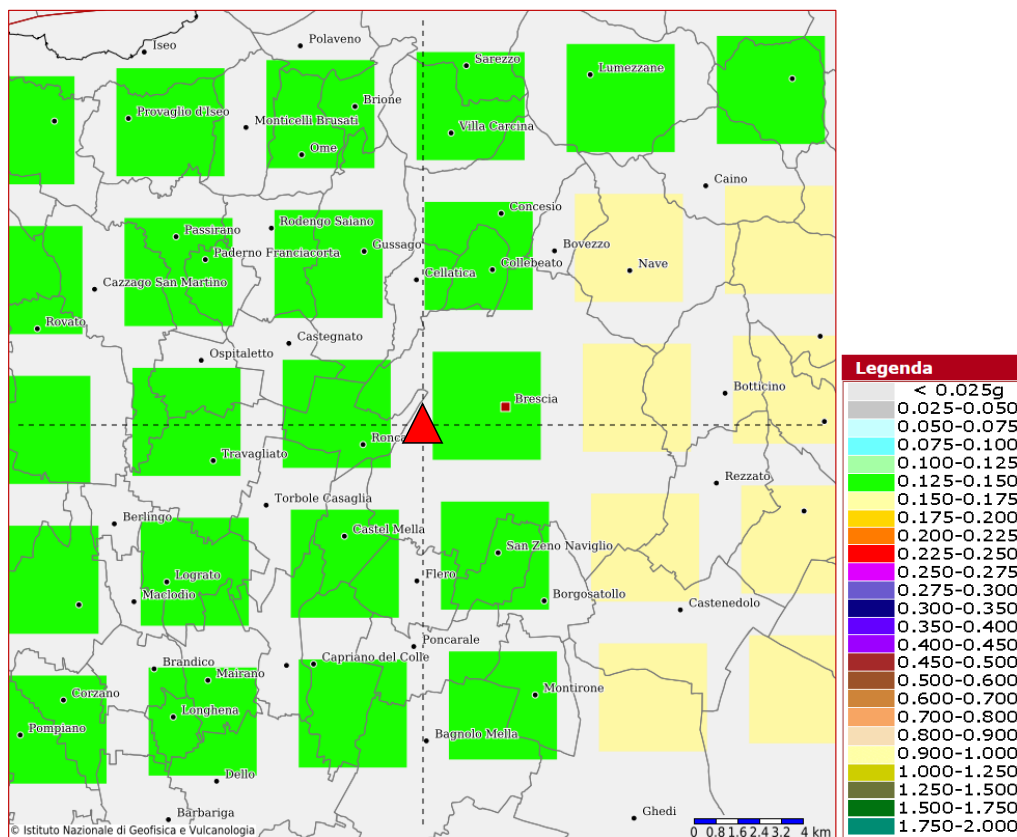


Figura 6-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno del sito di progetto (triangolo rosso), da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

¹ Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.

Le NTC2018 dispongono che l'azione sismica sia innanzitutto determinata in campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1); allo scopo, le tabelle allegate alla edizione 2008 delle NTC elencano i valori di accelerazione massima al suolo, oltre ai parametri spettrali, nei punti di una griglia di passo 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area del Comune di Brescia in Figura 6-1).

Per la localizzazione delle opere in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 6-2 dove vengono altresì indicati i punti sede di indagini geofisiche e geotecniche.

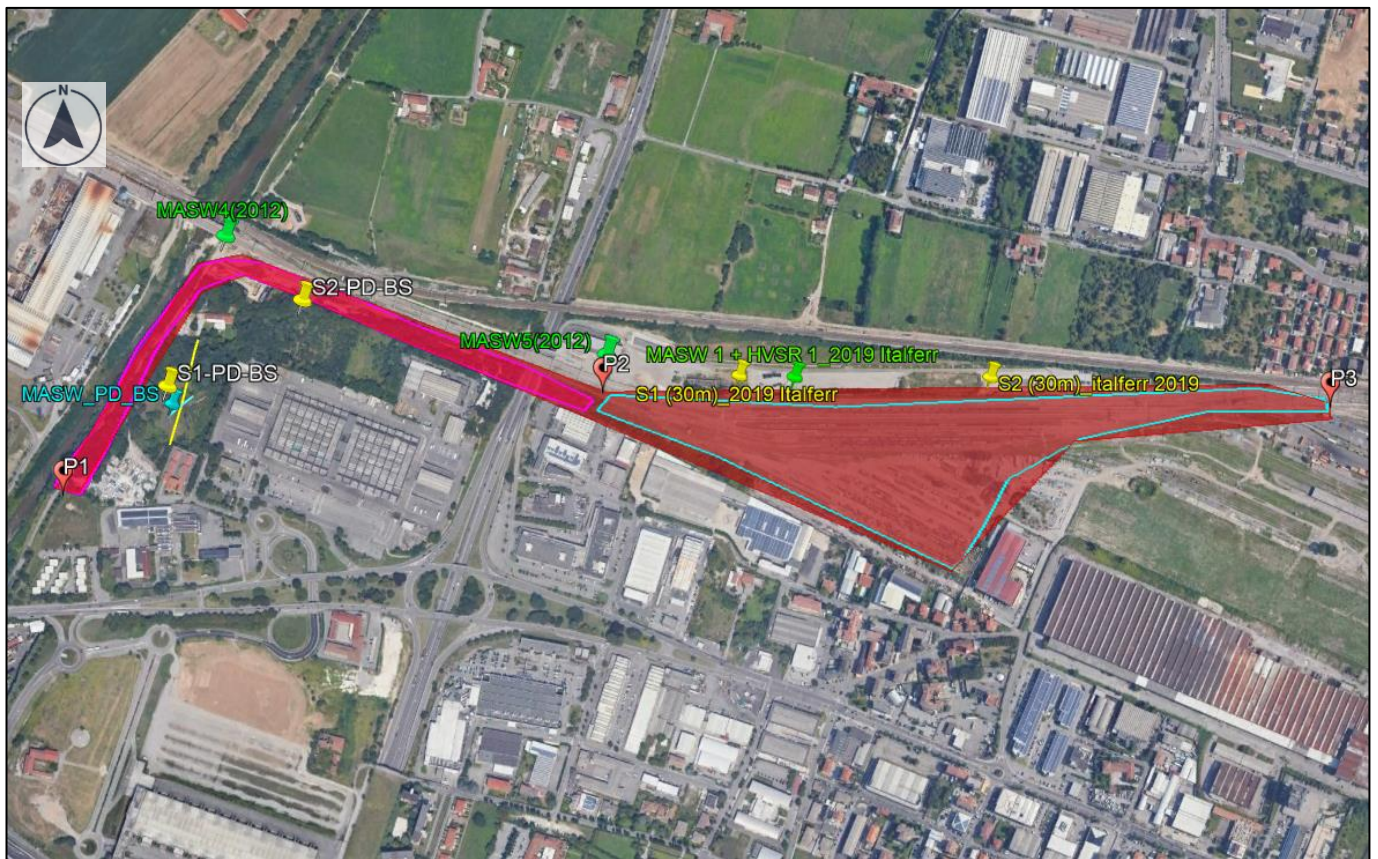


Figura 6-2 – Planimetria delle opere in progetto (area in rosso) con la localizzazione delle indagini di interesse.

6.2 ZONAZIONE SISMICA DEL PGT DEL COMUNE DI BRESCIA


Il PGT vigente del comune di Brescia comprende alcuni elaborati di analisi della pericolosità sismica. Di seguito si fa riferimento in particolare agli elaborati di “Adeguamento della componente sismica alla D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 con aggiornamento della carta della fattibilità geologica per le azioni di piano e delle relative norme”.

Tali elaborati comprendono in particolare la “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano”, redatta nel marzo 2018, la quale individua le aree caratterizzate da diverse categorie di sottosuolo. Si riporta in Figura 6-3 uno stralcio di tale carta per le aree interessate dal progetto.

La legenda della “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” di Figura 6-4 (analisi di Livello 2) riporta le indicazioni relative alla categoria di suolo da prendere in considerazione in fase di progettazione, in funzione delle condizioni stratigrafiche locali. Dopo un primo tratto iniziale, in Categoria C (lato Milano), il resto dell’area ricade in una zona classificata in Categoria B (lato Brescia). L’indicazione progettuale di ultima colonna va considerata alternativa rispetto all’esecuzione di analisi di Livello 3 (ossia, esecuzione di analisi di risposta sismica locale in accordo alle indicazioni di Allegato 5 al D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011). Si vedrà nel seguito come, sulla base della campagna di indagini geofisiche e geognostiche condotta, le Categorie C e B vengano confermate.







Figura 6-3 – Stralcio della “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” relativa all’area in progetto, in colore rosso.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A



SISMICITA' DEL TERRITORIO

Scenari per i quali è prevista, in fase di progettazione, l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento per la quantificazione dei fenomeni di instabilità e di amplificazione topografica (D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616 - All. 5, § 2.3.1 e 2.3.3).

-  Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi.
-  Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti.
-  Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana.
-  Z3b - Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo.

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).

Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale:


-  Z4b - Categorie di sottosuolo identificate C - D - E: in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s, si dovrà procedere come segue:
 - nel caso in cui l'indagine geologica-geotecnica prevista dalla normativa nazionale identifichi la presenza di terreni riferibili alle categorie di sottosuolo D o E sarà sufficiente utilizzare lo spettro di norma caratteristico della rispettiva categoria di sottosuolo (D.M. 14 gennaio 2008).
 - nel caso in cui l'indagine geologica-geotecnica prevista dalla normativa nazionale identifichi la presenza di terreni riferibili alla categoria di sottosuolo C 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).


Figura 6-4 – Stralcio della legenda della “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” (estratto di Figura 6-3).

6.3 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

L'attività sismica storica nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria. La sismicità crostale rappresenta la maggior parte di quanto registrato dalla Rete Sismica Nazionale Centralizzata gestita da INGV (Istituto Nazionale di Sismica e vulcanologia).

In generale, la sismicità dell'area interessata dal progetto è legata alla tettonica molto complessa del margine padano settentrionale. Le sorgenti sismogenetiche dovrebbero ragionevolmente trovarsi ad una profondità compresa tra 5 e 15 km, in corrispondenza dello scollamento tra il basamento cristallino e la sovrastante copertura sedimentaria.

In termini di attività sismica (generalmente non recente), in Figura 6-5 viene illustrata la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 (Rovida et al., 2021). Assieme agli epicentri sono riportate le sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano associata alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 e NTC2018). Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e le faglie composite (CSS) tratte dalla base

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 40 di 58

di dati del progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 rifletta sia la distribuzione delle faglie sul territorio nazionale, come quella degli epicentri dei terremoti. Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura tettonica, sia dettate dalla sismicità storica. Soprattutto, è possibile osservare come gli eventi di maggiore magnitudo siano localizzati in corrispondenza dell’arco alpino, ed in particolare al bordo tra la zona prealpina e le pianure lombarda e friulana. Rilevanti contributi alla sismicità del Nord Italia provengono anche dalla zona dell’Appennino Tosco-Emiliano (ad es. il terremoto dell’Emilia nel 2012).

Le principali zone sismogenetiche del modello ZS9 che influenzano direttamente la sismicità territorio in esame sono:

- ZS 906, che include terremoti originati nella Pianura Padana i cui dati sono sicuramente più scarsi e di affidabilità incerta, come ad esempio l’evento del Veronese del 1117 di $M_w \sim 6.5$, la cui sorgente non è stata ancora definita in letteratura (Galadini et al., 2001) e del Bresciano del 1222, $M_w \sim 6$, il quale ha interessato una porzione della provincia di Brescia in cui è presente un sistema di faglie inverse.
- ZS 907, che include la parte meridionale delle province di Bergamo e Brescia ed è caratterizzata da una sismicità medio-bassa, con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802 di $M_w = 5.9$.

Procedendo verso sud, la zona ZS911 delimita l’estremità settentrionale dell’arco appenninico, oltre a comprendere l’arco di Pavia. Si ipotizza che le strutture di questa zona abbiano una funzione di “svincolo” cinematico del sistema in migrazione (Gruppo di Lavoro, 2004). Procedendo sempre verso sud le zone sismogenetiche seguono longitudinalmente l’asse appenninico, perdendo di interesse in termini di effetti potenziali al sito di progetto al crescere della distanza. Si evidenzia la ZS915 contenente eventi di magnitudo superiori a 6, fra cui il terremoto della Garfagnana del 1920 (Guidoboni et al., 2007).

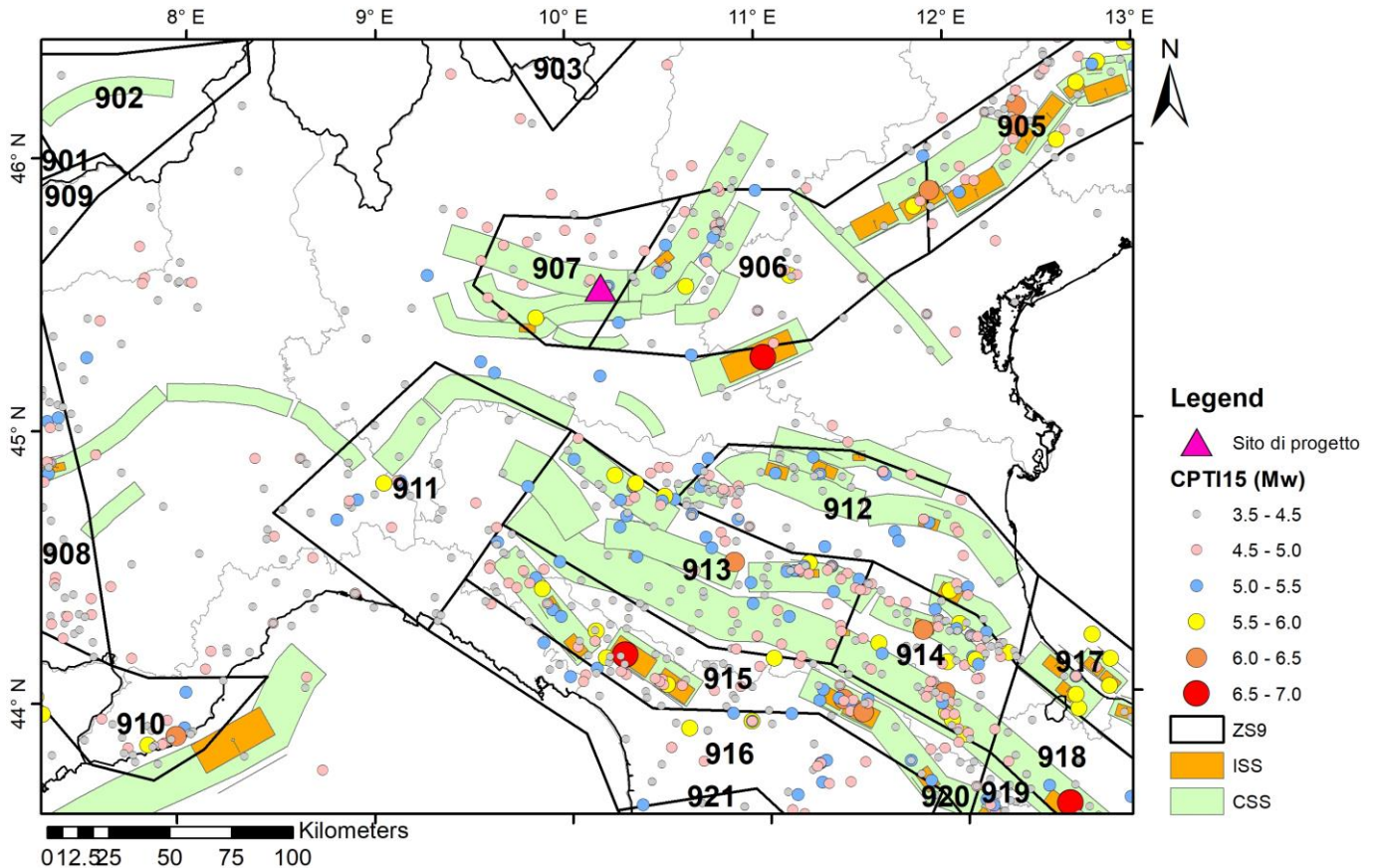


Figura 6-5 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell’intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

Le potenziali strutture di faglia più vicine all’area di progetto, riportate in Figura 6-6 dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2.1 (DISS Working Group 2018), sono costituite da sistemi di faglie composite (CSS), all’interno delle quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). Le strutture più prossime al tracciato sono sinteticamente descritte di seguito ed indicate con la relativa sigla nella stessa Figura 6-6:

- ITCS010: si tratta di una porzione del sistema di faglie compressive a sud della catena alpina. I dati storici mostrano una diffusione sparsa di fenomeni sismici di magnitudo M_w compresa tra 4.6 e 5. Il terremoto più rilevante di questo sistema è quello di Salò del 30 Ottobre 1901 (M_w 5.7), seguito, a circa un secolo di distanza temporale, praticamente nella medesima area epicentrale, dal terremoto del 24 Novembre 2004 (M_w 5.2). Il terremoto di maggiore intensità attribuito a questa sorgente è quello del Veronese del 3 Gennaio 1117 (M_w 6.6).

- ITCS048 “Giudicarie”, sorgente composita, si estende tra le città di Salò (a sud-ovest) e Trento (a nord-est) e appartiene al sistema di spinta delle Giudicarie alpine meridionali. Un segmento di questa sorgente è stato associato al terremoto di Salò del 1901.
- ITCS002, sorgente composita, appartenente al fronte di spinta più esterno delle Alpi Meridionali, sede di una sismicità di livello inferiore.
- ITCS072: si trova a cavallo di una regione situata a sud-ovest del Lago di Garda. I cataloghi sismici mostrano una scarsa sismicità in questa regione, salvo il terremoto importante del 12 maggio 1802 (M_w 5.9) della valle Oglio. Un altro terremoto distruttivo (M_w 6.1) del 25 dicembre 1222 potrebbe essere associato a questa fonte o alla spinta da Sud.
- ITCS113 “Sirmione” e ITCS114 “Solferino”, sorgenti composite, localizzate nella zona meridionale del lago di Garda, sede di una sismicità di livello inferiore, caratterizzate da valori bassi di magnitudo.
- ITCS115, sorgente composita, appartenente al fronte di spinta più esterno delle Alpi Meridionali. Comprende la sorgente del terremoto della Valle dell’Oglio del 12 Maggio 1802 (M_w 5.9).
- ITCS116, sorgente composita, appartenente al fronte di spinta più esterno delle Alpi Meridionali, sede di una sismicità di livello inferiore.
- ITCS073 “Monte Baldo”; i dati storici e strumentali mostrano una diffusa sismicità di livello medio-inferiore, con allineamento dei segni epicentrali lungo la catena del Monte Baldo. In particolare, i cataloghi storici indicano 9 eventi di magnitudo compresa tra 4.6 e 5.2 (secoli XIX e XX).

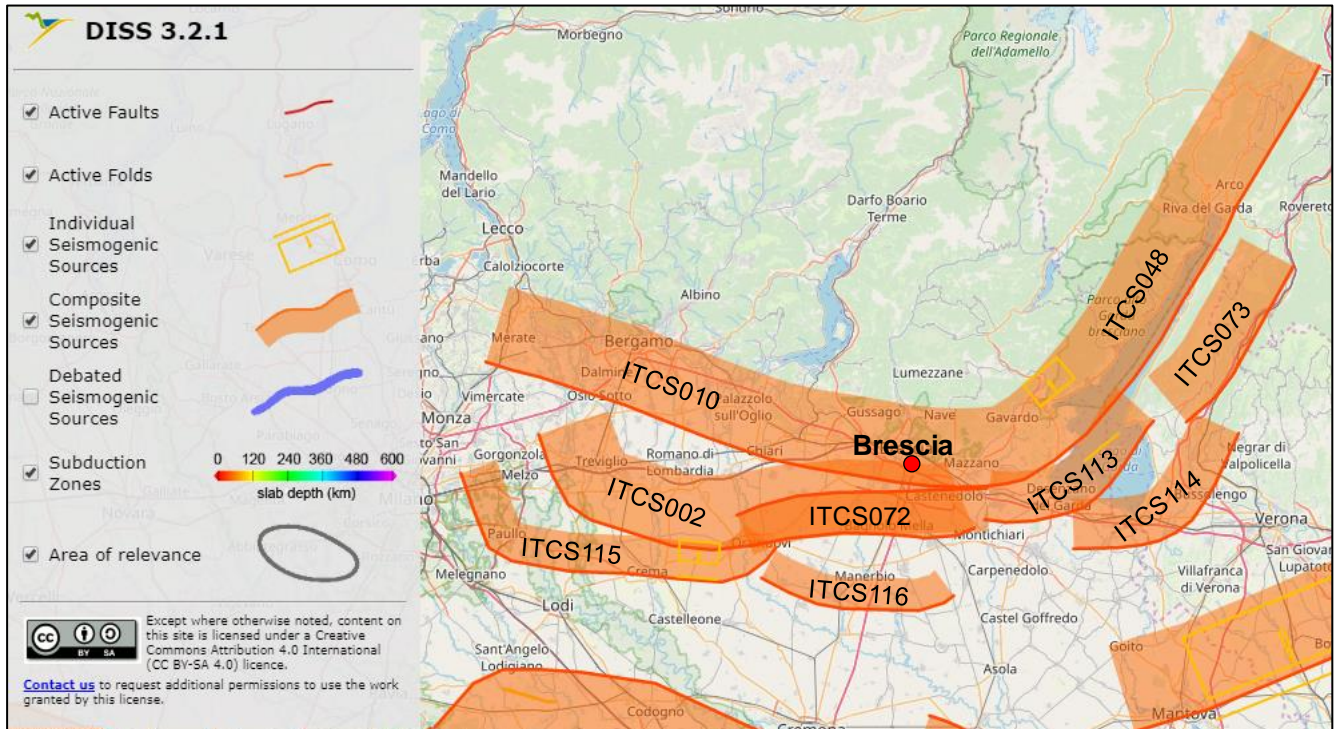


Figura 6-6 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite, dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2), rilevanti per l’area in oggetto (cerchio rosso).

6.4 FAGLIE ATTIVE

A completamento del quadro delineato, vanno considerati anche i dati relativi a possibili sorgenti sismogenetiche derivanti dagli studi condotti dall’ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale) confluiti nel “Progetto ITHACA – Catalogo delle faglie capaci”. La Figura 6-7 mostra la mappa dei dati relativi alle faglie capaci presenti nell’intorno del tracciato di progetto dal catalogo ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults). In particolare, in prossimità del tracciato di progetto si trova la faglia trascorrente “M. Orfano” con una lunghezza di 30.1 km.

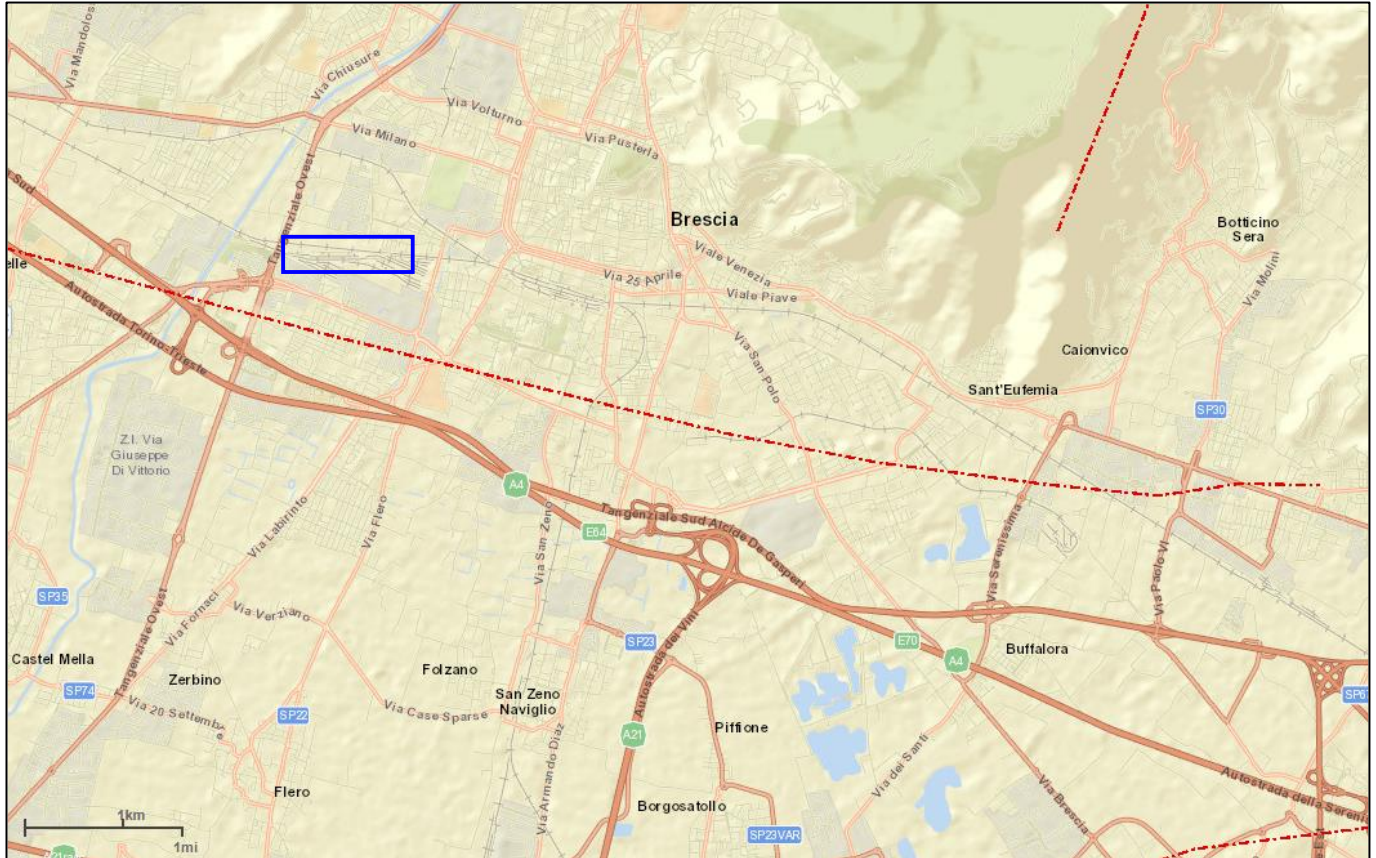


Figura 6-7 – Le fuglie capaci (linee rosse tratteggiate) dal “Catalogo ITHACA”, (<http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/>) rilevanti per l’area di progetto (rettangolo blu).

6.5 INTENSITÀ MACROSISMICHE

Per comporre un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2021), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche (I_{MCS}) osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2019. In particolare, la Figura 6-8 viene mostrata la storia in termini di intensità macrosismica associata al Comune di Brescia. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia piuttosto significativa, e che le intensità sismiche massime avvertite raggiungano valori prossimi a 8 (terremoti del 1065 e del 1222). Fra gli altri eventi storici più significativi ($I \geq 6$) si ricordano:

- 1117 Veronese, $I_{MCS} = 7$
- 1774 Bresciano, $I_{MCS} = 6$
- 1799 Castenedolo, $I_{MCS} = 6/7$

- 1894 Franciacorta, $I_{MCS} = 6$
- 1901 Salò, $I_{MCS} = 7$

Da quanto sopra si evince come sia associabile all'area di progetto una sismicità media.

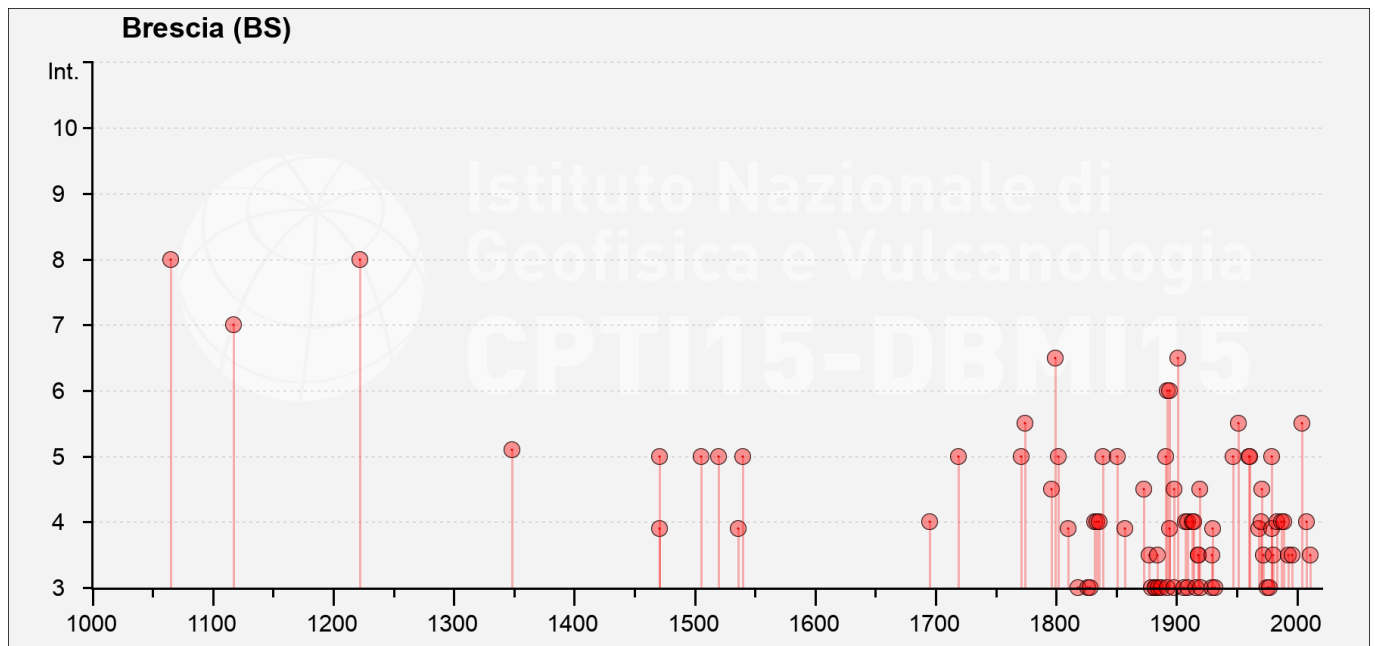



Figura 6-8 – Storia sismica del comune di Brescia (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2021).

6.6 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

6.6.1 Generalità

L'azione sismica di progetto viene qui definita secondo quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica si concretizza nella determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ “ancorato” al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 46 di 58

- a_g accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_{c*} periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima determinato il periodo di riferimento per l'azione sismica (par. 6.6.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 6.6.3 saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare determinata a sua volta per suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti nella precedente (cfr. par.6.6.4). La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 6.6.5, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

6.6.2 Vita utile e classe d'uso

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.


Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 75 \text{ anni.}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere appartengono alla Classe d'Uso III, ossia:

“Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.”

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso III corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a:

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

$$C_U = 1.5$$

Il periodo di riferimento V_R si ottiene moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

6.6.3 Stati limite e probabilità di superamento


L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1-P_{VR})$$

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 6-1.

Tabella 6-1 – Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, in funzione delle opere considerate, per i diversi stati limite.

Stato limite di riferimento		Probabilità di superamento P_{VR}	Periodo di ritorno dell'azione sismica T_R
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	81%	68
	Stato limite di danno (SLD)	63%	113
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	10%	1068
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	5%	2193

6.6.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) i valori a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_{c*} (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale.

I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. Per definire i valori della pericolosità sismica di base, sono stati scelti 3 punti di interesse lungo il tracciato sede delle opere (inizio, punto intermedio e fine tracciato, i.e. P_1 , P_2 e P_3 in Figura 6-2).

In Tabella 6-2, si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009) per ognuno dei 3 punti di interesse.

Tabella 6-2 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno di punti scelti lungo il tracciato. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.

ID Punto	Longitudine	Latitudine	Localizzazione punti di griglia
P ₁ – Inizio tratto	10.170998°	45.533082°	
P ₂ – Intermedio	10.180993°	45.534413°	
P ₃ – Fine tratto	10.194420°	45.534227°	

Il confronto fra i valori del parametro a_g ai diversi punti di riferimento, per i diversi stati limite, riportati in Tabella 6-3, mostra come la variabilità dell'input sismico lungo l'estensione del tracciato sia tutto sommato ridotta. Pertanto, si è assunto quale riferimento per la definizione della pericolosità sismica per tutta l'estensione dell'opera, il punto P₃, di pericolosità leggermente superiore. Il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_0 e T_{c*} è riportato in


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Tabella 6-4.

Tabella 6-3 – Valori del parametro a_g per gli stati limite di riferimento per i siti di progetto (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per $VR = 112.5$ anni.

SL	T_R [anni]	a_g [g]		
		P_1	P_2	P_3
SLO	68	0.063	0.063	0.063
SLD	113	0.081	0.081	0.081
SLV	1068	0.194	0.195	0.197
SLC	2193	0.248	0.250	0.253

Tabella 6-4 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^ per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per $VR = 112.5$ anni.*

SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	68	0.063	2.444	0.247
SLD	113	0.081	2.425	0.259
SLV	1068	0.197	2.447	0.286
SLC	2193	0.253	2.433	0.295


6.6.5 Risposta sismica locale

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_S \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si conduce in base alle condizioni stratigrafiche ed al valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definito dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

dove:

h_i = spessore dell’i-esimo strato;

$V_{s,i}$ = valore di 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.

La campagna di indagini geofisiche eseguita nel tratto di interesse ha compreso l’esecuzione di n. 1 indagine sismica di superficie con metodologia MASW (MASW-PD-BS in Figura 6-2) durante questa fase progettuale e n. 1 indagine MASW (MASW1 in Figura 6-2) durante fase precedente (PFTE). Inoltre, sono state considerate le due indagini geofisiche MASW (MASW4 e MASW5) della campagna di indagini eseguita da Italfer a supporto del PE del “Ingresso urbano dell’interconnessione Brescia Ovest tratta AC Milano – Verona, Linea AV/AC Milano – Venezia”.

I risultati delle prove MASW, distribuite lungo il tracciato, restituiscono un valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$, compreso nell’intervallo 300-326 m/s (Categoria di suolo C da Tabella 6-5).

Dalle sezioni geologiche lungo il tracciato di interesse, si osserva la presenza di uno spesso strato di limo argilloso sabbioso nella prima parte del tracciato (il tratto A₁, dall’inizio di tracciato lato Milano, punto P₁, fino al punto P₂), associabile ad un sottosuolo di categoria C.

Nella seconda parte del tracciato (il tratto A₂, dal punto P₂ al punto P₃, lato Brescia), tale strato risulta sostituito da una formazione di ghiaia sabbiosa con ciottoli, a spiegare l’incremento di velocità media di propagazione delle onde di taglio rilevato dalle prove MASW, confermando pertanto il sottosuolo nella categoria B.


I coefficienti S_S per le categorie di suolo B e C si ottengono dalle seguenti espressioni (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.20 \quad (cat. B)$$

$$S_S = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50 \quad (cat. C)$$

Per ciò che concerne l’amplificazione topografica, il sito di progetto si colloca su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite sono riportati in Tabella 6-6.

Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 6-5 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tabella 3.2.II delle NTC2018).

Suolo	Descrizione geotecnica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti 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	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, 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	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 6-6 – Valori di a_g e dei coefficienti di sito S ($ST=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)) per due tratti scelti nel tracciato di progetto.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	Tratto A1 (da P ₁ a P ₂)		Tratto A2 (da P ₂ a P ₃)	
			S (-)	a_{max} (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	68	0.063	1.500	0.094	1.2	0.076
SLD	113	0.081	1.500	0.121	1.2	0.097
SLV	1068	0.197	1.411	0.277	1.2	0.236
SLC	2193	0.253	1.331	0.336	1.154	0.292

6.7 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g.
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri 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 $q_{cIN} > 180$ 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_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità, fornite nelle NTC2018.

Analizzando dunque ciascuna possibile circostanza:

- l'accelerazione massima corrispondente allo stato limite ultimo di verifica (SLV) è superiore a 0.1 g e pertanto la condizione non è verificata;

- per quanto riguarda la falda, per i sondaggi eseguiti durante questa fase progettuale, le misure piezometriche misurate in corso di perforazione nel sondaggio S1 PD BS e S2 PD BS mostrano la falda a profondità di 10.23 m e 11.0 m, rispettivamente, mentre le misure nel sondaggio S1 e S2 eseguite durante la fase precedente mostrano la falda a profondità di 12.45 m e 15.2 m, rispettivamente e pertanto in linea generale la condizione non è verificata;
- per quanto riguarda la resistenza penetrometrica, i valori di $(N_1)_{60}$ non sono sempre superiori a 30, e di conseguenza, la condizione non è verificata;
- per quanto riguarda la distribuzione granulometrica, la Figura 6-9 illustra la distribuzione granulometrica dei campioni prelevati entro profondità di 20m per i sondaggi realizzati durante questa fase progettuale (S1 PD BS e S2 PD BS). Si osserva come le curve granulometriche dei campioni ricadano maggiormente tutte o a parte nel campo di terreni suscettibili a liquefazione. Di conseguenza, la condizione non è verificata.

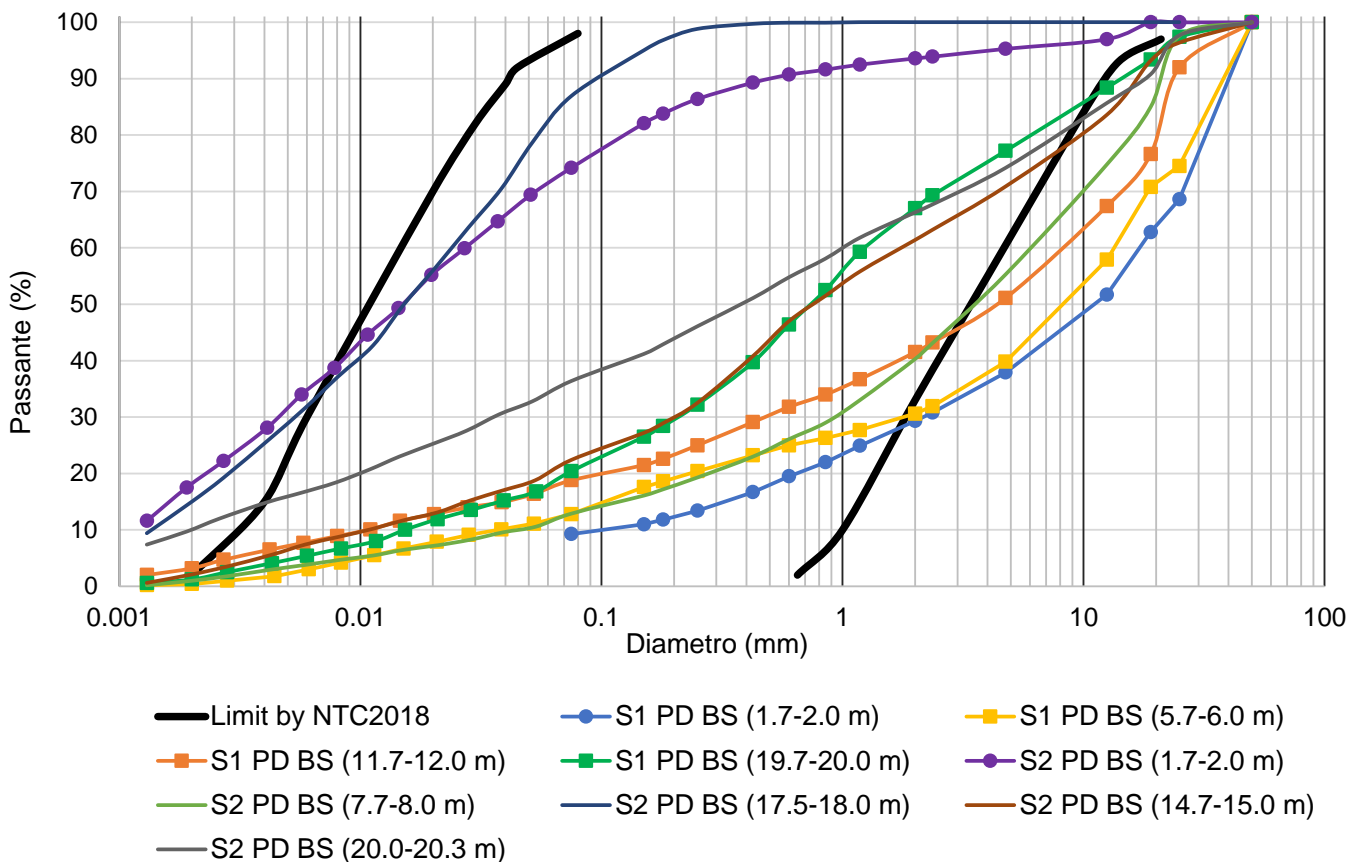


Figura 6-9 – Curve granulometriche dei campioni prelevati entro profondità di 20 m assieme alle curve che delimitano il campo di suscettibilità fornite nelle NTC2018 (curve nere).

Pertanto, per il tratto di progetto nessuno dei criteri di esclusione di cui sopra è verificato e si dovrà procedere alla verifica a liquefazione, oggetto specifico della Relazione Geotecnica.

Per la definizione del valore di magnitudo di riferimento per le verifiche a liquefazione, oltre al quadro sismo-tettonico esposto nei paragrafi precedenti, può essere considerata l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1. I risultati di queste analisi sono mostrati in Figura 6-10, qui considerata per il periodo di ritorno più prossimo a quello corrispondente dello stato limite ultimo di verifica (SLV, cfr. i valori di pericolosità sismica ai siti riportati in Tabella 6-6), ovvero 975 anni. Tali risultati mostrano come, per la definizione della pericolosità sismica, siano dominanti terremoti con valori di magnitudo attorno a 4.0-6.0 ed epicentro a distanza circa 0-20 km. I valori medi di magnitudo e distanza sono pari a 4.86 e 8.02 km.

Sulla base dei risultati delle analisi di disaggregazione e la sismicità storica dell'area di progetto tenendo conto dei terremoti con maggiore risentimento nell'area di progetto (cfr. paragrafi precedenti), è ragionevole assumere una magnitudo di riferimento per la verifica a liquefazione pari a **5.9**.

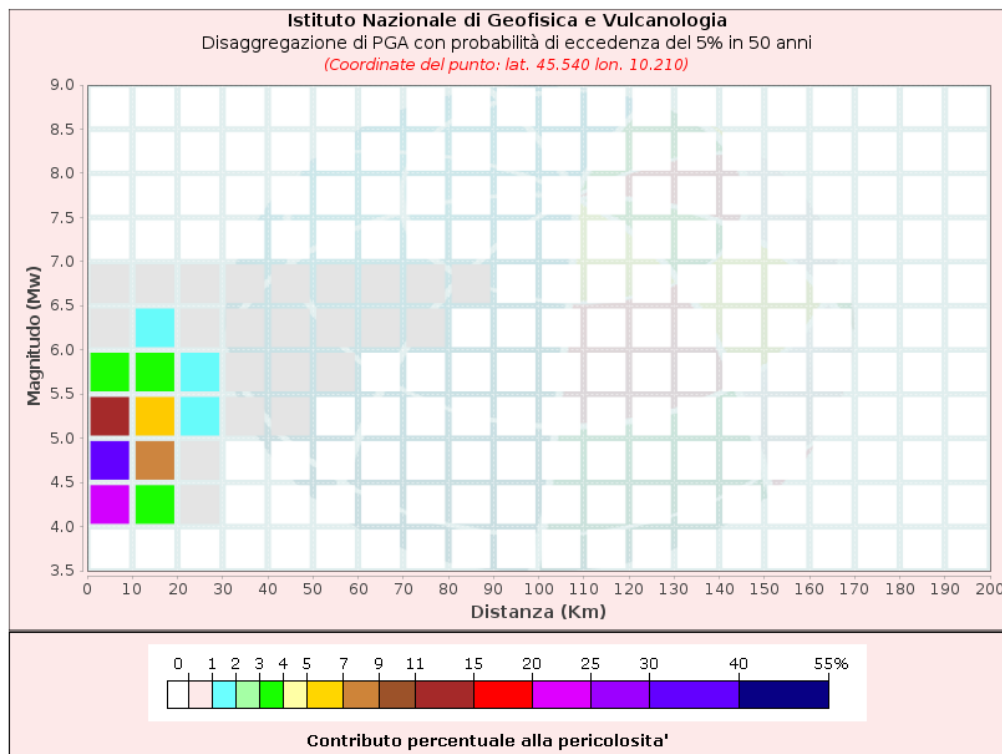


Figura 6-10 – Analisi di disaggregazione del dato di pericolosità per il punto di griglia prossimo al sito progetto per TR = 975 anni (da elaborazioni DPC-INGV S1, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>).


7 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- l'area interessata dal progetto si sviluppa nel settore orientale della regione Lombardia, nella parte occidentale del comune di Brescia.
- Il territorio appartiene alla pianura lombarda, formatasi per attività neotettonica, per azione dei ghiacciai e per l'attività dei corsi d'acqua che hanno depositato i materiali presenti in sito. I depositi appartengono al "Livello fondamentale della Pianura" e sono costituiti da sedimenti in prevalenza grossolani, appartenenti agli eventi fluvioglaciali del Riss e del Würm, provenienti dalle cerchie moreniche.
- Dal punto di vista stratigrafico i terreni sono costituiti da depositi fluviali e fluvioglaciali trasportati principalmente dal Fiume Mella. L'area di studio, sulla base della cartografia nel Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia, si colloca su depositi alluvionali attuali o recenti, depositi alluvionali fluvioglaciali e fluviali, depositi di riporto e depositi eluvio e/o colluviali dell'Olocene.
- Dal punto di vista geomorfologico l'area presenta, nella parte settentrionale, due grandi laghi (Iseo e Garda), zone collinari e prealpine a rilievo pronunciato, mentre nella parte centro-meridionale si estende la pianura. L'area di interesse si sviluppa in pianura con quote comprese tra 130 a 135 m s.l.m. ed è caratterizzata da blande ondulazioni del piano campagna che coincidono con i ripiani dei depositi alluvionali e fluvioglaciali in cui è modellata l'area di studio. Il progetto si sviluppa alla sinistra orografica del Fiume Mella ed alla destra orografica del Fiume Chiese; entrambi sono fiumi a carattere torrentizio. Il territorio può essere suddiviso in due ambiti principali, quello degli anfiteatri morenici ed il "Livello Fondamentale della Pianura", ed in due minori: le Prealpi e le valli fluviali.
- Dal punto di vista idrogeologico il sottosuolo è costituito da unità idrogeologiche caratterizzate da litotipi con caratteristiche omogenee. L'unità ghiaioso-sabbiosa, che presenta una permeabilità mediamente elevata, può essere delimitata da uno strato limoso argilloso attribuibile a depositi fluvioglaciali più antichi; l'unità conglomeratica, costituita da materiali conglomeratici, sabbiosi ed arenacei con intercalazioni argillose e ghiaiose, rappresenta la principale unità-serbatoio dalla quale emungono i pozzi pubblici e privati all'interno del comune; l'unità Villafranchiana, infine, che è rappresentata da argille ed argille limose con intercalazioni ghiaiose o ghiaioso-sabbiose e rare lenti torbose. I livelli ghiaiosi sabbiosi grossolani, contenuti all'interno dei depositi argillosi del villafranchiano possono contenere falde confinate utilizzate a scopo acquedottistico. Le carte idrogeologiche allegate al Piano di Governo del Territorio del comune di Brescia (2018) identificano

un livello freatico compreso tra 115 e 116 m s.l.m., mentre i dati piezometrici a disposizione individuano la falda tra 120,21 e 116,9 m s.l.m..

- Dal punto di vista del rischio e di vincoli territoriali, l'area di studio rientra in parte in un'area potenzialmente interessata da alluvioni rare (aree P1/L). Inoltre, in tutta l'area si evidenzia la presenza di criticità di carattere ambientale relativa alla falda, potenzialmente interessata da inquinamento diffuso e/o focolai localizzati di contaminazione individuata dal perimetro del Sito Nazionale Brescia-Caffaro (D.M. 24/02/2003). Inoltre, a nord del tracciato si evidenzia la presenza di un'area che mostra criticità relative ai terreni/riporti potenzialmente inquinati. Infine, l'area ferroviaria è intersecata da varie rogge irrigue, le quali si trovano a valle dello stabilimento Caffaro, che sono potenzialmente inquinanti.
- Dal punto di vista sismico il sito risulta caratterizzato da sismicità media. Sulla base delle indagini geofisiche e geognostiche, il tracciato di progetto ricade in due categorie di sottosuolo, ovvero di tipo C e B. Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni, nessuno dei motivi di esclusione risulta verificato a priori, per cui dovrà essere effettuata una verifica del fenomeno di liquefazione che sarà oggetto della Relazione Geotecnica.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V. /A.C. MILANO – VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 58 di 58

8 BIBLIOGRAFIA

- Basili, R., and V. Kastelic (2011). D3.4 – *Database of active faults and seismogenic sources*, SHARE, 31.05.2011.
- Boni A., Cassinis G., Venzo S. (1970) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000 – Foglio 47 – Brescia*. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato. Direzione Generale delle Miniere. Servizio Geologico d'Italia.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, *Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi*, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Cremaschi M., (1990^o) – *The loess in Northern Italy: a loess basin between the Alps and the Mediterranean region*. Quad. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1: 187 pp.
- Cremaschi M., (1990b) – *Pedogenesi medio Olocenica ed uso dei suoli durante il neolitico in Italia settentrionale, in The neolithisation of the Alpine Region*. Monografie di Natura Bresciana, 13: 71-89.
- Denti, E., S. Lauzi, P. Sala & L. Scesi, (1998) – *Studio idrogeologico della pianura Bresciana tra i fiumi Oglio e Chiese*. Studi idrogeologici sulla Pianura Padana, Milano.
- DISS Working Group (2018). *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Galadini F., Galli P., Molin D., Ciurletti D. (2001), *Searching for the seismogenic source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multi- disciplinary approach*. In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), *The use of historical data in natural hazards assessment*. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 3–27.
- Gruppo di Lavoro MPS. (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, Italy, 65 pp. + 5 appendici, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>, last access September 2012.*

- Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. <http://storing.ingv.it/cfti4med>
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). *Developing seismogenic source models based on geologic fault data*. *Seismol. Res. Lett.*, 82, 519-525.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2021). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)*. <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>.
- Mantovani E., Babbucci D., Albarello D., Mucciarelli M. (1990). *Deformation pattern in the central Mediterranean and behavior of the African-Adriatic promontory*. *Tectonophysics*, 179, 63-79, Mantovani E., *La previsione della pericolosità sismica in Italia*. *Le Scienze*, 257, 16-25, 1990.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Mongelli, F., Zito, G., Della Vedova, B., Pellis, G., Squarci, P. and Taft, L. (1991). *Geothermal regime of Italy and surrounding seas, in Exploration of the deep continental crust*, V. Cermak and L. Rybach eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Norme Tecniche per la Costruzione D.M. 17 gennaio 2018.
- Piano Regolatore Generale, Componenti geologica, idrogeologica e sismico, Relazione Illustrativa, Comune di Brescia.
- Piano Regolatore Generale, Componenti geologica, idrogeologica e sismico, Relazione Illustrativa, Comune di Rezzato.
- Piano Regolatore Generale, Componenti geologica, idrogeologica e sismico, Relazione Illustrativa, Comune di Mazzano.
- Regione Lombardia (2002) – *Geologia degli Acquiferi padani della Regione Lombardia*.

- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds) (2021). *Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15), version 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).* <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>.