

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE: A.T.I. CAR SEGNALETICA STRADALE S.R.L.(Capogruppo) – SICURBAU S.R.L.



PROGETTAZIONE: S.T.E. srl – Italiana Sistemi srl.

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA**

**Lotto funzionale Treviglio-Brescia**

**INTERVENTI DI MITIGAZIONE ACUSTICA INGRESSO URBANO  
DELL'INTERCONNESSIONE DI BRESCIA OVEST E NODO DI BRESCIA**

**GEOLOGIA**

Relazione geologica

APPALTATORE <b>CAR SEGNALETICA STRADALE S.R.L.</b> <small>(data e firma)</small> C.da Piantone, 11 - 51100 Tel. 0824.875215 - 0824.875189 - Fax 0824.875174 82030 PONTE (Bn) Partita Iva 01949090622	<b>SICURBAU S.r.l.</b> Via Rivolta snc 82030 TORRELUISO (BN) P. IVA e C.F. 02 477 240 218	 ORDINE DEI GEOLOGI GEOLÖGENKAMMER N. 66 VUILLERMIN MAURICE	SCALA:
--	--	---	--------

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

I N O G 0 0 E Z Z 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	N. Cognome M.Vuillermin	data Sett 2016	N. Cognome M.Vuillermin	data Sett 2016	N. Cognome F. LA CAMERA	data Sett. 2016	N. Cognome data M. VUILLERMIN SETTEMBRE 2016



File: IN0G00EZZRGGE0001001A.doc

n. Elab.: 2.1



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CIG: 6156342621

CUP: J41C07000000001

## INDICE GENERALE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. GEOMORFOLOGIA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. LITOSTRATIGRAFIA.....</b>	<b>3</b>
Depositi fluvioglaciali .....	3
Depositi aluvionali.....	4
Depositi detritici.....	4
Substrato roccioso.....	4
<b>2.3. IDROGEOLOGIA.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO LOCALE .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. LITOSTRATIGRAFIA.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. IDROGEOLOGIA.....</b>	<b>10</b>
3.2.1. <i>Unità idrogeologiche</i> .....	10
3.2.2. Livello di falda .....	10
3.2.3. Permeabilità.....	12
<b>3.3. PROVE SPT IN FORO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4. PENETROMETRIE DINAMICHE DL.030.....</b>	<b>16</b>
3.4.1. Principali orizzonti penetrometrici .....	17
Orizzonte superficiale <b>A</b> .....	17
Orizzonte intermedio <b>B</b> .....	17
Orizzonte di base <b>C</b> .....	18
<b>3.5. LIVELLO DI FALDA .....</b>	<b>18</b>
<b>4. MODELLO SISMICO.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO .....</b>	<b>20</b>
4.1.1. Verifica della categoria di riferimento in base alla $V_{s30}$ .....	21
SITO 1 .....	22
SITO 2 .....	22
SITO 3 .....	22
SITO 4 .....	22
<b>4.2. PERICOLOSITÀ SISMICA .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE .....</b>	<b>28</b>
<b>5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>30</b>
Terreno naturale .....	30
Terreno di riporto.....	30

## 1. PREMESSA

Oggetto del presente rapporto è la relazione geologica a supporto del progetto esecutivo in titolo.

A tale scopo si dispone di numerosi dati derivanti da precedenti studi ed indagini eseguiti in zona negli anni passati, con particolare riferimento alle indagini geognostiche ed alla “Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica” del 2013 a supporto del progetto definitivo, integrati da alcuni scavi esplorativi a mano, dall'esecuzione di n.11 penetrometrie dinamiche e di 4 prove sismiche MASW e HVSR distribuite lungo tracciato.

---

### 1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO

Per quanto attiene all'inquadramento territoriale ed urbanistico del sito, si riprende in sintesi quanto discusso nel progetto definitivo dell'intervento e nello Studio di Impatto Ambientale a suo tempo predisposto (parere positivo con prescrizioni della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA-VAS n° 633 del 4.2.2011).

L'intervento in oggetto si inserisce nell'ambito della Tratta ferroviaria AV/AC Milano Verona e riguarda le mitigazioni acustiche da porre in opera a nord della Linea Storica, nell'ambito del tratto di interconnessione di Brescia Ovest in affiancamento alla Linea Storica fino all'ingresso del PRG di Brescia.

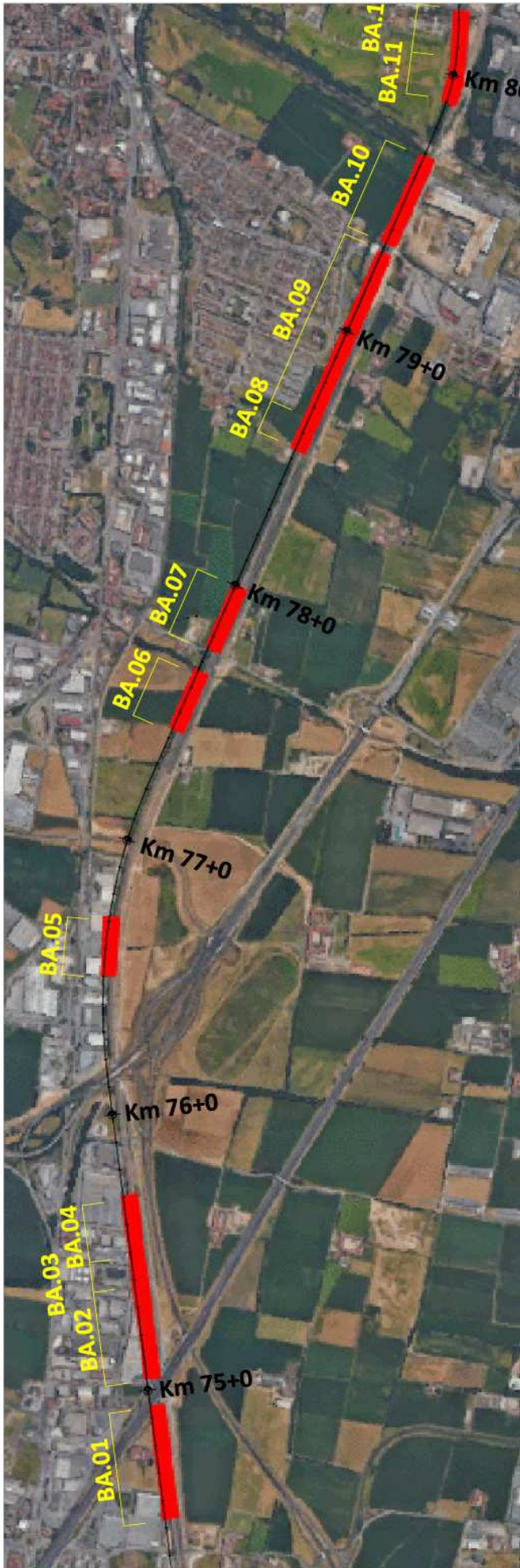
Le aree coinvolte dalla realizzazione del presente progetto ricadono nel territorio dei comuni di Castegnato, Roncadelle, Brescia.

La tratta di intervento ha origine ad ovest di via Trepola in Ospitaletto (BS), alla progressiva chilometrica 72+391.10 binario pari della linea storica (corrispondente alla pk 6+900 dell'Interconnessione AV di Brescia Ovest) e termina a est della stazione di Brescia Centrale in corrispondenza della progressiva chilometrica 84+094.50, binario pari della linea storica (corrispondente alla pk 18+632 dell'Interconnessione AV di Brescia Ovest).

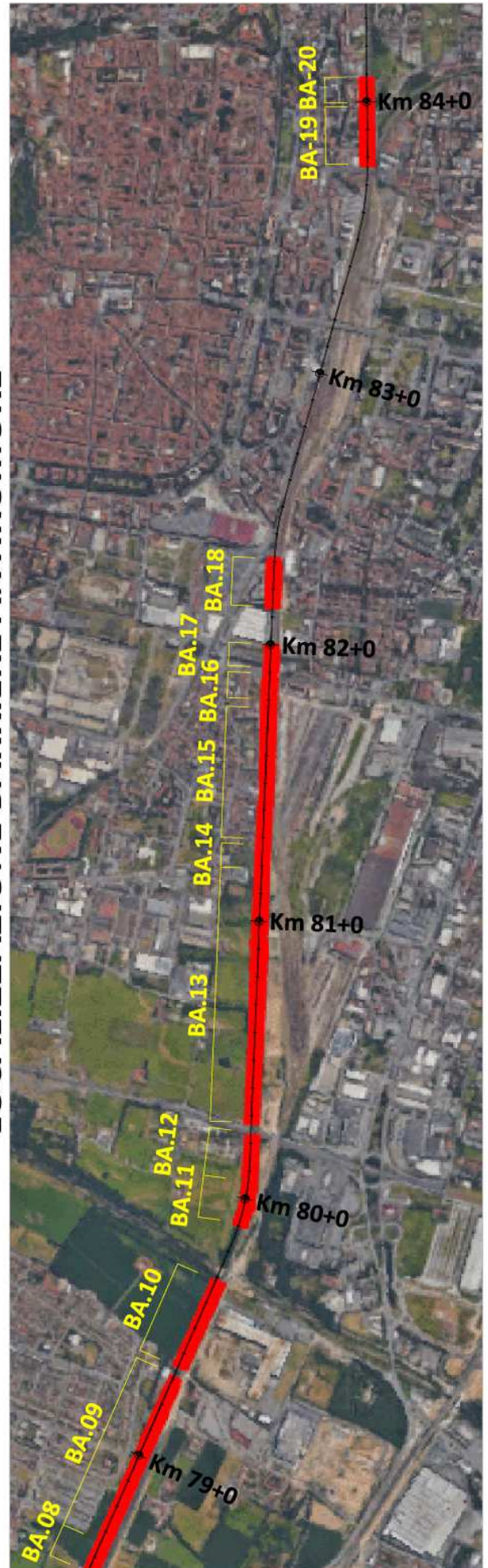
Da evidenziare che l'imposta della barriera antirumore, ubicata sempre sul rilevato ferroviario, nel tratto compreso tra le progressive pk 79+912 e la pk 82+004 lambisce il perimetro dell'Ordinanza del Comune di Brescia prot. n. 185982/15 del 29/12/2015, finalizzata all'imposizione di alcuni limiti all'utilizzo del territorio comunale nella zona sud ovest della città e nel sito inquinato di interesse nazionale denominato “Brescia – Caffaro”.

Più precisamente, il piede del rilevato della linea ferroviaria interessata dalle opere rappresenta il limite sud del SIN sopra citato, così come perimetrato con Decreto del Ministro dell'ambiente e della Tutela del Territorio del 24 febbraio 2003 a comprendere delle aree interessate da contaminazione diffusa di PCB, PCDD, PCDF, arsenico e mercurio (derivanti principalmente da attività pregresse dello stabilimento chimico Caffaro S.p.A.).





**LOCALIZZAZIONE BARRIERE ANTIRUMORE**



## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

### 2.1. GEOMORFOLOGIA

Il tratto ferroviario in progetto si sviluppa interamente in pianura, con andamento grosso modo EW. Le differenze di quota sono minime, passando da 124 a 138 metri circa sul livello del mare, su uno sviluppo complessivo di circa 11 km.

La prima parte del tracciato corre a Ovest della città di Brescia, nella piana alluvionale del Fiume Mella, per poi dirigersi verso il centro della città. Proseguendo verso Ovest le quote salgono leggermente in quanto il centro storico di Brescia è posto ai piedi di un colle calcareo, interessando i detriti frutto della dinamica di versante. Superata la stazione ferroviaria il tracciato torna a perdere quota, ritornando nella media pianura. Tutto il tracciato appare intensamente urbanizzato, con l'eccezione della prima parte in cui si attraversano lembi di campagna tra gli insediamenti produttivi e commerciali.

Elemento di maggiore rilievo del reticolo idrografico locale è rappresentato dal fiume Mella, che 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 Torrente Garza, che è il maggiore collettore delle acque meteoriche della città di Brescia.

Il corso del Mella è rettilineo, segno di 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 e il corso rettilineo, unito a numerose opere trasversali come briglie, soglie e traverse, rendono stabile il profilo di fondo.

### 2.2. LITOSTRATIGRAFIA

L'area interessata dal tracciato in progetto appartiene alla pianura lombarda, formata e rimodellata dall'attività neotettonica, dall'azione dei ghiacciai e dall'attività dei corsi d'acqua che hanno depositato i materiali presenti in sito con potenza nell'ordine delle decine di metri.

#### Depositi fluvioglaciali

I depositi presenti nell'area 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 le unità stratigrafiche riferite ai due eventi fluvioglaciali è individuata da una linea di risorgive situata qualche chilometro a sud



del tracciato in esame. La descrizione di questi depositi è la seguente:

- Depositi fluvioglaciali del Würm: Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose e limose, con strato di alterazione brunastro di spessore limitato. Costituiscono la media pianura a valle della zona delle risorgive.
- Depositi fluvioglaciali (Würm - Riss?): Alluvioni fluvio-glaciali, da molto grossolane a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo-rossiccio, di ridotto spessore, localmente ricoperte da limi più recenti in lembi non cartografabili separatamente. Costituiscono l'alta pianura a monte della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche più alte.

#### Depositi alluvionali

Oltre ai sedimenti fluvioglaciali sono presenti i depositi alluvionali attuali, recenti e tardo - wurmiani. Si tratta prevalentemente di alluvioni sabbioso-ghiaiose terrazzate, costituite in prevalenza da ghiaie e sabbie e lenti limose di spessore ed estensione variabile, separate dal fluvioglaciale Wurmiano da un modesto terrazzo non sempre riconoscibile sul terreno.

#### Depositi detritici

Si segnalano inoltre i depositi detritici che bordano, in Brescia, i rilievi calcarei. Si tratta di depositi di falda, eluvio colluviali e di conoide ormai inattivo, terre rosse derivanti dalla dissoluzione dei carbonati. Si presentano a volte cementati, sono in gran parte olocenici, ma, in alcuni casi, la loro età è ascrivibile al Pleistocene.

#### Substrato roccioso

Il substrato roccioso, affiorante a Brescia città, è costituito da formazioni carbonatiche di età mesozoica (formazione del Medolo). Data la notevole profondità in corrispondenza della linea ferroviaria, non viene trattato in questa sede. La stessa cosa avviene per la cosiddetta "Unità Villafranchiana" (Pleistocene inferiore), costituita da argille e limi di colore grigio-azzurro, contenenti lenti di torbe di ghiaie e sabbie. Questa formazione non affiora ma viene rilevata nei sondaggi profondi (oltre 60-80 metri) e costituisce il letto dell'acquifero più produttivo.

---

### **2.3. IDROGEOLOGIA**

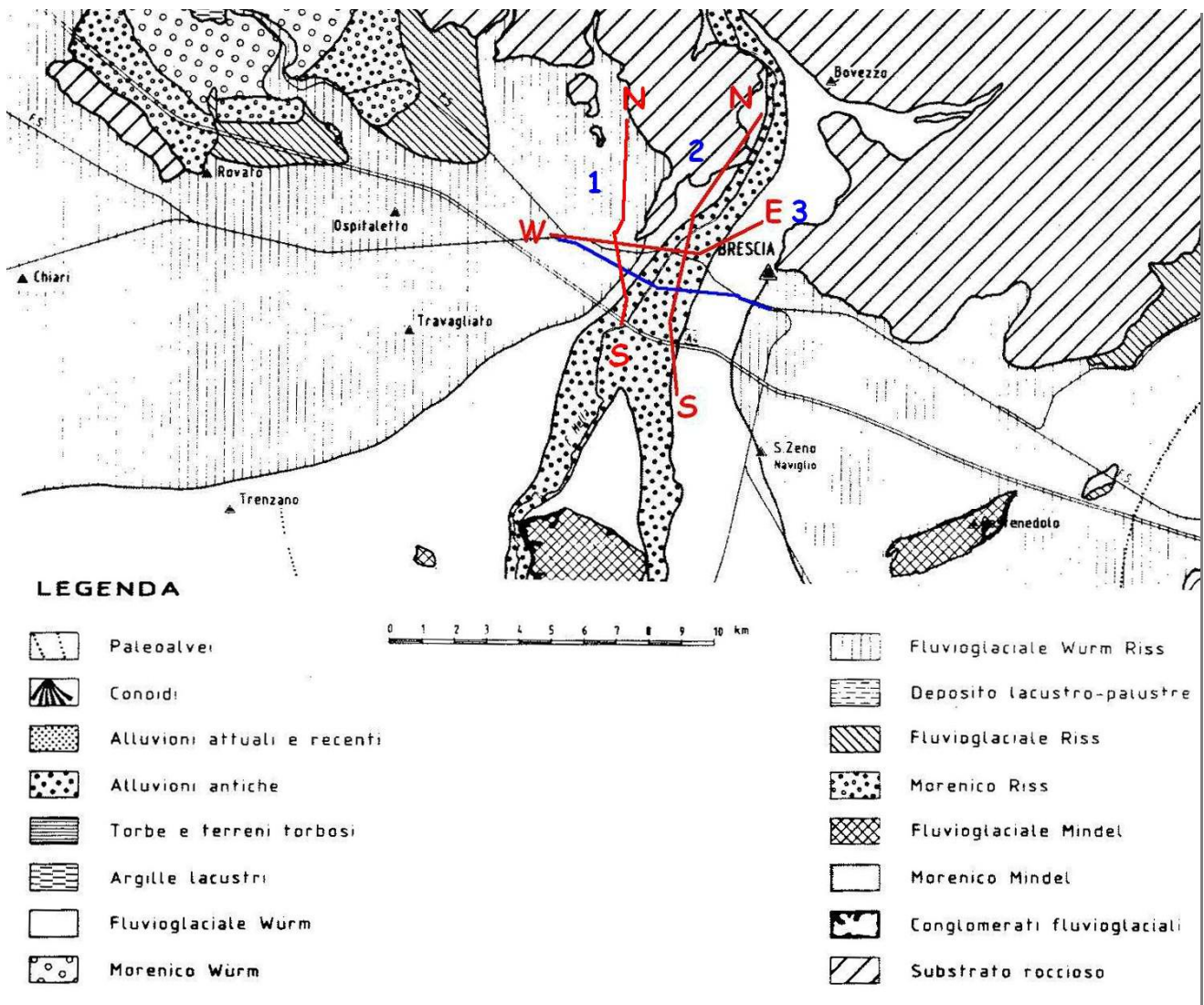
La serie idrogeologica dell'area di Brescia (e di tutto il margine pedemontano padano) comincia, sopra al substrato roccioso indifferenziato, con l'Unità Villafranchiana (limi, limi sabbiosi e argillosi, con sabbie e rare ghiaie di origine continentale). Questa unità costituisce il substrato degli acquiferi superficiali più produttivi.

All'unità Villafranchiana seguono le unità a conglomerati e depositi fluvioglaciali Mindel-Riss, note in Lombardia come "Ceppo". Si tratta di conglomerati, sabbie, arenarie e ghiaie con rare argille. Verso sud i conglomerati sono sostituiti con sabbie e ghiaie, fino ad avere limi e argille, queste ultime prevalenti.

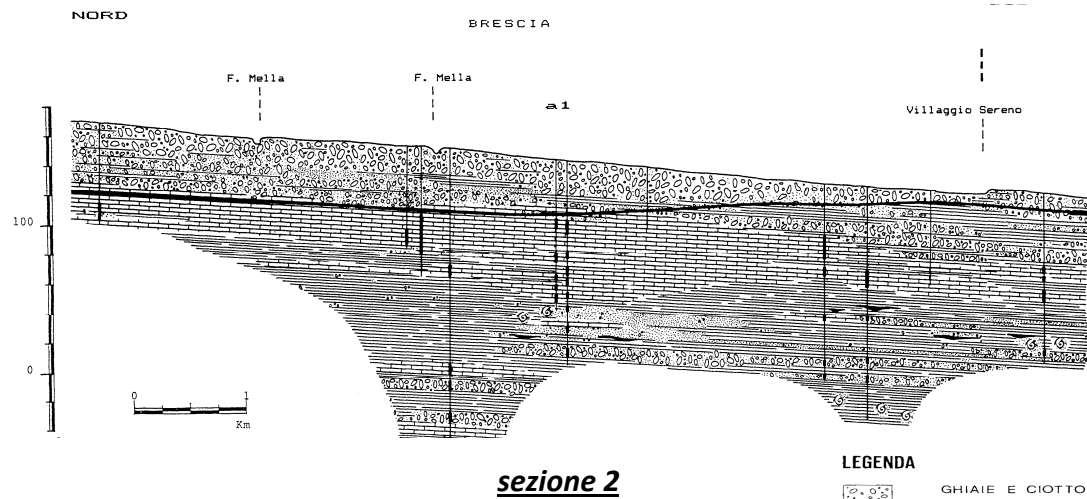
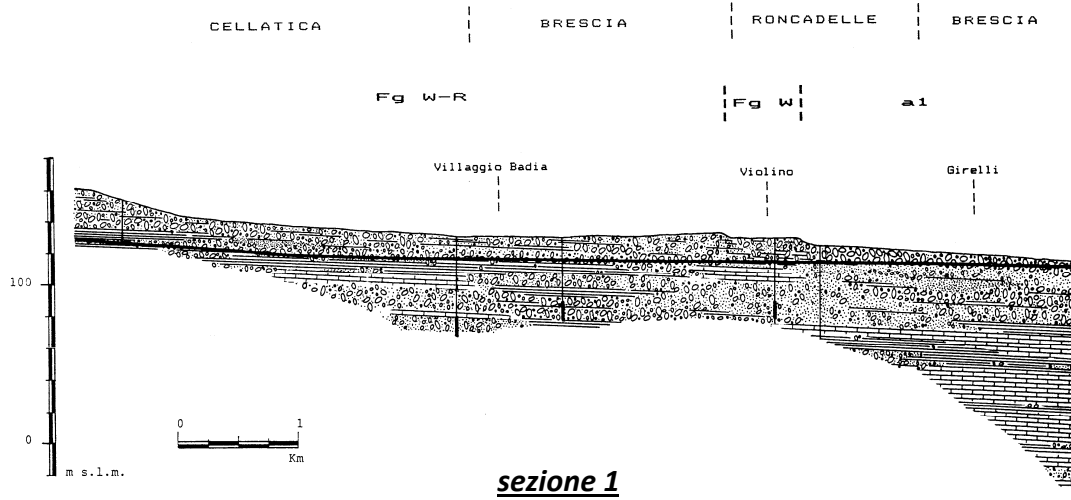
Chiudono la sequenza le Unità ghiaioso-sabbiose, costituite dai depositi alluvionali recenti e fluvioglaciali

wurmiani Tali terreni hanno in genere una elevata permeabilità primaria, fatta salva la presenza di orizzonti di alterazione a granulometria fine intercalati, che impediscono spesso la ricarica della falda.









Le figure riprodotte nel seguito, tratte dallo "Studio idrogeologico della pianura bresciana compresa tra i fiumi Oglio e Chiese", mostrano l'inquadramento idrogeologico dell'area in oggetto, le relative legende e tre sezioni idrogeologiche.

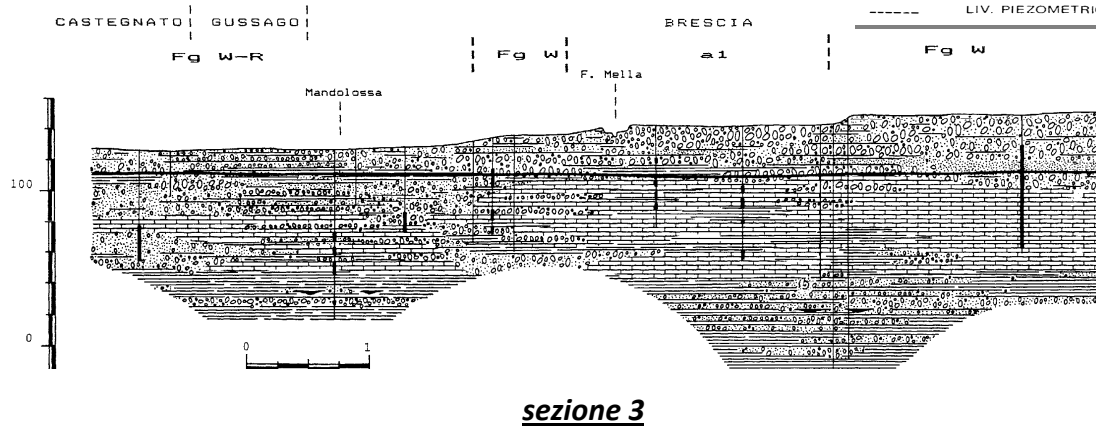


*Carta geologica schematica dell'area di Brescia - In blu la linea ferroviaria*

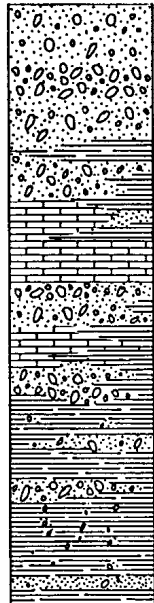
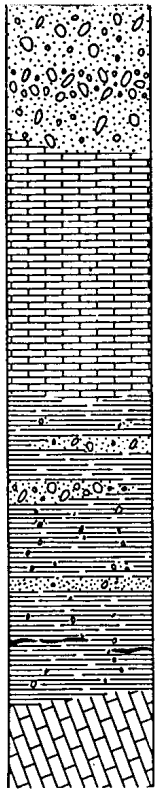


**LEGENDA**

	GHIAIE E CIOTTOLI
	SABBIE
	LIMI E ARGILLE
	DEPOSITI MORENICI
	CONGLOMERATI E ARENARIE
	SUBSTRATO ROCCIOSO
	TORBA E FOSSILI
	LIV. PIEZOMETRICO







LITOLOGIA	ETA'	RENDIMENTO	QUALITA'
Unità a ghiaie e sabbie	Olocene e Pleistocene sup. (Würm)	elevato	buona se non contaminata
Unità a conglomerati "Ceppo"	Pleistocene medio (Riss e Mindel)	da buono a modesto	buona se non contaminata
Unità Villafranchiana sedimenti marini in profondità	Pleistocene inferiore Villafranchiano	mediocre o scadente	mediocre
Substrato roccioso	Cenozoico e Mesozoico	scarso	buona

*legenda delle sezioni stratigrafiche*

*(legenda e sezioni estratte da "Studio idrogeologico della pianura bresciana tra i fiumi Oglio e Chiese")*

### 3. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO LOCALE

Nell'anno 2006, è stata eseguita un campagna di indagini geognostiche per la progettazione definitiva dell'interconnessione ferroviaria Brescia Ovest, basata su 10 sondaggi a carotaggio continuo, analisi di laboratorio e prove in sito di tipo SPT e Lefranc. Si è inoltre provveduto al monitoraggio del livello statico della falda, installando dei piezometri nei fori di sondaggio e verificando il livello di falda con cadenza circa mensile nel periodo compreso tra aprile 2006 e marzo 2007.

Di seguito in tabella si riporta la profondità dei sondaggi, il numero di campioni prelevati, il numero di prove SPT e Lefranc eseguite.

SONDAGGIO	PROFONDITA'	CAMPIONI	N <sub>SPT</sub>	LEFRANC	STRUMENTAZIONE
PNBSD1O01	40	12	11	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O02	40	9	11	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O03	30	8	9	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O04	35	6	9	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O05	40	12	11	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O06	40	12	12	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O07	40	10	12	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O08	30	10	9	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O09	30	7	9	1	PIEZOMETRO
PNBSD1O10	30	10	8	1	PIEZOMETRO

Nel 2013 si è proceduto ad una ulteriore campagna geognostica, mediante esecuzione di n.3 sondaggi a carotaggio continuo con prelievo ed analisi di 11 campioni di terreno ed esecuzione di prove SPT in foro (vedi tabella sotto).

Sigla Sondaggio	Profondità m	SPT n.	Strumentazione in foro
S1	30	5	PIEZOMETRO
S2	30	5	PIEZOMETRO
S3	5	-	-

Considerato che le opere in progetto si impostano sulla sommità del rilevato ferroviario, nell'impossibilità attuale di accedere al sito con sonde o altri mezzi di prospezione, nel luglio 2016 si sono eseguite 11 penetrometrie con penetrometro dinamico DL.030 portatile, distribuite lungo il tracciato di intervento e spinte sino alla profondità di rifiuto all'infissione o ad un massimo di 10 m circa dal piano di imposta.

Tali prove, che possono appunto essere eseguite in luoghi non accessibili ai mezzi come quello in esame, consentono quanto meno di definire abbastanza precisamente lo spessore dei livelli a diverso grado di addensamento attraversati e sono correlabili con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

### 3.1. LITOSTRATIGRAFIA

I terreni interessati dal tracciato ferroviario sono costituiti da depositi alluvionali e fluvioglaciali, sedimentati a partire dalla glaciazione del Riss. I terreni sottostanti, appartenenti al Ceppo e all'Unità villafranchiana, non sono stati raggiunti dai sondaggi e non costituiscono argomento d'interesse ai fini del presente studio.

A livello locale, l'analisi dei terreni e le prove di laboratorio non hanno mostrato una differenziazione netta delle varie unità; in particolare non si sono rilevate grandi differenziazioni di granulometria tra i depositi più antichi (Würm-Riss) e il fluvioglaciale Wurmiano, mentre la bibliografia indica quest'ultimo come formato da depositi fini limo sabbiosi, in opposizione alle ghiaie e sabbie grossolane del primo. Probabilmente siamo in presenza di differenziazioni locali, che però costituiscono un fattore determinante nella caratterizzazione geologica, e successivamente geotecnica del sito.

Basandosi sulle descrizioni stratigrafiche, sulle analisi di laboratorio, sugli SPT in foro e sulle prove penetrometriche, si riconosce una successione litostratigrafica caratterizzata dalle seguenti tre tipologie di terreno caratteristiche del territorio in esame:

- Terreni prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi, spesso in matrice limosa e argillosa, con lenti limo-argillose di modesto spessore. Le prove SPT indicano una variazione del grado di addensamento notevole in questa litologia, da valori molto bassi (NSPT <30) a oltre 80, arrivando raramente al rifiuto. Le ghiaie sono di natura poligenica, in prevalenza calcarea, con clasti di forma variabile, da sub-arrotondata ad angolare, da sferici a piatti e si presentano spesso alterati, segno dell'origine fluvioglaciale.
- Terreni prevalentemente limosi, con sabbia e argilla e presenza di ghiaia e ciottoli sparsi, localmente si hanno lenti ghiaiose di natura del tutto simile a quanto descritto in precedenza. Le prove SPT indicano un grado di addensamento da basso a medio (sabbie), localmente molto basso.
- Terreni di copertura alterati e depositi rimaneggiati con presenza di rifiuti (inerti). Si tratta dei depositi superficiali che caratterizzano la pianura padana, costituiti da una coltre d'alterazione in genere limosa, di colore marrone-rossiccio, a volte a dominanza argillosa, con presenza di sabbia, ghiaia e materiale di origine antropica.

Le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti indicano che lungo il tracciato predominano litotipi ghiaiosi, con presenza di lenti sabbiose e limo-argillose di spessore variabile. La coltre superficiale di terreno, composta da limi, sabbie, argille e ghiaia, come media generale risulta potente 4 m circa. I litotipi più fini presentano un grado di addensamento molto basso (NSPT<15) e sono in prevalenza sabbiosi in matrice limoso-argillosa. Le ghiaie si presentano alterate in profondità, con clasti di dimensioni fino a 10 centimetri. Dove predominano le ghiaie si ha una risposta all'SPT variabile, con valori anche molto bassi vicino alla superficie, tendenzialmente in incremento con la profondità fino a rifiuto all'infissione.



## 3.2. IDROGEOLOGIA

### 3.2.1. UNITÀ IDROGEOLOGICHE

Come già accennato nella parte introduttiva, la fascia di alta pianura posta ai piedi dei primi rilievi presenta una struttura idrogeologica composta da depositi in prevalenza ghiaiosi e sabbiosi poggianti su conglomerati (“Ceppo”) e su unità villafranchiane di natura prevalentemente limosa. Queste ultime rappresentano la base dell’acquifero superficiale, che risulta essere il più produttivo e sfruttato.

I sondaggi Italferr 2006 hanno mostrato che l’unità superiore è presente fino alla profondità di oltre 40 metri, mentre il “ceppo” non è mai stato raggiunto. La stessa ricerca bibliografica indica, nell’area di studio, l’unità conglomeratica ad una profondità di almeno 50 metri dal p.c.

I depositi presenti sono di origine alluvionale e fluvioglaciale, composti in prevalenza da ghiaie e sabbie, anche se localmente possono prevalere orizzonti limosi e argillosi, come è stato evidenziato dalle stesse analisi di laboratorio.

### 3.2.2. LIVELLO DI FALDA

I livelli di falda registrati nei piezometri installati durante la campagna di indagini 2013 all’interno del Comune di Brescia mostra una soggiacenza di circa 19,0 m da p.c..

In generale i dati delle letture piezometriche eseguite su tutti i sondaggi disponibili nei circa 11 Km di estensione del progetto (vedi profilo geologico) mostrano una superficie di falda pressoché pianeggiante, vista anche la elevata permeabilità dei terreni del sottosuolo. Dati di falda più completi sono dedotti dalla campagna di monitoraggio eseguita nel 2006 e 2007, come di seguito illustrato.

L’analisi dei dati bibliografici e la misura diretta del livello statico della falda nei piezometri installati nella campagna di indagini Italferr 2006, mostra i livelli di falda misurati mediante il monitoraggio mensile tra aprile 2006 e marzo 2007 nei piezometri installati nei fori di sondaggio.

Piezometro	29/04/2006	21/05/2006	30/06/2006	30/07/2006	28/08/2006	28/09/2006	27/10/2006	28/11/2006	29/12/2006	31/01/2007	28/02/2007	30/03/2007
PNBSD1P01	9,40	9,70	10,12	10,55	10,05	10,28	10,22	10,45	10,47	10,45	10,89	11,13
PNBSD1O02	13,10	13,27	13,55	13,70	12,35	12,63	12,25	12,65	13,18	13,35	13,65	14,25
PNBSD1O03	11,20	11,45	11,68									12,05
PNBSD1O04	17,60	17,83	18,05	18,15	17,65	17,80	17,93					
PNBSD1V05	18,20	18,40	18,80	19,05	18,25	18,44	18,57	19,40	19,62	19,70	20,21	20,50
PNBSD1V06	18,00	17,55	17,85	17,98	17,15	17,30	17,38	18,12	18,52	18,65	18,83	19,51
PNBSD1V07	16,00	16,00	16,68	16,85	16,29	16,41	16,10	16,60	17,12	17,35	18,01	18,43
PNBSD1F08	19,20	19,30	19,54	19,65	19,55							
PNBSD1009	20,40	22,45	23,18	23,45	22,95	23,11	22,52	23,00	23,55	23,75	24,10	24,93
PNBSD1F10	21,00	20,95	21,15	21,40	21,30	21,59	20,98	21,37	21,55	21,80	22,22	22,80

*Soggiacenza (m da p.c.) registrata nei piezometri Italferr relativa al periodo aprile 2006 ÷ marzo 2007*

Analizzando le fluttuazioni della falda registrate nel periodo di monitoraggio, per i piezometri in cui è stato possibile condurre un anno di letture si evidenzia un massimo della superficie freatica registrato generalmente tra i mesi di settembre e novembre 2006, al quale è seguito un progressivo abbassamento

della falda che ha interessato tutto l'inverno e la primavera del 2007.

Si nota inoltre che il livello registrato alla fine del ciclo di monitoraggio, in marzo del 2007, è risultato essere mediamente 2 metri più profondo rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente. Tale dato è con buone probabilità da ricondurre alla variabilità annuale della piovosità, condizionata nell'inverno e nella primavera del 2007 da un clima eccezionalmente mite e poco piovoso.

Utilizzando i dati del monitoraggio piezometrico, è stata calcolata per ciascun piezometro la quota media della falda nel periodo aprile 2006 ÷ marzo 2007, riportata nella tabella seguente.

Piezometro	Quota p.c. (m s.l.m.)	Soggiacenza media falda (m)	Quota media falda (m s.l.m.)
PNBSD1P01	124.00	10.31	113.7
PNBSD1O02	124.50	13.16	111.3
PNBSD1O03	126.00	11.59	114.4
PNBSD1O04	132.00	17.86	114.1
PNBSD1V05	132.00	19.09	112.9
PNBSD1V06	130.50	18.07	112.4
PNBSD1V07	131.00	16.82	114.2
PNBSD1F08	133.00	19.45	113.6
PNBSD1O09	134.00	23.12	110.9
PNBSD1F10	134.00	21.51	112.5

*Quota media della falda nei piezometri Italferr relativa al periodo aprile 2006 ÷ marzo 2007*

Come si vede dai dati di tabella, nel periodo di misura si registra un livello di falda oscillante tra 111.3 e 114.4 m s.l.m., corrispondenti ad una profondità da p.c. variabile tra 10.3 e 19.5 m circa.

Questi dati sono in linea con quanto risulta dalla bibliografia consultata, con particolare riferimento ai dati della "Revisione del Piano Regolatore Generale del Comune di Brescia" redatta nel 1996 a cura del Prof. P.L. Vercesi, che riporta lo studio del livello di falda per un periodo di 11 anni (dal 1985 al 1996).

L'escursione annuale registrata tra il massimo e il minimo piezometrico lungo la tratta ferroviaria è variabile. Secondo i dati bibliografici a disposizione, nella parte occidentale è di circa 4÷5 metri, mentre nella parte orientale raggiunge i 7÷8 metri.

Si ricorda comunque che i livelli piezometrici considerati sono relativi ad anni diversi, quindi l'escursione reale annuale è sicuramente minore; infatti, analizzando i dati del monitoraggio condotto nei piezometri Italferr per il periodo aprile 2006 ÷ marzo 2007, si evidenzia invece generalmente un'escursione annuale fra massimo e minimo decisamente minore, compresa tra 0.6 m e 1.5 m e non eccessivamente variabile fra la porzione orientale e quella occidentale del tracciato di progetto.

Dall'analisi comparata tra le altezze medie di falda registrate nei piezometri ed i dati bibliografici, si nota come le misure effettuate nel periodo aprile 2006 ÷ marzo 2007 siano generalmente comprese tra i valori di minimo e massimo riportati dallo studio del Piano Regolatore, segno che il regime idrogeologico tende a rimanere costante in questi ultimi anni.

Non risulta infine esserci una ricarica significativa della falda da parte del fiume Mella; i piezometri posti sugli argini del fiume registrano infatti un livello statico della falda in linea con quanto monitorato negli altri pozzi, molti metri al di sotto del letto del Fiume che risulta quindi sostanzialmente "pensile".

### 3.2.3. PERMEABILITÀ

Nel corso della campagna di indagini geognostiche 2006, si sono eseguite prove di permeabilità in sito di tipo “Lefranc”, così come riportato di seguito in tabella.

Sigla Sondaggio	Profondità (m)	litologia	Permeabilità (m/s)
S1	16,50	Limo argilloso con sabbia e ghiaia	8,30E-07
S2 / S9	14,50 / 22,50	Sabbia limosa con ghiaia	1,06E-06 / 1,18E-07
S3	14,50	Sabbia limosa, argillosa, ghiaiosa	4,26E-05
S4	23,00	Limo sabbioso ghiaioso	5,91E-07
S5 / S6	21,00 / 19,50	Ghiaia sabbiosa argillosa	4,05E-07 / 6,61E-07
S7	18,00	Ghiai con argilla limoso-sabbiosa	2,75E-05
S8 / S10	23,00 / 24,50	Ghiaia con sabbia limosa /	2,71E-05 / 2,67E-06

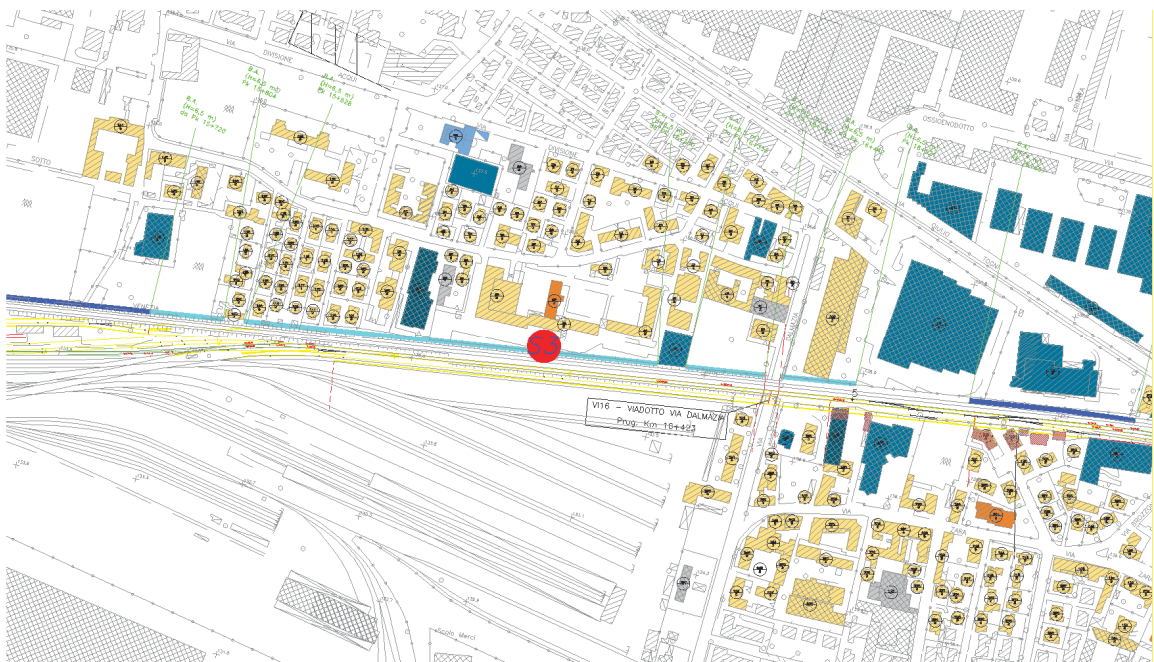
Tutte le prove sono state eseguite al di sotto del livello di falda. I risultati ottenuti mostrano terreni a bassa permeabilità primaria (compresa tra gli ordini di grandezza  $10^{-5}$  e  $10^{-7}$  m/s), concorde a quanto riportato dai maggiori autori. La capacità di drenaggio in questi terreni è tendenzialmente scarsa e la permeabilità misurata è corrispondente a miscele di sabbia, limo e argilla.

### 3.3. PROVE SPT IN FORO

Durante l'esecuzione dei sondaggi del 2013 sono state eseguite un totale di n. 10 prove SPT in foro, con registrazione dei colpi necessari per una penetrazione di 30 cm ( $N_{SPT}$ ). Nella tabella successiva sono riepilogate le quote di esecuzione delle prove S.P.T. ed i corrispondenti valori di  $N_{SPT}$ .

Sondaggio n°	Prova n°	Profondità (m da p.c.)	$N_{SPT}$
<b>S1</b>	1	3,50÷3,95	75
	2	8,70÷9,15	49
	3	14,80÷15,25	39
	4	20,80÷21,25	43
	5	26,80÷27,25	49
<b>S2</b>	1	3,00÷3,14	Rif. (14 cm)
	2	8,00÷8,45	50
	3	13,30÷13,75	41
	4	17,80÷18,25	39
	5	25,30÷25,75	61





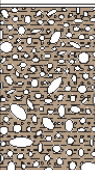
*Ubicazione sondaggi S1, S2 ed S3 (Italferr, 2013)*

Nel seguito si riporta a titolo di esempio la stratigrafia del sondaggio S1 (sufficientemente rappresentativa delle caratteristiche medie del sottosuolo lungo la fascia di intervento). Per i primi 1,5-3,0 m circa il sottosuolo è costituito da materiale di riporto di tipo sabbioso-limoso, talora con ghiaie e piccoli ciottoli. Al di sotto di questo primo strato il sottosuolo, almeno fino alla profondità massima investigata, è costituito da ghiaia limoso-sabbiosa, di colore dal grigio-chiaro al nocciola, con ciottoli da sub arrotondati ad arrotondati di diametro max > 10 cm. Gli  $N_{SPT}$ , eseguiti tutti nel terreno naturale, sono mediamente alti, da 39 a 75 per tutta la profondità investigata.

Committente: ITALFERR S.p.A.	Certificato n°: 231/13
Località: Linea AV-AC MI-VR Mitigazione Acustica - Via Zima, Brescia	Verbale di accettazione n°:
Il direttore del laboratorio Dott. Geol. Rino Guadagnini	Lo sperimentatore Dott. Geol. Marco Vagnarelli
	Data esecuzione: 21-25/03/2013
	Data emissione: 26/03/2013
	Sondaggio: S1

Ø mm	R v	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	prove in foro	Campioni	RP	Standard Penetration Test			Prel. % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass.							
								m	S.P.T.	N					Pt						
			1.0																		
			2.0																		
			3.0																		
			3.6			1) Rim < 3.00 3.30		>4.5					2.80								1
			3.6					28-33-42		75	C										
			4.0																		
			4.0																		
			5.0																		
			6.0																		
			7.0																		
			8.0																		
			9.0																		
			9.0			Lfr.C		18-22-27		49	C										2
			9.0			2) Rim < 9.00 9.30															
			10.0																		
			11.0																		
			11.0										10.80								
			11.0																		
			12.0																		
			13.0																		
			14.0																		
			15.0					13-18-21		39	A										
			15.0			3) SPT < 14.80 15.25															
			16.0																		
			16.0			3) Rim < 16.00 16.30															
			17.0																		
			18.0																		
			18.0																		

Committente: ITALFERR S.p.A.		Certificato n°: 231/13
Località: Linea AV-AC MI-VR Mitigazione Acustica - Via Zima, Brescia		Verbale di accettazione n°:
Il direttore del laboratorio Dott. Geol. Rino Guadagnini		Lo sperimentatore Dott. Geol. Marco Vagnarelli
		Data esecuzione: 21-25/03/2013
		Data emissione: 26/03/2013
		Sondaggio: S1

Ø mm	R v	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	prove in foro	Campioni	RP	Standard Penetration Test	N	Pt	Prel. % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE	Cass	
			19	 Lfr.C									Ghiaia con limo sabbioso a tratti con sabbia limosa a tratti con sabbia limosa, nocciola. Inclusi di varia natura eterometrici, da subarrotondati ad arrotondati, Ø max > 10 cm.	4	
			20												
			21												
			22			4) Rim < 22,00 22,30		20,8	18-22-21	43	C				
			23												
			24												
			25												
			26												
			27												
			28												
			29												
			30												
			30		5) Rim < 28,50 28,80		26,8	16-24-25	49	C			Limbo con sabbia ghiaiosa, nocciola. Ciottoli alterati Ø max 2-3 cm.	6	

Sondatore: Dott. Leonardo Ceccarelli  
 Sonda: EGT VD 710  
 Utilizzato carotiere semplice da 0.00 m a -30.00 m.

Rilievo del livello dell'acqua nel corso della perforazione

Giorno	21/03/13	22/03/13	22/03/13	25/03/13						
Ora	sera	mattina	sera	mattina						
Livello dell'acqua (m)	assente	assente	18,30	19,10						
Prof. perforazione(m)	15,00	15,00	25,00	25,00						
Prof. rivestimento(m)	15,00	15,00	25,00	25,00						



### 3.4. PENETROMETRIE DINAMICHE DL.030

Come accennato in precedenza, stante l'inaccessibilità del rilevato ferroviario ai mezzi il terreno di riporto direttamente interessato dall'imposta delle opere in progetto non è stato oggetto di specifiche indagini di caratterizzazione. Anche alla luce del riscontro in alcuni scavi di campionamento ambientale a mano di caratteristiche abbastanza variabili con presenza di matrice fine talora anche abbondante quanto meno nei primi 1.0-1.5 m di profondità (vedi foto di esempio a lato), si è quindi ritenuto opportuno procedere ad alcune verifiche puntuali mediante esecuzione di una serie di penetrometrie dinamiche con penetrometro portatile DL.030; tecnica che consente appunto l'investigazione verticale del terreno in siti non accessibili a sonde o altri mezzi di prospezione.



Le prove, ubicate lungo tracciato come sotto illustrato (vedi anche ortofoto e foto dell'allegato Elaborato Penetrometriche Dinamiche DL.030 - INOG00EZZPRGE0005004A), sono state spinte sino a rifiuto all'infissione o ad una profondità massima di 10 m circa dal piano di imposta.



*Ubicazione prove penetrometriche*

In funzione del numero dei colpi ( $N_{DL.30}$ ) in avanzamento dell'infissione e della resistenza alla punta ( $R_{pd}$ ), tali prove consentono di individuare abbastanza precisamente i livelli/orizzonti a diverso grado di

addensamento e consistenza attraversati. Secondo la norma olandese, dalla Rpd si può anche stimare il carico ammissibile  $C_a$  per fondazioni superficiali nastriformi ( $C_a = R_p/20$  - Herminier), con coefficiente di sicurezza pari a 4 per una geometria fondale standard di larghezza pari ad 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

Da osservare che, oltre ad ottenere informazioni su andamento verticale ed orizzontale dei principali orizzonti a diverso grado di addensamento individuati ed una valutazione delle possibili caratteristiche litologiche, dai dati ottenuti dalle prove penetrometriche si potrebbero anche estrapolare informazioni di carattere geotecnico; operazione fattibile correlando il numero di colpi della prova penetrometrica DL.30 alla prova standard SPT (per la quale vi sono numerose formule di correlazione con i parametri geotecnici di uso corrente proposte da vari autori) con un apposito coefficiente  $\alpha$  ( $N_{SPT} = N_{DL.30} \alpha$ ) dipendente dal rapporto  $Q/Q_{spt}$  ( $Q =$  energia specifica per colpo e  $Q_{spt} =$  energia riferita alla prova SPT).

Trattandosi però di una metodologia di prospezione non standardizzata che necessita di un “doppio passaggio” di correlazione per la stima dei parametri geotecnici a partire dagli  $N_{DL.30}$ , i valori desumibili da tali correlazioni indirette potranno essere valutati, calibrati e considerati dopo opportuno confronto statistico con ulteriori prove e misure standard specifiche, che nel caso di studio potranno essere eseguite al piano di imposta delle opere in progetto nelle prime fasi del corso d'opera, una volta reso accessibile il sito ai mezzi d'opera.

#### **3.4.1. PRINCIPALI ORIZZONTI PENETROMETRICI**

In base ai risultati delle prove penetrometriche eseguite, i diversi livelli costituenti la successione investigata sono raggruppabili in 3 principali orizzonti differenziati come segue (vedi anche sezione interpretativa più avanti).

##### Orizzonte superficiale A

Presenta una molto bassa resistenza all'infissione, con  $N_{DL.30}$  che raramente supera il valore di 2.

Potente da pochi decimetri sino ad un massimo misurato in circa 1.8 m dalla sommità del rilevato ferroviario (penetrometria P.3).

Interpretazione stratigrafica: depositi sciolti in prevalenza limosi e limoso-sabbiosi.

##### Orizzonte intermedio B

Orizzonte intermedio caratterizzato da una resistenza all'infissione in prevalenza da bassa ( $N_{DL.30} = 3-5$ ) medio-bassa ( $N_{DL.30} = 6-9$ ).

Nel suo complesso ha potenza variabile da pochi decimetri sino ad un paio di metri circa e nei punti di misura si approfondisce sovente sino ai 2.8- 3 m circa dalla sommità del rilevato ferroviario (P.1-P.8-P.11), con un massimo misurato in 3.7 m in corrispondenza della penetrometria P.3.

Interpretazione stratigrafica: tendenzialmente miscele di sabbie e limi.

### Orizzonte di base C

Orizzonte di base caratterizzato da una resistenza all'infissione da discreta a buona, con  $N_{DL.30}$  sempre superiore almeno a 10 e tendenzialmente in incremento con la profondità sino a rifiuto ( $N_{DL.30} > 50$ ) ad una profondità per lo più variabile tra i 4 ed i 6 m, localmente ad oltre 10 m dalla sommità del rilevato ferroviario (P.7).

Interpretazione stratigrafica: tendenzialmente sabbioso, sabbioso-ghiaioso con ciottoli.

Da evidenziare come dalle prove penetrometriche eseguite alla sommità del manufatto risultino caratteristiche del terreno di riporto piuttosto variabili, con resistenza all'infissione anche molto bassa soprattutto nei livelli superficiali costituenti l'**orizzonte penetrometrico A**, che risulta caratterizzato da uno **scarsissimo grado di addensamento sino a profondità anche superiori al metro (profondità massima di imposta secondo progetto), sino ad un massimo misurato in 1.8 m da p.c.**

Gli orizzonti penetrometrici B e C presentano invece una resistenza all'infissione tendenzialmente in incremento con la profondità, con grado di addensamento del materiale di riporto comparabile con quello dei terreni circostanti litologicamente analoghi.

Visto quanto sopra, nelle prime fasi del corso d'opera, una volta reso accessibile il rilevato di imposta ai mezzi d'opera, **si raccomanda di prevedere ulteriori opportune verifiche geotecniche di controllo secondo normativa.**

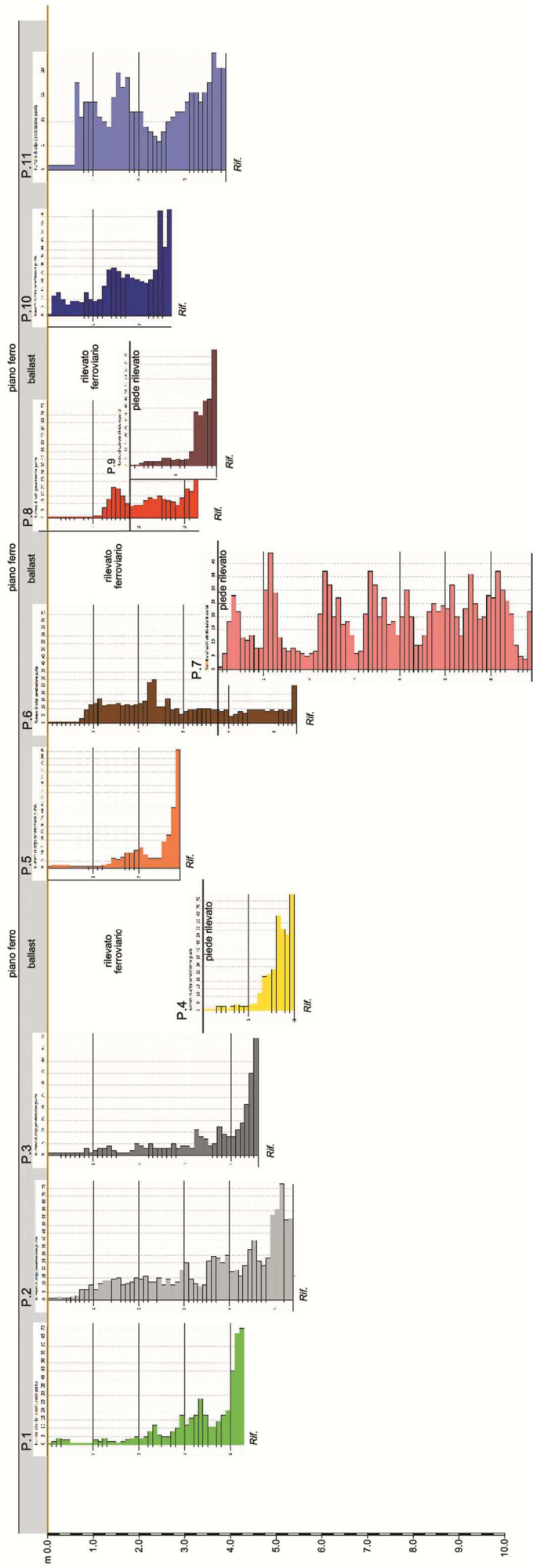
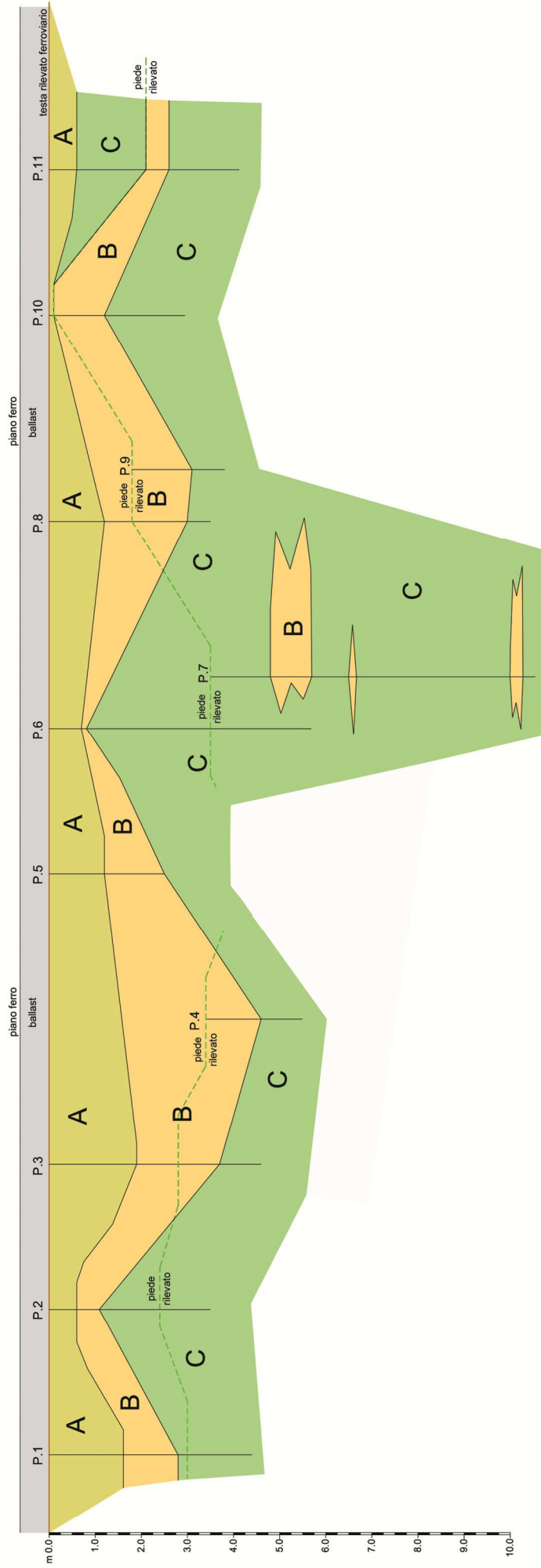
---

### **3.5. LIVELLO DI FALDA**

Per quanto si riferisce al livello di falda, le misure dirette sin qui effettuate confermano l'impostazione di base del modello idrogeologico regionale tratto dalle fonti bibliografiche, che indica un livello statico favorevole dal punto di vista progettuale, localizzato ad almeno 10 m di profondità dal p.c. con oscillazioni fino a oltre i 20 m di profondità (vedi andamento riprodotto sul profilo geologico degli allegati

INOG00EZZG6GE0001001A  
INOG00EZZG6GE0001002A  
INOG00EZZG6GE0001003A  
INOG00EZZG6GE0001004A  
INOG00EZZG6GE0001005A  
INOG00EZZG6GE0001006A.

# SEZIONE PENETROMETRICA - RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEI PRINCIPALI ORIZZONTI GEOTECCNICI





#### 4. MODELLO SISMICO

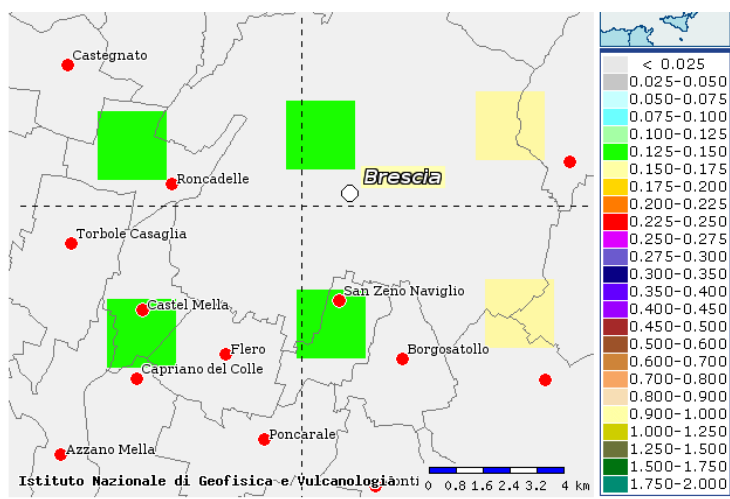
Ai sensi dell'O.P.C.M. n°3519 del 28/04/2006 "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", il territorio nazionale è suddiviso in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica <b>alta</b> . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica <b>media</b> , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica <b>bassa</b> , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica <b>molto bassa</b> . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129, i comuni di Roncadelle e Castegnato sono classificati come sismici appartenenti alla Zona 3 con  $A_g$ Max rispettivamente 0,147299 e 0,146303; il territorio del comune di Brescia ricade invece in Zona 2 con  $A_g$ Max 0,154219

Sempre ai sensi della suddetta ordinanza, i valori di accelerazione massima di cui sopra sono riferiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s (suolo di categoria "A" secondo la tabella 3.2.II di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con D.M. 14/01/2008). Si riporta a lato uno stralcio della "Mappa interattiva di pericolosità sismica" per l'area di interesse, estratta dal sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, relativa ai seguenti parametri:

- Parametro dello scuotimento:  $a_g$ ;
- Probabilità di superamento: 10% in 50 anni;
- Percentile: 50.



#### 4.1. CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Come sancito dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC), per la definizione dell'azione sismica di

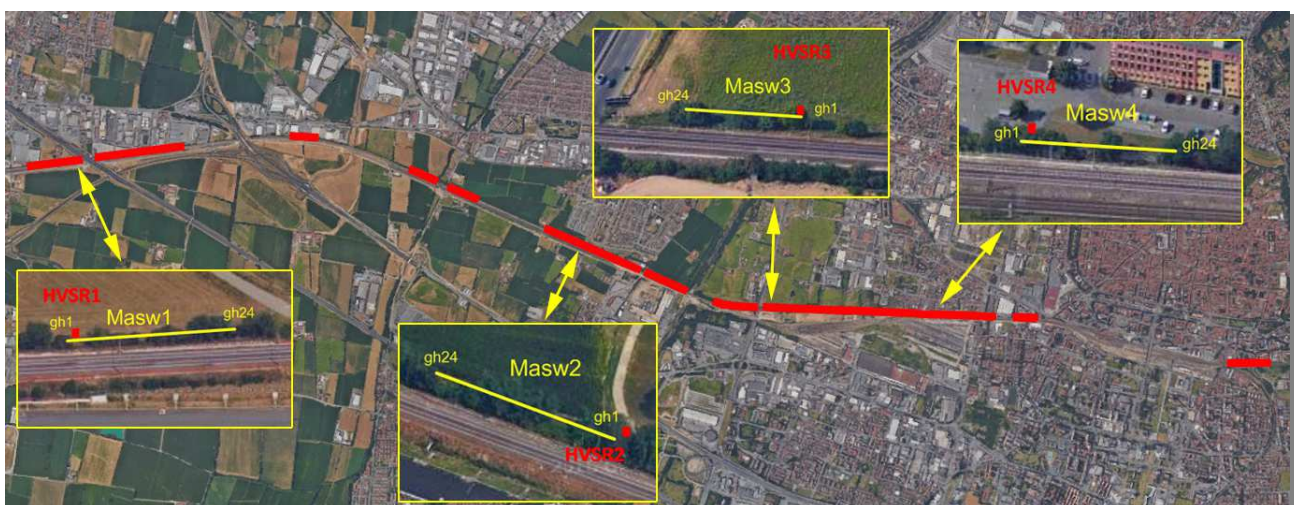
progetto si può fare riferimento innanzitutto alle categorie di sottosuolo suddivise in classi come illustrato nella Tab. 3.2.II delle NTC-08 sotto riprodotta. Nel caso specifico, considerate le caratteristiche geotecniche, e litostratigrafiche locali, nonché i valori di oltre 110 Nspt ed i Cu sin qui misurati, la successione di imposta può essere ascritta **in prima analisi alla classe sismica C**.

Classe	Litologia
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (ovvero $NSPT_{30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per sottosuoli appartenenti alle categorie S1 ed S2, è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

#### 4.1.1. VERIFICA DELLA CATEGORIA DI RIFERIMENTO IN BASE ALLA $V_{s30}$

A verifica della categoria di suolo, onde ricostruire la verticale delle onde di taglio per i primi 30 m di profondità, si sono eseguite 4 prove sismiche MASW ed altrettante prove sismiche HVSR ubicate come sotto illustrato.



Ubicazione prove sismiche

Rimandando all'allegato Elaborato INOG00EZZPRGE0005003A - Prospezione sismica mediante prove MASV e HVSR per approfondimenti, nel seguito si sintetizza la sismostratigrafia dei siti investigati. Alle pagine successive si allegano inoltre le schede con profilo verticale delle onde Vs e categoria di riferimento del sottosuolo in dipendenza della profondità di ammorsamento.

Come si vede, le Vs calcolate nei primi 30 m di profondità sono riferibili per lo più a sedimenti poco e normalconsolidati, vicine al limite di passaggio tra le categorie B e C e nel complesso ascrivibili alla categoria C per profondità di ammorsamento delle fondazioni da 0 ad 1 m rispetto al piano campagna. Considerando quindi che l'imposta delle opere in progetto si troverà in effetti su rilevato, a quote per lo più superiori allo 0 di riferimento della prospezione sismica e su terreni da scarsamente a poco addensati, ai fini progettuali **il calcolo della Vs<sub>30</sub> conferma un suolo ascrivibile alla categoria C.**

#### SITO 1

Nel primissimo sottosuolo sono presenti materiali sciolti ( $V_s \leq 200$  m/s) che poggiano su una sequenza relativamente omogenea. Infatti le Vs sono comprese tra 350 m/s e 400 m/s fino alla massima profondità indagata (40m circa). Per incastri fondazionali maggiori di 0 m i valori di Vs30 sono  $>360$  m/s (365 m/s-379 m/s) e la categoria del sottosuolo di fondazione, è quindi la B. Il modello di velocità attivo risultante appare molto simile a quello ricavato per via passiva.

#### SITO 2

Nei primi 7-8 m le Vs sono inferiori a 250 m/s ( $V_s < 150$  m/s nei primi 4 m). Al di sotto di questa quota si registra un primo incremento (circa 380 m/s) e attorno a 25m un secondo e più sensibile aumento con le Vs prossime a 600 m/s. Per incastri fondazionale  $<1$ m i valori di Vs30 sono a cavallo di 360 m/s e la categoria del sottosuolo è la C, mentre per incastri fondazionali più profondi è la B.

#### SITO 3

Nei primi 2 m si hanno delle Vs nell'ordine dei 110 m/s (estremamente sciolti). Al di sotto di questa quota e fino a 20 m circa i valori variano tra 280 m/s e 350 m/s e quindi i terreni diventano decisamente più addensati con le Vs che si avvicinano ai 600 m/s. Il bedrock non è stato intercettato entro i 40 m. Per incastri fondazionali  $\leq 1$  m la categoria del sottosuolo di fondazione è la C ( $313$  m/s  $< V_{s30} < 338$  m/s); per incastri  $>1$  m è la B ( $V_{s30} > 360$  m/s).

#### SITO 4

I primi 5m sono costituiti da materiali con Vs di 200m/s. Seguono sedimenti da mediamente addensati ad addensati (280m/s-400m/s) fino ad una ventina di metri. Oltre questa quota essi diventano decisamente più rigidi con Vs prossime a 600m/s. Il bedrock non è stato intercettato. La categoria del sottosuolo di fondazione, è la C per incastri fondazionali  $0m < H \leq 1m$  ( $334m/s < V_{s30} < 348m/s$ ) e la B per incastri  $>1m$  ( $V_{s30} > 360m/s$ ) -vedi scheda allegata.

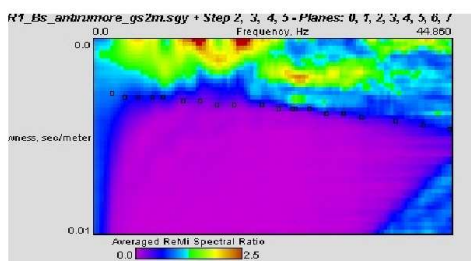
## Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi1

### Vs Refraction Microtremor

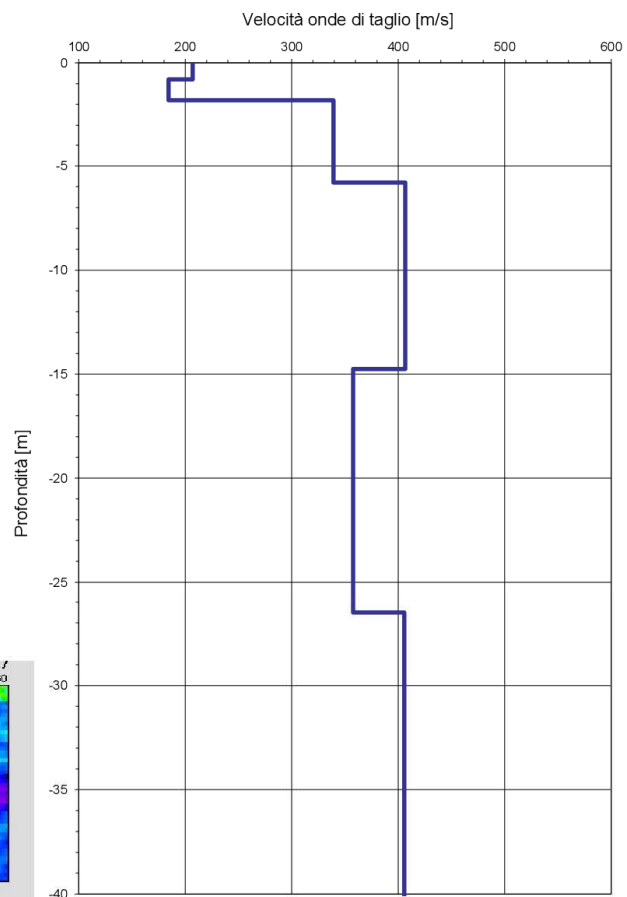
Profondità piano di fondazione;  
Vs30;  
Categoria sottosuolo di  
fondazione

0m	355	C
1m	365	B
2m	377	B
3m	379	B

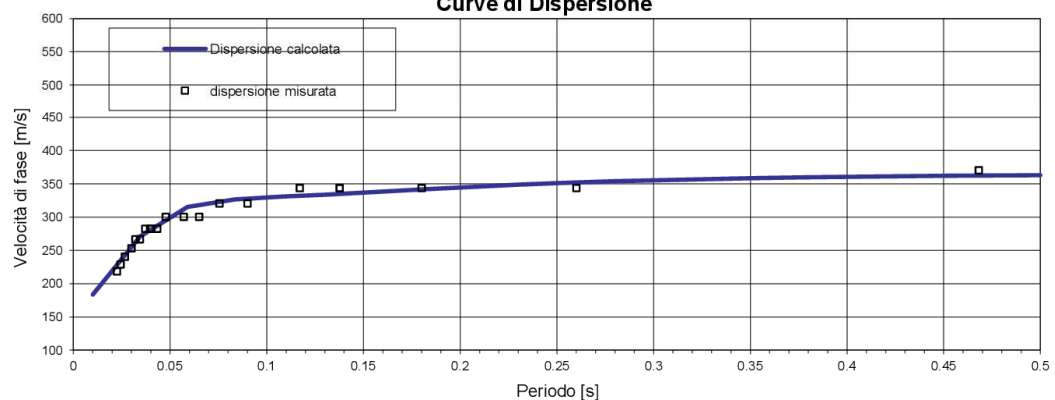
### Spettro di potenza p-f



### Profilo verticale (Vs)



### Curve di Dispersione





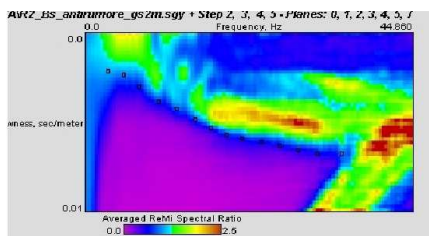
## Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi2

### Vs Refraction Microtremor

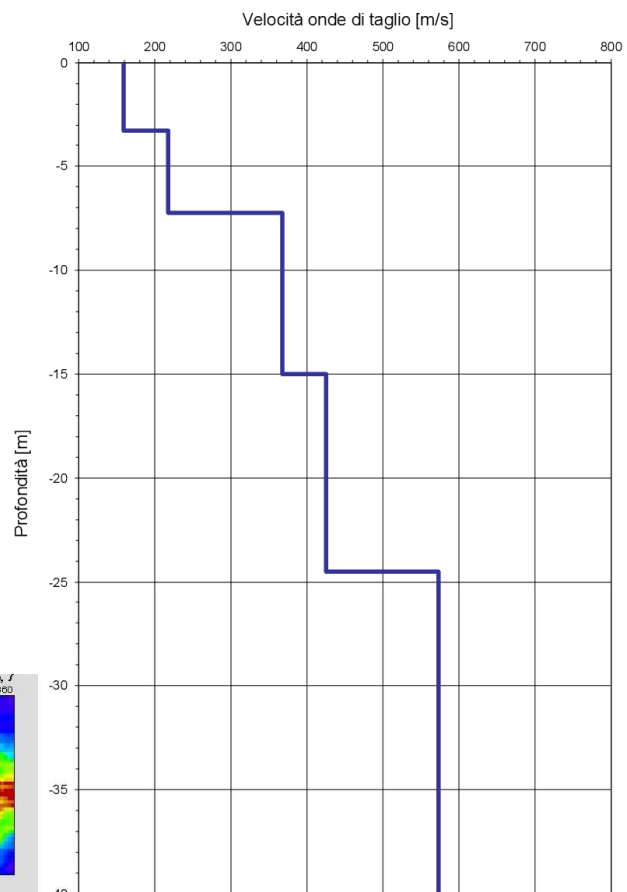
Profondità piano di fondazione;  
Vs30;  
Categoria sottosuolo di  
fondazione

0m	327	C
1m	344	C
2m	363	B
3m	384	B

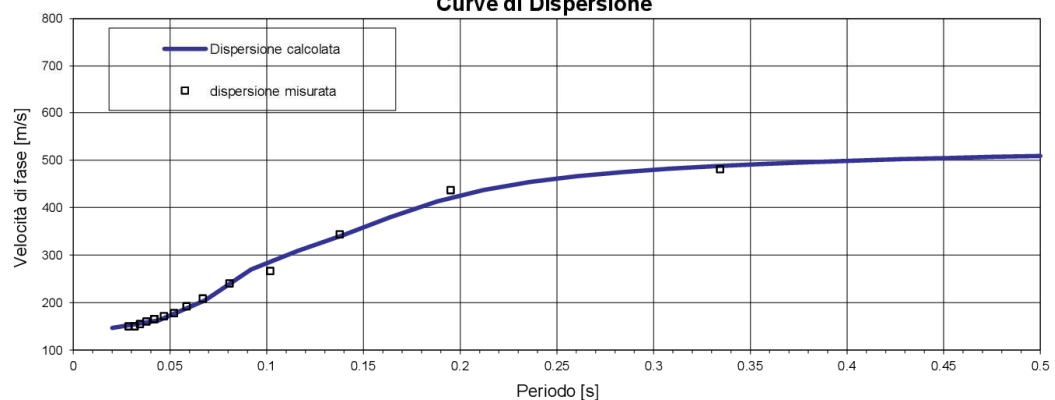
### Spettro di potenza p-f



### Profilo verticale (Vs)



### Curve di Dispersione

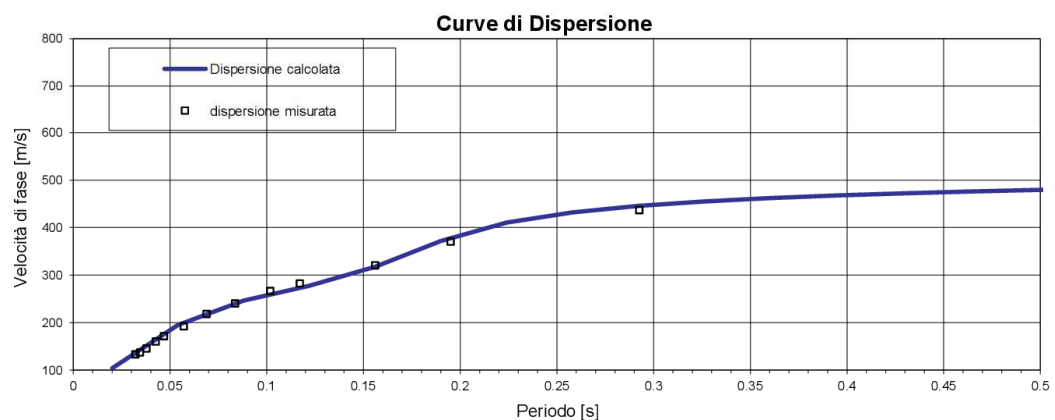
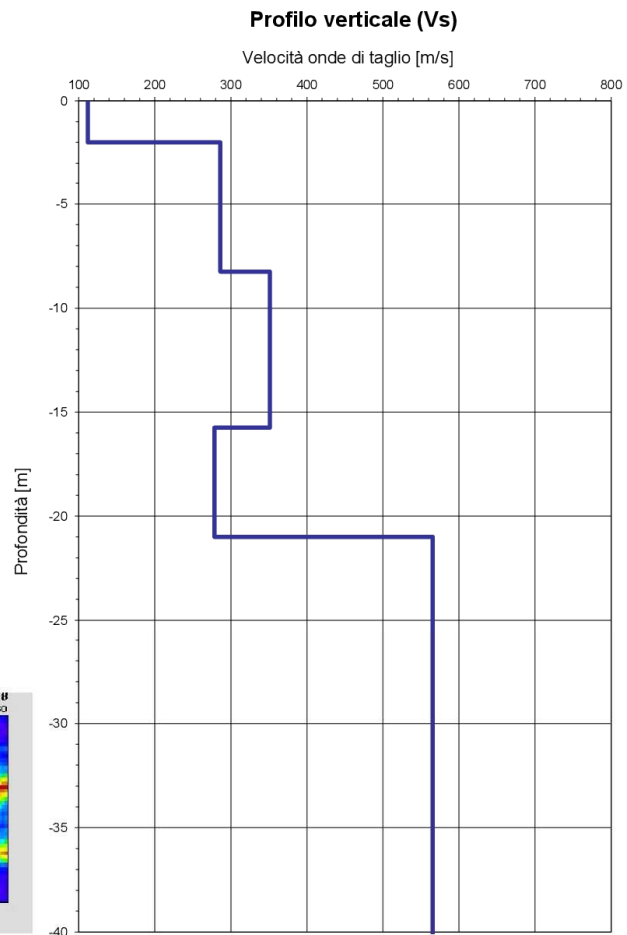


## Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi3

### Vs Refraction Microtremor

Profondità piano di fondazione;  
Vs30;  
Categoria sottosuolo di  
fondazione

0m	313	C
1m	338	C
2m	368	B
3m	376	B



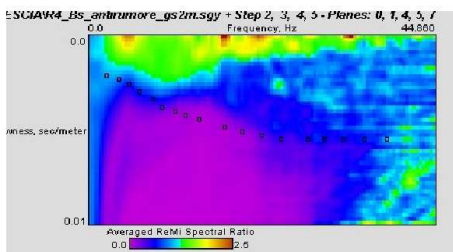
## Barriere antirumore sulla rete ferroviaria a Brescia ReMi4

### Vs Refraction Microtremor

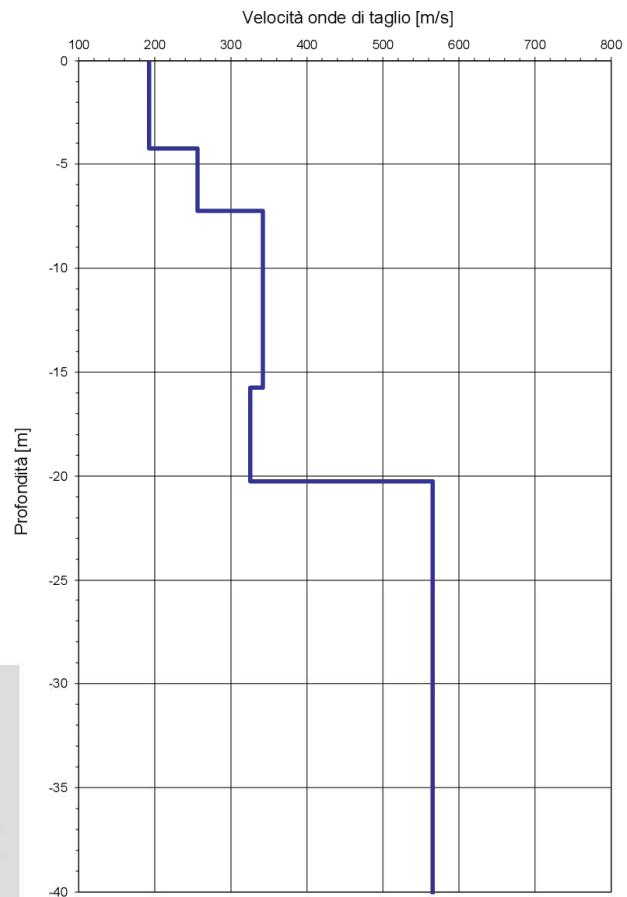
Profondità piano di fondazione;  
Vs30;  
Categoria sottosuolo di  
fondazione

0m	334	C
1m	348	C
2m	362	B
3m	378	B

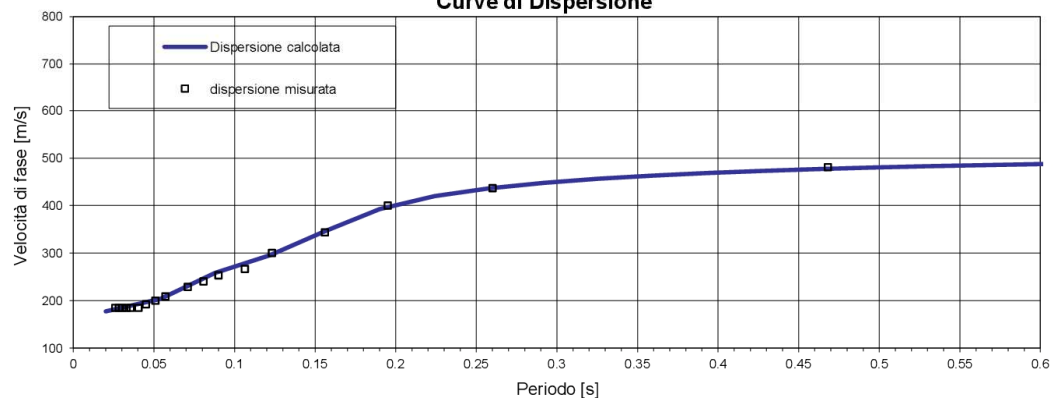
### Spettro di potenza p-f



### Profilo verticale (Vs)



### Curve di Dispersione



## 4.2. PERICOLOSITÀ SISMICA

Le forme spettrali previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni per la definizione della pericolosità sismica di base, che costituisce elemento di conoscenza primario per la valutazione della pericolosità sismica e la determinazione delle azioni sismiche di progetto, sono funzione dei parametri:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;

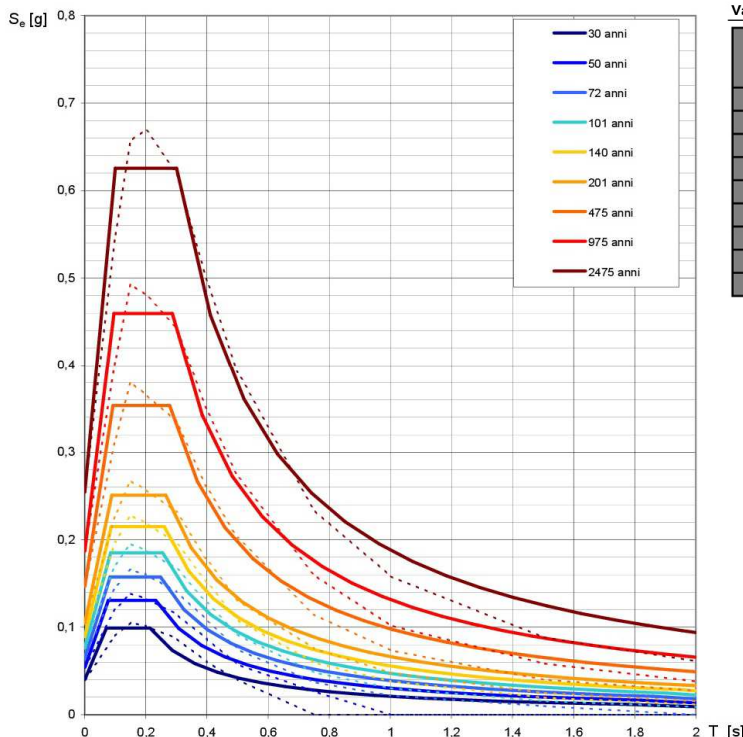
$F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Come parametro caratterizzante della pericolosità sismica si utilizza inoltre il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni. Fissata quindi la vita di riferimento della costruzione ( $V_R$ ), i parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  (probabilità di superamento nella vita di riferimento associata allo stato limite considerato) sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante  $T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})}$  l'espressione:

I valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento, sono forniti nelle tabelle riportate in Allegato B delle NTC.; per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, essi possono essere calcolati come media pesata dei valori riferiti ai quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto "p" in esame. Considerate quindi le coordinate del sito in esame ed i quattro nodi del reticolo di riferimento più vicini ad esso, nel caso specifico otterremo per diversi periodi di ritorno  $T_R$  i parametri e gli spettri di risposta elastici riportati sotto in tabella e su grafico (*elaborazioni effettuate con "spettri NTC"*):

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento



Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,040	2,465	0,213
50	0,054	2,419	0,232
72	0,065	2,429	0,248
101	0,076	2,419	0,255
140	0,089	2,411	0,260
201	0,105	2,400	0,265
475	0,146	2,414	0,278
975	0,187	2,460	0,286
2475	0,254	2,460	0,300

NOTA:  
 Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto



### 4.3. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  derivato dalla:

$$V_R = V_N (\text{vita nominale}) \times C_U (\text{coefficiente d'uso})$$

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , è intesa come il numero di anni nel quale l'opera, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, con valori di riferimento come indicati nella Tab. 2.4.I delle NTC sotto riprodotta.

Tipi di costruzione	Vita nominale $V_N$ (anni)
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 10

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le costruzioni sono suddivise in *classi d'uso* cui corrisponde un determinato valore del coefficiente d'uso  $C_U$  (Tab. 2.4.II delle NTC):

Classe d'uso	Tipi di costruzione	Coefficiente $C_U$
I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.	0,7
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.	1,0
III	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.	1,5
IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.	2,0

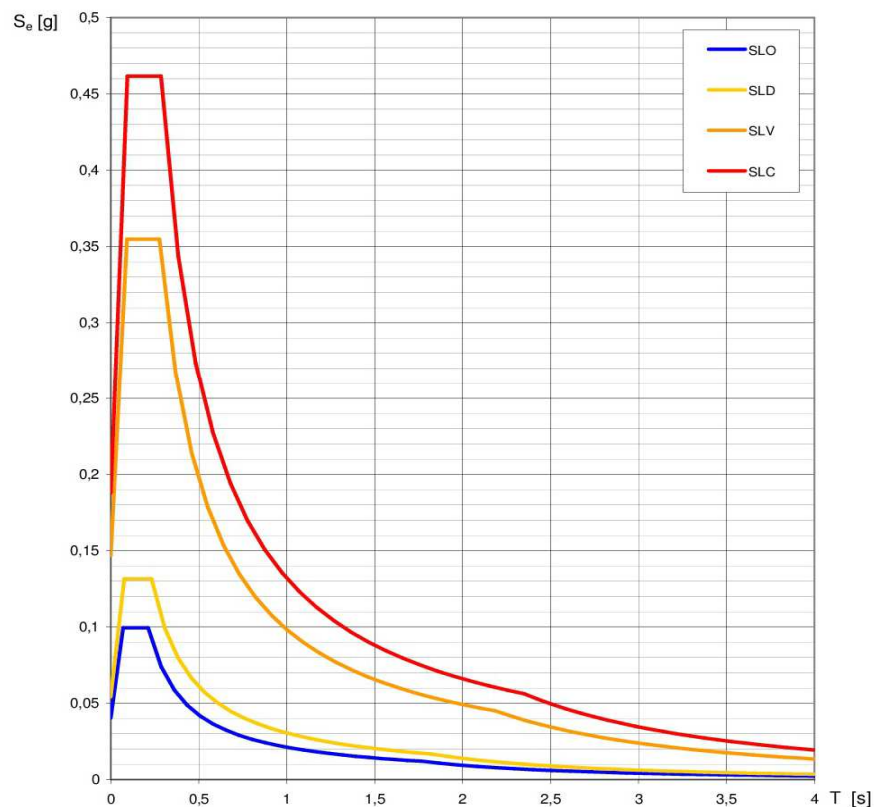
Da quanto sopra, se nel caso specifico assumiamo una vita nominale dell'opera  $V_N = 50$  anni ed un coefficiente d'uso  $C_u=1.0$ , otterremo una vita di riferimento  $V_R = V_N * C_u = 50$  anni.

Per la definizione dell'azione sismica nei diversi stati limite, si considereranno quindi i tempi ritorno  $T_R$  e parametri di progetto riportati di seguito in tabella; ad ogni stato limite sono poi associati gli spettri di risposta elastici riportati nel grafico successivo.

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,040	2,466	0,213
SLD	50	0,054	2,426	0,232
SLV	475	0,147	2,418	0,277
SLC	975	0,188	2,458	0,286

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



Al progettista la verifica definitiva di  $V_R$  e parametri derivati, nonché la determinazione delle azioni di progetto.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Oggetto del presente rapporto è la relazione geologica per il progetto in titolo, redatta sulla base dei numerosi dati acquisiti nel corso di precedenti indagini, prove e misure in sito ed in laboratorio, già oggetto di relazione geologica per il progetto definitivo dell'intervento, integrate da una ulteriore campagna geognostica a mezzo esecuzione di penetrometrie dinamiche leggere DL.030 e prove sismiche MASW e HVSR.

Viste le caratteristiche dell'area di studio e dell'intervento in progetto, non si ravvisano problematiche di carattere geologico ed idrogeologico tali da non potere essere annullate con gli accorgimenti e cautele già previsti dalla "buona norma" progettuale.

Da rilevare unicamente che il terreno di imposta é costituito da depositi sciolti con caratteristiche variabili. Più nello specifico, dal punto di vista geologico-geotecnico si considera quanto segue.

### Terreno naturale

Stando ai numerosi dati pregressi disponibili, il terreno naturale all'intorno del rilevato ferroviario risulta essere in prevalenza granulare, costituito in generale da sabbie e ghiaie con caratteristiche meccaniche mediamente buone fatta salva la presenza di lenti limoso-sabbiose anche estese soprattutto nel tratto mediano della fascia di intervento. Per la parametrizzazione geotecnica si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale - INOG00EZZRGGE0005001A.

### Terreno di riporto

Stante l'inaccessibilità del rilevato di imposta a sonde o altri mezzi di indagine, il materiale di riporto direttamente interessato dalle fondazioni, classificato nel suo complesso come terreno sabbioso -limoso talora con ghiaie e piccoli ciottoli, non è stato sin qui oggetto di caratterizzazione geotecnica puntuale.

Trattandosi di un rilevato ferroviario, si presume che esso sia stato posto in opera con apposite specifiche di capitolato, utilizzando terreni con caratteristiche geotecniche idonee (vedi Relazione Geotecnica Generale - INOG00EZZRGGE0005001A per l'attribuzione dei parametri geotecnici medi di progetto); considerato peraltro il riscontro locale della presenza di matrice fine abbondante e di una resistenza all'infissione anche molto scarsa, registrata soprattutto nei livelli di rilevato superficiali (da scavi a mano e test eseguiti con penetrometro dinamico leggero DL 30), **nelle prime fasi del corso d'opera, una volta reso accessibile il rilevato ai mezzi, si raccomanda di procedere alle ulteriori opportune indagini e verifiche puntuali di controllo secondo normativa.**

Per quanto si riferisce inoltre alla falda locale, le misure dirette eseguite confermano i dati bibliografici disponibili, indicando un livello statico favorevole localizzato come minimo a 10 metri di profondità dal piano campagna (con oscillazioni sino oltre i 20 metri di profondità).

*Il presente rapporto è redatto in conformità ai disposti del D.M. 14 gennaio 2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni” e soddisfa ai requisiti di rilevanza geologica. Costituisce quindi documento progettuale idoneo ai fini del rilascio delle autorizzazioni di legge, per quanto di competenza e come richiesto dalla specifica fase progettuale.*

*Si rammenta che, come previsto da Normativa, la Direzione Lavori dovrà verificare puntualmente la rispondenza tra modello geologico di riferimento assunto in progetto e riscontri effettivi del corso d'opera.*

---

geol. Maurice Vuillermin