

Lavori per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della S.S. n° 36 dal Km 27+800 al Km 44+300, tratta Giussano-Civate lungo la Strada Statale n° 36 "del Lago di Como e dello Spluga"

PROGETTO DEFINITIVO

COD. SIL. NOMSMI00668

PROGETTISTA



I PROGETTISTI:

Ing. Andrea Polli
Ordine degli Ingegneri Roma N°A19540

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.:

Ing. Andrea Polli
Ordine degli Ingegneri Roma N°A19540

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Lorenzo Verzani
Ordine dei Geologi della Lombardia N°1234

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Marco Meneguzzer
Ordine degli Ingegneri della provincia di Trento N°1483

VISTO:

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : *Ing. Pietro Gualandi*
IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO: *Ing. Emanuele Fiorenza*

PROTOCOLLO

—

DATA

Aprile 2022

SISMICA
Relazione sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

- - MSM I 06 **D** **2 1 0 1**

NOME FILE

T00GE00GEORE03_B

CODICE
ELAB.

T 0 0 G E 0 0 G E O R E 0 3

REVISIONE

SCALA:

B

B

Revisione per istruttorie revisione ANAS

Aprile 2023

D. Stein

M. Del Fedele

L. Verzani

A

Emissione Progetto Definitivo

08/04/2022

D. Stein

E. Trussoni

F. Bontempi

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	INQUADRAMENTO GENERALE	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	5
2.1	Riferimenti Normativi, Capitolati	5
2.2	Bibliografia	5
2.3	Documenti di Progetto Definitivo	5
3	INQUADRAMENTO SISMICO	7
3.1	Zonazione sismica dei territori comunali	7
3.2	Inquadramento sismo-tettonico	8
3.3	Pericolosità sismica di base e azione sismica di progetto secondo la norma tecnica nazionale (NTC 2018).....	10
3.3.1	<i>Aspetti generali</i>	10
3.3.2	<i>Fattori di amplificazione dell'accelerazione massima</i>	11
3.4	Pericolosità sismica e valutazione dell'azione di progetto secondo la metodologia della Regione Lombardia	13
3.4.1	<i>Approccio normativo</i>	13
3.4.2	<i>Approfondimento di 1° livello</i>	14
3.4.3	<i>Approfondimento di 2° livello</i>	15
3.4.4	<i>Approfondimento di 3° livello</i>	16
4	AREA BRIOSCO-AROSIO	19
4.1	Inquadramento geologico e sismico dell'area.....	19
4.2	Prove sismiche disponibili	20
4.3	Analisi sismica di 2° livello	21
4.4	Parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione	22
5	AREA BRIOSCO-FORNACI	24
5.1	Inquadramento geologico e sismico dell'area.....	24
5.2	Prove sismiche disponibili	25
5.3	Analisi sismica di 3° livello	26
5.3.1	<i>Selezione del set di accelerogrammi</i>	26
5.3.2	<i>Modello di sottosuolo</i>	27
5.4	Parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione	28
6	AREA PONTE DI VEDUGGIO	30
6.1	Inquadramento geologico e sismico dell'area.....	30
6.2	Analisi sismiche realizzate	31
6.3	Analisi sismica di 2° livello	32
6.4	Parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione	33
7	PISTA CICLOPEDONALE	34
8	Appendice.....	35
8.1	Risposta sismica al sito di BRIOSCO-AROSIO (approfondimento di 2° livello)	35

- 8.2 Risposta sismica al sito di BRIOSCO-FORNACI (approfondimento di 3° livello) 40
- 8.3 Risposta sismica al sito di PONTE DI VEDUGGIO (approfondimento di 2° livello)..... 40

1 INQUADRAMENTO GENERALE

La presente Relazione Sismica è parte del Progetto Definitivo (PD) dei Lavori di manutenzione straordinaria per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della S.S. n. 36 "del Lago di Como e dello Spluga", dal Km 27+800 al Km 44+300, tratta Giussano Civate.

Lo studio si basa sul rilevamento geologico dei siti di intervento e sui dati sismici ottenuti attraverso la campagna d'indagine svolta nell'ambito dell'attuale fase di PD.

Il progetto in esame prevede il miglioramento della sicurezza stradale della "SS36 del Lago di Como e dello Spluga" dalla PK 25+500 alla PK 44+300 (Figura 1-1). Secondo indicazioni fornite da ANAS, in tale tratto sono state individuate alcune tipologie di interventi finalizzati ad avvicinare la sezione tipo esistente alla sezione di tipo B (DM 05.11.2001), rimanendo, per quanto possibile, nei limiti attualmente occupati dalla sede stradale, oltre ad altre tipologie legate alla sicurezza e alla manutenzione stradale.

In particolare, gli interventi si possono distinguere in opere puntuali e in opere estese su tutta la tratta. Per quanto riguarda le opere puntuali si prevede:

- rifacimento dell'impalcato di tre ponti (sottovia), rispettivamente in località Giussano, Capriano e Veduggio;
- miglioramento della curva planimetrica dello Svincolo di Briosco, aumentando il raggio di curvatura di entrambe le carreggiate, con conseguente adeguamento plano-altimetrico delle rampe di uscita e di immissione dello svincolo stesso, e allungamento del sottovia sulla SP102;
- costruzione di un nuovo manufatto in allargamento del viadotto esistente all'uscita di Briosco, in direzione sud, al fine di inserire la corsia di decelerazione attualmente non presente;
- allargamento del sottovia esistente in corrispondenza dell'uscita sud di Veduggio con Colzano per permettere di adeguare l'attuale corsia di decelerazione. Spostamento delle rampe di svincolo della carreggiata nord da via Tremolada a via Giuseppe Verdi;
- miglioramento delle larghezze delle rampe degli svincoli presenti;
- individuazione di quattro aree in cui inserire una piazzola di sosta in entrambe le carreggiate.

Su tutta la tratta è prevista la realizzazione della banchina laterale da 1.75m, dove non esistente, ed il rifacimento della pavimentazione nel caso risulti esserci già la larghezza sufficiente. Per quanto riguarda le carreggiate si prevede di portare la larghezza delle corsie a 3.75m dove attualmente risulti inferiore.

Il progetto prevede inoltre la sostituzione degli attuali elementi spartitraffico con barriere tipo new jersey di ultima generazione e la protezione con barriere delle pile centrali dei cavalcavia che sovrappassano la SS36. Anche per le barriere laterali è prevista la sostituzione sia in caso di bordo rilevato, sia su opera d'arte.

Tra le opere di manutenzione e miglioramento è previsto infine il rifacimento del manto di usura nonché della segnaletica orizzontale e verticale.

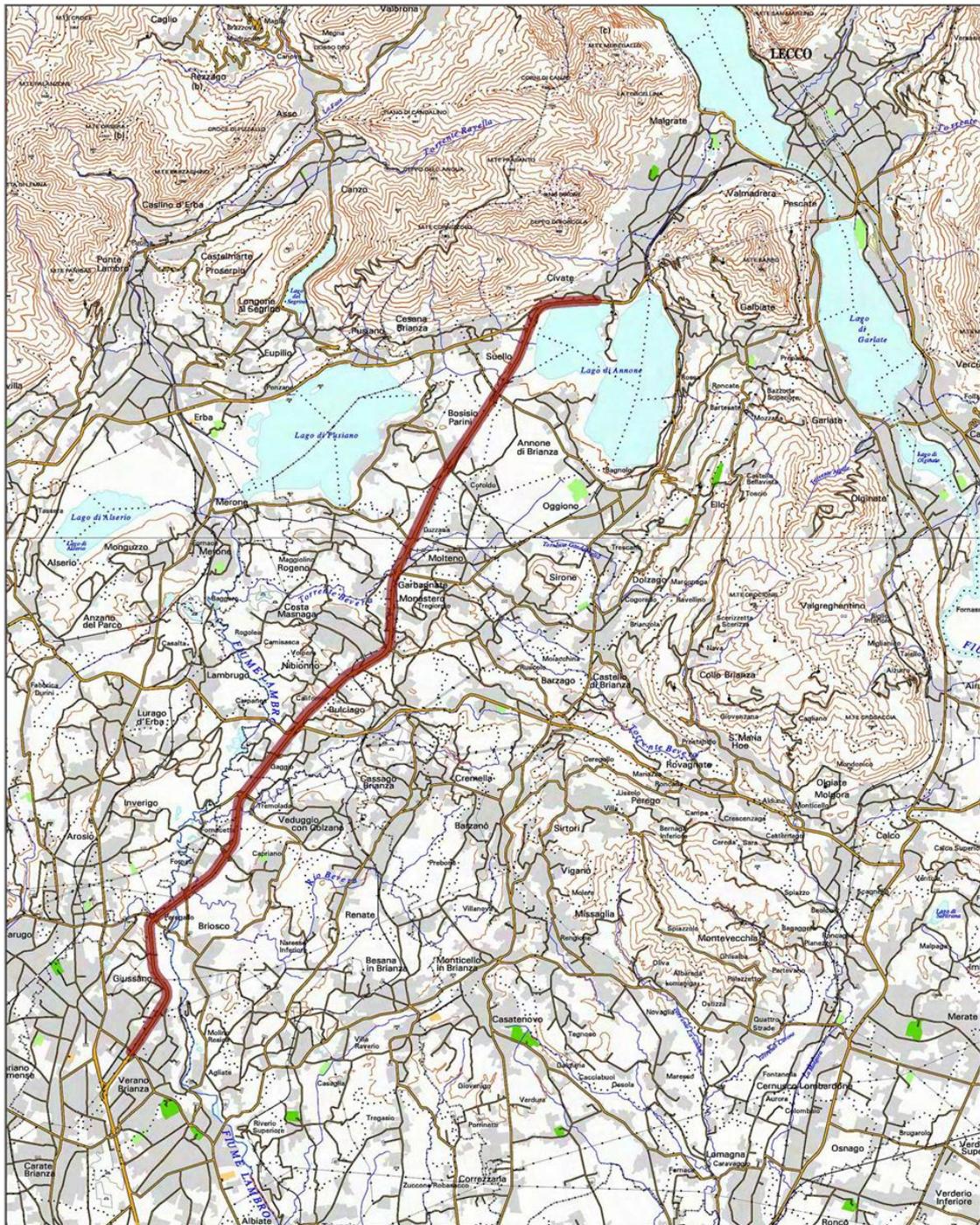


Figura 1-1: Corografia del tracciato in esame (Stralcio CT50 Regione Lombardia)

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti Normativi, Capitolati

- [1]. D.M. 17 gennaio 2018 “Nuove Norme tecniche per costruzioni” in sostituzione di quelle approvate con il D.M. 14 gennaio 2008.
- [2]. Circolare 21.01.2019: “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per costruzioni”.
- [3]. O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2000 e s.m.i. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica”.
- [4]. D.G.R. n. 2129 del 11 luglio 2014 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”.
- [5]. L.R. 33/2015 “Aggiornamento della normativa sulle costruzioni in zona sismica”.
- [6]. D.G.R. n. 5001/2016 “linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica”.
- [7]. D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 (“Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio”) in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374.
- [8]. D. Lgs 30 aprile 1992, n. 285 (Nuovo codice della strada)
- [9]. D. M. n. 6792 del 05/11/2001 (Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade)
- [10]. ANAS: Capitolato Speciale d’Appalto Norme Tecniche per l’Esecuzione del Contratto Servizi per Ingegneria e Architettura. Revisione settembre 2017 Capitolo 2 “Capitolato d’oneri per la redazione del Progetto Definitivo” (sezioni per Geologia, Geotecnica, Sismica).

2.2 Bibliografia

- [11]. Banca dati geologici di Regione Lombardia
- [12]. Carta della pericolosità sismica del territorio nazionale in formato digitale: Modello di pericolosità sismica MPS04-S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)
- [13]. Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. 2009 - REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362.
- [14]. Seed HB, Idriss IM 1970 – Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis – Report no. EERC70-10 Earthquake Engineering Research Center U.C. Berkley
- [15]. Vucetic M, Dobry R 1991 – Effect of soil plasticity on cyclic response – Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol 117 no. GT1

2.3 Documenti di Progetto Definitivo

- [16]. ANAS - Geodata Engineering - SS36 “del Lago di Como e dello Spluga” - Progetto Definitivo - Piano delle indagini geognostiche previste per i siti oggetto d’intervento

(Revisione 1 – giugno 2021).

- [17]. ANAS – Sidercem - Relazione sulle Indagini Geognostiche (sondaggi, pozzetti e prove in sito; indagini geofisiche; prove di laboratorio) – (Revisione 0, 23/12/2021).
- [18]. Relazione Geologica (T00GE00GEORE01).
- [19]. Carta Geologica (T00GE01GEOCG01 foglio 1 di 5; T00GE01GEOCG02 foglio 2 di 5; T00GE01GEOCG03 foglio 3 di 5; T00GE01GEOCG04 foglio 4 di 5; T00GE01GEOCG05 foglio 5 di 5).
- [20]. Carta Geomorfologica (T00GE02GEOCG01 foglio 1 di 5; T00GE02GEOCG02 foglio 2 di 5; T00GE02GEOCG03 foglio 3 di 5; T00GE02GEOCG04 foglio 4 di 5; T00GE02GEOCG05 foglio 5 di 5).
- [21]. Carta Idrogeologica (T00GE00GEOCI01 foglio 1 di 5; T00GE00GEOCI02 foglio 2 di 5; T00GE00GEOCI03 foglio 3 di 5; T00GE00GEOCI04 foglio 4 di 5; T00GE00GEOCI05 foglio 5 di 5).
- [22]. Profilo Geologico (T00GE00GEOFG01).
- [23]. Relazione Geotecnica (T00GE00GETRE04).
- [24]. Profilo Geotecnico (T00GE00GETFG01).
- [25]. Relazione Sismica (T00GE00GEORE01).
- [26]. Carta Sismica (T00GE00GEOCS01 foglio 1 di 2; T00GE00GEOCS02 foglio 2 di 2).

3 INQUADRAMENTO SISMICO

3.1 Zonazione sismica dei territori comunali

La prima classificazione sismica su scala comunale si riferisce all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, che introdusse nuove classi sismiche per il territorio nazionale lasciando alle Regioni la facoltà di poter modificare i parametri nell'ambito del proprio territorio. In base all'ordinanza 3274 del 2003, l'intero territorio Nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4.

La suddivisione in classi deriva dalla valutazione della pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale, in termini di accelerazione orizzontale massima su affioramento roccioso e superficie orizzontale (a_g/g), con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ricorrenza del sisma pari a 475 anni):

Zona Sismica (OPCM 3274- 2003)	a_g/g	Sa (T=0)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 3-1: Parametri di zonazione sismica secondo l'OPCM 3274 del 2003

La Regione Lombardia con la D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129 ha approvato una nuova classificazione sismica del proprio territorio Regionale, entrata in vigore nel 10 aprile 2016. Dopo questo decreto regionale, alcuni comuni hanno condotto studi specifici dimostrando un aumento di pericolosità ed aggiornando la zona sismica d'appartenenza con la classe T di pericolosità superiore.

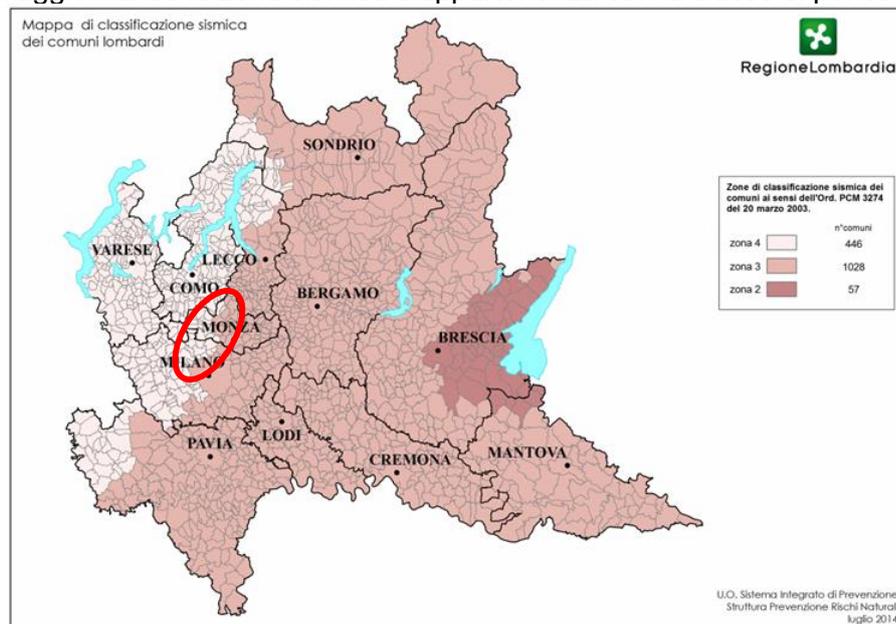


Figura 3-1. Mappa di classificazione sismica dei comuni Lombardi con evidenza dell'area interessata dal Progetto

Si riportano nella tabella seguente le zone sismiche vigenti per i Comuni attraversati dall'infrastruttura oggetto di intervento.

Comune	Zona Sismica
Bosisio Parini	3
Briosco	3
Cesana Brianza	3
Civate	3
Costa Masnaga	3
Garbagnate Monastero	3
Giussano	4
Molteno	3
Nibionno	3
Suello	3
Veduggio con Colzano	3
Verano Brianza	4

Tabella 3-2: Zone sismiche dei Comuni attraversati dall'infrastruttura oggetto di intervento (con riferimento alla D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129)

3.2 Inquadramento sismo-tettonico

La sismicità del nord Italia e della Lombardia in particolare è connessa, a grande scala, alla convergenza tra la placca Adria e l'Europa ed i fenomeni prevalentemente compressivi che hanno generato la catena alpina. In questo contesto i terremoti sono caratterizzati da nucleazione nell'ambito dello spessore di crosta superiore, con profondità ipocentrale variabile tra 5 e 15 km.

In Lombardia la sismicità è concentrata al margine della pianura Bresciana e nella zona del Lago di Garda, estremità sud del sistema di faglie delle Giudicarie, connessa alla struttura geologica locale che nella pianura bresciana è caratterizzata da numerose superfici di scorrimento con migrazione verso sud delle falde a causa della strutturazione delle Alpi Meridionali. Nella zona del Garda, invece, i terremoti sono connessi ai movimenti ed ai rilasci energetici lungo la linea delle Giudicarie.

L'inquadramento sismo-tettonico è sintetizzato nella zonazione sismogenetica ZS9 (Figura 3-2), su cui si basa la carta di pericolosità sismica nazionale [12], che individua in Lombardia le zone 903 e 907, rispettivamente delle Alpi Occidentali e del complesso Subalpino Meridionale.

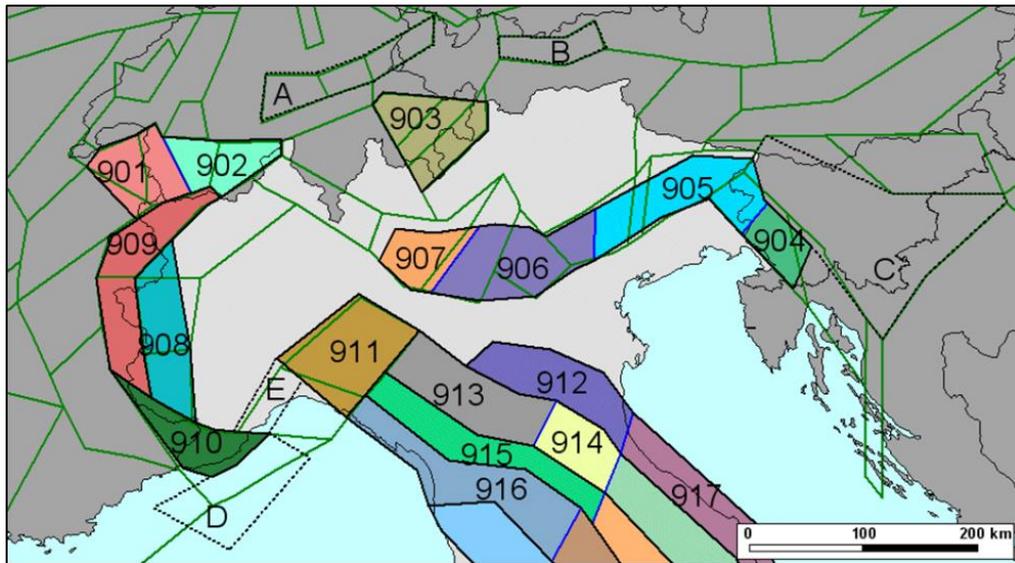


Figura 3-2: Stralcio della zonazione sismogenetica ZS9

L'infrastruttura in esame ricade in prossimità della zona 907, che comprende parte delle province di Bergamo e Brescia ed è caratterizzata da una sismicità medio-bassa, con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802, per il quale è stata stimata una magnitudo Mw pari a 5.9 (Albini et al., 2002).

Il database europeo delle sorgenti sismogenetiche (European Database of Seismogenic Faults, SHARE task 3.2) indica, al margine della zona attraversata dal tracciato, la struttura ITCS010 *Western-Alps internal thrust* (si veda la figura seguente).

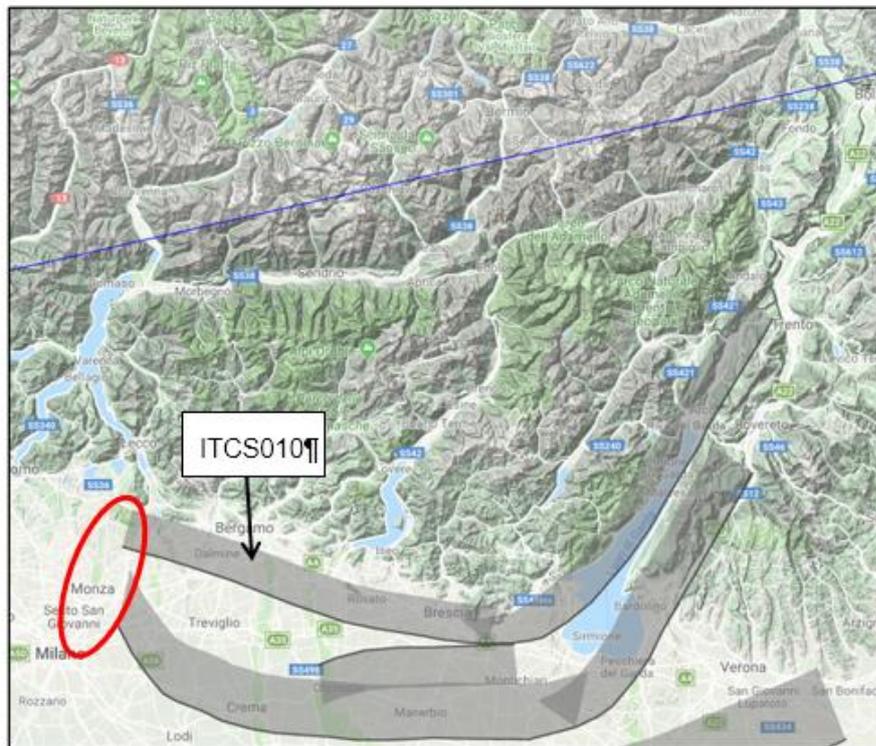


Figura 3-3. Struttura attiva prossima al tracciato (dall'European Database of Seismogenic Faults - SHARE task 3.2)

Si tratta di una sorgente sismogenetica appartenente alla struttura geologica complessa che si sviluppa dall'area a Nord di Trento fino a Sud di Bergamo, appartenente al fronte di accavallamento interno, in connessione con il fronte tettonico Sud Alpino, con una direzione di vergenza delle falde verso sud ed una tettonica prevalentemente compressiva.

Dal database macrosismico italiano DBMI15 (Locati M. et al. 2016), si individuano eventi di intensità macrosismica $IMS \geq 5$ dall'anno 1000 al 2014.

3.3 Pericolosità sismica di base e azione sismica di progetto secondo la norma tecnica nazionale (NTC 2018)

3.3.1 Aspetti generali

La normativa tecnica vigente permette l'utilizzo di un approccio semplificato alla valutazione dell'azione sismica per le analisi geotecniche e/o strutturali che non prevedono l'utilizzo di accelerogrammi. Si tratta di un approccio impiegato nella maggioranza delle valutazioni progettuali a meno di specifiche prescrizioni coerenti con la singolarità dell'opera e delle condizioni di sottosuolo nell'area di sedime.

Secondo l'approccio semplificato, la valutazione dell'azione sismica è basata sulla mappa di pericolosità del territorio nazionale (Modello di pericolosità sismica MPS04-S1, [12]) implementata in forma tabellare nella precedente versione della normativa tecnica nazionale (NTC 2008, Allegato B), a cui la norma vigente fa riferimento [1].

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale definisce la pericolosità in termini di accelerazione massima in condizioni ideali di sottosuolo rigido e superficie orizzontale. I valori di accelerazione, normalizzati rispetto all'accelerazione di gravità (a_g/g), sono associati a diverse probabilità di superamento nell'ambito della vita di riferimento dell'opera o di parti di essa (V_R), in dipendenza dallo stato limite rispetto a cui si deve verificare la sicurezza (SLU).

I valori di a_g/g sono assegnati su una griglia territoriale di punti equi-spaziati di 5 km che ricopre l'intero territorio nazionale.

Sulla stessa griglia sono assegnati anche in valori dei parametri d'azione dello spettro di risposta elastico su substrato rigido, per le stesse probabilità di superamento (NTC 2018, Tab. 3.2.I [1]).

La normativa delinea il processo di individuazione dell'azione sismica di progetto che prevede:

- la definizione della vita di riferimento dell'opera (V_R) sulla base della correlazione tra vita nominale (V_N) e classe d'uso (C_U): $V_R = V_N \cdot C_U$;
- la stima del periodo di ritorno (T_R) sulla base delle probabilità di superamento (P_{VR}) associata agli stati limite di verifica, secondo la formula: $T_R = V_R / \ln(1 - P_{VR})$;
- la stima dei valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su suolo rigido (parametri d'azione) in funzione di T_R .

I parametri d'azione su sito di riferimento rigido orizzontale sono:

- a_g/g , accelerazione massima normalizzata;
- F_0 , moltiplicatore di a_g/g che quantifica l'amplificazione spettrale massima ed ha valore minimo pari a 2.2;

- T^*_C , periodo proprio di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Gli stati limite di verifica previsti dalla norma sono elencati di seguito, con le corrispondenti probabilità di superamento in 50 anni:

- Stato Limite ultimo di Collasso (SLC), $P_{RV} = 5\%$;
- Stato Limite ultimo di Vulnerabilità (SLV), $P_{RV} = 10\%$;
- Stato Limite di esercizio, di Danno (SLD), $P_{RV} = 63\%$;
- Stato Limite di esercizio, di Operatività (SLO), $P_{RV} = 81\%$.

Per le opere d'arte in progetto si ha:

$V_N = 100$ anni; $C_U = 2$ (Classe d'uso IV); da cui $V_R = 200$ anni

3.3.2 Fattori di amplificazione dell'accelerazione massima

La massima accelerazione orizzontale attesa in superficie (a_{max}/g), si ottiene moltiplicando l'accelerazione massima di base (a_g/g), per un fattore di amplificazione stratigrafica (S_S) ed uno di amplificazione topografica (S_T) secondo la formula:

$$\frac{a_{max}}{g} = S_S \cdot S_T \cdot \frac{a_g}{g}$$

Il fattore di amplificazione stratigrafica dipende dalla classe di sottosuolo (Tabella 3-3), definita dalla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$), e dai parametri spettrali F_0 ed a_g/g (Tabella 3-4).

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

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

Tabella 3-3: *Classi sismiche di sottosuolo da NTC 2018*

La $V_{S,eq}$ dipende dalla stratigrafia sismica e si calcola secondo la formulazione riportata di seguito, utilizzando i risultati di indagini specifiche per la valutazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio nel sottosuolo [1]:

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

In cui:

- H è lo spessore dello strato con $V_S < 800$ m/s;
- h_i è lo spessore dello strato i-imo del sottosuolo con $V_S < 800$ m/s;
- $V_{S,i}$ è la velocità delle onde di taglio nello strato i-imo.

La classe di sottosuolo modifica anche il valore del periodo T_C di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastica in accelerazione in superficie, attraverso il coefficiente C_C secondo la formulazione riportata in norma (Tabella 3-4).

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_C

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

Tabella 3-4: Fattori di amplificazione per classi sismiche di sottosuolo da NTC 2018

Il fattore di amplificazione topografica dipende dalla categoria topografica adottando la seguente classificazione per configurazioni superficiali semplici (Tabella 3-5). I relativi fattori di amplificazione sono riportati in Tabella 3-6.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Tabella 3-5: Categorie topografiche da NTC 2018

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

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

Tabella 3-6: Fattori di amplificazione topografica da NTC 2018

3.4 Pericolosità sismica e valutazione dell'azione di progetto secondo la metodologia della Regione Lombardia

3.4.1 Approccio normativo

La metodologia regionale per la valutazione della pericolosità sismica locale ([7]), prevede tre livelli di approfondimento (1°, 2° e 3° Livello). Il primo livello di approfondimento è obbligatorio per ogni comune, in fase di pianificazione dopo avere recepito la D.g.r. 11 luglio 2014, mentre il 2° e 3° livello è richiesto solo in particolari casistiche:

- **1° livello:** è una fase prettamente qualitativa che si basa sulle considerazioni dirette degli effetti dei terremoti e prevede l'individuazione partendo dalla carta geologica di una serie di zone possibilmente soggette di amplificazione sismica o in cui possono verificarsi particolari fenomeni in caso di sisma.
- **2° livello:** si applica in base alle risultanze del livello 1° ed in relazione alla classificazione sismica del Comune e prevede un approccio semiquantitativo per valutare quali sono gli effetti di amplificazione attesi.
- **3° livello:** è un approccio quantitativo e corrisponde ad un'analisi di risposta sismica locale (RSL), si effettua nelle seguenti situazioni:
 - per le aree Z3 e Z4, suscettibili di amplificazioni morfologiche e litologiche se caratterizzate da un'amplificazione superiore al valore di soglia Comunale (definito da studi specialistici eseguiti dal Politecnico di Milano). In questi casi, in alternativa ad un'analisi RSL, si può utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore [7], con il seguente schema:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà per classe C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora raggiunta si utilizzerà lo spettro di classe D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D; anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - per aree caratterizzate da effetti di instabilità (Z1b e Z1c);
 - per aree caratterizzate da cedimenti e/o liquefazione (Z2);
 - per aree caratterizzate da contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (Z5);

La metodologia è descritta nel seguente albero logico (rif.[7]).

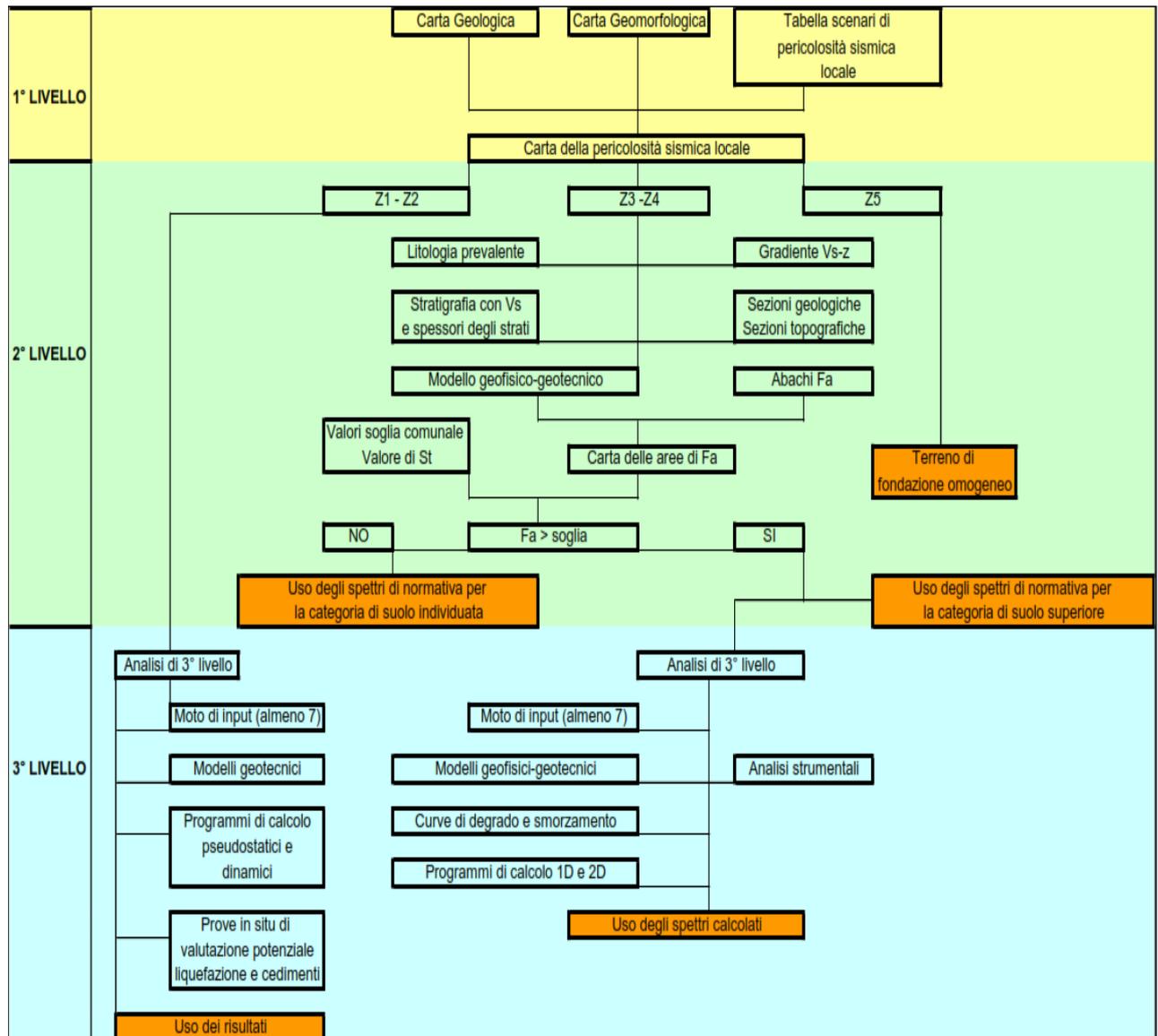


Figura 3-4. Albero logico per l'applicazione dell'approccio previsto dalla Regione Lombardia in merito alla pericolosità sismica

3.4.2 Approfondimento di 1° livello

Relativamente ai Comuni che hanno già sviluppato studi di 1° livello, sono disponibili carte di pericolosità sismica in cui il territorio comunale è zonato in base agli scenari di pericolosità possibili derivanti dalle caratteristiche geologiche e geomorfologiche locali. Le classi di pericolosità previste [7], il relativo scenario di pericolosità e il livello di approfondimento richiesto sono riportate nella Tabella 3-7.

Lo scenario di pericolosità sismica associato alle località esaminate è definito nei capitoli 4, 5 e 6 di questa relazione.

SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	LIVELLO DI APPROFONDIMENTO
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	H2 – livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	H2 – livello di approfondimento 3°
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	H2 – livello di approfondimento 2°
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	H2 – livello di approfondimento 3°

Tabella 3-7: Scenari di pericolosità sismica locale e relativo livello di approfondimento

3.4.3 Approfondimento di 2° livello

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche (Z3) e stratigrafiche (Z4). La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo per la definizione della classe di sottosuolo NTC2018 attraverso il confronto tra un fattore di amplificazione (Fa) ed i relativi valori di soglia Comunali definiti da studi specialistici (Politecnico di Milano). Il fattore di amplificazione si calcola attraverso correlazioni analitiche valide in due intervalli standard del periodo caratteristico di vibrazione strutturale (T_s):

- $T_s = 0.1 - 0.5s$ per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide
- $T_s = 0.5 - 1.5$ per strutture più alte e flessibili.

Operativamente, la procedura si basa sulla scelta di una scheda di valutazione tra quelle disponibili nell' Allegato 5, della D.G.R. IX/2616 [7].in cui sono contenute le indicazioni per il calcolo del fattore di amplificazione (Fa). La scelta è operata verificando la compatibilità delle seguenti caratteristiche geotecniche dei terreni estratti dal sottosuolo dell'area in esame, con i limiti definiti nella specifica scheda:

- curva granulometrica dei terreni campionati;
- stratigrafia del sito;

- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s (classe di sottosuolo A, NTC 2018, associata al substrato rigido di base): spessore e velocità di ciascun strato;

Il fattore di amplificazione è funzione del periodo proprio di vibrazione del sottosuolo (T), da calcolare con la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

in cui

- V_{s_i} è la velocità di propagazione delle onde di taglio caratteristica di ogni sismostrato
- h_i è lo spessore del singolo sismostrato.

Il periodo proprio del sito è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s.

Se valore calcolato di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente si assume la classe di sottosuolo NTC 2018.

Se, invece, Fa è superiore al valore di soglia, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

La procedura descritta è dettagliata nell' Allegato 5, della D.G.R. IX/2616 [7] cui si rimanda.

Nell'ambito di un approfondimento di 2° livello l'azione di progetto è sempre definita dallo spettro di risposta elastico indicato dalla NTC 2018 [1]. L'amplificazione stratigrafica dipende dalla classe di sottosuolo, modificata in funzione dei risultati della procedura precedentemente illustrata.

3.4.4 Approfondimento di 3° livello

L'approfondimento di 3° livello prevede uno studio di risposta sismica locale (RSL) che si basa sulla definizione di un modello sismico di sottosuolo e la valutazione delle modifiche prodotte su una serie di segnali sismici virtualmente propagati attraverso di esso, in termini di ampiezza d'onda, durata e contenuto in frequenza.

In condizioni di strati e superficie libera orizzontali è possibile adottare un modello di propagazione monodimensionale (1D) assumendo, per i terreni in esame un modello di mezzo visco-elastico lineare equivalente in cui la risposta dinamica è definita dalle curve di variazione del modulo di

rigidezza a taglio adimensionalizzato (G/G_0) e del fattore di smorzamento (D) con il livello di deformazione tangenziale γ indotto dal sisma.

Le fasi sono quindi:

1. definizione di set accelerometrici compatibili con la pericolosità sismica del sito in esame
2. definizione di un modello sismico di sottosuolo (spessore dei sismostrati, h_i , relativa V_{Si} e, curve $G/G_0(\gamma) - D(\gamma)$);
3. Analisi di propagazione di ogni segnale accelerometrico dal substrato roccioso in superficie (convoluzione);
4. Calcolo dello spettro di risposta elastico in accelerazione a partire dal segnale sismico ottenuto in superficie.

Scelta degli accelerogrammi per le analisi RSL

La NTC 2018 prevede che le analisi vengano effettuate con almeno 7 accelerogrammi compatibili col livello di pericolosità definito, al sito in esame, dallo stato limite di analisi e dalla vita di riferimento dell'opera.

La ricerca di accelerogrammi che soddisfino i requisiti indicati si esegue con l'ausilio di software specifici che selezionano in un database di riferimento tutti gli eventi compatibili con un assegnato spettro di risposta elastico e con fissati intervalli di magnitudo attesa (M) e distanza epicentrale (d). La carta di pericolosità nazionale [12] fornisce le coppie magnitudo-distanza associabili alla località in esame in funzione della probabilità di superamento in 50anni definita dallo stato limite e dalla vita di riferimento dell'opera.

In questo studio è stato utilizzato il codice di calcolo REXEL [13] attraverso il quale è stata effettuata una ricerca di accelerogrammi naturali spettro compatibili con lo spettro di norma riferito ad una classe di sottosuolo A NTC 2018. Al fine di ottenere un risultato quanto più aderente allo spettro di norma, la ricerca è stata condotta all'interno dello European Strong Motion database.

Modello di sottosuolo

Il modello di sottosuolo è definito dal profilo di V_s ottenuto dalle prove sismiche disponibili e coerente con la stratigrafia del modello geotecnico al sito in esame.

Se non si dispone curve di $G(\gamma) - D(\gamma)$ definite da prove su campioni, saranno implementate curve generiche di letteratura (Seed e Idriss, 1971 – Vucetic e Dobry 1991) generalmente associate a parametri indice dello stato dei terreni in sito: indice di plasticità per terreni argillosi e limosi, densità relativa (D_r) per terreni sabbiosi e ghiaiosi.

Analisi dei Risultati

Il risultato di ogni analisi di propagazione 1D è un accelerogramma in superficie, da cui è possibile, per via analitica calcolare lo spettro di risposta elastico.

Sulla base degli spettri di risposta ottenuti si determina lo spettro medio e di questo la forma regolarizzata in coerenza con lo standard implementato nella NTC 2018. Lo spettro di risposta

elastico in superficie, regolarizzato, sarà confrontato con lo spettro di norma associato alla classe di sottosuolo caratteristica del sito in esame o a quella di categoria inferiore. In condizioni di sostanziale sovrapposibilità delle due funzioni spettrali o in caso lo si riterrà opportuno ai fini delle specifiche verifiche di sicurezza, si propenderà per l'impiego dello spettro di normativa, come per altro previsto anche dalla stessa norma.

4 AREA BRIOSCO-AROSIO

4.1 Inquadramento geologico e sismico dell'area

La morfologia del settore è interessata da forme di origine morenica, modificate dall'azione fluviale del Fiume Lambro e del Rio Bevera.

In base alla cartografia C.A.R.G., nell'area Briosco Arosio si individuano: depositi fluvioglaciali dell'unità di Cadorago (BEE) composte da ghiaie massive o debolmente stratificate e depositi glacio-lacustri costituiti da limi argillosi; till di ablazione e di alloggiamento (diamicton massivi); till di colata (limi massivi); depositi glaciolacustri costituiti da limi argillosi laminati, sabbie fini limose e limi sabbiosi laminati.

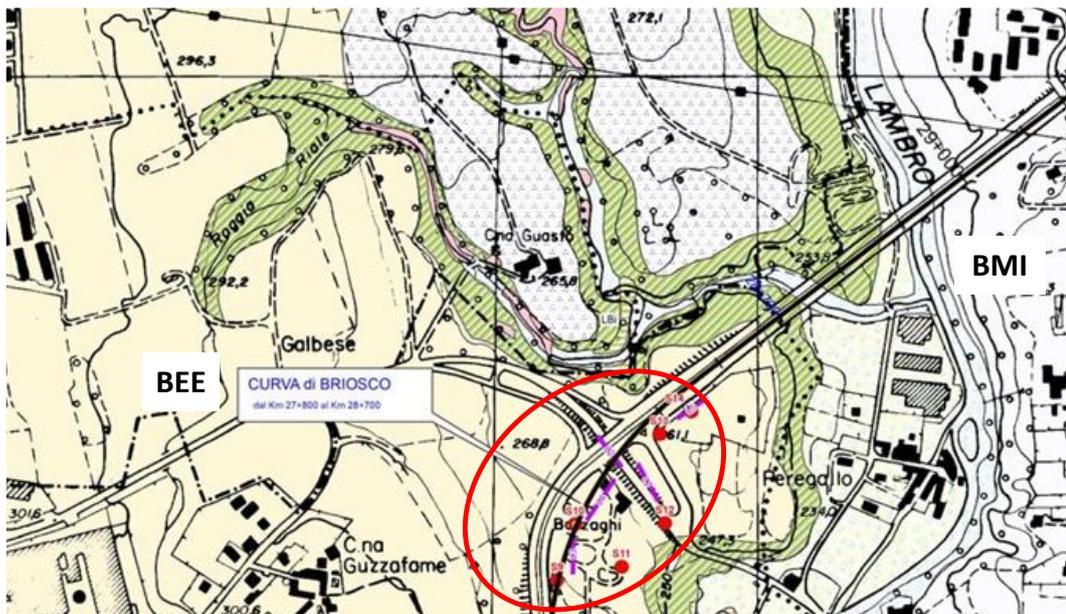


Figura 4-1: Localizzazione della tratta con indagini e stralcio dalla Carta geologica di PD.

Le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area collocano l'infrastruttura in uno scenario di pericolosità **Z4c** per il quale è previsto un approfondimento di 2° livello (Figura 4-2).

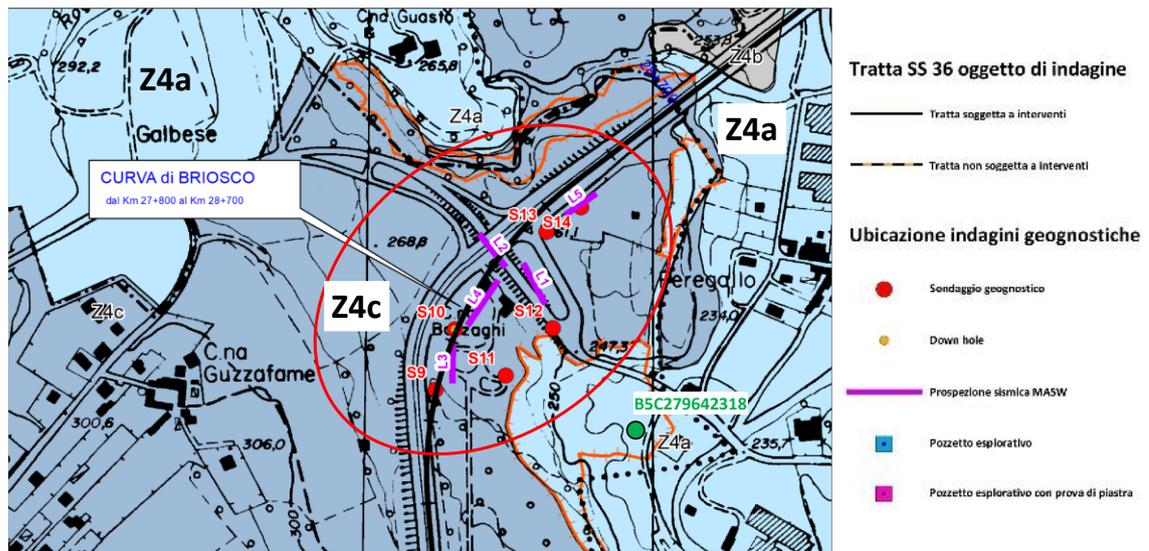


Figura 4-2. Localizzazione della tratta nello stralcio della Carta della pericolosità sismica locale (Microzonazione di 1° livello)

4.2 Prove sismiche disponibili

Nell'area di analisi sono state effettuate 5 prove sismiche di superficie (MASW L1 – L5) della lunghezza di 50m ed una prova sismica in foro tipo Down-Hole in corrispondenza del sondaggio (DH - S10). I risultati sono riportati nella seguente Figura 4-3 (in forma tabellare in Appendice Tabella 8-1):

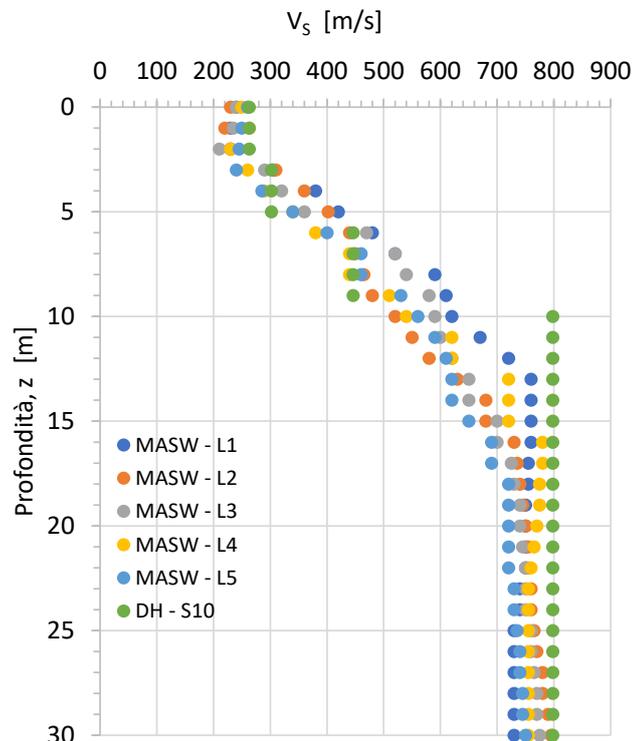


Figura 4-3. Briosco-Arosio: grafico di sintesi dei profili di Vs da prove MASW e DH

I sondaggi disponibili dell'area [24] mostrano che l'unità limoso argillosa UG1 ricopre l'unità ghiaioso sabbiosa UG3 con spessori variabili tra 3 e 17m.

L'andamento di V_s definito dalle prove sismiche presenta:

- un tratto a V_s crescente da 250 a 700m/s tra 0 e 15m di profondità, probabilmente associabile all'unità UG1;
- un tratto a profondità V_s compresa tra 760 e 790m/s, da 15 a 30m di profondità, probabilmente associabile all'unità UG3.

Le prove sismiche non individuano un substrato con V_s nettamente maggiore di 800m/s ed i sondaggi recenti non hanno intercettato una formazione rocciosa nell'ambito dei 30m di profondità di indagine. Pertanto, dalla banca dati del sottosuolo della Regione Lombardia è stato identificato il sondaggio profondo codice B5C279642318 eseguito in prossimità dell'area in esame, che individua il substrato roccioso a circa 74 metri dal piano campagna e conferma l'esistenza di un substrato ghiaioso sabbioso di potenza circa 60 - 65m che ricopre la formazione rocciosa profonda.

La velocità equivalente nei primi 30m di sottosuolo, calcolata sui risultati delle prove sismiche disponibili, varia nell'intervallo:

$$V_{s,eq} = 520 - 570\text{m/s,}$$

collocando il sottosuolo in classe B secondo la NTC 2018.

4.3 Analisi sismica di 2° livello

Considerata la profondità di rinvenimento del substrato roccioso e la stratigrafia evidenziata dal sondaggio profondo, si può asserire che il sottosuolo della località di Briosco è caratterizzata da una prevalenza dell'unità ghiaioso sabbiosa UG3 rispetto all'unità limoso sabbiosa UG1.

Le curve granulometriche dei campioni estratti dai sondaggi recenti mostrano una sostanziale coerenza nei fusi caratteristici sia della litologia puramente ghiaiosa, sia di quella puramente sabbiosa (rif. Figura 8-2 e Figura 8-3).

IL modello per litologia puramente ghiaiosa dell'Allegato 5 della D.G.R. IX/2616 [7] (riportato in Appendice 8.1) è caratterizzata da un andamento caratteristico dei valori di V_s che raggiunge il limite di norma per classe A (800m/s) a circa 25m di profondità. Tuttavia, il confronto del modello per litologia ghiaiosa con gli andamenti ottenuti dalle prove sismiche mostra una sostanziale coerenza per profondità comprese tra 0 e 20 - 22m dal pc. Di contro, non sussiste nessuna affinità tra il modello di V_s per litologia puramente sabbiosa e gli andamenti da prove sismiche.

Considerando che il profilo di V_s rappresenta un elemento determinante nella risposta sismica locale, si ritiene opportuno procedere stimando il fattore di amplificazione (F_a) utilizzando le formule per litologia ghiaiosa.

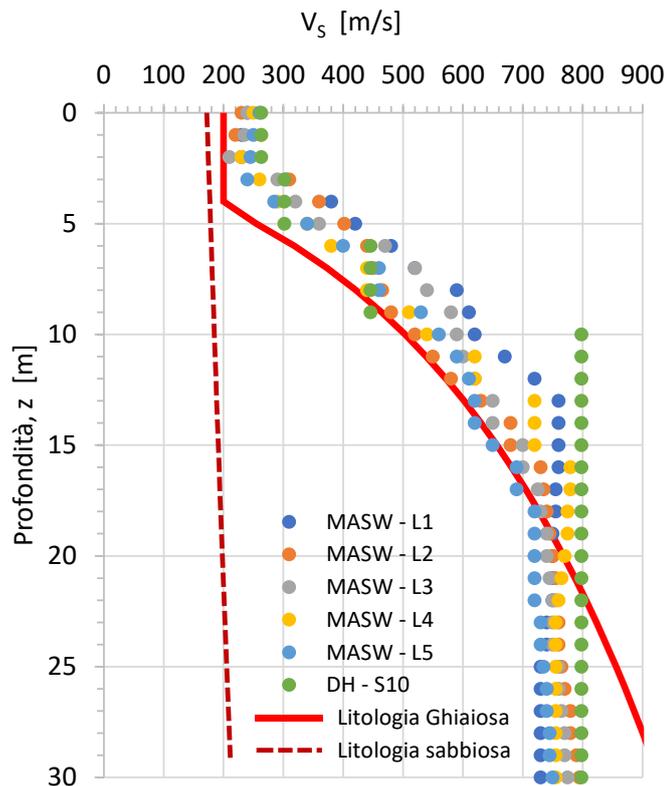


Figura 4-4. Brioso-Arosio: confronto tra profili di V_s da prove sismiche ed il modello per litologie sabbiosa e ghiaiosa (Allegato 5, [7].D.G.R. IX/2616)

Utilizzando il modello di V_s per litologia ghiaiosa estrapolato fino alla profondità di 74m dal piano campagna si stima il periodo proprio di vibrazione del sottosuolo in esame secondo la formula riportata al precedente paragrafo 3.4.3:

$$T = 0.3s$$

La matrice di individuazione della funzione di calcolo del fattore F_a prevede che si valuti la velocità media nei primi 4m di profondità (primo strato):

$$V_{s, \text{primo strato}} = 250\text{m/s,}$$

per cui la funzione di calcolo è la seconda (curva in verde, rif. Appendice 8.1).

Si calcola:

- per $T_s = 0.1 - 0.5s$, $F_a = 1.6$ maggiore di 1.4 valore di soglia comunale per sottosuolo di classe B, ma minore di 1.9, valore di soglia comunale per sottosuolo di classe C. Di conseguenza si adotta una classe C di sottosuolo;
- per $T_s = 0.5 - 1.5s$, $F_a = 1.2$ minore di 1.7 valore di soglia comunale per sottosuolo di classe B. Pertanto, in questo intervallo di periodi si può adottare una classe di sottosuolo B.

4.4 Parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione

In considerazione della necessità di implementazione di un unico spettro di risposta elastico per analisi strutturali, a vantaggio di sicurezza si assegna alla località in esame la classe C di sottosuolo

per tutti i valori di periodo di vibrazione strutturale previsti dallo spettro di norma (NTC 2018). I parametri di base dello spettro di risposta elastico in accelerazione sono riportati di seguito:

BRIOSCO-AROSIO

LAT 45,7214

LONG 9,2384

STATO LIMITE	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	120	0,032	2,59	0,22
SLD	201	0,038	2,62	0,24
SLV	1898	0,072	2,72	0,31
SLC	2475	0,077	2,74	0,31

CLASSE C

5 AREA BRIOSCO-FORNACI

5.1 Inquadramento geologico e sismico dell'area

La morfologia del settore è interessata da forme di origine morenica, modificate dall'azione fluviale del Fiume Lambro e del Rio Bevera. Le formazioni individuate sono tutte di origine fluvio-glaciale.

La zona di Briosco Fornaci dal progetto C.A.R.G., presenta le seguenti formazioni:

- Sintema di Cantù (LCN): depositi fluvio-glaciali, glaciali e di contatto glaciali, deltizi e lacustri. I depositi fluvio-glaciali costituiscono spesso i terrazzi e le piane morfologicamente più depresse all'interno delle valli.
- Unità di Minoprio (BMI): depositi gluvio-glaciali, ghiaie e ghiaie sabbiose massive, diamicton massivi a supporto clastico. Till di ablazione: ghiaie massive. Till di alloggiamento: diamicton massivi. Till di Colata: limi massivi. Depositi glaciolacustri: limi argillosi laminati, sabbie fini limose e limi sabbiosi, laminati.

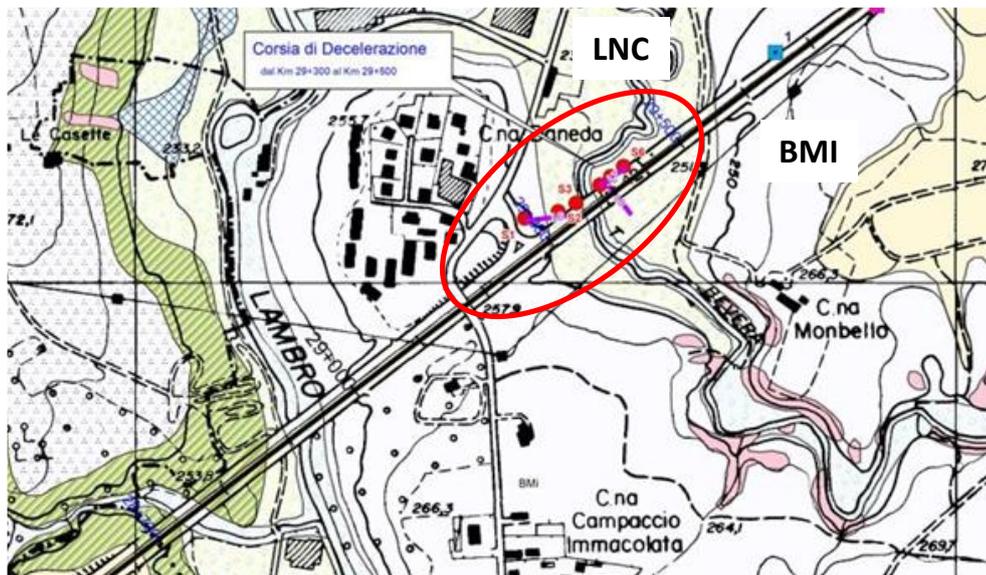


Figura 5-1: Localizzazione della tratta con indagini e stralcio dalla Carta geologica di PD.

Le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area collocano l'infrastruttura prevalentemente in uno scenario di pericolosità **Z2a** (Figura 5-2) per il quale è previsto un approfondimento di 3° livello, con specifiche analisi di risposta sismica locale (rif. precedente paragrafo 3.4.4)

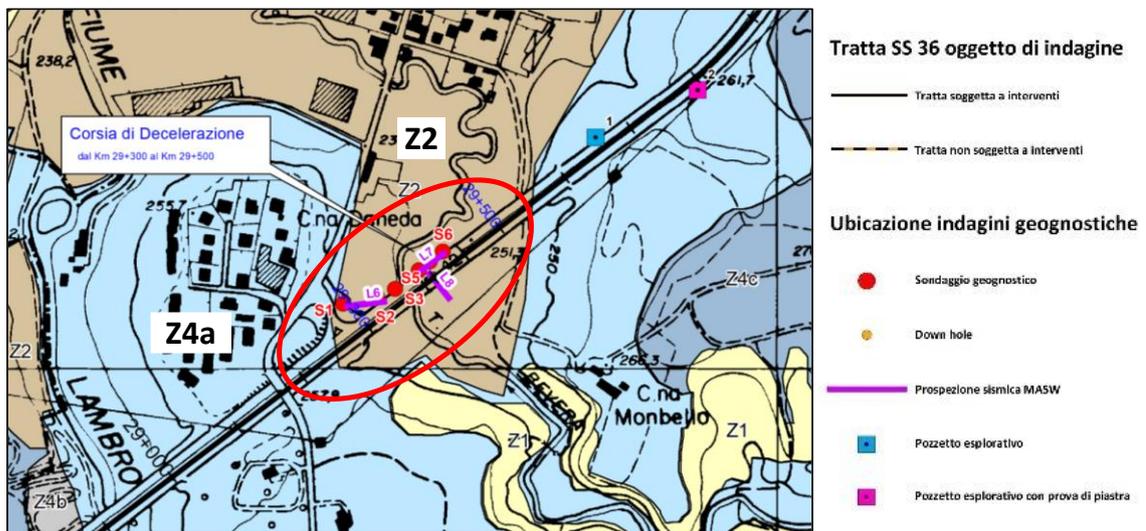


Figura 5-2. Carta delle pericolosità sismica locale del PD, con ubicazione delle indagini.

5.2 Prove sismiche disponibili

Nell'area di analisi sono state effettuate 3 prove sismiche di superficie tipo MASW con stendimenti di 37.50m. (MASW L6, L7, L8).

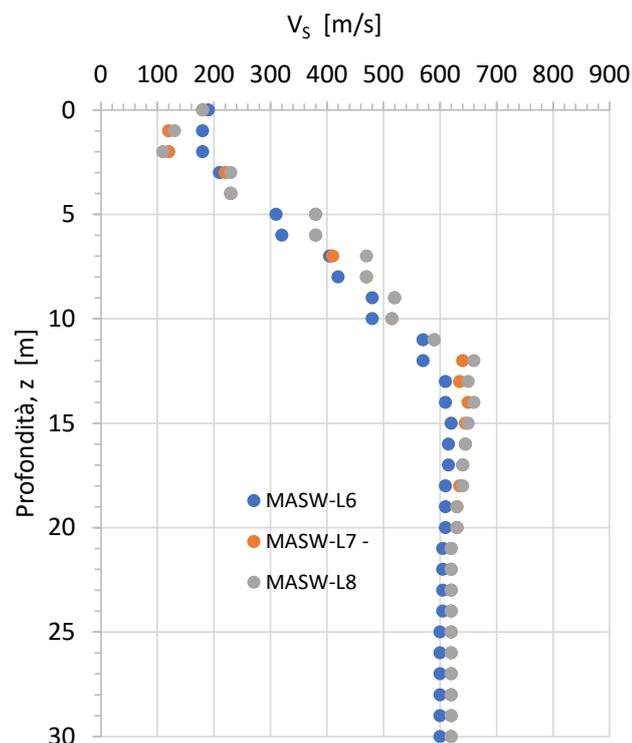


Figura 5-3. Grafico di sintesi dei profili di Vs da prove MASW

Le prove sismiche non individuano un substrato con V_s maggiore di 800m/s ed i sondaggi recenti non hanno intercettato una formazione rocciosa nei 30m di profondità di indagine. Pertanto, si farà riferimento ancora al sondaggio profondo codice B5C279642318 della banca dati della Regione Lombardia, che individua il substrato roccioso a circa 74 metri dal piano campagna (rif. precedente paragrafo 4.2).

La velocità equivalente nei primi 30m di sottosuolo, calcolata sui risultati delle prove sismiche disponibili, varia nell'intervallo:

$$V_{S,eq} = 422 - 436\text{m/s,}$$

collocando il sottosuolo in classe B secondo NTC 2018.

5.3 Analisi sismica di 3° livello

I sondaggi disponibili nell'area in esame (ref, modello geotecnico) mostrano che le unità limoso argillose e limoso sabbiose UG1 ed UG2 ricoprono l'unità ghiaioso sabbiosa UG3 in strati di spessore variabile tra 3 e 17m. Lo spessore della formazione ghiaiosa è definito, invece, dalla profondità del substrato roccioso identificato dal solo sondaggio B5C279642318 (banca dati della Regione Lombardia). Ai fini dell'analisi della risposta sismica locale, quindi, si ritrovano le condizioni al contorno che già caratterizzavano la località di Briosco-Arosio (ref, precedente paragrafo 4.3).

In questo caso, tuttavia, la carta di pericolosità indica uno scenario di classe Z2 in cui è necessario un approfondimento di 3° livello. Pertanto, si procede come indicato in linea generale al precedente paragrafo 3.4.4.

5.3.1 Selezione del set di accelerogrammi

Le analisi di disaggregazione eseguite per stato limite di danno (SLD, $T_R = 210$ anni) e stato limite di salvaguardia della vita (SLV, $T_R = 1898$ anni) individuano i valori di magnitudo e distanza riportati di seguito:

Longitudine	9.2384
Latitudine	45.7214
Classe NTC 2018	A
Categoria topografica	T1
T_R (anni)	210 (SLD), 1898 (SLV)
Magnitudo (min – max)	5.0 – 6.5
Distanza epicentrale (min – max)	0.1 – 20.0

Tabella 5-1. Valori di magnitudo e distanza ottenuti dalla disaggregazione della pericolosità sismica di base

L'analisi di spettro-compatibilità ha fornito i set accelerometrici indicati di seguito:

SLD			
Codice	ID sisma	ID stazione	Evento
383	176	ST153	Lazio Abruzzo (aftershock)
7142	2309	ST539	Bingol
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)
382	176	ST140	Lazio Abruzzo (aftershock)
5655	1825	ST2950	NE of Banja Luka
359	174	ST136	Umbria
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)

Tabella 5-2. Set accelerometrico per SLD

SLV			
Codice	ID sisma	ID stazione	Evento
1243	473	ST575	Izmit (aftershock)
7142	2309	ST539	Bingol
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)
4675	1635	ST2487	South Iceland
5078	1464	ST2496	Mt. Hengill Area
382	176	ST140	Lazio Abruzzo (aftershock)
6326	2142	ST2496	South Iceland (aftershock)

Tabella 5-3. Set accelerometrico per SLV

La seguente Figura 5-4 rappresenta gli spettri di risposta su substrato rigido di base degli accelerogrammi selezionati, con indicazione del relativo fattore di scalatura (SF).

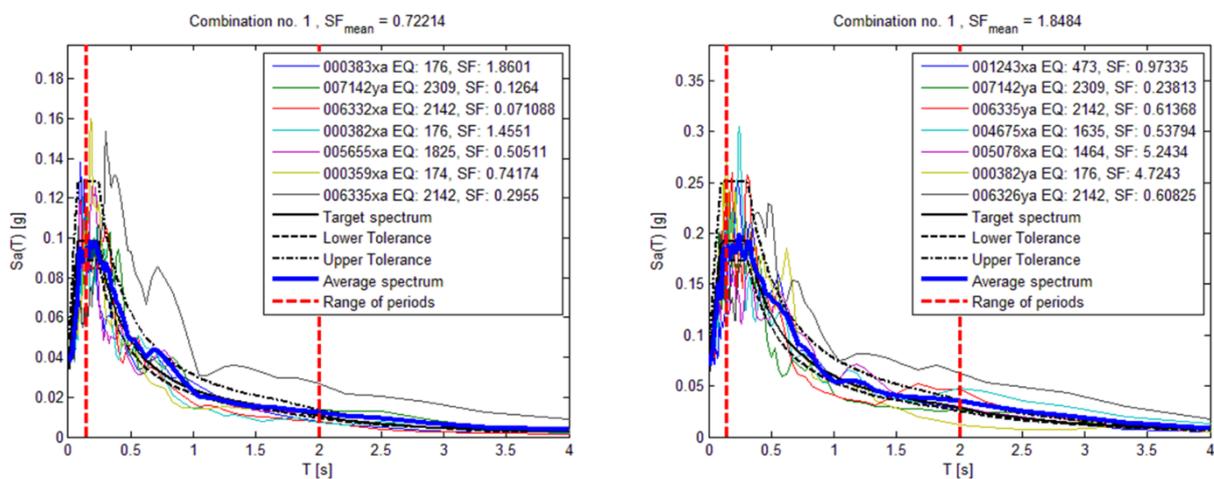


Figura 5-4. Spettro medio e i 7 eventi individuati per SLD (sinistra) ed SLV (destra)

5.3.2 Modello di sottosuolo

Il modello di sottosuolo per le analisi numeriche di risposta sismica è definito dal profilo di V_s riportato nella seguente Figura 5-5.

Non disponendo di curve di $G(\gamma) - D(\gamma)$ ottenute da specifiche prove su campioni estratti nel sito in esame, sono state adattate curve generiche di letteratura (Seed e Idriss, 1971 – Vucetic e Dobry 1991), come specificato nelle indicazioni generali (3.4.4).

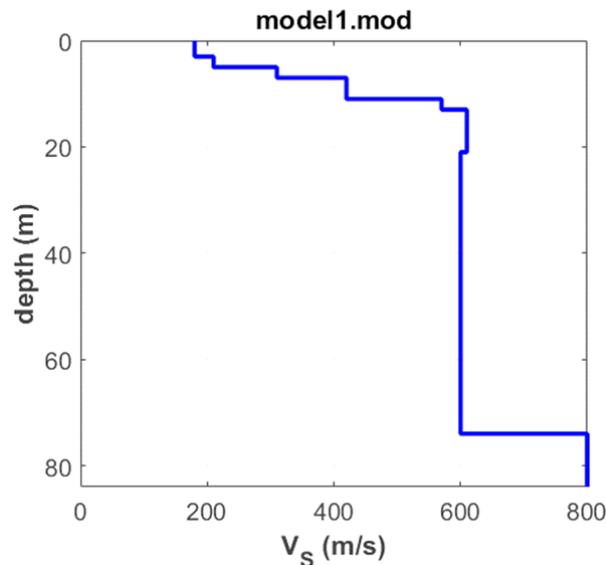


Figura 5-5. Modello migliore individuato con la modellazione congiunta MASW e HVSR

5.4 Parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione

Il risultato dell'analisi RLS per stato limite SLV è rappresentato dallo spettro medio riportato nella seguente Figura 5-6 (in rosso).

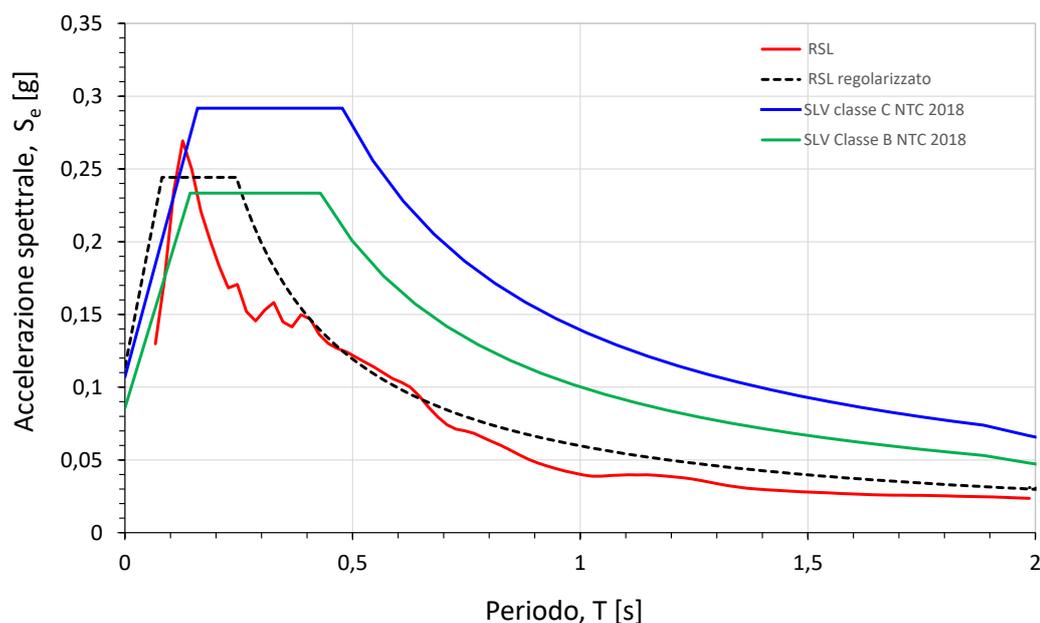


Figura 5-6. SLV: confronto tra spettro di risposta elastico da RSL e da NTC 2018 per Classe C di sottosuolo.

Dal confronto tra lo spettro di risposta medio regularizzato ottenuto dall'analisi di risposta sismica locale e quelli per sottosuoli di classe B e classe C da NTC 2018 si osserva che per periodi $T < 0.4s$, l'accelerazione spettrale per classe B di sottosuolo è sistematicamente minore di quella ottenuta dall'analisi RSL. Considerate le incertezze legate sia alla caratterizzazione sismica del sottosuolo, sia alla selezione degli accelerogrammi, ai fini del calcolo strutturale, per la località di Briosco-Fornaci si assume valido lo spettro di norma per classe C di sottosuolo. Quest'assunzione è coerente con quanto già stabilito applicando l'approccio di 2° livello per la località di Briosco-Arosio

ricadente nella stessa area.

I parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione sono riportati di seguito:

BRIOSCO-FORNACI

LAT 45,7222

LONG 9,2405

STATO LIMITE	Tr [anni]	a _g [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	120	0,032	2,59	0,22
SLD	201	0,038	2,62	0,24
SLV	1898	0,072	2,72	0,31
SLC	2475	0,077	2,74	0,31

CLASSE C

6 AREA PONTE DI VEDUGGIO

6.1 Inquadramento geologico e sismico dell'area

La morfologia del settore è interessata da forme di origine morenica.

La zona di Veduggio dai sondaggi S7-S8 effettuati è caratterizzata dalla presenza di limi con argilla sabbiosa.

Dal progetto C.A.R.G., si individuano le seguenti formazioni:

- Sintema del PO (POI): depositi sabbioso-ghiaiosi fluviali e di conoide dominati da debris flow; argille e torbe di deposizione lacustre. Alterazione assente. Morfologia ben espressa nelle piane fluviali dei principali corsi d'acqua.
- Sintema di Cantù (LCN): depositi fluvioglaciali, glaciali e di contatto glaciali, deltizi e lacustri. Morfologie in genere ben conservate con morene a fianchi ripidi e ben rilevate rispetto alle zone circostanti. I depositi fluvioglaciali costituiscono spesso i terrazzi e le piane morfologicamente più depresse all'interno delle principali valli.

La Figura 6-1, mostra la carta geologica del PD, con ubicazione indagini ed interventi in progetto.

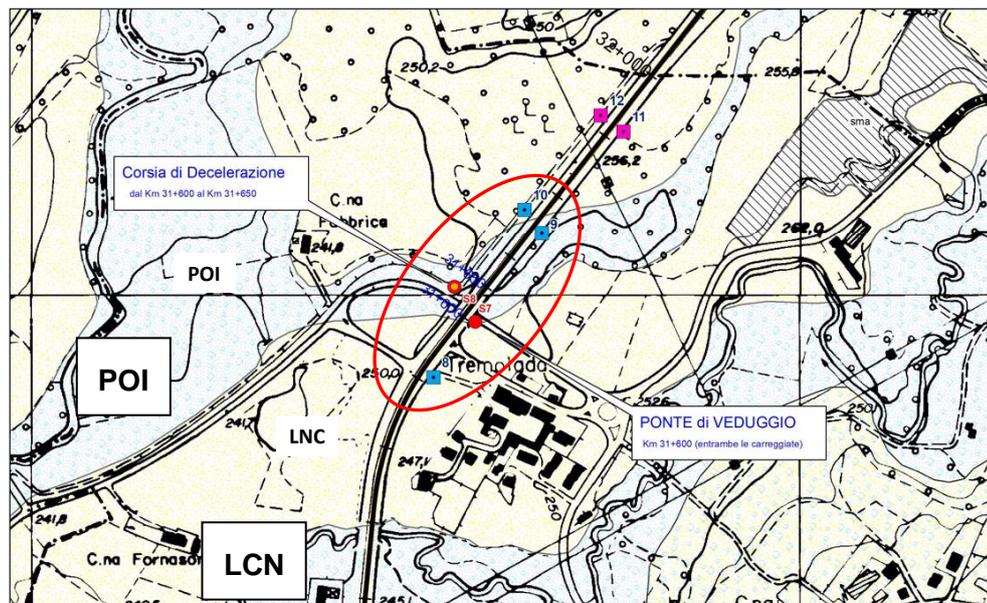


Figura 6-1. Localizzazione della tratta con indagini e stralcio dalla Carta geologica di PD

Le caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area collocano l'infrastruttura in uno scenario di pericolosità **Z4a** per il quale è previsto un approfondimento di 2° livello (Figura 6-2).

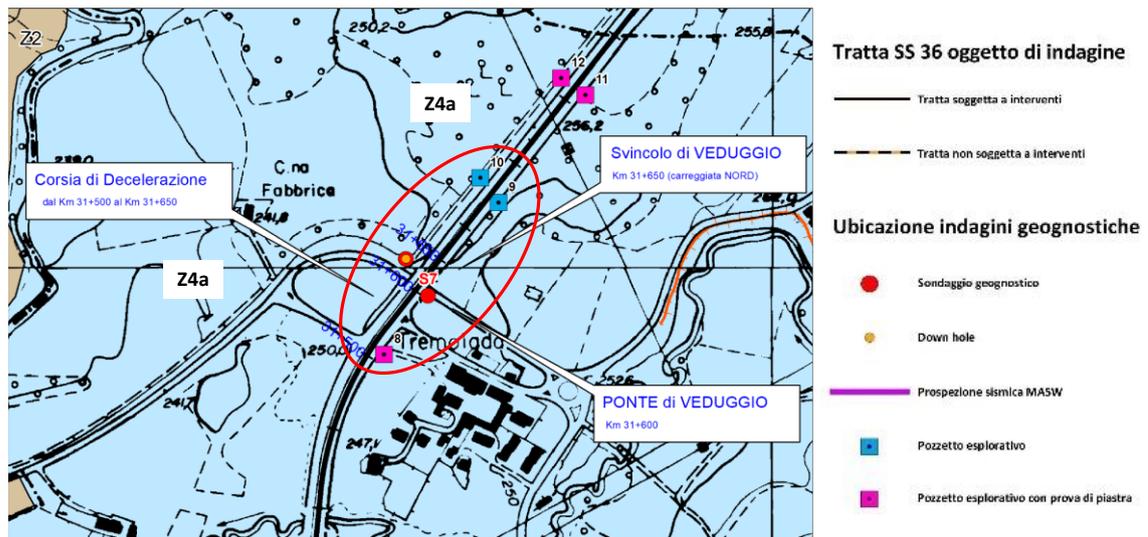


Figura 6-2. Carta delle pericolosità sismica locale del PD, con ubicazione indagini.

6.2 Analisi sismiche realizzate

Nell'area in esame si dispone di una sola prova sismica, in foro tipo down-hole (DH) il cui profilo di VS è riportato nella seguente Figura 6-3:

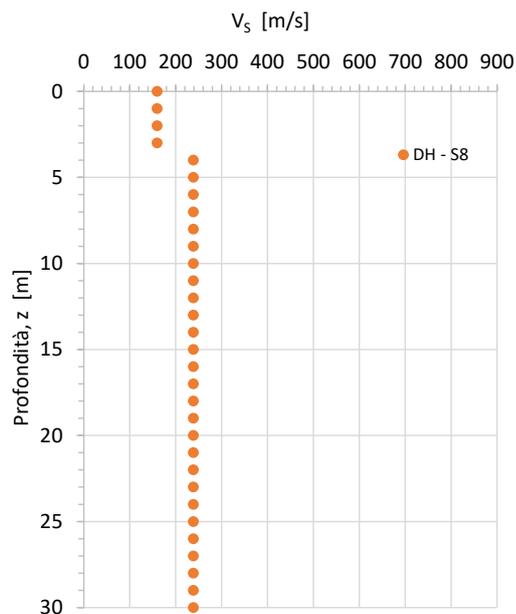


Figura 6-3. Profilo di Vs dalla prova sismica DH

La prova sismica non individua un substrato con Vs maggiore di 800m/s ed i sondaggi recenti non hanno intercettato una formazione rocciosa nell'ambito dei 30m di profondità di indagine.

Nella banca dati del sottosuolo della Regione Lombardia è stato individuato il sondaggio profondo con codice B5C208954470 che, sebbene spinto fino a 118m di profondità dal piano campagna, non intercetta la formazione rocciosa di base (rif. Appendice Figura 8-4).

Di conseguenza, ai fini delle analisi sismiche, si assume che il substrato rigido di base (classe A NTC 2018) sia a 120m di profondità dal pc.

Il sondaggio profondo conferma che il sottosuolo è costituito in prevalenza da argilla limosa con

rare interposizioni di strati di sabbia e ghiaia di spessore 0.5 - 3.5m (Appendice Figura 8-4).

La velocità equivalente nei primi 30m di sottosuolo, calcolata sui risultati delle prove sismiche disponibili è:

$$V_{S,eq} = 228\text{m/s,}$$

collocando il sottosuolo in classe C secondo NTC 2018.

6.3 Analisi sismica di 2° livello

Le curve granulometriche ottenute dai campioni estratti nei S7 ed S8 tra le profondità 3.5 e 24m dal pc indicano una litologia prevalentemente limoso argillosa compresa nel fuso granulometrico della scheda per litologia limoso sabbiosa tipo 2 dell'Allegato 5, [7]. D.G.R. IX/2616 (Figura 8-5).

Il profilo di V_S dall'unica prova sismica disponibile, invece, non mostra un andamento confrontabile con quello della stessa scheda, ma coerente con quello previsto per la scheda associata ad una litologia sabbiosa.

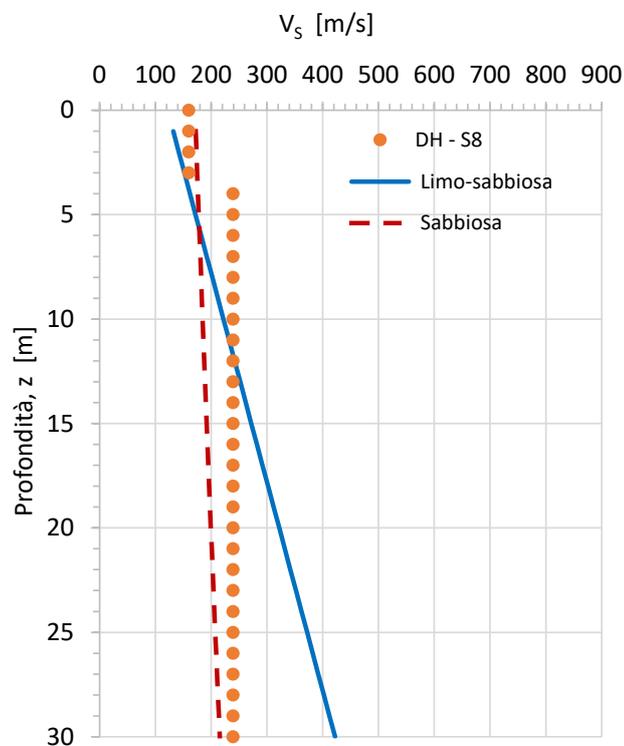


Figura 6-4. Confronto tra il profilo di V_S da prova DH ed il modello per litologie limoso-sabbiosa e puramente sabbiosa (Allegato 5, [7]. D.G.R. IX/2616)

In coerenza con quanto già specificato al precedente paragrafo 4.3, considerando la forte incidenza del profilo di V_S sulla risposta sismica in sito, si procede alla stima del fattore di amplificazione (Fa) con la scheda per litologia sabbiosa verificandone il risultato nel confronto coi valori ottenuti secondo la scheda per litologia limoso-sabbiosa.

Utilizzando il modello di V_S per litologia sabbiosa si calcolano i valori di V_S fino alla profondità teorica di 120m dal pc, a cui si è ipoteticamente collocato il substrato rigido di base. Con questo andamento teorico si stima il periodo proprio di vibrazione del sottosuolo in esame secondo la formula riportata

al precedente paragrafo 3.4.3:

$$T = 1.7s$$

Il valore ottenuto implica che:

- $F_a = 1.00$ per l'intervallo di periodi di vibrazione strutturale $T_s = 0.1 - 0.5s$.
- $F_a = 1.4$ per l'intervallo di periodi di vibrazione strutturale $T_s = 0.5 - 1.5s$.

Si procede alla stessa valutazione considerando la scheda per litologia limoso-sabbiosa tipo 2. Sempre utilizzando il relativo modello di V_s estrapolato fino alla profondità di 120m dal pc, si calcola:

$$T = 0.6s$$

valore per cui le funzioni per la valutazione di F_a nell'intervallo $T_s = 0.1 - 0.5s$ danno valore diverso da 1.00.

La matrice di individuazione della funzione di valutazione di F_a prevede che si calcoli la velocità media nei primi 4m di profondità (primo strato):

$$V_{s, \text{primo strato}} = 200m/s,$$

in base a cui la funzione di calcolo è la curva in rosso, (rif. Appendice 8.3).

Si ha:

- per $T_s = 0.1 - 0.5s$, $F_a = 2.2$, maggiore di 1.9 valore di soglia comunale per sottosuolo di classe C, pari al valore di soglia per sottosuoli di classe D. Di conseguenza, a questo intervallo di T_s si associa una classe D di sottosuolo;
- per $T_s = 0.5 - 1.5s$, $F_a = 1.6$ minore di 1.7 valore di soglia comunale per sottosuolo di classe B. Pertanto, in questo intervallo di periodi si può adottare una classe B di sottosuolo.

6.4 Parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione

In considerazione della necessità di implementazione per analisi strutturali, a vantaggio di sicurezza si assegna alla località in esame la classe D di sottosuolo per tutti i valori di periodo proprio di vibrazione strutturale previsti dallo spettro di norma (NTC 2018). I parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione sono riportati di seguito:

PONTE DI VEDUGGIO				
LAT	45,7377			
LONG	9,2541			
STATO LIMITE	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLO	120	0,033	2,59	0,22
SLD	201	0,038	2,62	0,24
SLV	1898	0,072	2,72	0,31
SLC	2475	0,077	2,74	0,31

CLASSE D

7 PISTA CICLOPEDONALE

Lungo la tratta finale dell'intervento, indicativamente tra le pk 43+000 e 44+300, la SS36 corre parallela alla pista ciclopedonale del Lago di Annone che si trova ubicata tra la sponda nord del lago e la carreggiata nord della SS36.

In questa tratta è stato richiesto da ANAS l'innalzamento della quota della pista, per evitare inondazioni in caso di innalzamento del livello del lago.

Il tracciato della pista ciclopedonale ricade in uno scenario di pericolosità Z2 che per sottosuoli prevalentemente sabbiosi saturi prevede anche la possibilità di liquefazione.

In queste aree in cui il livello della falda è coerente col livello idrografico del lago si ritiene opportuno prevedere indagini finalizzate alla verifica della potenziale liquefacibilità dei depositi superficiali saturi e alla stima delle conseguenze della liquefazione.

Le indagini consistono in sondaggi geognostici con campionamento del materiale sabbioso per definire la granulometria (inclusa una valutazione del contenuto in fine) e prove penetrometriche statiche tipo CPTU (con misura della sovrappressione neutra indotta).

8 APPENDICE

8.1 Risposta sismica al sito di BRIOSCO-AROSIO (approfondimento di 2° livello)

PROFONDITÀ	MASW - L1 Vs [m/s]	MASW - L2 Vs [m/s]	MASW - L3 Vs [m/s]	MASW - L4 Vs [m/s]	MASW - L5 Vs [m/s]	DH - S10 Vs [m/s]
0	240	230	240	250	260	263
1	230	220	235	263	250	263
2	230	230	210	230	245	263
3	305	310	290	260	240	302
4	380	360	320	290	285	302
5	420	402	360	340	340	302
6	480	440	470	380	400	446
7	520	450	520	440	460	446
8	590	465	540	440	460	446
9	610	480	580	510	530	446
10	620	520	590	540	560	798
11	670	550	600	620	590	798
12	720	580	620	620	610	798
13	760	630	650	720	620	798
14	760	680	650	720	620	798
15	760	680	700	720	650	798
16	760	730	700	780	690	798
17	755	735	725	780	690	798
18	755	740	730	775	720	798
19	750	745	740	775	720	798
20	750	750	740	770	720	798
21	750	755	745	765	720	798
22	750	755	750	760	720	798
23	740	760	750	755	730	798
24	740	760	750	755	730	798
25	730	765	760	755	735	798
26	730	770	760	755	740	798
27	730	780	765	755	740	798
28	730	780	770	755	745	798
29	730	790	770	755	745	798
30	730	795	775	755	750	798
V_{S,eq}	569,70	538,24	539,24	530,67	521,36	567,1

Tabella 8-1. Risultati delle prove sismiche eseguite nell'area di Briosco Arosio



INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: GIUSSANO IDE: B5C279642318

QUOTA (m s.l.m.): 240 PROFONDITA'(m): 75 NUMERO STRATI: 19

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	3	3	CIOTTOLI CON ARGILLA	GC A
2	3	7	4	TROVANTI CON ARGILLA	GB A
3	7	10	3	ARGILLA E CIOTTOLI	A GC
4	10	15	5	CIOTTOLI	GC
5	15	24	9	CONGLOMERATO	G
6	24	37	13	GHIAIA SPORCA CON ARGILLA	G A
7	37	40	3	GHIAIA SCIOLTA	G
8	40	42	2	ARGILLA CON GHIAIA SPORCA	A G
9	42	45	3	GHIAIA E POCA SABBIA	G S
10	45	47	2	CONGLOMERATO POROSO	G
11	47	53	6	GHIAIA E SABBIA GROSSA	G G2
12	53	56	3	GHIAIA POCO SPORCA	G
13	56	59	3	GHIAIETTO E SABBIA GROSSA	GG S2
14	59	60	1	LIMO	L
15	60	62	2	CONGLOMERATO	G
16	62	64	2	GHIAIA UN PO' SPORCA	G
17	64	68	4	GHIAIA	G
18	68	74	6	GHIAIA	G
19	74	75	1	ROCCIA	BZ

Figura 8-1. Stratigrafia del sondaggio B5C279642318

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA GHIAIOSA

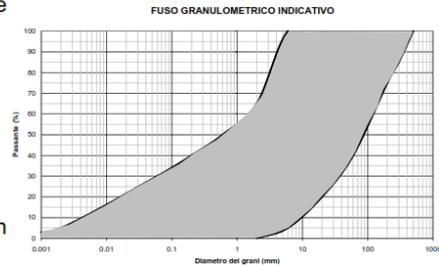
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

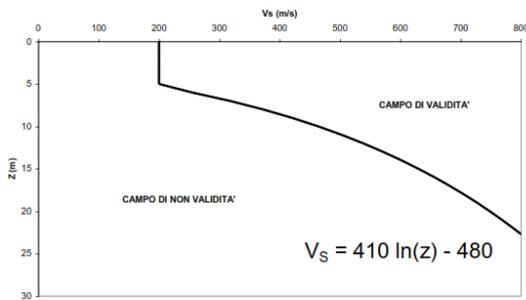
Da ghiaie e ciottoli con blocchi a ghiaie e sabbie limose debolmente argillose passando per ghiaie con sabbie limose, ghiaie sabbiose, ghiaie con limo debolmente sabbiose e sabbie con ghiaie

NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Frazione ghiaiosa superiore al 35%
- Frequenti clasti con $D_{max} > 20$ cm
- Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 65%
- Matrice limoso - argillosa fino ad un massimo del 30% con frazione argillosa subordinata (fino al 5%)
- Presenza di eventuali trovanti con $D > 50$ cm
- Presenza di eventuali orizzonti localmente cementati



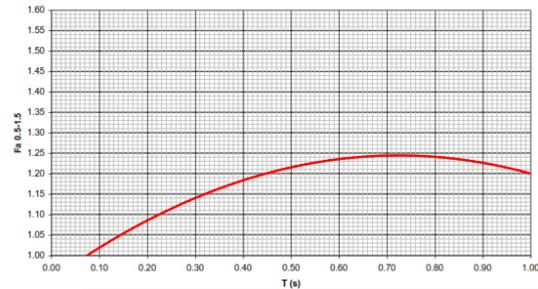
ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



Profondità primo strato (m)

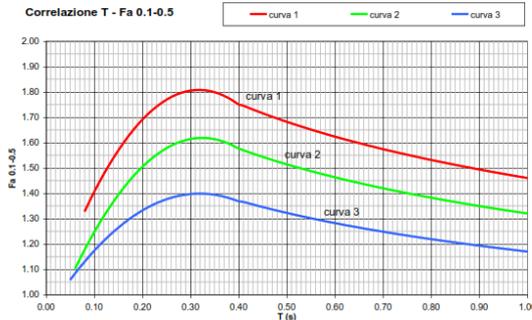
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	
200				1	1										
250				2	2	2									
300				3	3	3	3								
350				3	3	3	3	3							
400				3	3	3	3	3	3						
450				3	3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3			
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -0.58T^2 + 0.84T + 0.94$$

Correlazione T - Fa 0.1-0.5



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.5T^2 + 5.4T + 0.95$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.46 - 0.32LnT$
2	$0.06 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -7.4T^2 + 4.8T + 0.84$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.32 - 0.28LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -4.7T^2 + 3.0T + 0.92$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.17 - 0.22LnT$

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

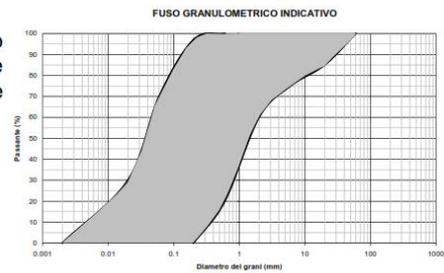
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

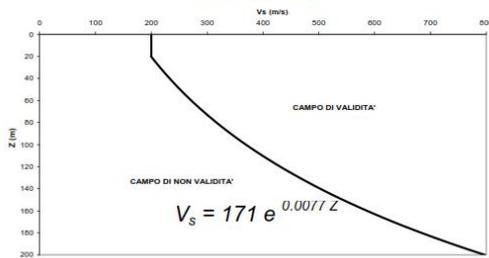
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



ANDAMENTO DELLE V_s CON LA PROFONDITA' LITOLOGIA SABBIOSA

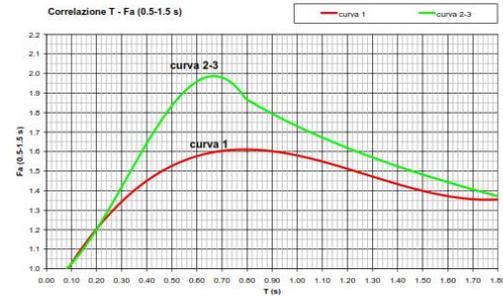
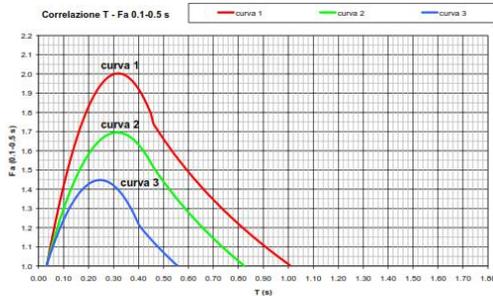


Profondità primo strato (m)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
450	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
500	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
600	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
700	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

ove la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

$V_s < 300$ m/s	0
$V_s > 500$ m/s	5-12 m



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	Tratto rettilineo	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^2 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

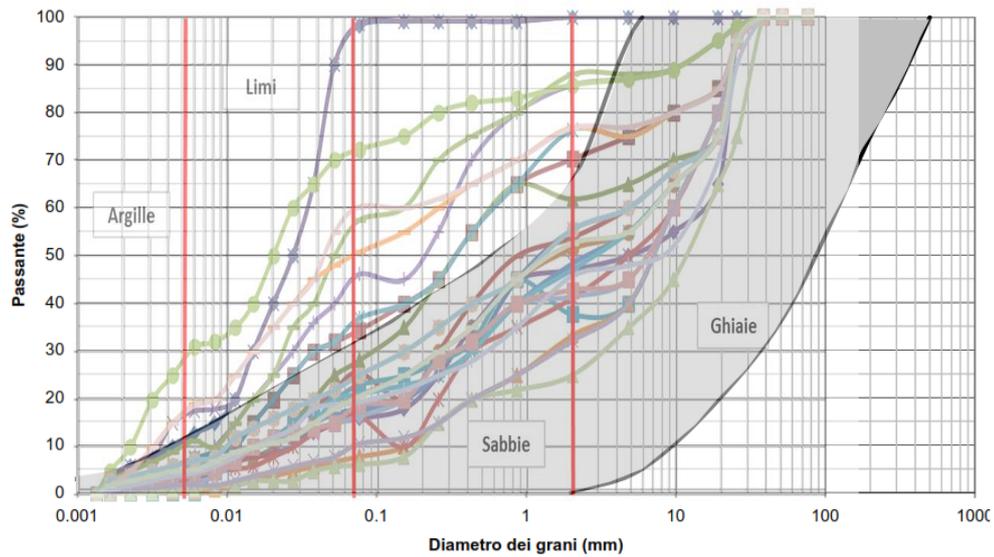


Figura 8-2. Confronto tra le curve granulometriche per i campioni estratti dai sondaggi da S9 ad S14 ed il fuso per litologia ghiaiosa (Allegato 5, [7]. D.G.R. IX/2616)

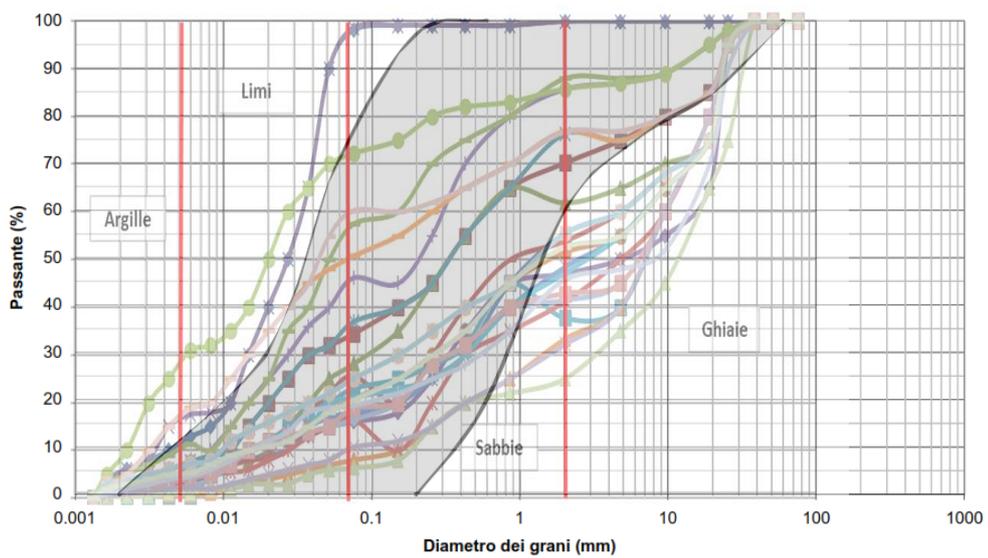


Figura 8-3. Confronto tra le curve granulometriche per i campioni estratti dai sondaggi da S9 ad S14 ed il fuso per litologia sabbiosa (Allegato 5, [7]. D.G.R. IX/2616)

8.2 Risposta sismica al sito di BRIOSCO-FORNACI (approfondimento di 3° livello)

PROFONDITÀ	MASW-L6 Vs [m/s]	MASW-L7 Vs [m/s]	MASW-L8 Vs [m/s]
0	190	180	180
1	180	120	130
2	180	120	110
3	210	220	230
4	230	230	230
5	310	380	380
6	320	380	380
7	405	410	470
8	420	470	470
9	480	520	520
10	480	515	515
11	570	590	590
12	570	640	660
13	610	635	650
14	610	650	660
15	620	645	650
16	615	645	645
17	615	640	640
18	610	635	640
19	610	630	630
20	610	630	630
21	605	620	620
22	605	620	620
23	605	620	620
24	605	620	620
25	600	620	620
26	600	620	620
27	600	620	620
28	600	620	620
29	600	620	620
30	600	620	620
V_{s,eq} [m/s]	436	422	425

Tabella 8-2. Velocità delle Onde Vs nell'area di Briosco Fornaci

8.3 Risposta sismica al sito di PONTE DI VEDUGGIO (approfondimento di 2° livello)

PROFONDITÀ	DOWNHOLE DH - S8 V_s [m/s]
0	160
1	160
2	160
3	160
4	239
5	239
6	239
7	239
8	239
9	239
10	239
11	239
12	239
13	239
14	239
15	239
16	239
17	239
18	239
19	239
20	239
21	239
22	239
23	239
24	239
25	239
26	239
27	239
28	239
29	239
30	239
$V_{s,eq}$	228



INFORMAZIONI INDAGINE

COMUNE: VEDUGGIO CON COLZANO IDE: B5C208954470

QUOTA (m s.l.m.): 298 PROFONDITA'(m): 118 NUMERO STRATI: 12

Strato	Da	A	Spessore	descrizione	sigla
1	0	2,5	2,5	Terreno vegetale	ZS
2	2,5	3	0,5	Sabbia e ghiaietto	S GG
3	3	6,5	3,5	Argilla rossastra e ciottoli	A GC
4	6,5	10	3,5	Ghiaia e sabbia	G S
5	10	14,5	4,5	Argilla e sabbia ghiaiosa	A S G
6	14,5	29	14,5	Argilla grigia e ciottoli	A GC
7	29	60	31	Argilla grigia e fossili	A
8	60	99,5	39,5	Argilla grigia, fossili e blocchetti di marna	A BM
9	99,5	100,5	1	Blocchetti di marna	BM
10	100,5	113,5	13	Argilla grigia	A
11	113,5	114	0,5	Sabbia e ghiaia molto limosa	S G L
12	114	118	4	Argilla grigia e ciottoli	A GC

Figura 8-4. Stratigrafia del sondaggio B5C208954470

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

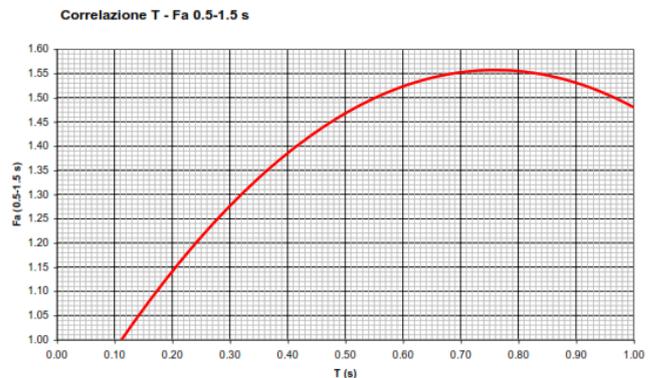
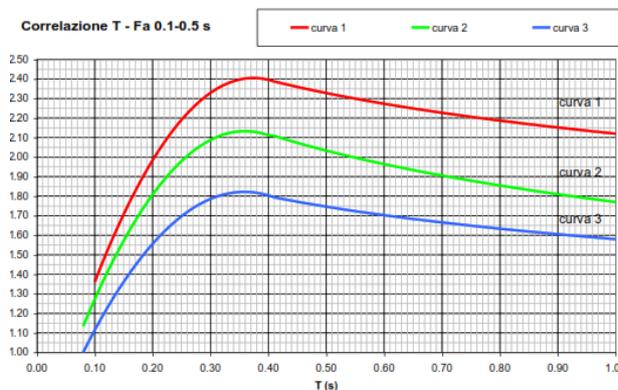
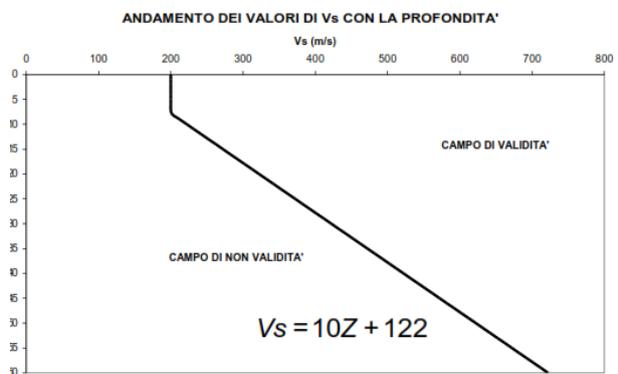
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%
A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO

PARAMETRO		INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m ³]	18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³]	26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%]	25-30
Limite di liquidità	w_L [%]	25-35
Limite di plasticità	w_p [%]	15-20
Indice di plasticità	I_p [%]	5-15
Indice dei vuoti	e	0.6-0.9
Grado di saturazione	S_r [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	0.4-0.5
Indice di compressione	C_c	0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C_s	0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C_s	0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	Nspt	0-20



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

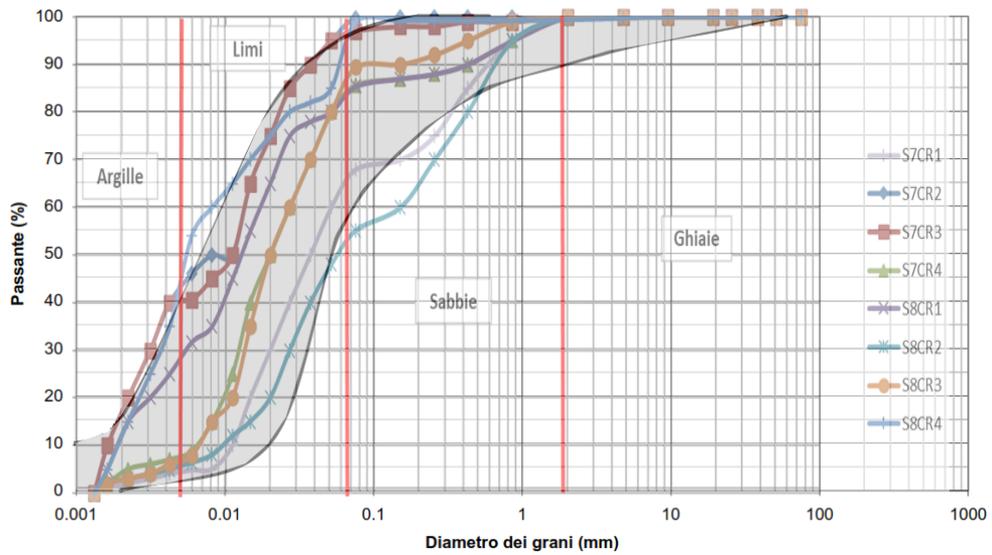


Figura 8-5. Confronto tra le curve granulometriche per i campioni estratti dai sondaggi da S7 ad S8 ed il fuso per litologia limoso sabbiosa (Allegato 5, [7]. D.G.R. IX/2616)