

Lavori di allargamento in tratti saltuari della S.S. n°38  
 dal Km 18+200 al Km 68+300

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD.SIL NOMSMI01070

PROGETTISTA



I PROGETTISTI:

*Dott. Ing. Andrea Polli*  
*Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n.19540*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.:

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Giampiero Carrieri*  
*Ordine dei Geologi del Piemonte n.274*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

*Dott. Geol. Giampiero Carrieri*  
*Ordine dei Geologi del Piemonte n.274*

VISTO:

 IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO : *Ing. Pietro Gualandri*

 IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO: *Ing. Emanuele Fiorenza*

PROTOCOLLO

-

DATA

SISMICA  
 Relazione Sismica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

-	-	M	S	M	I	0	9	D	2	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

NOME FILE

T00SG00STRRE01\_A

REVISIONE

SCALA:

 CODICE  
 ELAB.

T	0	0	S	G	0	0	S	T	R	R	E	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

A
---

-

**A**
*Emissione Progetto Definitivo*
*Dicembre 2022*
*R. Previali*
*M. Del Fedele*
*A. Polli*

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
2.1	Riferimenti Normativi, Capitolati .....	3
2.2	Bibliografia .....	3
2.3	Documenti di Progetto Definitivo .....	3
<b>3</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE</b> .....	<b>5</b>
3.1	Sondaggi e prove in sito .....	5
3.2	Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra.....	6
3.3	Prove di laboratorio .....	8
3.4	Indagini geofisiche.....	10
<b>4</b>	<b>GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELLE TRATTE DI INTERVENTO</b> .....	<b>11</b>
4.1	Aspetti geologici .....	11
4.1.1	<i>Tratta T1</i> .....	11
4.1.2	<i>Tratta T2</i> .....	12
4.1.3	<i>Tratta T3</i> .....	14
4.1.4	<i>Tratta T4</i> .....	16
4.2	Inquadramento idrogeologico: complessi idrogeologici e permeabilità dei terreni .....	18
4.2.1	<i>Rilievi piezometrici nei sondaggi di PD</i> .....	21
4.2.2	<i>Permeabilità dei terreni da prove di PD</i> .....	22
4.2.3	<i>Assetto idrogeologico delle aree di intervento</i> .....	23
4.2.3.1	<i>Tratta T1</i> .....	24
4.2.3.2	<i>Tratta T2</i> .....	25
4.2.3.3	<i>Tratta T3</i> .....	26
4.2.3.4	<i>Tratta T4</i> .....	27
<b>5</b>	<b>ELEMENTI DI SISMICA GENERALE</b> .....	<b>29</b>
5.1	Sismicità storica (dal 1000 al 2020).....	29
5.2	Sismicità recente .....	36
5.3	Contesto geodinamico e Sorgenti sismogenetiche .....	37
5.4	Faglie capaci .....	41
5.5	Classificazione sismica.....	43
5.5.1	<i>Riferimenti Normativi Nazionali</i> .....	43
5.5.2	<i>Riferimenti Normativi Regionali</i> .....	46
5.6	<b>EFFETTI SISMICI LOCALI</b> .....	<b>48</b>
5.6.1	<i>Approfondimento sismico di I livello</i> .....	48
5.6.2	<i>Approfondimento sismico di II livello</i> .....	51
5.6.2.1	Determinazione della categoria sismica di sottosuolo .....	51
5.6.2.2	Individuazione della scheda di valutazione semplificata.....	52
5.6.2.3	Calcolo del periodo proprio di sito.....	62
5.6.2.4	Calcolo del fattore di amplificazione locale .....	63
5.6.2.5	Confronto tra i valori calcolati ed i valori di soglia comunale .....	66

# 1 INTRODUZIONE

La presente Relazione SISMICA è parte del Progetto Definitivo (PD) di adeguamento della sezione stradale esistente alla sezione C1 delle seguenti tratte della SS38 (Figura 1-1):

- Tratta T1 - km 20+590 – 23+220                      L=2630m
- Tratta T2 - km 25+040 – 27+280                      L=2240m
- Tratta T3 - km 55+224 – 56+447                      L=1223m
- Tratta T4 - km 57+984 – 58+515                      L=531m

Per uno sviluppo totale di 6624m dei quattro interventi.

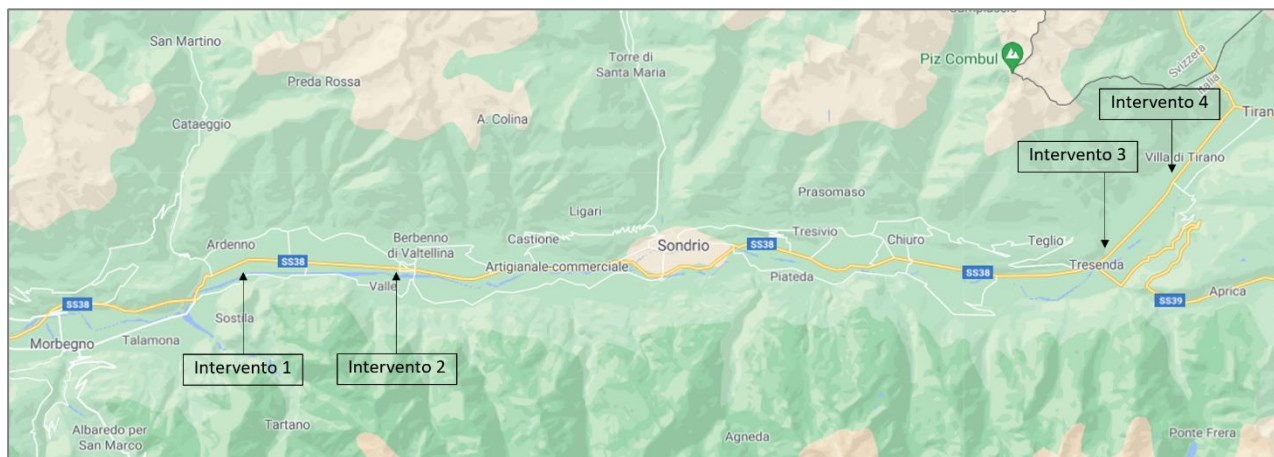


Figura 1-1: Posizione delle 4 tratte di SS38 interessate dagli interventi in progetto (immagine da Google Maps)

La Figura 1-2 mostra le due tipologie di adeguamento (allargamento):

- 1) allargamento dell'attuale sede stradale per ottenere la nuova banchina (Tipo A - allargamento di 2,3 m);
- 2) allargamento dell'attuale sede stradale per ottenere banchina e corsia di viabilità secondaria (Tipo B – allargamento di 7,6m).

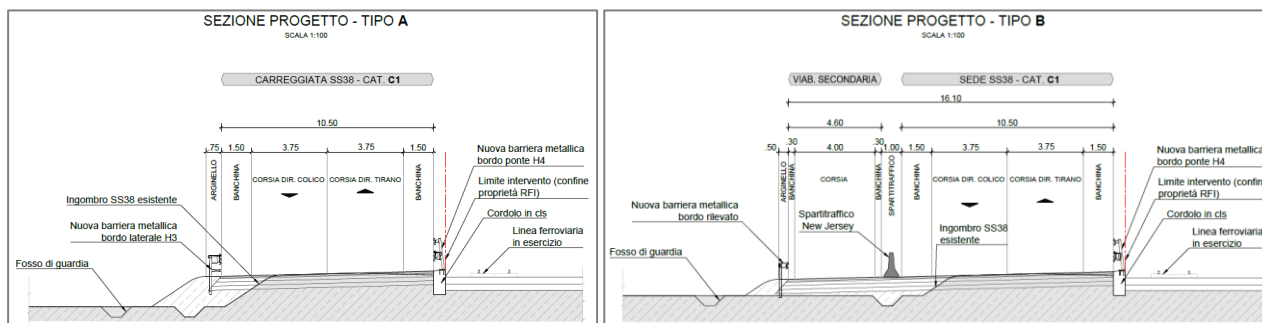


Figura 1-2: Tipologia di adeguamento alla sezione stradale tipo C1 previste in progetto.

Nella tratta T4 è inoltre previsto l'adeguamento di un ponte per lo scavalco di un torrente.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Riferimenti Normativi, Capitolati

- [1]. 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]. D.M. 17 gennaio 2018 "Nuove Norme tecniche per costruzioni" in sostituzione di quelle approvate con il D.M. 14 gennaio 2008.
- [3]. Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
- [4]. 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".

### 2.2 Bibliografia

- [5]. Cartografia Geologica – Progetto CARG – Dati e informazioni scaricati in ottobre 2021 dal sito della Regione Lombardia: <https://www.geoportale.regione.lombardia.it> – Foglio 56 (Sondrio), Foglio 57 (Malonno), con relative Note Illustrative (cui fare riferimento per le citazioni di altri autori indicate nel testo)
- [6]. Inventario Fenomeni Franosi Lombardia (IFFI) - Dati e informazioni scaricati in ottobre 2021 dal sito della Regione Lombardia: <https://www.geoportale.regione.lombardia.it>
- [7]. Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Dati e informazioni scaricati in ottobre 2021 dal sito della Regione Lombardia: <https://www.geoportale.regione.lombardia.it>
- [8]. Stato delle acque sotterranee della Provincia di Sondrio (ARPA Lombardia) – Studio tratto dal sito della Provincia di Sondrio: <https://webgis.provinciasondrio.it>
- [9]. Studio Geologico di supporto al Piano di Governo del Territorio dei comuni di:
  - Ardenno
  - Berbenno di Valtellina
  - Bianzone
  - Buglio
  - Forcola
  - Teglio

### 2.3 Documenti di Progetto Definitivo

- [10]. Geodata Engineering – SS38 dello Stelvio – Progetto Definitivo – Piano delle indagini geognostiche previste per i siti oggetto di intervento
- [11]. Tecno Piemonte S.p.A. – Esecuzione di pozzetti esplorativi con determinazione del modulo di deformazione mediante prova di carico su piastra (19/11/2021)
- [12]. Tecno Piemonte S.p.A. – Prove di laboratorio su campioni da pozzetti esplorativi (22/11/2021)
- [13]. Tecno Piemonte S.p.A. – Esecuzione di sondaggi geognostici con prove in foro pressiometriche e di permeabilità
- [14]. deformazione mediante prova di carico su piastra (19/11/2021)
- [15]. Tecno Piemonte S.p.A. – Prove di laboratorio su campioni da sondaggi geognostici (22/11/2021 - 01/12/2021)
- [16]. Tecno Piemonte S.p.A. – Indagine geofisica con tecnica MASW per la determinazione del profilo di velocità Vs30 (22/10/2021)
- [17]. Relazione Geologica
- [18]. Carta geologica
- [19]. Carta geomorfologica
- [20]. Carta idrogeologica
- [21]. Relazione Geotecnica
- [22]. Profili geotecnici
- [23]. Relazione Sismica
- [24]. Carta di approfondimento sismico di I livello

[25]. Carta di approfondimento sismico di II livello

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nell'ambito dell'attuale fase progettuale, tra i mesi di ottobre e novembre 2021 è stata eseguita una campagna di indagine geognostica, che ha previsto:

- sondaggi a carotaggio continuo con prove in foro e installazione di piezometri per il monitoraggio della falda;
- pozzetti esplorativi con esecuzione di prove di carico su piastra;
- prelievo di campioni e prove di laboratorio;
- indagini MASW per la caratterizzazione sismica dei suoli di fondazione.

#### 3.1 Sondaggi e prove in sito

In Tabella 3-1 sono elencati i sondaggi eseguiti. Per ogni sondaggio sono stati installati un piezometro a tubo aperto in pvc diametro 2" fino a 20,0m di profondità (0-3,0m cieco; 3,0-20,0m fessurato) ed un pozzetto fuori terra in pvc diametro 140mm a protezione del terminale piezometrico.

Tabella 3-1: Sintesi dei sondaggi a carotaggio continuo

ID	Profondità [m]	Tratta
S1	20,0	1
S2	20,0	1
S3	20,0	2
S4	20,0	2
S5	20,0	3
S6	20,0	4

Nei sondaggi sono state eseguite le seguenti prove in foro (Tabella 3-2):

- prove SPT a interasse 1,5m fino a fondo foro
- prove di permeabilità tipo Lefranc (LF), realizzate sottofalda
- prove pressiometriche di tipo Menard (PRX).

Le stratigrafie dei sondaggi ed i certificati delle prove in foro sono riportati nei documenti di PD [11][13].

Tabella 3-2: Sintesi delle prove eseguite nei fori di sondaggio

ID sondaggio	Prove SPT [n.]	Prove di permeabilità LF [n.]	Prove pressiometriche PRX [n.]
S1	12	2	1
S2	12	2	1
S3	12	2	1
S4	12	2	1
S5	13	2	1
S6	12	2	1

Durante la realizzazione dei sondaggi sono stati prelevati campioni rimaneggiati (CR) e indisturbati (SH), compatibilmente con le caratteristiche geotecniche dei terreni. In Tabella 3-3 vengono riportate le quantità dei campioni raccolti.

Tabella 3-3: Sintesi dei campioni prelevati dai sondaggi geognostici

ID sondaggio	CR [n.]	SH [n.]
S1	4	4
S2	6	-
S3	4	-
S4	6	2
S5	5	1
S6	4	1

### 3.2 Pozzetti esplorativi e prove di carico su piastra

In Tabella 3-4 sono indicati i pozzetti esplorativi previsti/eseguiti. In totale sono stati realizzati 17 pozzetti (Ref. [11]), 15 dei quali hanno fornito campioni geotecnici.

Tabella 3-4: Sintesi dei pozzetti esplorativi e relativi campioni geotecnici

Tratta	Sigla pozzetto	Scavo		Campione geotecnico	
		Eseguito	profondità [m]	Eseguito	profondità [m]
1	P1-1	-	-	-	-
	P1-2	X	2,0	X	1,8
	P1-3	-	-	-	-
	P1-4	X	2,0	X	1,8
	P1-5	X	2,0	X	1,8
	P1-6	X	2,0	X	1,8
	P1-7	X	2,0	X	1,8
	P1-8	X	2,0	X	1,8
2	P2-1	X	1,5	X	0,9
	P2-2	-	-	-	-
	P2-3	-	-	-	-
	P2-4	X	2,0	X	1,1
	P2-5	X	2,0	X	1,5
	P2-6	X	2,0	X	1,7
3	P3-1	X	1,0	-	-
	P3-2	X	2,0	X	1,8
	P3-3	X	1,0	-	-
	P3-4	-	-	-	-
4	P4-1	X	2,0	X	1,8
	P4-2	X	2,0	X	1,8
	P4-3	X	2,0	X	1,8
	P4-4	X	2,0	X	1,8

Nei pozzetti sono state effettuate 19 prove di carico su piastra. In

Tabella 3-5 sono elencate le quantità delle prove di carico effettuate per ogni tratta d'intervento (Ref. [11]).



Tabella 3-5: Prove di carico su piastra eseguite nei pozzetti esplorativi

Tratta	Sigla pozzetto	Prova di carico su piastra	
		n.	profondità [m]
1	P1-2	1	0,60
	P1-4	2	0,60
			1,20
	P1-5	2	0,60
			1,20
	P1-6	1	1,20
	P1-7	1	1,00
	P1-8	1	1,00
2	P2-1	1	1,00
	P2-4	1	0,60
	P2-5	2	0,60
			1,20
	P2-6	2	0,60
1,20			
3	P3-2	1	1,00
4	P4-1	1	1,00
	P4-2	1	1,00
	P4-3	1	1,00
	P4-4	1	1,00

### 3.3 Prove di laboratorio

I campioni prelevati sia dai pozzetti che dai sondaggi sono stati testati in laboratorio per la definizione delle proprietà indice e delle caratteristiche di resistenza (Ref. [12][15]). In Tabella 3-6 si riporta quadro di sintesi delle prove di laboratorio realizzate.

Tabella 3-6: Prove di laboratorio su terre, eseguite nei campioni prelevati dai pozzetti esplorativi

Campione	Profondità	Analisi granulometrica	Limiti di Atterberg	Contenuto naturale d'acqua
P1-2	1,80	X	X	X
P1-4	1,80	X	X	X
P1-5	1,80	X	X	X
P1-6	1,80	X	X	X
P1-7	1,80	X	X	X
P1-8	1,80	X	X	X
P2-1	0,90	X	X	X
P2-4	1,10	X	X	X
P2-5	1,50	X	X	X
P2-6	1,70	X	X	X
P3-2	1,80	X	X	X
P4-1	1,80	X	X	X
P4-2	1,80	X	X	X
P4-3	1,80	X	X	X
P4-4	1,80	X	X	X

In Tabella 3-7 si riporta quadro di sintesi delle prove di laboratorio realizzate sui campioni (CR, SH) di terreno prelevati dai sondaggi geognostici (in rosso sono indicati i campioni prelevati ma non testati).

Tabella 3-7: Sintesi delle prove di laboratorio su terre, eseguite nei provini provenienti dai sondaggi geognostici

Sondaggio	Profondità		Campione	Analisi granulometrica	Limiti di Atterberg	Determinazione della massa volumica naturale	Contenuto naturale d'acqua	Prove di taglio diretto
	da [m]	a [m]						
S1	2,00	2,50	SH1) She	X	X	X	X	X
	4,50	5,00	CR1) Rim	X	X	-	-	-
	6,50	7,00	SH2) She	X	X	X	X	X
	8,50	9,00	CR2) Rim	X	X	-	-	-
	11,50	12,00	CR3) Rim	-	-	-	-	-
	14,00	14,50	SH3) She	X	X	X	X	X
	16,50	17,00	CR4) Rim	-	-	-	-	-
	18,50	19,00	SH4) She	X	X	X	X	X
S2	1,00	1,50	CR1) Rim	X	X	-	-	-
	3,50	4,00	CR2) Rim	X	X	-	-	-
	5,00	5,50	CR3) Rim	X	X	-	-	-
	8,50	9,00	CR4) Rim	X	X	-	-	-
	12,50	13,00	CR5) Rim	-	-	-	-	-
	18,50	19,00	CR6) Rim	-	-	-	-	-
S3	2,00	2,50	CR1) Rim	X	X	-	-	-
	8,00	8,50	CR2) Rim	X	X	-	-	-
	11,50	12,00	CR3) Rim	-	-	-	-	-
	17,50	18,00	CR4) Rim	-	-	-	-	-
S4	1,00	1,50	CR1) Rim	X	X	-	-	-
	3,50	4,00	SH1) She	X	X	X	X	X
	5,00	5,50	CR2) Rim	X	X	-	-	-
	8,50	9,00	CR3) Rim	X	X	-	-	-
	11,50	12,00	CR4) Rim	-	-	-	-	-
	15,50	16,00	CR5) Rim	-	-	-	-	-
	18,00	18,50	CR6) Rim	-	-	-	-	-
	19,00	19,50	SH2) She	X	X	X	X	X
S5	1,50	2,00	CR1) Rim	X	X	-	-	-
	3,50	4,00	SH1) She	X	X	X	X	X
	6,50	7,00	CR2) Rim	X	X	-	-	-
	8,70	9,00	CR3) Rim	X	X	-	-	-
	11,50	12,00	CR4) Rim	-	-	-	-	-
	16,00	16,50	CR5) Rim	-	-	-	-	-
S6	1,50	2,00	CR1) Rim	X	X	-	-	-
	2,00	2,50	SH1) She	X	X	X	X	X
	5,50	6,00	CR2) Rim	X	X	-	-	-
	12,50	13,00	CR4) Rim	-	-	-	-	-
	16,50	17,00	CR3) Rim	-	-	-	-	-

### 3.4 Indagini geofisiche

Per la caratterizzazione sismica dei terreni interessati dalle opere in progetto, sono state realizzate nove indagini MASW (Ref. [16]).

In Tabella 3-8 vengono elencate le indagini geofisiche e i relativi risultati, quali la velocità media equivalente delle onde di taglio ( $V_{seq}$ ), rappresentativa del sito in esame, e la relativa categoria di sottosuolo ai sensi della NTC/2018 (Figura 3-1).

Tabella 3-8: Sintesi delle indagini geofisiche e relativi risultati

Tratta	ID	$V_{seq}$ [m/s]	Categoria di sottosuolo (NTC/2018)
1	1_M1	345	C
	1_M2	200	C
	1_M3	255	C
2	2_M1	305	C
	2_M2	355	C
3	3_M1	315	C
	3_M2	370	B
4	4_M1	360	C
	4_M2	410	B

Categoria	Profilo stratigrafico
<b>A</b>	<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>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fine 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
<b>D</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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 m/s e 180 m/s
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C, D</i> , con la profondità del substrato non superiore a 30m.

Figura 3-1: Categorie di sottosuolo (NTC-2018).

## 4 GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA DELLE TRATTE DI INTERVENTO

Rimandando alla Relazione Geologico di progetto per ogni approfondimento si riportano di seguito gli aspetti geologici fondamentali di ciascuna tratta di intervento. Caratteri geolitologici dei terreni di fondazione

Il contesto geologico è principalmente definito sulla base delle informazioni ottenute dalla banca dati della Regione Lombardia (Progetto CARG) e dalle indagini dirette eseguite nei quattro settori di interesse (pozzetti esplorativi e sondaggi geognostici).

Per ciascuna zona di intervento è stata redatta una carta di inquadramento geologico (scala 1:5.000), derivata dal Progetto di Cartografia Geologica CARG (Carta Geologica Regionale con scala di rilievo 1: 10.000, da cui sono derivati i Fogli n.56 e n.57 della Carta Geologica Nazionale in scala 1: 50.000), comprensiva dell'ubicazione dell'opera stradale in progetto, delle indagini geognostiche e delle risultanze di queste ultime per la definizione dei terreni di fondazione.

Si descrivono nel seguito i depositi superficiali di fondazione delle opere; come indicato precedentemente il substrato roccioso si trova a profondità elevate, non di interesse per la progettazione geologico-geotecnica.

### 4.1 Aspetti geologici

#### 4.1.1 Tratta T1

La Figura 4-1 mostra il contesto territoriale della tratta di intervento 1; lungo il lato sud (carreggiata direzione Tirano) la SS38 è adiacente alla Linea Ferroviaria. Lungo il lato nord (carreggiata direzione Colico) la strada confina prevalentemente con campi agricoli e in misura minore con proprietà private.

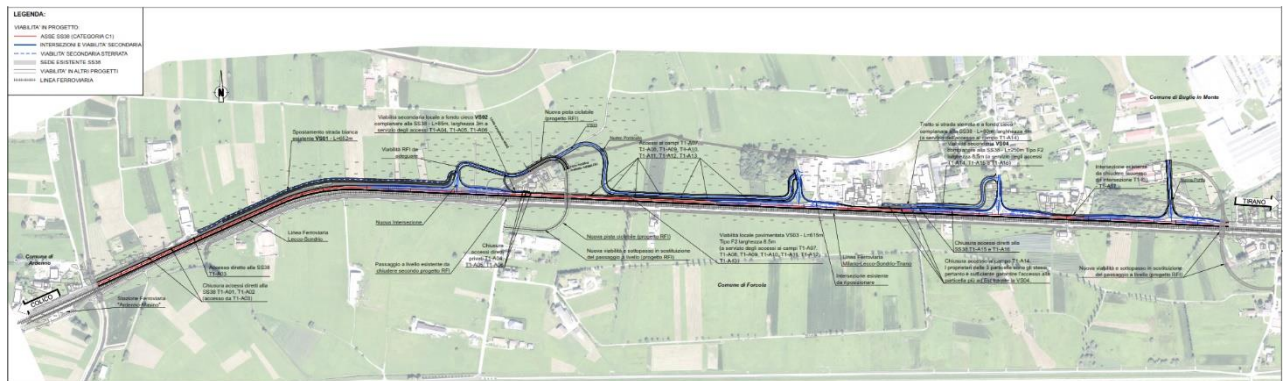


Figura 4-1: Localizzazione della tratta T1.

La Figura 4-2 mostra le informazioni geologiche dell'area prossima alla tratta T1.

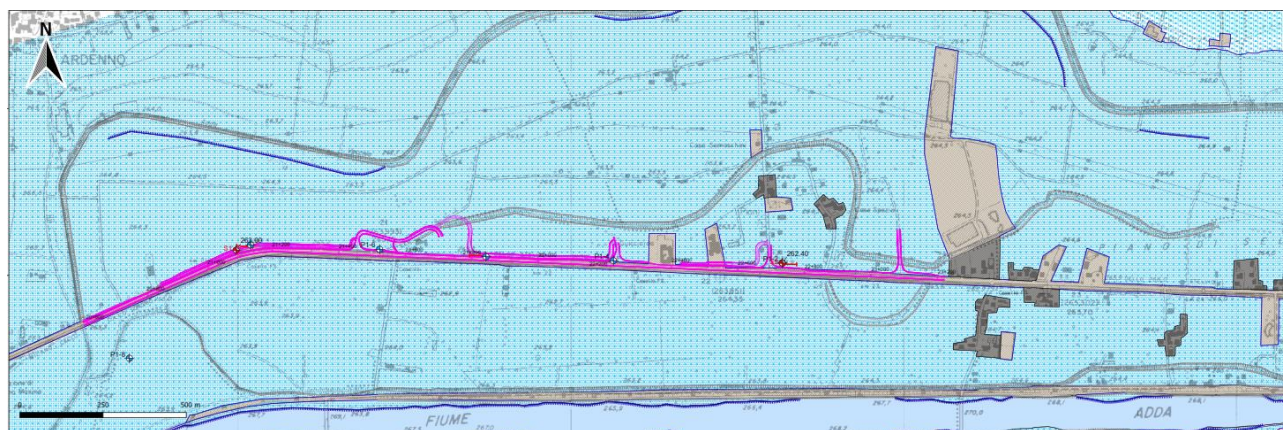


Figura 4-2: Stralcio dalla Carta Geologica di PD della tratta T1.

Di seguito si descrivono caratteri geolitologici dei terreni di fondazione dell'opera, con riferimento sia alle informazioni della Cartografia Geologica Regionale (Progetto CARG) sia ai dati ottenuti tramite le indagini dirette.

La tratta T1 per il suo intero sviluppo è fondata su depositi quaternari di origine alluvionale.

**DEPOSITI QUATERNARI (CARG, Foglio 56)**

**Depositi alluvionali (POI-alg):**

- Ghiaie massive o stratificate da fini a grossolane, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati, sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati; lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Si osservano strutture sedimentarie dovute all'azione di correnti trattive come ciottoli embricati, laminazioni oblique a basso angolo, laminazioni incrociate. Nella tratta in esame la simbologia utilizzata per la cartografia si riferisce a "ghiaie prevalenti".

**DEPOSITI QUATERNARI (Indagini geognostiche; PD)**

- Le indagini dirette, quali pozzetti esplorativi e sondaggi geognostici, hanno permesso di definire con migliore precisione le caratteristiche litologiche dei terreni di fondazione. I sondaggi S1 e S2 (Allegato xx) evidenziano, dall'alto al basso stratigrafico, una prima copertura spessa circa 30cm di limo sabbioso con resti organici (terreno coltivato) e una successione di depositi quaternari alluvionali. Questi ultimi sono costituiti, per il sondaggio S1 (profondità 20m), da limo sabbioso e sabbia limoso-argillosa, ai quali si sostituisce nel sondaggio S2 (profondità 20m) un'alternanza di sabbia debolmente limosa e ghiaia eterometrica poligenica a clasti subarrotondati immersi in una matrice sabbiosa.

Le risultanze derivate dai pozzetti esplorativi (profondità 2m) sono coerenti con quanto sopra indicato: il primo paio di metri in profondità è costituito da sabbia poco addensata e molto umida, con limo e rara ghiaia (pozzetto P1-4). Pertanto, diversamente da quanto indicato dalla cartografia ufficiale, i terreni di fondazione della prima tratta d'intervento, entro i primi 20m da p.c., sono corpi stratoidi lateralmente discontinui a sabbia e limo prevalenti.

**4.1.2 Tratta T2**

La Figura 4-3 mostra il contesto territoriale della tratta di intervento 2; lungo il lato sud (carreggiata direzione Tirano) la SS38 è adiacente alla Linea Ferroviaria. Lungo il lato nord (carreggiata direzione Colico) la strada confina con campi agricoli e con proprietà private.

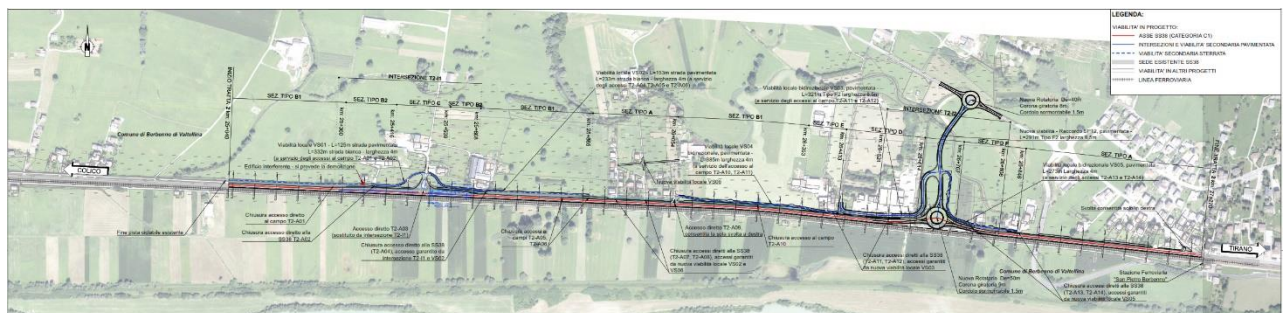


Figura 4-3: Localizzazione della tratta T2.

La Figura 4-4 mostra le informazioni geologiche dell'area prossima alla tratta T2.

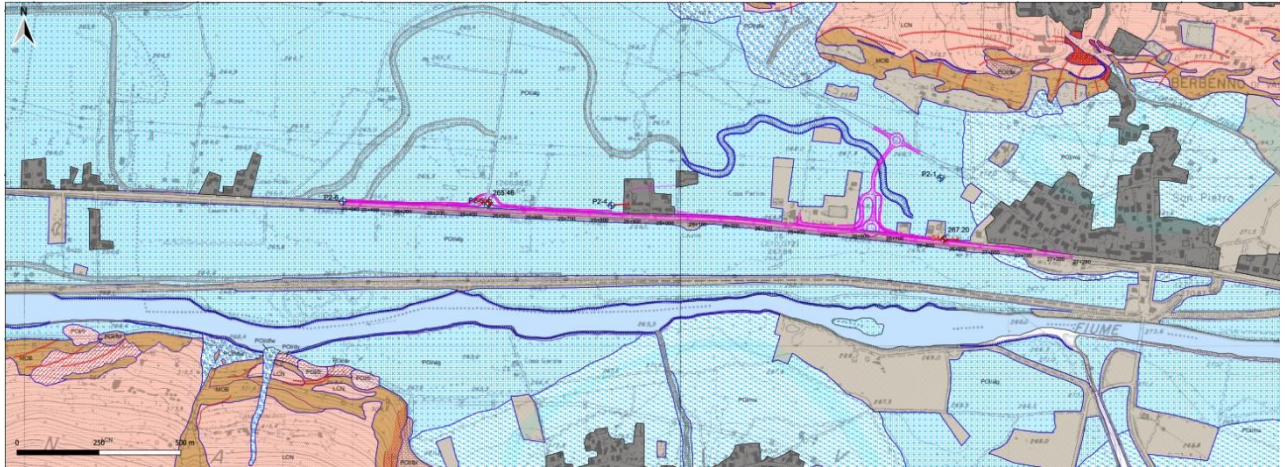


Figura 4-4: Stralcio dalla Carta Geologica di PD della tratta T2.

La tratta T2 è prevalentemente fondata su depositi quaternari di origine alluvionale; lungo la parte terminale in avvicinamento al centro abitato di San Pietro (Berbenno di Valtellina) vengono intercettati depositi di conoide.

Di seguito si descrivono caratteri geolitologici dei terreni di fondazione dell'opera, con riferimento sia alle informazioni della Cartografia Geologica Regionale (Progetto CARG) sia ai dati ottenuti tramite le indagini dirette.

#### DEPOSITI QUATERNARI (CARG, Foglio 56)

##### **Depositi alluvionali (POI-alg):**

- ghiaie massive o stratificate da fini a grossolane, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati, sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati; lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Si osservano strutture sedimentarie dovute all'azione di correnti trattive come ciottoli embricati, laminazioni oblique a basso angolo, laminazioni incrociate. Nella tratta in esame la simbologia utilizzata per la cartografia si riferisce a "ghiaie prevalenti".

##### **Depositi di conoide (POI-ms):**

- ghiaie massive o grossolanamente stratificate da fini a grossolane, talvolta ben selezionate, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati; sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati, lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Diamicton massivi, a supporto di matrice limoso sabbiosa o limoso argillosa, clasti da spigolosi ad arrotondati. Spesso le componenti gravitative dei conoidi, quali i diamicton, costituiscono la parte basale dei conoidi stessi, mentre le componenti alluvionali costituiscono le parti più superficiali.

#### DEPOSITI QUATERNARI (Indagini geognostiche; PD)

- Nella tratta T2 la stratigrafia risultante dai sondaggi geognostici si compone di una successione di depositi eterogenei con variazioni laterali. Al di sotto di un primo strato di terreno coltivo, composto essenzialmente da limo sabbioso, il sondaggio S3 (profondità 20m) evidenzia un'alternanza di ghiaia prevalente e sabbia. I depositi ghiaiosi hanno granulometria eterometrica da media a fine, con clasti subarrotondati e poligenici immersi in una matrice sabbiosa grossolana, con contenuto limoso crescente in superficie. Gli strati di sabbia sono a granulometria medio/fine e in quantità minore grossolana, in alcuni orizzonti il contenuto limoso aumenta. Al di sotto di 19,7m di profondità si riscontra uno strato di limo sabbioso grigio.

Una diversa ricostruzione stratigrafica appare dal sondaggio S4 (profondità 20m): la sabbia diventa il litotipo prevalente e la coltre di terreno superficiale a limo sabbioso si riduce di spessore. Le sabbie sono a granulometria variabile da finissima a medio/fine, con una

frazione ghiaiosa medio/fine che diminuisce all'aumento della profondità, creando una gradazione inversa. A circa 17m la sabbia è debolmente limosa con livelli di torba brunonerasta. I pozzetti esplorativi (profondità 2m) realizzati in prossimità dell'opera di progetto sottolineano una variabilità areale litologica dei terreni di fondazione. Infatti, nei primi due metri di scavo si incontrano corpi stratoidi a granulometria e addensamento diverso. Generalmente sabbia limosa poco addensata e molto umida, è seguita in profondità da ghiaia sabbiosa con ciottoli in matrice localmente limosa. Nel pozzetto P1-2 la granulometria dei sedimenti è più grossolana, risultando ghiaia a ciottoli e trovanti pluridecimentrici in matrice limoso-sabbiosa. Nello scavo P2-6, un primo strato di sabbia poco umida e addensata copre un orizzonte di limo debolmente sabbioso, poco consistente, molto umido, e materiale da riporto.

#### 4.1.3 Tratta T3

La Figura 4-5 mostra il contesto territoriale della tratta T3; lungo la carreggiata direzione Tirano la SS38 è prevalentemente adiacente alla Linea Ferroviaria, a partire dal km 56+400 circa la strada e la linea ferroviaria si distanziano. Lungo la carreggiata direzione Colico la strada confina prevalentemente con campi agricoli, proprietà private e aree boschive.

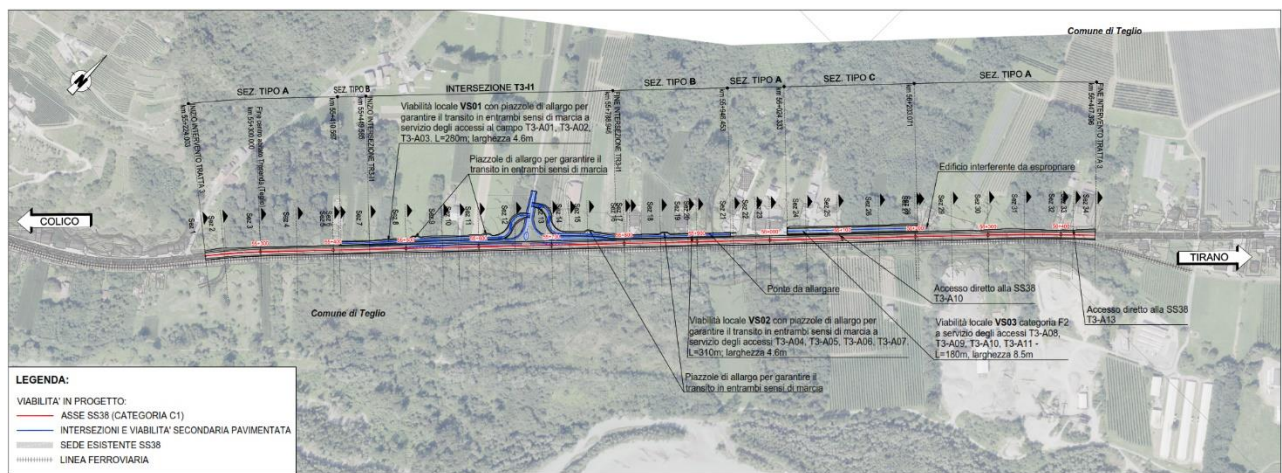


Figura 4-5: Localizzazione della tratta 3-SS38.

La Figura 4-6 mostra le informazioni geologiche dell'area prossima alla tratta T3.

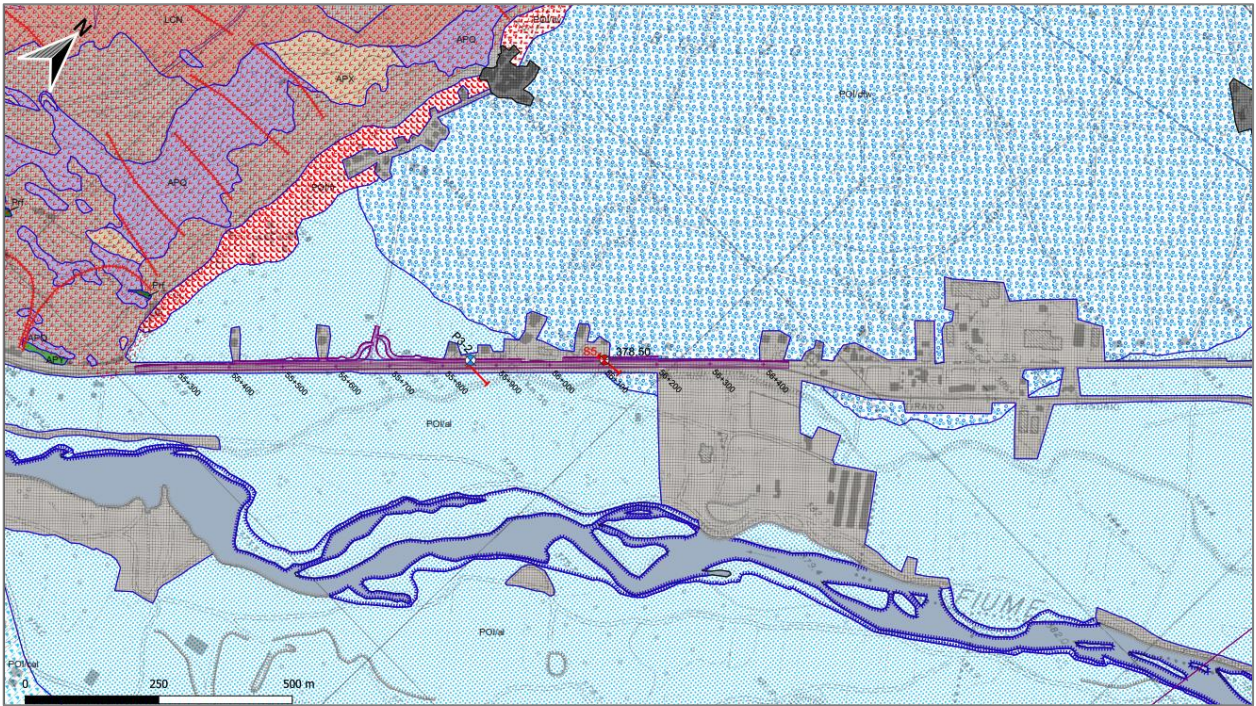


Figura 4-6: Stralcio dalla Carta Geologica di PD in corrispondenza della tratta T3.

Di seguito si descrivono caratteri geolitologici dei terreni di fondazione dell'opera, con riferimento sia alle informazioni della Cartografia Geologica Regionale (Progetto CARG) sia ai dati ottenuti tramite le indagini dirette.

La tratta T3 è fondata su depositi quaternari di origine alluvionale e di conoide, lungo la tratta iniziale costeggia proprietà private in vicinanza al basamento roccioso affiorante. Lungo la parete rocciosa a nord della tratta iniziale sono presenti in modo diffuso depositi di frana.

#### DEPOSITI QUATERNARI (CARG, Foglio 57)

##### **Depositi alluvionali (POI-al):**

- ghiaie massive o stratificate da fini a grossolane, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati, sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati; lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Si osservano strutture sedimentarie dovute all'azione di correnti trattive come ciottoli embricati, laminazioni oblique a basso angolo, laminazioni incrociate. Nella tratta in esame la simbologia utilizzata per la cartografia si riferisce a "sabbie prevalenti".

##### **Depositi di conoide (POI-dfw):**

- ghiaie massive o grossolanamente stratificate da fini a grossolane, talvolta ben selezionate, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati; sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati, lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Diamicton massivi, a supporto di matrice limoso sabbiosa o limoso argillosa, clasti da spigolosi ad arrotondati. Spesso le componenti gravitative dei conoidi, quali i diamicton, costituiscono la parte basale dei conoidi stessi, mentre le componenti alluvionali costituiscono le parti più superficiali. Nella tratta in esame la simbologia utilizzata per la cartografia si riferisce a "depositi di debris flow".



## **BASAMENTO ROCCIOSO: UNITA' TETTONO-METAMORFICA DELL'APRICA (CARG, Foglio 57)**

### **Rocce filoniane (fn):**

- Filoni andesitici, andesiti porfiriche (Cretacico? – Paleogene?).

### **Micascisti a granato, biotite, clorite (APX):**

- Scisti a grana fine (pre-varisico).

### **Quarziti (APQ):**

- Quarziti intercalate nei micascisti (pre-varisico).

### **Metabasiti (APY):**

- Scisti cloritici e prasiniti (pre-varisico).

## **DEPOSITI QUATERNARI (Indagini geognostiche: PD)**

- Durante l'esecuzione delle indagini dirette non è stato incontrato il substrato roccioso; perciò, per i primi 20m di profondità si ipotizza la presenza di sola copertura sedimentaria per l'intera tratta d'intervento.

Il sondaggio S5 (profondità 20m) evidenzia un'alternanza di ghiaia e sabbia con strati di spessore variabile ad un massimo di 4m. Le sabbie nei primi metri superficiali sono localmente limoso-micacee con rara ghiaia fine, mentre a maggiore profondità aumentano di granulometria e di frazione ghiaiosa. Gli strati di ghiaia sono eterometrici con ciottoli poligenici subarrotondati immersi in una matrice sabbiosa e localmente limosa (8,70m-9,0m).

Le risultanze dei pozzetti esplorativi (profondità 2m) relativi all'opera confermano una prevalenza di sabbia nel primo paio di metri di scavo. I terreni di fondazione sono quindi poco addensati e poco umidi a granulometria medio/fine.

### **4.1.4 Tratta T4**

La Figura 4-7 mostra il contesto territoriale della tratta T4; lungo la carreggiata direzione Tirano la Linea Ferroviaria corre circa parallela alla strada ma ad alcune decine di metri di distanza. Entrambe le carreggiate confinano con campi agricoli, proprietà private e aree boschive. La Figura 4-8 mostra le informazioni geologiche dell'area prossima alla tratta T4.

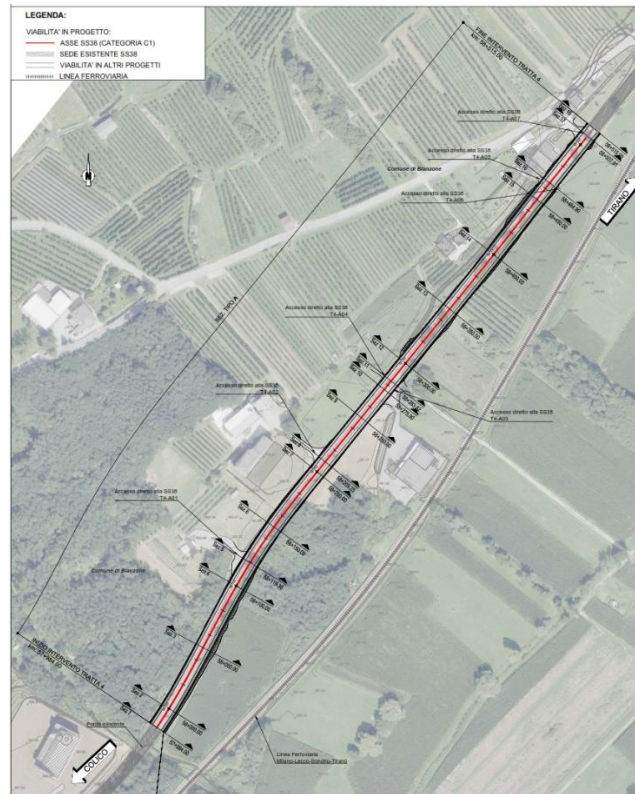


Figura 4-7: Localizzazione della tratta T4

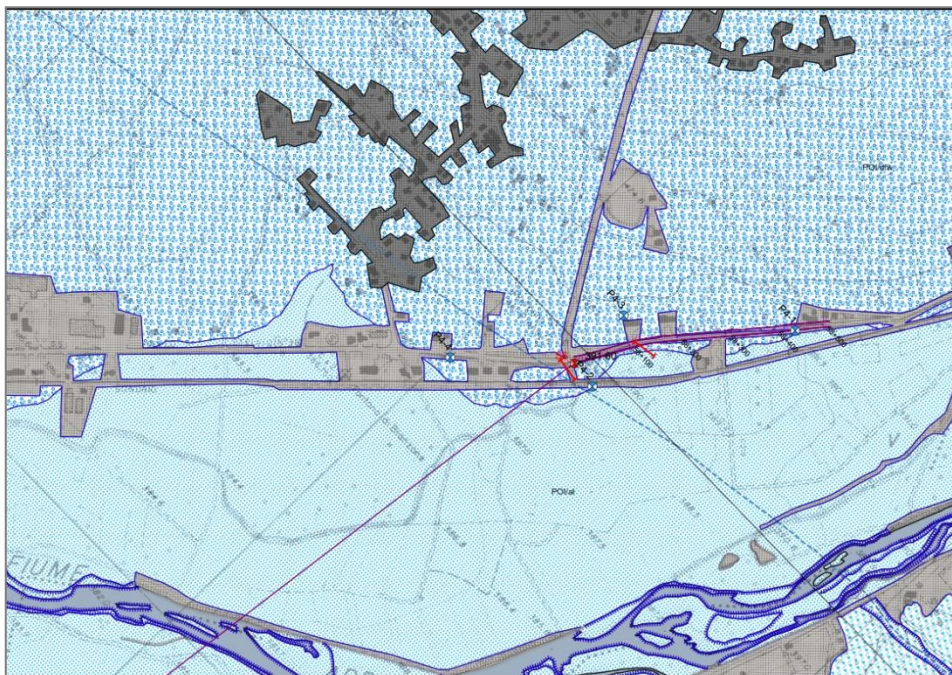


Figura 4-8: Stralcio dalla Carta Geologica di PD in corrispondenza della tratta T4.

Di seguito si descrivono caratteri geolitologici dei terreni di fondazione dell'opera, con riferimento sia alle informazioni della Cartografia Geologica Regionale (Progetto CARG) sia ai dati ottenuti tramite le indagini dirette.

La tratta T4 fondata su depositi quaternari di conoide al limite con i sovrastanti depositi alluvionali del Fiume Adda, lungo entrambi i lati della tratta ci sono proprietà private.

## DEPOSITI QUATERNARI (CARG, Foglio 57)

### **Depositi alluvionali (POI-al):**

- ghiaie massive o stratificate da fini a grossolane, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati, sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati; lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Si osservano strutture sedimentarie dovute all'azione di correnti trattive come ciottoli embricati, laminazioni oblique a basso angolo, laminazioni incrociate. Nella tratta in esame la simbologia utilizzata per la cartografia si riferisce a "sabbie prevalenti".

### **Depositi di conoide (POI-dfw):**

- ghiaie massive o grossolanamente stratificate da fini a grossolane, talvolta ben selezionate, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti arrotondati; sabbie ben lavate, in corpi lenticolari clinostratificati, lenti e corpi stratoidi di sedimenti limoso argillosi, talvolta laminati. Diamicton massivi, a supporto di matrice limoso sabbiosa o limoso argillosa, clasti da spigolosi ad arrotondati. Spesso le componenti gravitative dei conoidi, quali i diamicton, costituiscono la parte basale dei conoidi stessi, mentre le componenti alluvionali costituiscono le parti più superficiali. Nella tratta in esame la simbologia utilizzata per la cartografia si riferisce a "depositi di debris flow".

## DEPOSITI QUATERNARI (Indagini geognostiche; PD)

- I risultati delle indagini dirette confermano i dati di letteratura per i terreni di fondazione della tratta T4. Infatti, fino a 20m di profondità la ricostruzione stratigrafica prevede unicamente depositi quaternari, senza l'incontro del substrato roccioso. Dall'alto al basso stratigrafico, il sondaggio S6 evidenzia uno strato di circa 3m di spessore di limo sabbioso, susseguito da sola ghiaia a ciottoli in matrice sabbiosa e locali trovanti.

I terreni di fondazione per la tratta in esame sono pertanto rappresentati da sabbia con limo, poco addensata e umida. Ciò è confermato anche dalle stratigrafie di scavo dei pozzetti, in cui si indicano sabbie prevalenti per i primi 2m di profondità, e solo localmente vengono incontrate ghiaie sabbiose (P4-2).

## **4.2 Inquadramento idrogeologico: complessi idrogeologici e permeabilità dei terreni**

In merito alle acque sotterranee maggiori conoscenze si hanno per le zone antropizzate e quindi per le parti vallive, laddove avviene una captazione locale di acque mediante pozzi.

Nei depositi non coerenti (detritici, glaciali e alluvionali) si possono immagazzinare consistenti volumi di acque nel sottosuolo. Nei depositi detritici dotati di elevata permeabilità si ha una rapida circolazione superficiale e sotterranea che tende a trasmettere le acque alle zone di recapito poste a quote inferiori.

Talora le emergenze sorgentizie presenti sono in realtà manifestazioni di venute d'acqua in superficie di "sorgente geologica" posta all'interno di rocce del substrato.

Nei depositi glaciali le condizioni di eterogeneità dei litotipi presenti, date da alternanze e miscele di limi, sabbie, ciottoli e massi, non consentono l'accumulo di risorse idriche consistenti ed importanti per gli utilizzi. Maggiore immagazzinamento e circolazione si verifica nei depositi alluvionali di fondovalle e di conoide in relazione alla elevata permeabilità dei sedimenti. In particolare, la maggiore struttura idrogeologica dell'area è rappresentata dal fondovalle valtellinese occupato dal Fiume Adda, nel tratto tra Chiuro ad est e il Piano della Selvetta ad ovest, laddove peraltro si concentra la maggiore urbanizzazione e sono in parte disponibili anche studi precedenti (Pozzi, 1970; Scesi, 1982; Scesi & Pellegatta, 1984; Venzo, 1971).

Le alluvioni del fondovalle sono interdigitale con i depositi di conoide dei vari corsi d'acqua laterali.

Nelle alluvioni di fondovalle si hanno acquiferi produttivi, con valori di trasmissività compresi tra  $5 \cdot 10^{-3}$  e  $9 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$  con valori di picco che arrivano fino a  $3,7 \cdot 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$  e con conducibilità idraulica tra  $7 \cdot 10^{-4}$  e  $3 \cdot 10^{-2} \text{m}/\text{s}$ . Per le conoidi, invece, il campo dei valori dei parametri idrogeologici è

compreso tra  $10^{-2}$  e  $10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$ , con valori di picco fino a  $4 \cdot 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$  per la trasmissività e conducibilità idraulica fra  $7,4 \cdot 10^{-4}$  e  $4 \cdot 10^{-2} \text{m}/\text{s}$ . In relazione a tali valori assunti dai parametri idrogeologici si riscontrano buone caratteristiche di produttività dei pozzi, che si attestano su valori di portata specifica di circa 10 l/s/m nelle alluvioni di fondovalle e di circa 15 l/s/m per le conoidi.

Sulla base degli studi precedenti (Beretta et alii, 2005) e partendo da monte, i sedimenti della zona satura sono interessati da un'unica falda libera che si sviluppa sotto la superficie topografica a partire da profondità comprese tra 2m e 9m-10m fino a raggiungere il substrato fratturato o i corpi limoso argillosi situati a profondità differenti. I sondaggi geoelettrici pregressi (Petrucci et alii, 1979 e 1982) hanno fornito valori di resistività molto bassi anche a profondità relativamente elevata, probabilmente in relazione alla presenza di depositi lacustri o glaciali di fondo.

Con buona probabilità quindi si può credere che le maggiori risorse idriche siano concentrate nella parte più superficiale dei sedimenti alluvionali.

La profondità del substrato non è ben nota sulla base delle stratigrafie dei pozzi attualmente disponibili (che non superano i 100 m di profondità).

La falda principale è in generale delimitata verso il basso da livelli limosi di varia potenza. a volte lo spessore di questi corpi è tale da ridurre drasticamente lo spessore dell'acquifero come avviene nei pressi di Caiolo, dove lo spessore è attestato sui 45m – 50m circa e di Busteggia dove raggiunge i 60m circa. Sono presenti, infatti, un po' su tutto il fondovalle delle lenti di materiale a granulometria minore che si interdigitano con il corpo ghiaioso sabbioso principale che contiene la falda. Tuttavia, si tratta per lo più di lenti di limitata potenza ed estensione areale tale per cui non possono dar vita a significativi fenomeni di confinamento.

Nell'acquifero principale di fondovalle, in cui si ha un flusso idrico orientato E–W e con un gradiente idraulico di qualche unità per mille, confluiscono gli acquiferi minori che scorrono all'interno delle conoidi laterali. Tali falde seguono un flusso orientato N–S sul versante retico e S–N su quello orobico.

Le falde di conoide sono anch'esse del tipo a pelo libero e possono raggiungere valori di soggiacenza piuttosto elevati che tendono a diminuire nelle zone distali dove si raccordano con l'acquifero di fondovalle. L'alimentazione di queste falde è duplice ed è data sia dagli apporti dal versante sia dai corsi d'acqua provenienti da monte. In alcune, tipo l'immensa conoide di Ponte in Valtellina, sembra prevalere la prima tipologia di alimentazione dal versante. In altre, tipo la conoide del Mallero, sembra prevalere l'alimentazione ad opera del fiume.

Il cono di alimentazione non risulta accentuato e aperto ma piuttosto limitato alla zona verticale di percolazione delle acque fluviali. Ciò sarebbe causato dall'alto grado di permeabilità dei depositi. Altre volte l'asta idrica scompare nei periodi meno piovosi venendo assorbita totalmente dai sedimenti.

Il gradiente idraulico, misurato solo in qualche caso, si attesta su valori elevati nelle parti apicali dei conoidi, superiori all'unità percentuale.

Il rapporto tra l'Adda e la falda principale di fondovalle è mutevole nello spazio e nel tempo. In Figura 4-9 è sinteticamente illustrata una carta delle isopiezometriche (m s.l.m.) ricavata dalla letteratura (Beretta et alii, 2005) sulla base di misure in pozzi.

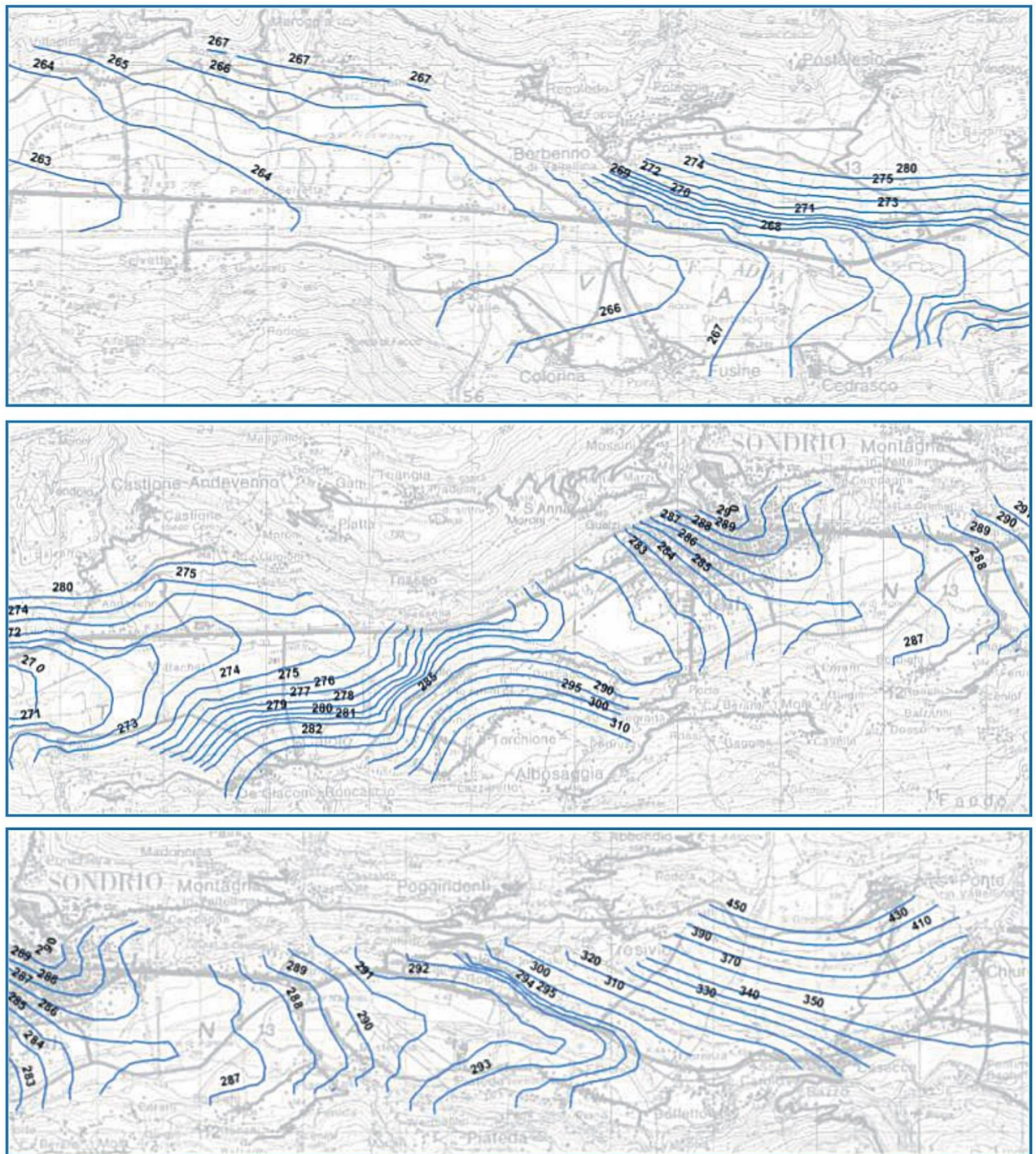


Figura 4-9: Carta delle isopiezometriche (in m slm) nella Valle del Fiume Adda (Beretta et alii, 2005).

Vista la significativa escursione dei valori del gradiente idraulico, solo nella zona di fondovalle le isolinee sono rappresentate con una equidistanza del metro; sui conoidi sono indicate alcune isolinee, con rispettivo valore in m s.l.m., come derivante dagli scarsi dati di livello piezometrico disponibili e da valutazioni di carattere geomorfologico e idrogeologico.

L'andamento della piezometria suggerisce che il fiume assume un comportamento drenante per tutto il corso che va da Sondrio fino al limite occidentale della zona d'interesse. Nel tratto compreso tra Sondrio e Busteggia il corso dell'Adda diventa alimentante per poi ritornare ad essere drenante fino alla zona situata nei pressi dell'abitato di Boffetto.

In questa zona l'ampiezza della valle è assai ridotta ed è limitata alla sola asta fluviale, la quale viene spinta dei sedimenti della conoide di Ponte in Valtellina contro il versante orobico della valle. L'entità del fenomeno non è accertata con sicurezza e sembra comunque più plausibile un'ipotesi

di drenanza/alimentazione variabile con le stagioni a seconda dei periodi di abbassamento o innalzamento della falda.

Sempre in questa zona, procedendo verso monte, si nota un brusco aumento del gradiente idraulico tendente a decrescere procedendo da E verso W.

L'area di fondovalle nei pressi di Postalesio, Cedrasco, Fusine, Colorina e S. Pietro Berbenno è caratterizzata da depositi grossolani che si sviluppano dalla superficie del piano di campagna per uno spessore massimo di circa 100m. Al di sotto si rinvencono sabbie limose o limi sabbiosi a seconda della maggiore o minore vicinanza ai versanti vallivi dove superiore è l'energia di trasporto dei torrenti tributari dell'Adda. A centro valle, in superficie, si possono trovare sedimenti limosi, subordinatamente sabbiosi, ricollegabili ad episodi di esondazione da parte del Fiume Adda.

Il corpo ghiaioso-sabbioso tende a diminuire di spessore ai Piani di Selvetta; la sua potenza può essere valutata in qualche decina di metri (20-30 m) finché, all'altezza del settore centrale tende a scomparire lasciando spazio solo ad alcune sporadiche lenti isolate di materiale grossolano. I Piani di Selvetta sono caratterizzati dalla presenza di sedimenti fini generalmente limosi o limoso-sabbiosi di origine lacustre (Scesi, 1982, Scesi & Pellegatta, 1984); in alcune zone si distinguono anche dei corpi argillosi come, per esempio, presso Piani.

All'altezza di Ardenno i materiali fini limosi lasciano spazio a limi sabbiosi, in profondità, mentre in superficie si trovano terreni grossolani di carattere ghiaioso-sabbioso ricollegabili all'azione sedimentaria del Torrente Masino.

In questa zona dei Piani di Selvetta l'andamento della falda risulta condizionato dall'alveo antropico del Fiume Adda, determinando un effetto di alimentazione della falda.

Il corso d'acqua venne infatti rettificato per circa 8km tra Talamona e Fusine alla metà del 1800 sotto il regno di Maria Teresa d'Austria, tagliando una serie di meandri; successivamente venne costruito un serbatoio artificiale ad uso idroelettrico regolato da paratoie.

Si osserva quindi un deflusso verso NW, con modesto gradiente idraulico e falda con piccola soggiacenza ed emergenza nelle depressioni morfologiche locali.

Il drenaggio della falda viene operato nella zona del canale Pedemontano laddove confluiscono le acque provenienti da monte (falde nei conoidi minori) e dal Fiume Adda.

#### 4.2.1 Rilievi piezometrici nei sondaggi di PD

In Tabella 4-1 si riportano le quote di falda misurate nei piezometri installati nei sondaggi geognostici (attuale fase di PD).

Tabella 4-1: Livelli piezometrici e soggiacenze misurate durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici (PD)

ID	Tratta	Quota piano campagna [m]	Soggiacenza [m]	Data di misura	Livello piezometrico [m slm]
S1	1	265,50	2,50	8/10/2021	263,00
S2	1	264,90	2,50	4/10/2021	262,40
S3	2	268,20	2,74	6/10/2021	265,46
S4	2	269,90	2,70	5/10/2021	267,20
S5	3	381,40	2,90	12/10/2021	378,50
S6	4	393,50	1,90	14/10/2021	391,60

Le misurazioni disponibili da bibliografia reperita e/o dalle risultanze delle indagini in sito hanno evidenziato in linea generale, una soggiacenza piuttosto superficiale. Infatti, dai pozzi censiti per le Provincia di Sondrio (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) sono stati misurati valori minimi di soggiacenza di 0,8m per le tratte T1 e T2, e di 1,1m per le tratte T3 e T4, poste più a monte.

#### **4.2.2 Permeabilità dei terreni da prove di PD**

Le quattro aree di progetto sono inserite all'interno del bacino idrografico del Fiume Adda, in particolare nel fondovalle riempito da terreni limoso-argillosi poco permeabili e drenanti, con intercalazioni di depositi ghiaioso-sabbiosi porosi e drenanti. L'acquifero è perciò caratterizzato da sedimenti sabbiosi a granulometria variabile da fine a grossolana.

Di seguito vengono riportati i risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc realizzate per ogni sondaggio.

Tabella 4-2: Valori di permeabilità risultanti dalle prove Lefranc eseguite a due profondità diverse per ogni sondaggio

ID	Int. [No.]	Permeabilità [m/s]	Prof. [m]	Litologia	Sogg. [m]	Data di misura
S1	1	$8,61 \cdot 10^{-07}$	3,50	limo sabbioso	2,50	8/10/2021
		$5,35 \cdot 10^{-07}$	8,50	limo argilloso		
S2	1	$4,78 \cdot 10^{-06}$	2,00	limo sabbioso	2,50	4/10/2021
		$1,19 \cdot 10^{-05}$	7,00	Ghiaia in matrice sabbiosa		
S3	2	$3,59 \cdot 10^{-06}$	4,00	Ghiaia in matrice sabbiosa	2,74	6/10/2021
		$2,15 \cdot 10^{-06}$	8,50	Sabbia media e rara ghiaia		
S4	2	$8,40 \cdot 10^{-07}$	4,50	Sabbia media e ghiaia	2,70	5/10/2021
		$3,48 \cdot 10^{-06}$	8,00	Sabbia e rara ghiaia		
S5	3	$1,37 \cdot 10^{-06}$	4,50	Sabbia/Ghiaia	2,90	12/10/2021
		$4,73 \cdot 10^{-06}$	7,50	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa		
S6	4	$8,22 \cdot 10^{-07}$	3,00	limo argilloso	1,90	14/10/2021
		$8,29 \cdot 10^{-06}$	6,00	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa		

I valori risultanti dalle prove Lefranc indicano che i terreni di fondazione sono da poco a mediamente permeabili con valori di k compresi tra  $5,35 \cdot 10^{-07} \text{m/s}$  e  $1,19 \cdot 10^{-05} \text{m/s}$ . Localmente nei primi metri di profondità il grado di permeabilità risulta minore, indicando un terreno poco drenante in superficie.

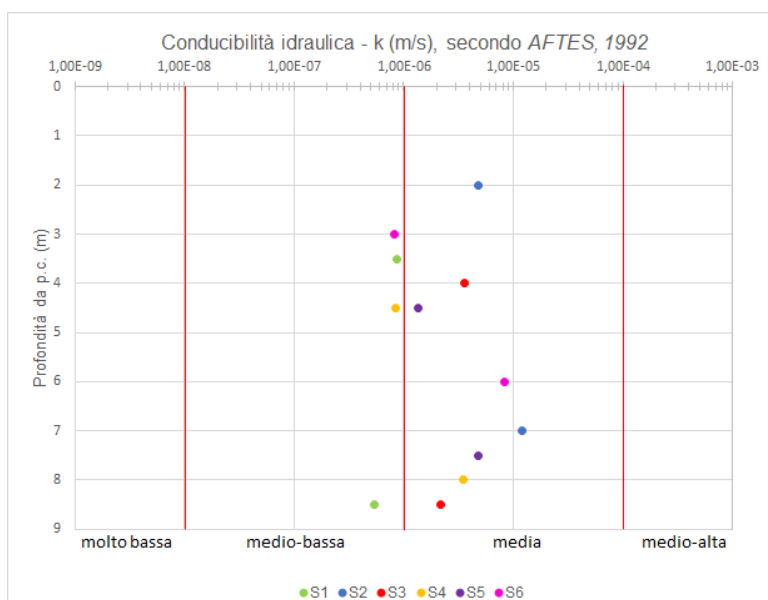


Figura 4-10: Andamento del coefficiente di permeabilità con la profondità dal piano campagna

Tale tendenza è compatibile con quanto riscontrato in alcuni sondaggi, dove nei livelli superficiali sono presenti terreni a minore granulometria. Tuttavia, ci si aspetterebbero valori maggiori di permeabilità per quanto concerne gli strati di ghiaia e sabbia rilevati dagli scavi di Progetto.

Di seguito vengono rappresentati i valori di conducibilità idraulica al variare della profondità dal piano campagna. Dalla classificazione di AFTES (1992) i terreni di fondazione sono da considerarsi principalmente a media permeabilità. Inoltre, non si osserva alcuna dipendenza con la profondità d'esecuzione della prova.

#### 4.2.3 Assetto idrogeologico delle aree di intervento

Nel presente paragrafo si descrive l'assetto idrogeologico per le quattro aree d'intervento derivato dalle informazioni disponibili in bibliografia e dai dati piezometrici dei pozzi preesistenti e dei nuovi piezometri di sondaggio di PD. Si osserva una buona corrispondenza tra i dati piezometrici di sondaggio e i livelli piezometrici dei pozzi limitrofi alle aree di intervento che indicano soggiacenze variabili approssimativamente tra 2m e 3m.

Tutte e quattro le aree di intervento si inseriscono nel Complesso idrogeologico dei depositi alluvionali e di conoide. Quest'ultimo è rappresentato da sedimenti quaternari, depositi fluvio-torrentizi e di conoide che sono sede di sistemi di flusso sotterranei permanenti. Le variazioni verticali di granulometria dei depositi determina una struttura dell'acquifero caratterizzata da cambiamenti di permeabilità della superficie in profondità.

Di seguito per ciascuna tratta si riportano lo stralcio della Carta Idrogeologica di PD e gli scenari di



alluvioni derivati dal Piano di Gestione del Rischio Alluvionale.

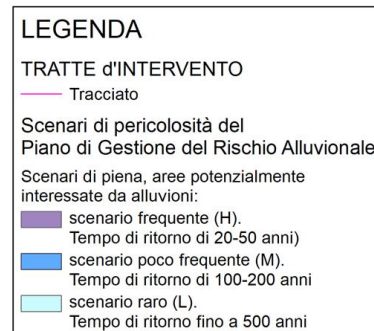
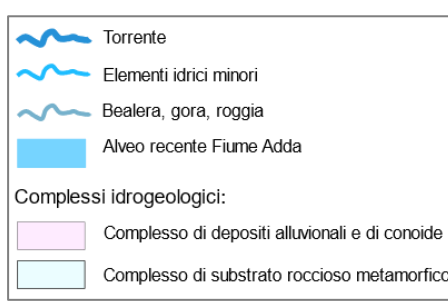
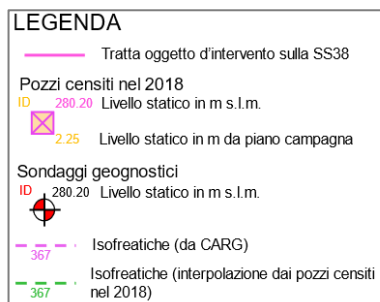


Figura 4-11: Legenda relativa agli stralci planimetrici riferiti all'assetto idrogeologico delle aree di studio

Figura 4-12: Legenda relativa agli stralci di carta degli scenari di pericolosità di piene alluvionali

#### 4.2.3.1 Tratta T1

I valori di soggiacenza misurati durante la realizzazione dei sondaggi geognostici indicano una falda piuttosto superficiale (circa 2,5m da p.c.). Tenendo conto della variabilità stagionale del livello piezometrico delle riserve idriche sotterranee, dovuta alla stretta vicinanza al F. Adda, tali risultanze sono compatibili con i valori di soggiacenza indicati per le opere di captazione prossime alla tratta in oggetto.

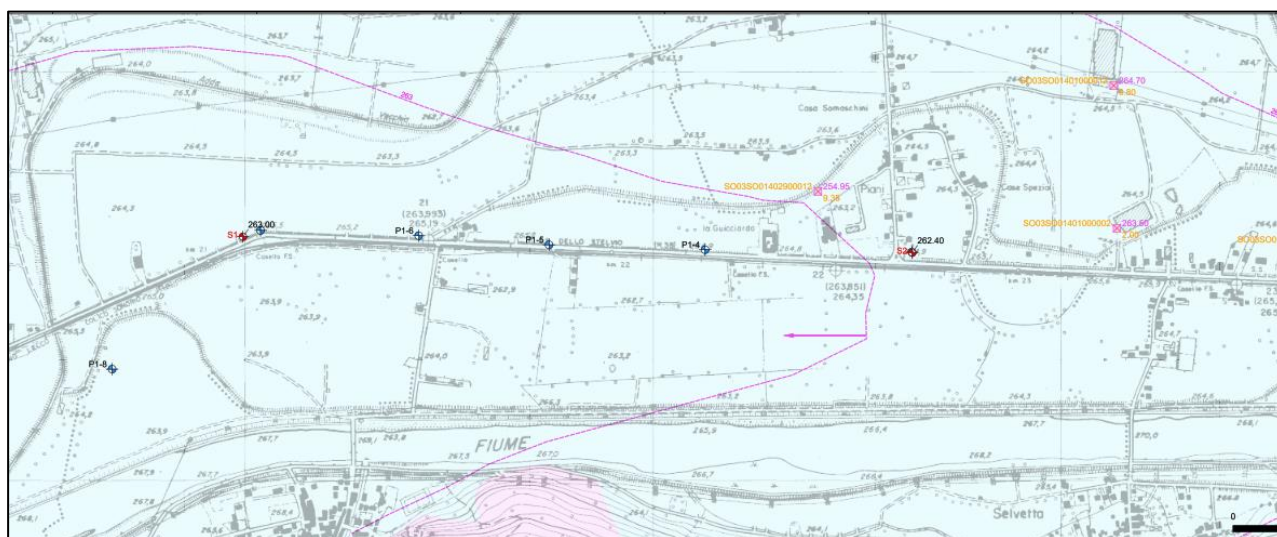


Figura 4-13: Stralcio della Carta Idrogeologica di PD in corrispondenza della tratta T1

Inoltre, la tratta T1 rientra nell'area definito come scenario di pericolosità alluvionale raro (Figura 4-14).

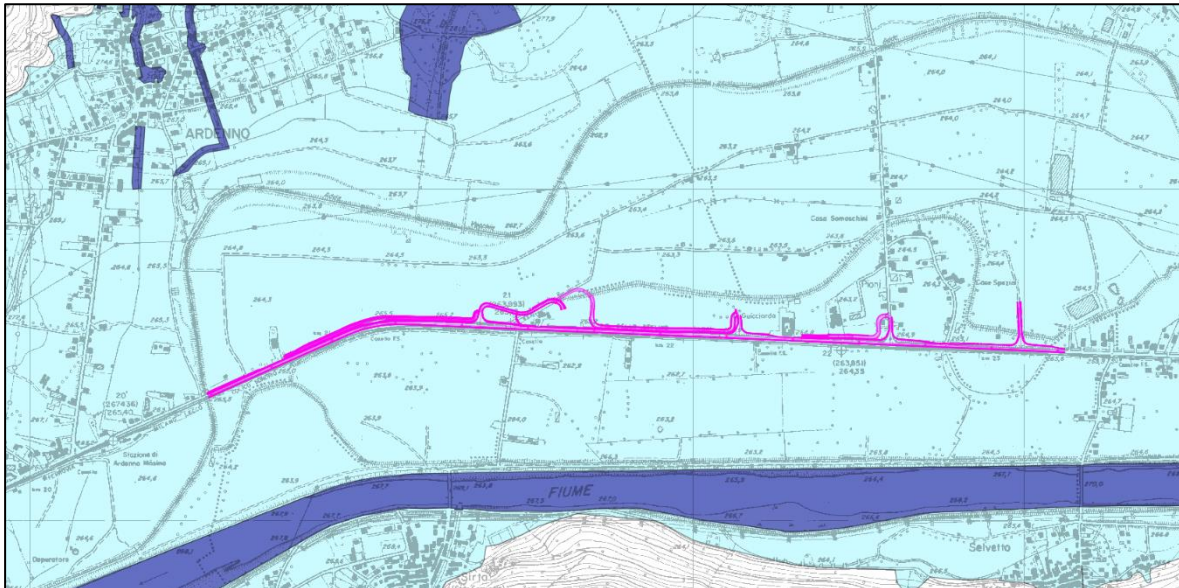


Figura 4-14: Stralcio planimetrico in cui sono evidenziate le aree rappresentanti scenari a diverse pericolosità alluvionabile

#### 4.2.3.2 Tratta T2

I valori di soggiacenza misurati dai sondaggi prossimi alla tratta T2 indicano una falda superficiale, profonda 2,7m dal piano campagna. Dal confronto dei livelli piezometrici calcolati durante la presente campagna d'indagine e quelli delle opere di captazione censiti nel 2018 si osserva una compatibilità dei dati, con valori medi di circa 265m s.l.m.

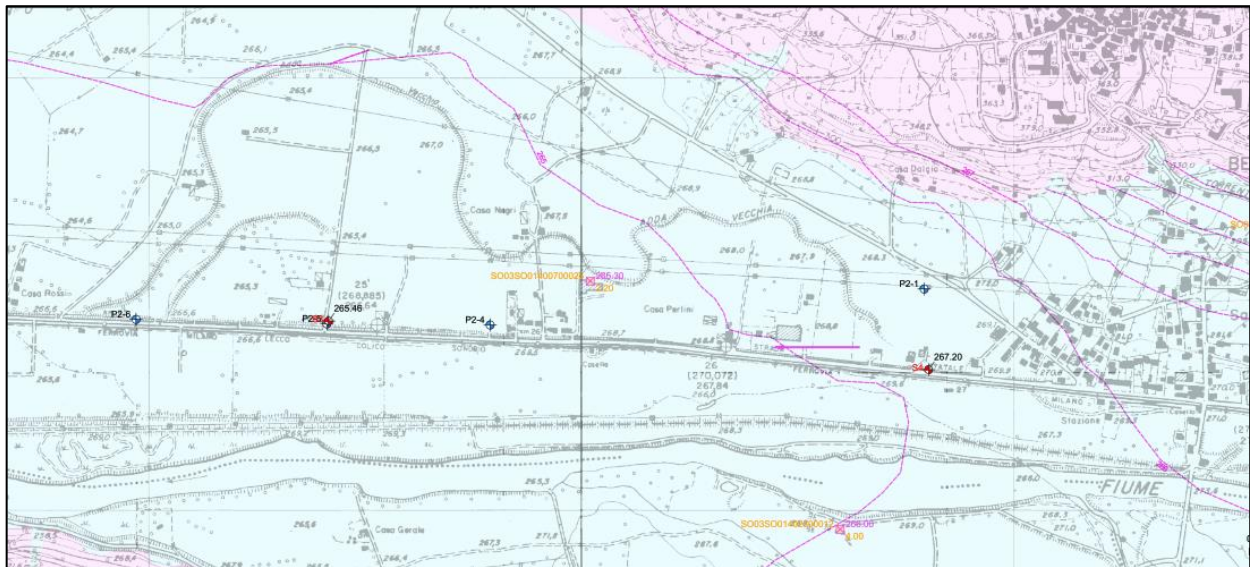


Figura 4-15: Stralcio della Carta Idrogeologica (PD) presso la tratta T2

La tratta T2 rientra nell'area definito come scenario di pericolosità alluvionabile raro (Figura 4-16).

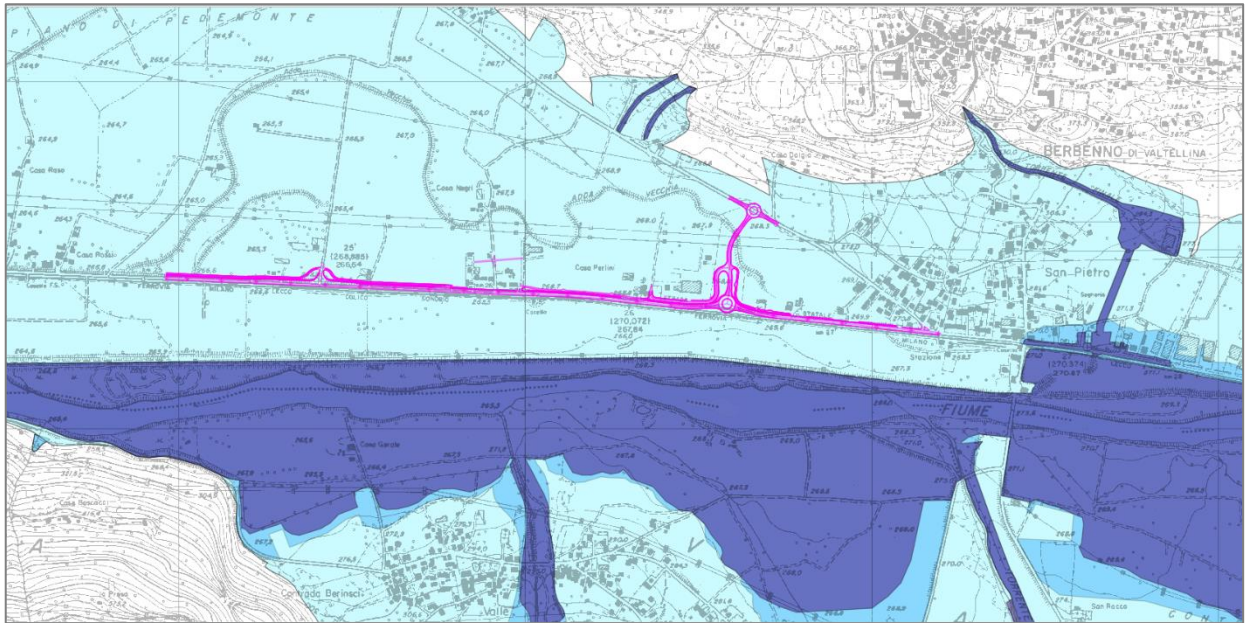


Figura 4-16: Stralcio planimetrico raffigurante le aree rappresentanti scenari a diverse pericolosità alluvionabile

#### 4.2.3.3 Tratta T3

Le informazioni derivate dal sondaggio S5 indicano una soggiacenza circa simile a quella misurata per le altre tratte d'intervento, con un valore di 2,9m da p.c. Tuttavia, si osserva un innalzamento della quota assoluta della falda superficiale (378m s.l.m.), coerentemente con l'inquadramento geoidrologico dell'area: la direzione di deflusso delle acque avviene da NE a SW e quindi procedendo a monte la superficie piezometrica, così come quella topografica, è più elevata.

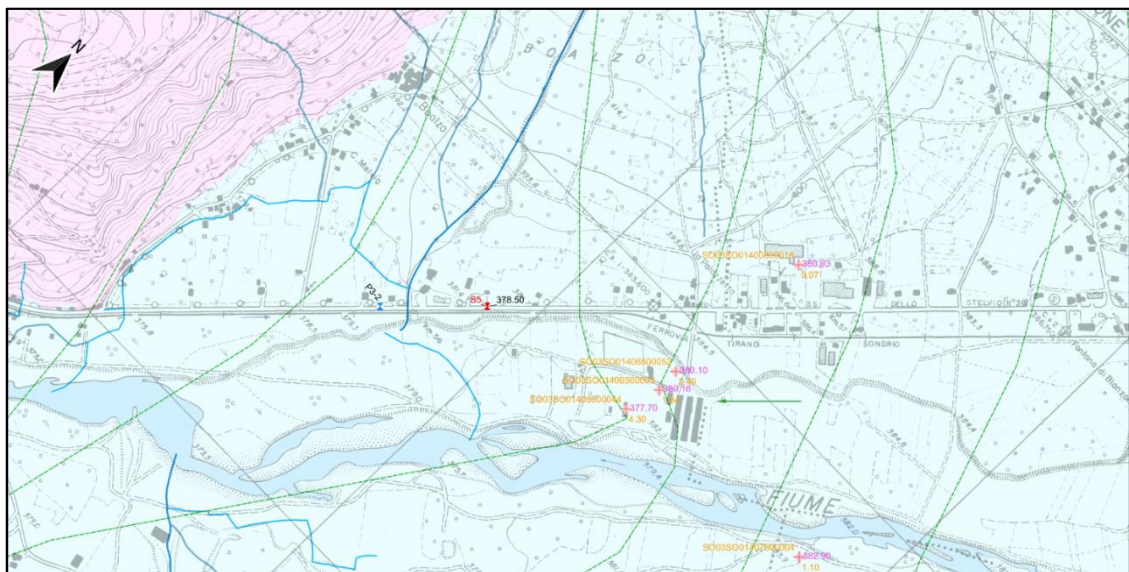


Figura 4-17: Stralcio della Carta Idrogeologica (PD) presso la tratta T3

La tratta T3 rientra generalmente nell'area definito come scenario di pericolosità alluvionabile raro o poco frequente. Tuttavia, essa viene attraversata da una porzione dove la probabilità di avere alluvioni diventa maggiore, passando ad uno scenario frequente (Figura 4-18).

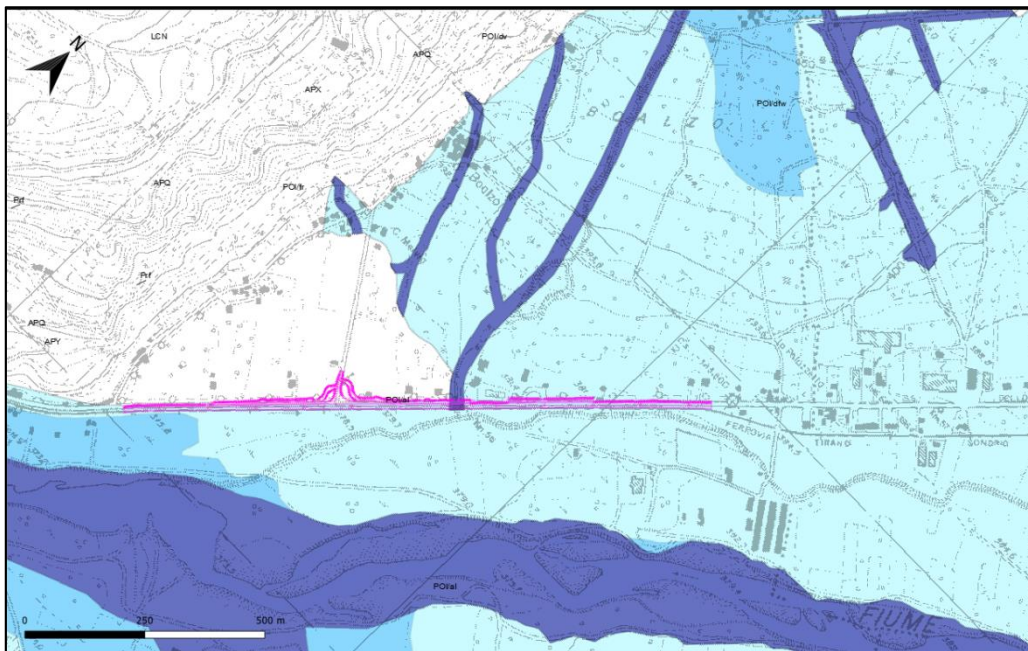


Figura 4-18: Stralcio planimetrico raffigurante le aree rappresentanti scenari a diverse pericolosità alluvionabile

#### 4.2.3.4 Tratta T4

L'opera di progetto n.4 è quella situata più a monte rispetto alle altre tre tratte. Ciò ragionevolmente influenza anche i dati sulla profondità della falda, con valori di soggiacenza di 1,9m dal p.c. e livello piezometrico di quasi 392m s.l.m., entrambi misurati durante il sondaggio S6. Si osserva che la quota piezometrica nel sondaggio di PD risulta superiore di circa 6m rispetto alle isofreatiche derivate dai dati dei pozzi ubicati nell'intorno della tratta T4.

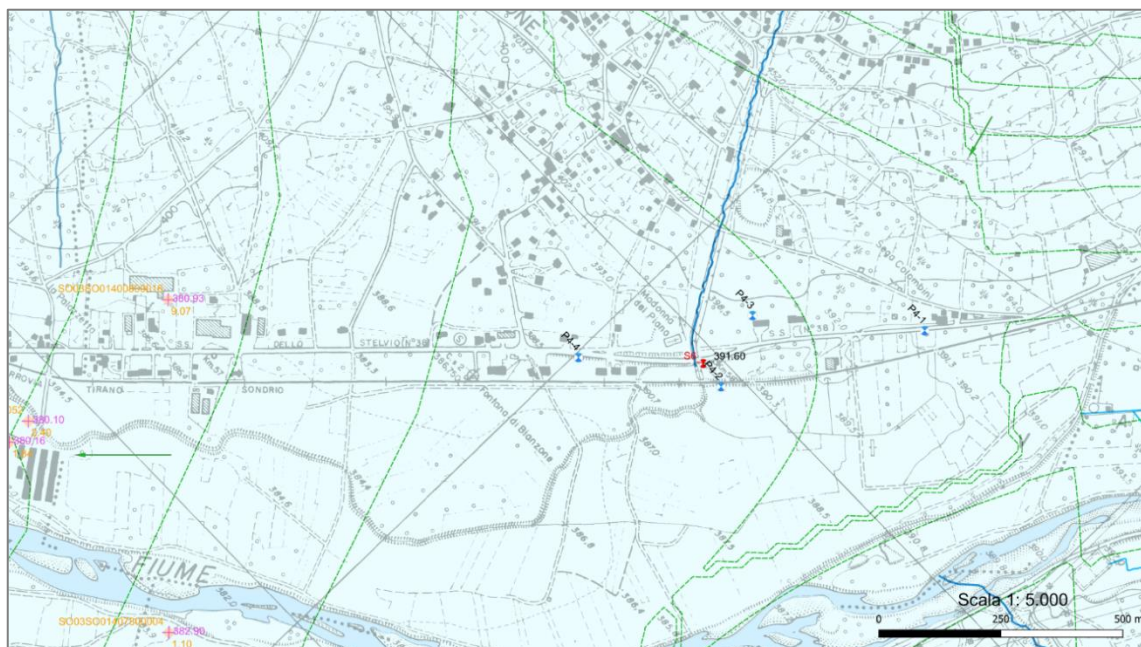


Figura 4-19: Stralcio della Carta Idrogeologica (PD) presso la tratta T4

La tratta T4 rientra generalmente nell'area definita come scenario di pericolosità alluvionale raro. Tuttavia, essa viene attraversata da una porzione dove la probabilità di avere alluvioni diventa maggiore, passando ad uno scenario frequente.



Figura 4-20: Stralcio planimetrico raffigurante le aree rappresentanti scenari a diverse pericolosità alluvionabile

## **5 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE**

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato ed un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore.

I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dalle pubblicazioni e data base di settore disponibili presso le Istituzioni ed Enti di riferimento.

### **5.1 Sismicità storica (dal 1000 al 2020)**

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel DBMI15 v.4.0, che contiene 23981 dati di intensità relativi a 3229 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI15 3.0.

DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

In particolare, sono stati estratti i dati disponibili per i comuni attraversati dal tracciato di progetto.

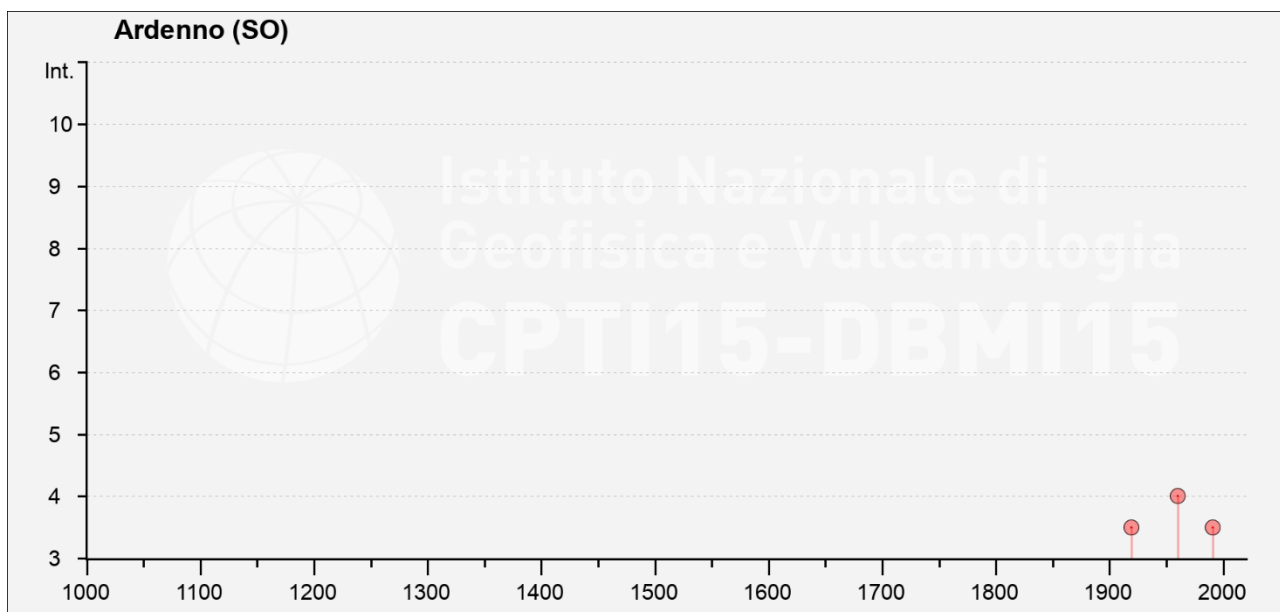
Nelle tabelle seguenti viene riportato l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 2.

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0  
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of Ardenno  
 PlaceID IT\_11941  
 Coordinates (lat, lon) 46.174, 9.653  
 Municipality (ISTAT 2015) Ardenno  
 Province Sondrio  
 Region Lombardia  
 No. of reported earthquakes 3

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	IoDef	MwDef
3-4	2238	1919	9	16	2	18	37	Alta Valtellina	4-5	3,5
4	2815	1960	3	23	23	10		Vallese	7	5
3-4	3672	1991	11	20	1	54	17,6	Grigioni, Vaz	6	4,7

**Tabella 3** – Sismicità storica di Ardenno (da database DBMI15)



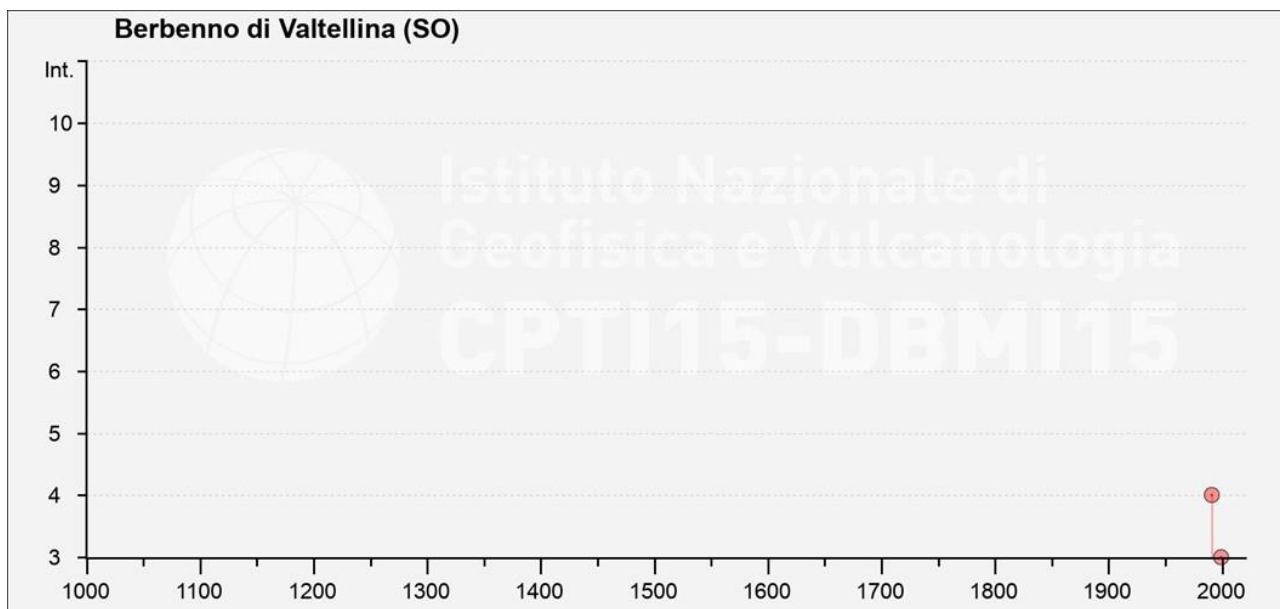
**Figura 5-1** – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel Comune di Ardenno

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0  
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of Berbenno di Valtellina  
 PlaceID IT\_11949  
 Coordinates (lat, lon) 46.169, 9.742  
 Municipality (ISTAT 2015) Berbenno di Valtellina  
 Province Sondrio  
 Region Lombardia  
 No. of reported earthquakes 3

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	IoDef	MwDef
4	3672	1991	11	20	1	54	17,6	Grigioni, Vaz	6	4,7
3	4005	1999	12	29	20	42	34,8	Alpi Retiche		4,78
NF	4103	2001	7	17	15	6	15,27	Val Venosta	5-6	4,78

**Tabella 4** – Sismicità storica di Berbenno di Valtellina (da database DBMI15)



**Figura 5-2** – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel Comune di Berbenno di Valtellina



File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0

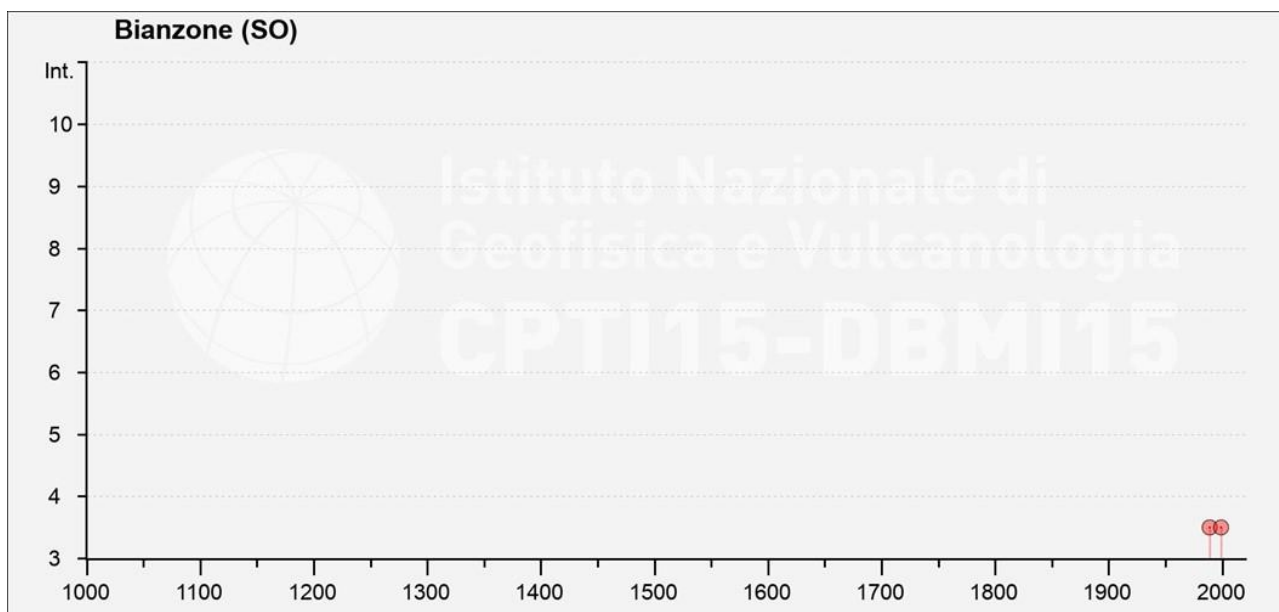
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of                    Bianzone  
 PlaceID                                IT\_11956  
 Coordinates (lat, lon)            46.186, 10.109  
 Municipality (ISTAT 2015)      Bianzone  
 Province                              Sondrio  
 Region                                 Lombardia  
 No. of reported earthquakes      3

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	IoDef	MwDef
3-4	3594	1989	9	13	21	54	1,5	Prealpi Vicentine	6-7	4,85
3-4	4005	1999	12	29	20	42	34,8	Alpi Retiche		4,78
2-3	4007	1999	12	31	4	55	53,9	Alpi Retiche		4,11

**Tabella 5** – Sismicità storica di Bianzone (da database DBMI15)



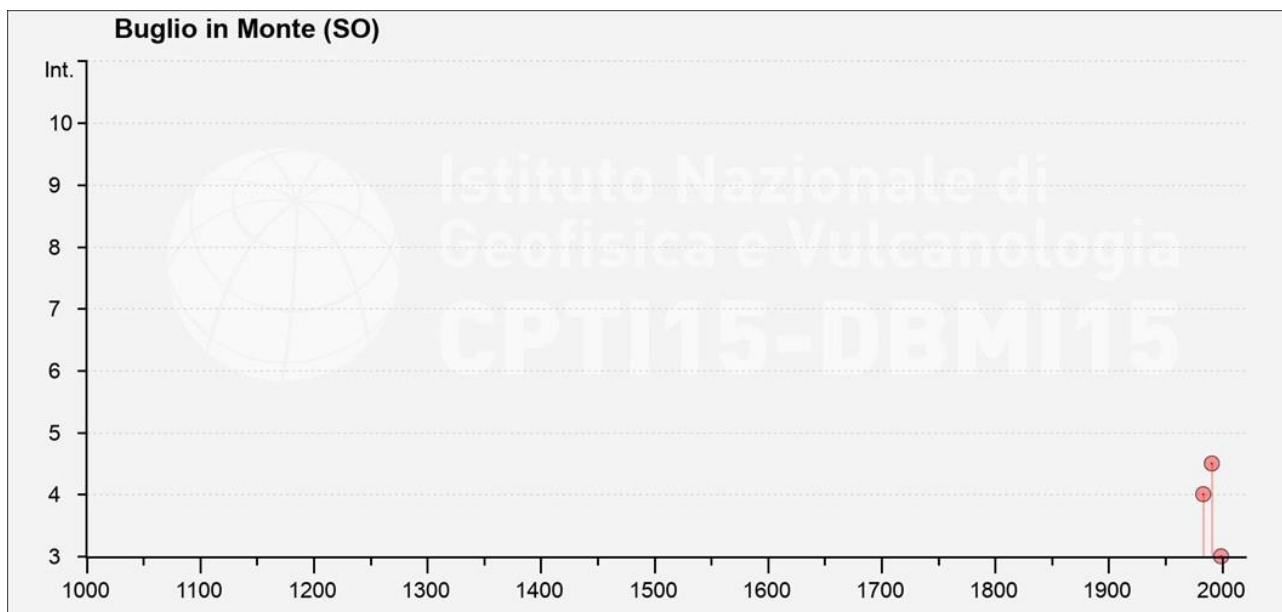
**Figura 5-3** – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel Comune Bianzone

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0  
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of Buglio in Monte  
 PlaceID IT\_11961  
 Coordinates (lat, lon) 46.183, 9.676  
 Municipality (ISTAT 2015) Buglio in Monte  
 Province Sondrio  
 Region Lombardia  
 No. of reported earthquakes 4

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	IoDef	MwDef
4	3380	1983	11	9	16	29	52	Parmense	6-7	5,04
4-5	3672	1991	11	20	1	54	17,6	Grigioni, Vaz	6	4,7
3	4007	1999	12	31	4	55	53,9	Alpi Retiche		4,11
NF	4103	2001	7	17	15	6	15,27	Val Venosta	5-6	4,78

**Tabella 6** – Sismicità storica di Buglio in Monte (da database DBMI15)



**Figura 5-4** – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel Comune Buglio in Monte

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0  
 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano  
 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of Forcola (Sirta)  
 PlaceID IT\_12091  
 Coordinates (lat, lon) 46.158, 9.660  
 Municipality (ISTAT 2015) Forcola  
 Province Sondrio  
 Region Lombardia  
 No. of reported earthquak 2

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	IoDef	MwDef
2-3	4007	1999	12	31	4	55	53,9	Alpi Retiche		4,11
NF	4103	2001	7	17	15	6	15,27	Val Venosta	5-6	4,78

**Tabella 7** – Sismicità storica di Forcola (da database DBMI15)



**Figura 5-5** – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel Comune di Forcola

File downloaded from CPTI15-DBMI15 v4.0

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - Database Macrosismico Italiano

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)

Seismic history of Teglio  
 PlaceID IT\_12337  
 Coordinates (lat, lon) 46.172, 10.067  
 Municipality (ISTAT 2015) Teglio  
 Province Sondrio  
 Region Lombardia  
 No. of reported earthquake: 13

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	EpicentralArea	IoDef	MwDef
3	1580	1891	12	22				Valtellina	5-6	4,41
4	1802	1901	10	30	14	49	58	Garda occidentale	7-8	5,44
SF	1976	1909	1	13	0	45		Emilia Romagna orientale	6-7	5,36
4-5	2206	1917	12	9	21	40		Alta Engadina	6	4,6
4	2357	1927	8	13	1	0	51	Alta Engadina	5	4,4
2	2842	1961	11	23	1	12	5	Prealpi bergamasche	6-7	4,86
NF	3167	1976	12	13	5	24		Garda settentrionale	7	4,9
3-4	3594	1989	9	13	21	54	1,5	Prealpi Vicentine	6-7	4,85
4	3672	1991	11	20	1	54	17,6	Grigioni, Vaz	6	4,7
3	4005	1999	12	29	20	42	34,8	Alpi Retiche		4,78
2-3	4007	1999	12	31	4	55	53,9	Alpi Retiche		4,11
NF	4015	2000	4	6	17	40	36,7	Alpi Retiche		4,02
3	4103	2001	7	17	15	6	15,27	Val Venosta	5-6	4,78

Tabella 8 – Sismicità storica di Teglio (da database DBMI15)

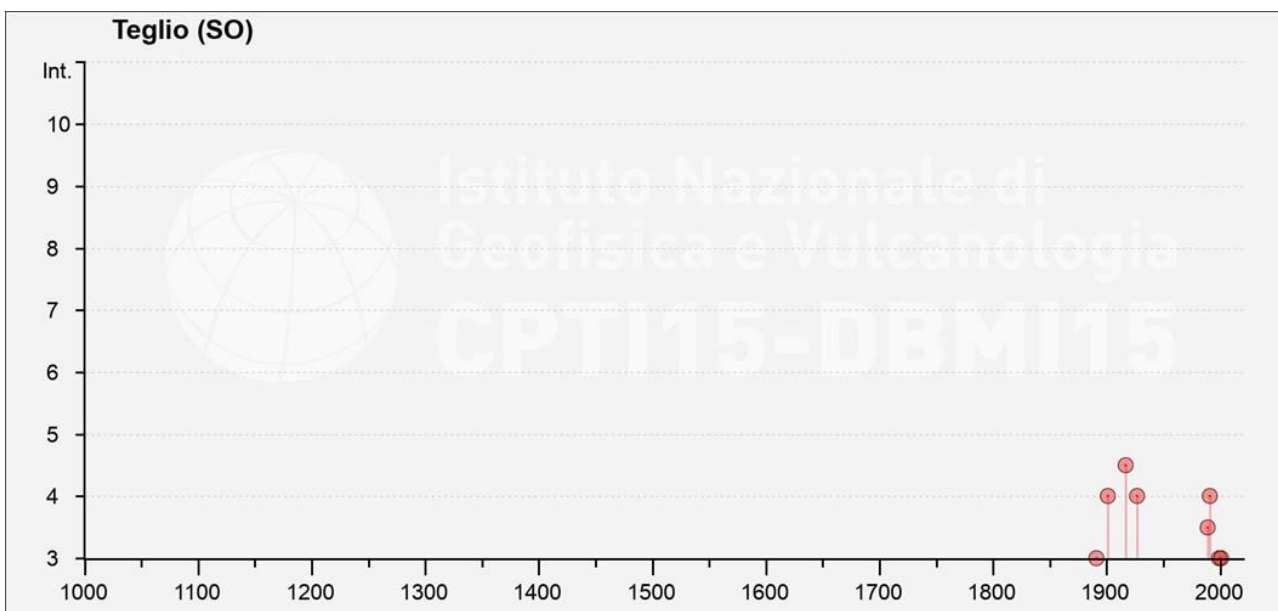


Figura 5-6 – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel Comune di Teglio

Nell'area di intervento si sono registrati risentimenti con intensità massima al sito generalmente inferiore a 4 con due eventi con intensità al sito compresa tra 4 e 5 generati da eventi con magnitudo momento alla sorgente comprese tra 3.5 e 5.4. Gli eventi di maggiore intensità risentiti al sito sono costituiti dal terremoto che interessò l'area dei Grigioni il 20/11/1911 con magnitudo momento all'epicentro pari a 4.7 e dal terremoto che colpì l'Alta Engadina il 9/12/1917 con magnitudo momento all'epicentro pari a 4.4.

## 5.2 Sismicità recente

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di studio dal 1985 ad oggi, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio pari a 100 km dal centro del tracciato di progetto.

Nel periodo esaminato si sono stati registrati 152 eventi con magnitudo superiore a 3 di cui 6 con magnitudo superiore a 4 e con massimo di 5.3 relativo all'evento del 20/11/1991 che interessò il territorio svizzero nell'area dei Grigioni; si riporta di seguito la planimetria con la localizzazione degli eventi in rapporto al tracciato di progetto evidenziato con linea rossa, ed una tabella riportante i primi 20 eventi ordinati per magnitudo decrescente.

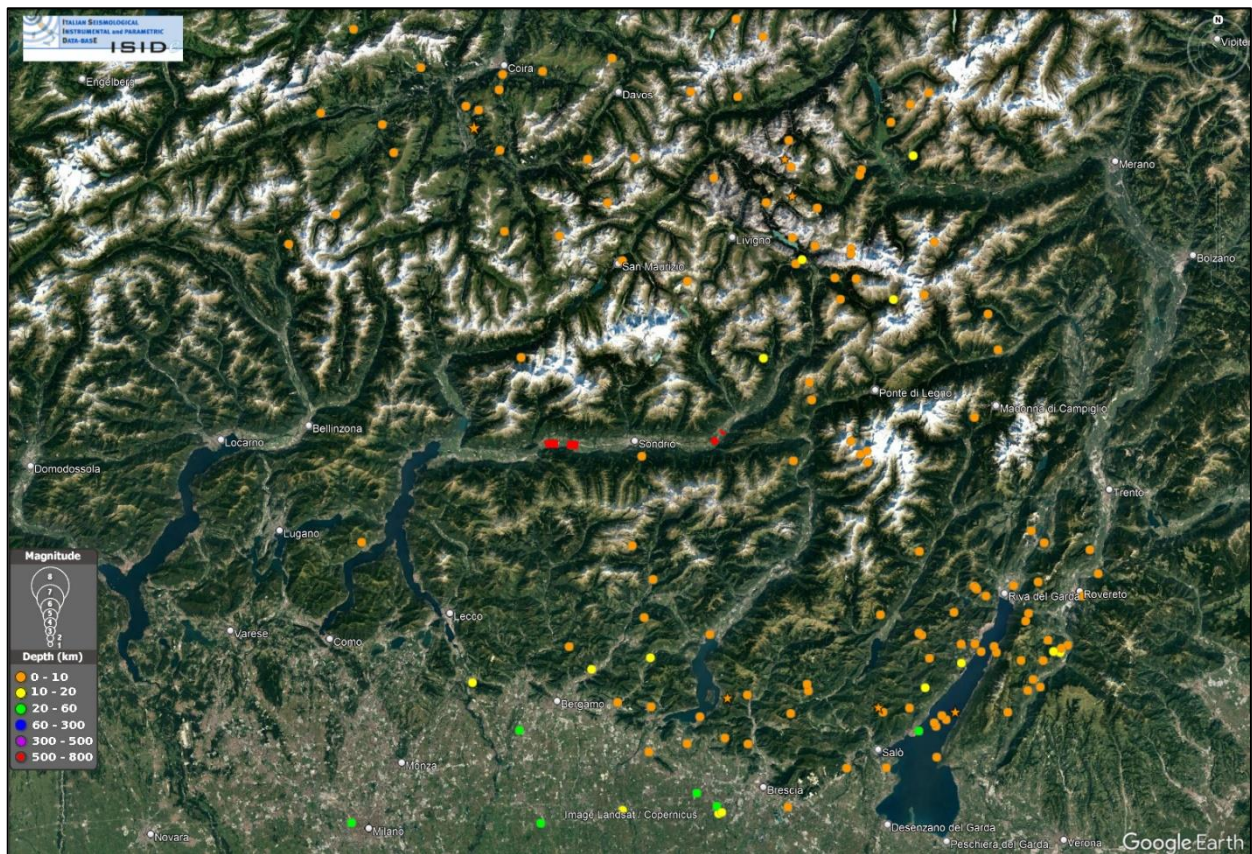


Figura 5-7 – Database ISIDE - Periodo 1985 – novembre 2022. Mappa dei sismi con Magnitudo  $\geq 3$

Fuso Orario: Italia | Dal 1985-01-01 | Magnitudo: 3+ | Punto: (46.1719, 9.8725) - Raggio: 100 km | Personalizza Ricerca | Mappa

Visualizzati terremoti da 1 a 30 dei **152** trovati (Ordinamento Magnitudo Decrescente) Esporta lista (UTC) ▾

Data e Ora (Italia)	Magnitudo	Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
1991-11-20 02:54:18	M 5.3	Svizzera (SVIZZERA)	5	46.74	9.46
2004-11-24 23:59:38	Mw 4.8	5 km NE Vobarno (BS)	5	45.69	10.52
1999-12-29 21:42:37	Md 4.5	Confine Italia Svizzera (SVIZZERA)	5	46.61	10.30
1987-05-24 12:23:25	Md 4.2	4 km N San Zeno di Montagna (VR)	5	45.67	10.72
2002-11-13 11:48:03	Md 4.2	2 km SE Sale Marasino (BS)	5	45.70	10.13
2000-04-06 19:40:38	Md 4.2	Confine Italia Svizzera (SVIZZERA)	5	46.68	10.29
2011-10-29 06:13:34	Mw 3.9	4 km SW Avio (TN)	10	45.71	10.91
1995-10-29 14:00:25	Md 3.9	3 km NW Cologne (BS)	5	45.61	9.93
2021-12-18 11:34:47	Mw 3.9	1 km W Dalmine (BG)	31	45.65	9.59
1992-02-17 20:23:15	Md 3.8	Svizzera (SVIZZERA)	5	46.78	9.44
2020-12-17 16:59:22	ML 3.8	3 km W Milano (MI)	55	45.47	9.15
2001-10-01 08:36:23	Md 3.8	5 km SE Valfurva (SO)	5	46.42	10.43
2000-06-10 07:51:07	Md 3.8	V3 Val Venosta (ITALIA, SVIZZERA, AUSTRIA)	5	46.97	10.21
1999-04-26 04:53:45	Md 3.7	1 km S Calliano (TN)	2	45.92	11.10
2015-08-01 22:47:51	ML 3.7	3 km E Ledro (TN)	5	45.90	10.77
2006-10-20 02:11:58	ML 3.7	NW Mura (BS)	2	45.72	10.34
2001-09-26 22:14:39	Md 3.7	3 km NE Malcesine (VR)	10	45.78	10.83
2008-01-21 17:40:36	ML 3.7	Confine Italia Svizzera (SVIZZERA)	2	46.70	9.53
1998-12-24 17:41:59	Md 3.6	2 km SW Torri del Benaco (VR)	5	45.59	10.67
1993-12-09 19:16:52	Md 3.6	2 km N Gardone Val Trompia (BS)	5	45.71	10.18

**Tabella 9** – Database ISIDE - Periodo 1985 – novembre 2022. Elenco dei primi 20 sismi con Magnitudo > 3

### 5.3 Contesto geodinamico e Sorgenti sismogenetiche

La sismicità risentita nell’area di progetto, non compresa in alcuna zona sismogenetica, ma molto prossima alla zona 903 il cui limite si individua a distanze minime comprese tra 4.7 km (Tratte TR3 e TR4) e 13.2 km (Tratta TR1) è riferibile dal punto di vista geodinamico prevalentemente alla zona sismogenetica 903 e 907 della zonazione ZS9.

La sismicità della zona sismogenetica 903 è legata alla convergenza attiva tra la placca Adria e la placca Europea e si esplica attraverso meccanismi di fagliazione attesi di tipo transpressivo o strike-slip, che danno luogo a terremoti con ipocentri mediante compresi nella classe di profondità 8÷12 km.

La sismicità della zona sismogenetica 907 è legata alla convergenza attiva tra la placca Adria e la placca Europea e si esplica attraverso meccanismi di fagliazione a prevalente componente inversa, che danno luogo a terremoti con ipocentri mediante compresi nella classe di profondità 8÷12 km. La zona include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia. È caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino evento del 1802, a cui viene assegnata una magnitudo Mw intorno a 5.9.

L’ubicazione delle zone sismogenetiche ed i meccanismi focali prevalenti ad esse associati sono mostrati di seguito in rapporto all’area di progetto.

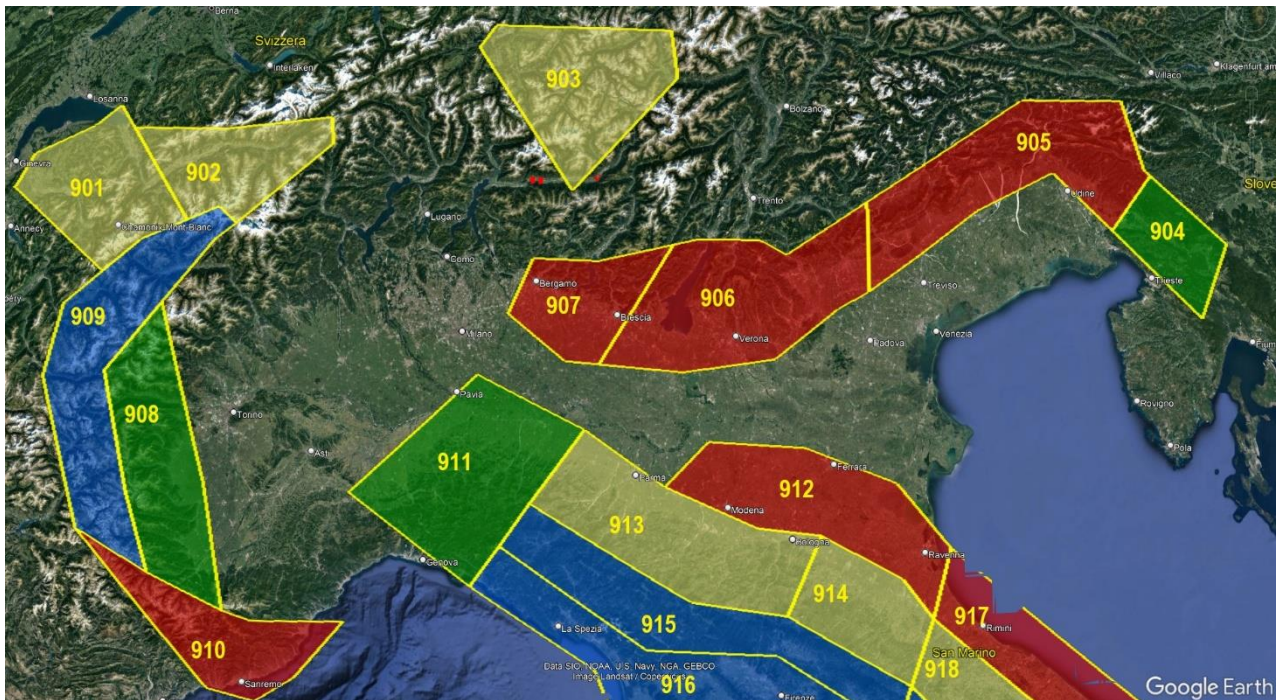


Figura 5-8 – Zone sismogenetiche ZS9

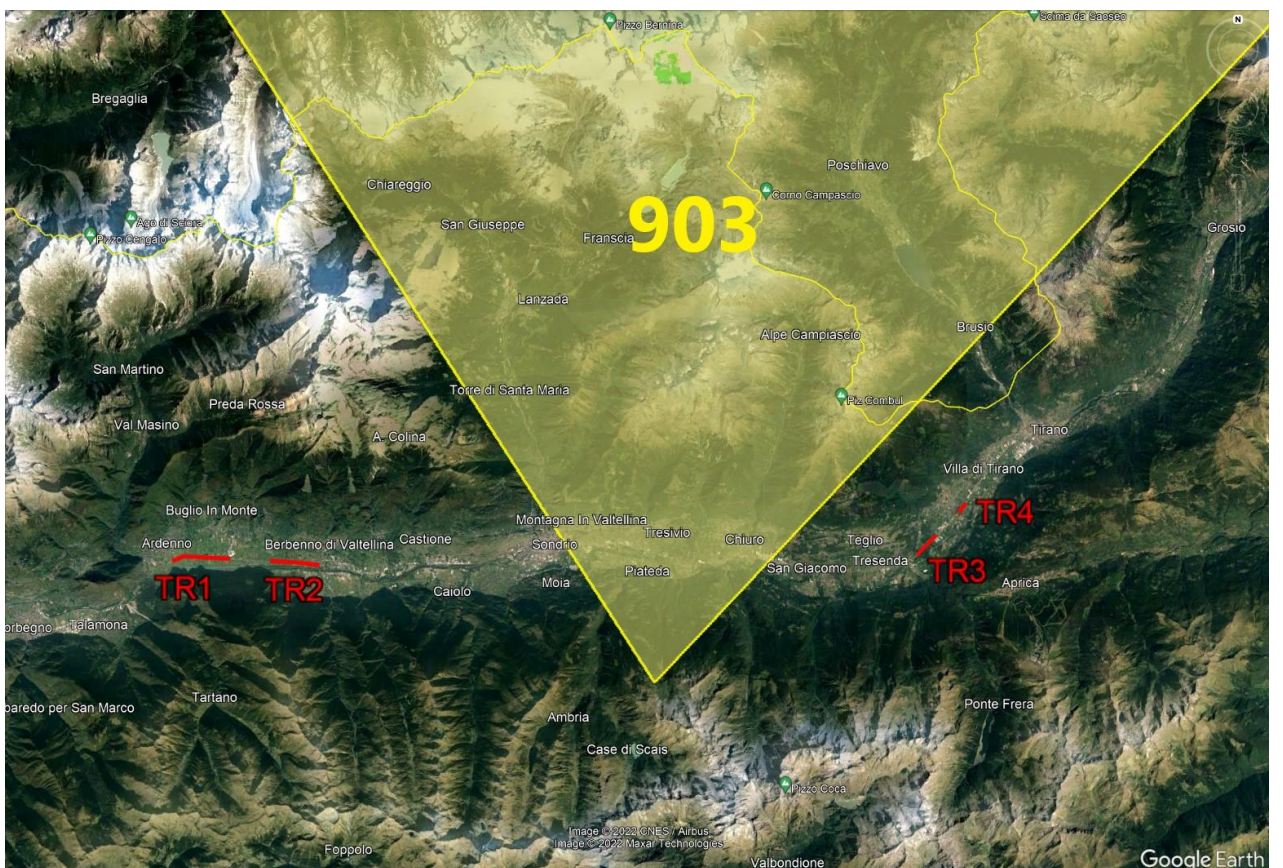


Figura 5-9 – Zone sismogenetiche ZS9 - Dettaglio

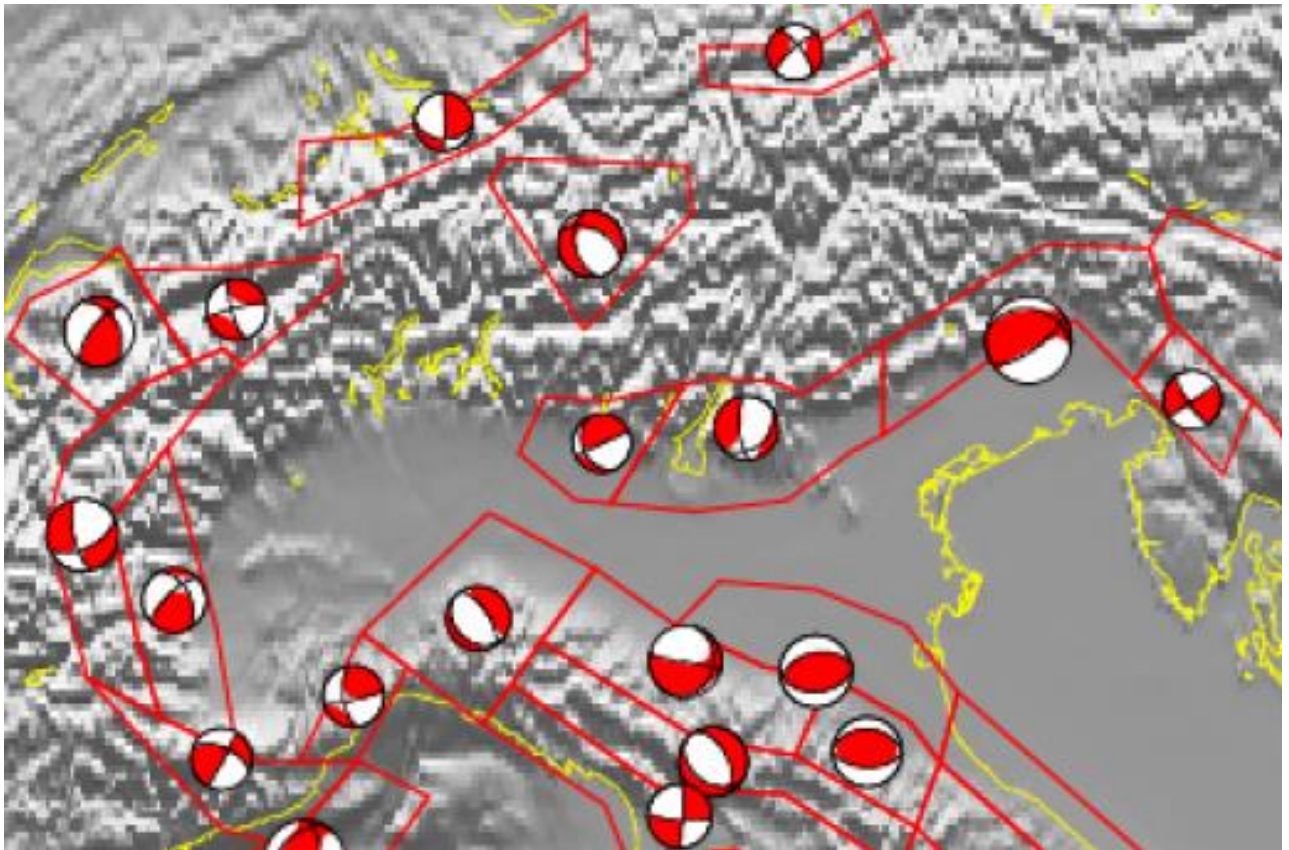


Figura 5-10 – Meccanismi focali

All'interno del contesto geodinamico sopra definito il database DISS 3.3.0, curato ed aggiornato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, costituisce un inventario georeferenziato di informazioni tettoniche, strutturali e paleosismologiche utili per la valutazione della pericolosità sismica del territorio a scala regionale.

Il progetto DISS, che è relativo a potenziali sorgenti sismogenetiche in grado di dar luogo ad eventi sismici con magnitudo superiore a 5.5, identifica:

- le **sorgenti sismogenetiche individuali**, che costituiscono una rappresentazione tridimensionale semplificata di piani di faglia che mostrano comportamenti caratteristici in rapporto alla lunghezza ed alla ampiezza della zona di rottura ed alla magnitudo attesa.
- le **sorgenti sismogenetiche composite**, che costituiscono una rappresentazione tridimensionale semplificata di faglie crostali contenenti un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche che non possono essere distinte singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate a specifici set di terremoti o a distribuzioni spaziali di terremoti.
- le **sorgenti sismogenetiche dibattute**, che sono faglie attive proposte come sorgenti sismogenetiche potenziali nella letteratura di settore ma non considerate sufficientemente affidabili o i cui parametri non hanno potuto essere inclusi in nessuna delle altre categorie.
- le **zone di subduzione**, che costituiscono ricostruzioni tridimensionali semplificate di zone di subduzione complesse, rappresentate da isolinee di profondità del lembo in subduzione e che, come le sorgenti composite, non sono associate a specifici set di terremoti o a distribuzioni spaziali di terremoti

Nella figura seguente si mostra l'ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di intervento, identificato con riquadro rosso.



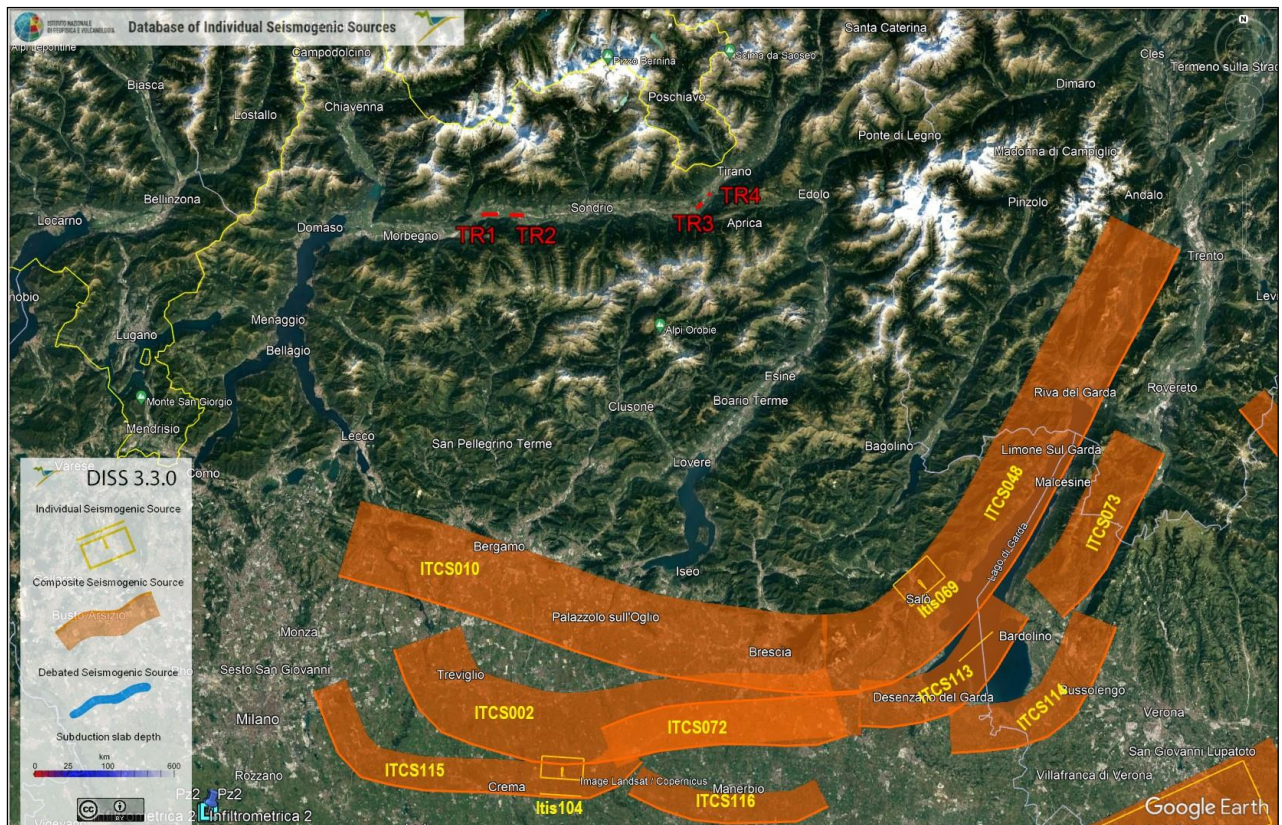


Figura 5-11 – Sorgenti sismogenetiche (da database DISS 3.3.0)

Come mostrato dall'immagine sopra riportata il sito di progetto non ricade all'interno di zone sismogenetiche riconosciute. Nella seguente tabella si riportano i massimi valori di magnitudo momento attesi nelle sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di progetto e la minima distanza relativa:

<b>Sorgente sismogenetica</b>	<b>Profondità [km]</b>	<b>Magnitudo momento Mw</b>	<b>Distanza minima dal sito [km]</b>
ITCS002: Western S-Alps external thrust	6÷13	6.8	64.2
ITCS010: Western S-Alps internal thrust	5÷12	6.9	48.5
ITCS048: Giudicarie	5÷12	6.8	57.3
ITCS072: Capriano - Castenedolo back-thrust	1÷6	6.3	80.3
ITCS073: Monte Baldo	3÷9	6.7	73.3
ITCS113: Sirmione	2÷7	6.5	76.1
ITCS114: Solferino	3÷8	6.4	88.4
ITCS115: Western S-Alps external thrust shallow-west	2÷6	6.2	75.5
ITCS116: Western S-Alps external thrust shallow-east	2.5÷5.5	5.9	86.9
Itis 069: Salò	6.5÷9	5.7	65.6
Itis104: Romanengo	2.5÷5.8	5.7	85.1

Tabella 10 – Sorgenti sismogenetiche (da database DISS 3.3.0)

## 5.4 Faglie capaci

Il progetto ITHACA (*ITaly HAZards from Capable faults*) - Catalogo delle faglie capaci in Italia - adotta la seguente definizione di **faglia capace**, che tiene conto delle definizioni riportate nelle guide tecniche IAEA, redatte per la caratterizzazione di siti destinati ad ospitare impianti ad alto rischio e del contesto geodinamico italiano:

- *Una faglia è definita capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.*
- *La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (fault displacement/offset) che una deformazione distribuita (warping).*
- *La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture "anomale", ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.*

Le faglie capaci, come definite sopra, possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche.

L'età dell'ultimo evento di attivazione di una faglia (*last activity*) è uno degli elementi discriminanti nella valutazione della "capacità" della struttura. L'analisi considera intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell'ambiente tettonico (IAEA, 2010) e dei tassi di deformazione:

- **Interplacca** (margini di placca)
  - 1) < 125 ka (Pleistocene Superiore) - Faglia capace
  - 2) 125 ka ≤ ultimo movimento accertato ≤ 2,58 Ma - Faglia da investigare con indagini appropriate
- **Intraplacca** (aree cratoniche)
  - 1) ≤ 780 ka (Pleistocene medio) - Faglia capace
  - 2) Quaternario (2.58 Ma) - Faglia da indagare

Le definizioni sopra riportate considerano diverse finestre temporali a seconda che l'area di indagine sia in zona Interplacca o Intraplacca. L'intervallo temporale più ampio, e quindi più cautelativo, previsto per le zone Intraplacca (movimenti entro il Pleistocene medio) è applicabile, in Italia, al solo settore sardo, ritenuto un'area intraplacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacini Balearico e Tirrenico) e quindi sia prossimo ad una situazione di interplacca.

Quindi, rispetto alle passate versioni di ITHACA, è stata introdotta la distinzione tra **faglia capace** e **faglia quaternaria da indagare**:

1. **faglia capace**: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente;
2. **faglia quaternaria da indagare**: faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per le aree cratoniche), per la quale non si può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.

Si evidenzia che il nel Catalogo ITHACA l'intervallo considerato per le strutture capaci (< 125 ka *sensu* IAEA, 2010 e 2015) è più esteso di quello (40 ka) considerato negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Dipartimento Protezione Civile, 2008) redatti dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) e poi nelle *Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)*.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA; il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni

disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico con la localizzazione delle faglie capaci in relazione all'area di intervento, rappresentata con linea gialla, che evidenzia l'assenza di interferenze con le strutture sismiche attive note.

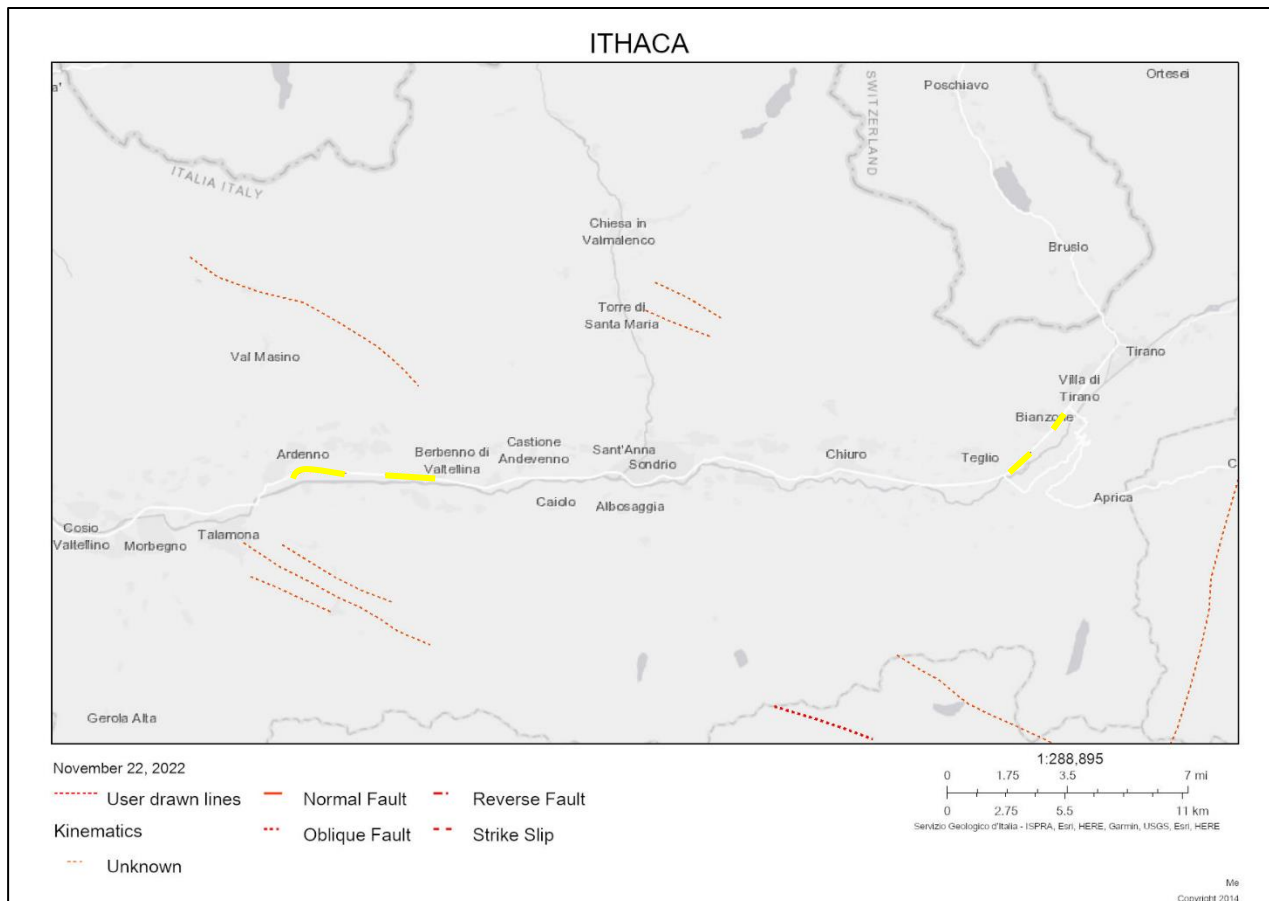


Figura 5-12 - Localizzazione faglie capaci "Progetto ITHACA"

## 5.5 Classificazione sismica

### 5.5.1 Riferimenti Normativi Nazionali

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica ed è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la sua valutazione deriva quindi dai dati sismologici disponibili e porta alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

La pericolosità sismica valutata all'interno di un sito deve essere stimata come l'accelerazione orizzontale massima al suolo (scuotimento) in un dato periodo di tempo, definendo i requisiti progettuali antisismici per le nuove costruzioni nel sito stesso.

La mappatura della pericolosità sismica del territorio italiano ha permesso di stilare una classificazione sismica dello stesso secondo le direttive promulgate dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri il 23 marzo 2003 – Ordinanza n. 3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", con la quale sono stati approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (allegato 1) e le connesse norme tecniche per fondazioni e muri di sostegno, edifici e ponti (allegati 2, 3 e 4).

In data 11 maggio 2006 è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3519, con la quale sono stati approvati i "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Allegato 1.A) e la Mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale (Allegato 1.B) definiti nel "Progetto INGV-DPC S1 (2006). Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi". I criteri sono stati successivamente aggiornati, al fine di armonizzarne il testo con la revisione delle Norme Tecniche per le costruzioni e sono stati approvati con parere favorevole dell'Assemblea del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007, voto n. 36.

Le mappe di pericolosità sismica in riferimento all'Ordinanza n. 3519, per il territorio italiano e per la regione Lombardia, sono illustrate nella Figura 5.13 e nella Figura 5.14.

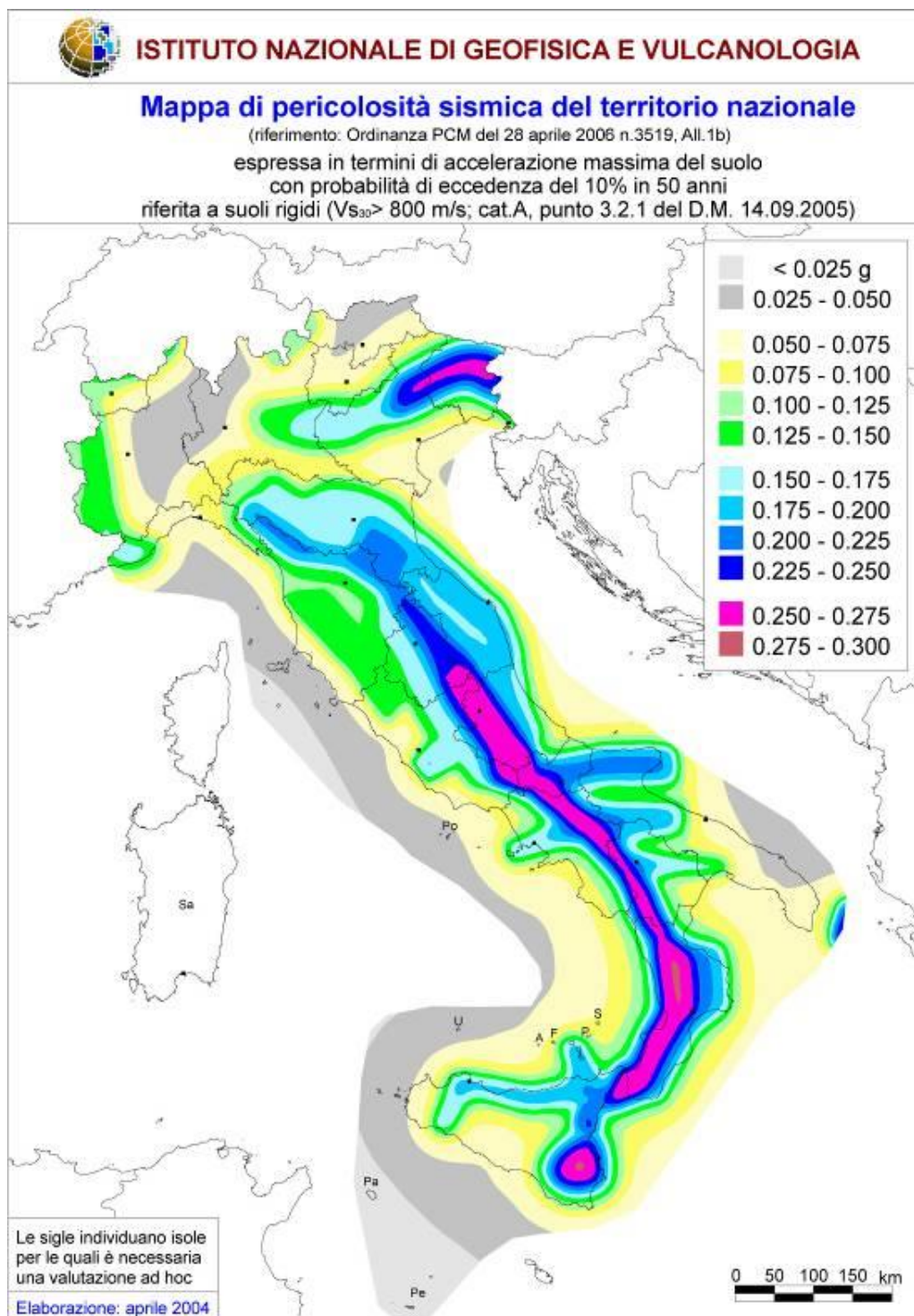


Figura 5.13 – Mapa di pericolosità sismica OPCM n. 3519

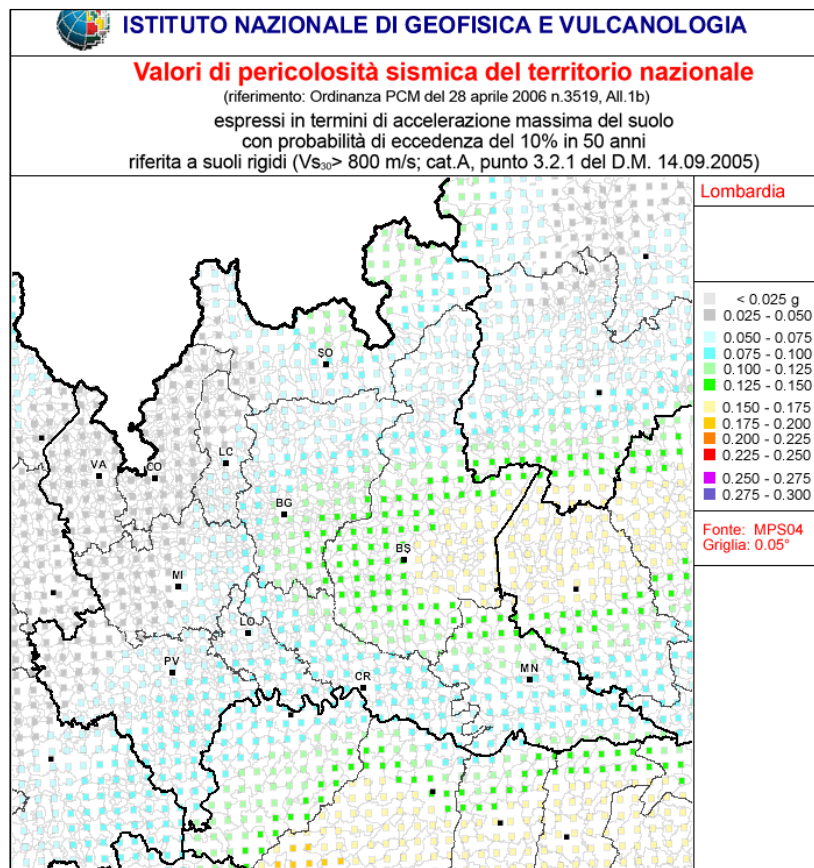


Figura 5.14 - Mappa di pericolosità sismica OPCM. 3519, Lombardia

Con la pubblicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 gennaio 2008) si sono definiti i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 ("Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica ma **definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo  $a_g$  sia di forma dello spettro di risposta.**

Secondo il Voto n. 36, "l'azione sismica è quindi valutata sito per sito e costruzione per costruzione e non riferendosi ad una zona sismica territorialmente coincidente con più entità amministrative, ad un'unica forma spettrale e ad un periodo di ritorno prefissato ed uguale per tutte le costruzioni come avveniva in precedenza".

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una "pericolosità sismica di base" in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La pericolosità sismica di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati del suddetto studio:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ( $F_0$  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  $T^*c$  – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (*reticolo di riferimento*) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;

- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la **risposta sismica locale**.

L'Allegato B alle citate norme fornisce le tabelle contenenti i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, consultabile sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Nelle nuove NTC18 (Decreto ministeriale del 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», pubblicato su Gazzetta Ufficiale il 20 febbraio 2018, con entrata in vigore dal 22 marzo 2018), **le azioni sismiche vengono determinate facendo riferimento ai valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_c$  riportati nell'allegato B delle NTC08.**

### 5.5.2 Riferimenti Normativi Regionali

All'interno del percorso normativo nazionale, con Delibera di Giunta n. 2129 dell'11 luglio 2014, la Regione Lombardia ha provveduto alla **riclassificazione sismica del territorio lombardo** (Figura 5.15).

La nuova classificazione è entrata in vigore il **10 aprile 2016** (d.g.r. n. 4144 dell' 8 ottobre 2015).

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia l'ambito di progetto risulta classificato in **Zona Sismica 3 – bassa sismicità**.

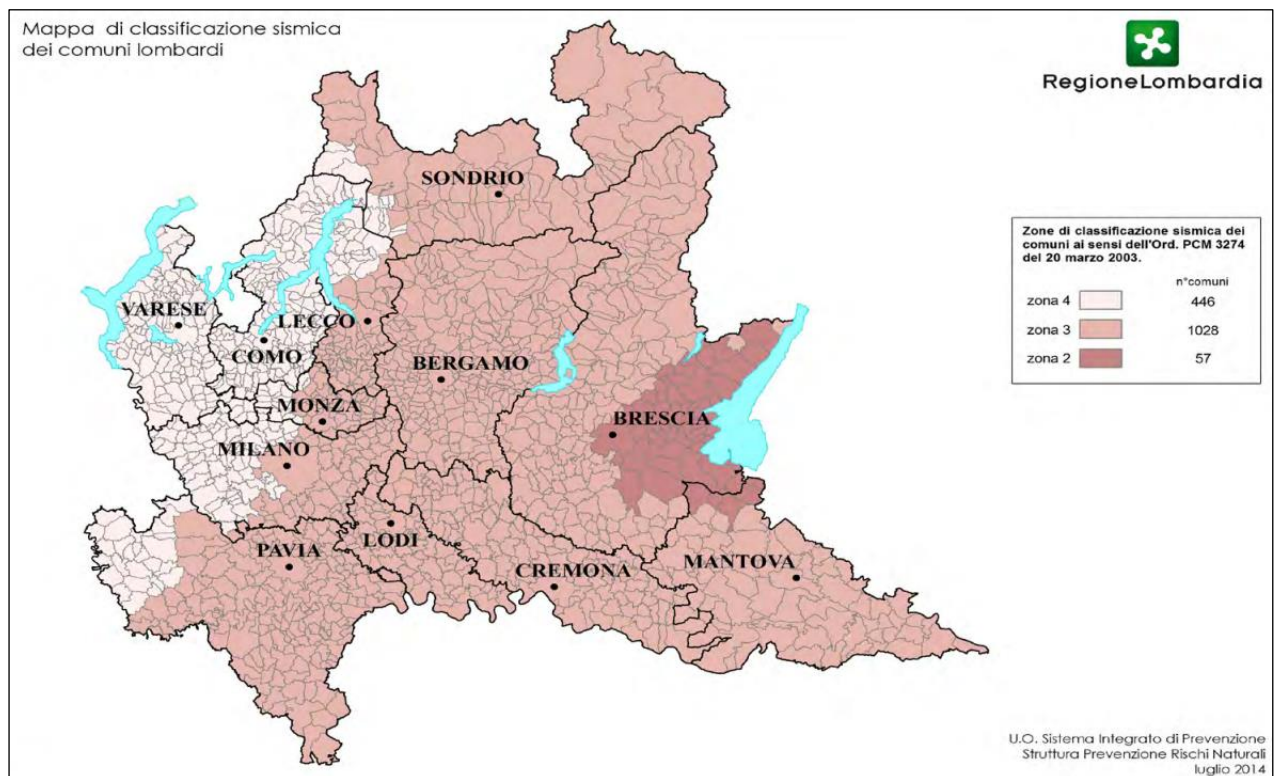


Figura 5.15 - Classificazione sismica dei comuni lombardi

Con la pubblicazione sul B.U.R.L. del 19 gennaio 2006, 3° supplemento straordinario, della d.g.r. n. 8/1566 del 22 dicembre 2005 "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 Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12", la Regione Lombardia ha definito le linee guida e le procedure operative per la valutazione degli effetti sismici di sito a cui uniformarsi nella definizione

del rischio sismico locale. Tali criteri sono successivamente stati aggiornati con d.g.r. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 e d.g.r. n. 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 Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12 approvati con D.G.R. 22/05 n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374" pubblicata sul B.U.R.L. del 15 dicembre 2011, serie ordinario n. 50, a seguito delle avvenute modifiche in materia di norme tecniche sulle costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).

Secondo le direttive regionali, l'analisi della sismicità del territorio in termini di valutazione dell'amplificazione sismica locale deve seguire le metodologie dell'Allegato 5 alla d.g.r. n. IX/2616/2011, che prevedono **tre diversi livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza (1° livello, 2° livello, 3° livello).**

Nella tabella seguente, secondo quanto indicato al punto 1.4.4 della d.g.r. n. IX/2616/2011, viene sintetizzato l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza.

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato &gt; valore soglia comunale;</li> <li>- Nelle zone PSL Z1 e Z2.</li> </ul>
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando Fa calcolato &gt; valore soglia comunale;</li> <li>- Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.</li> </ul>

PSL = Pericolosità Sismica Locale



## 5.6 EFFETTI SISMICI LOCALI

### 5.6.1 Approfondimento sismico di I livello

I Piani di Governo del Territorio dei comuni attraversati dal tracciato di progetto sono dotati di studi di approfondimento sismico di I livello i cui stralci relativi sono di seguito mostrati.

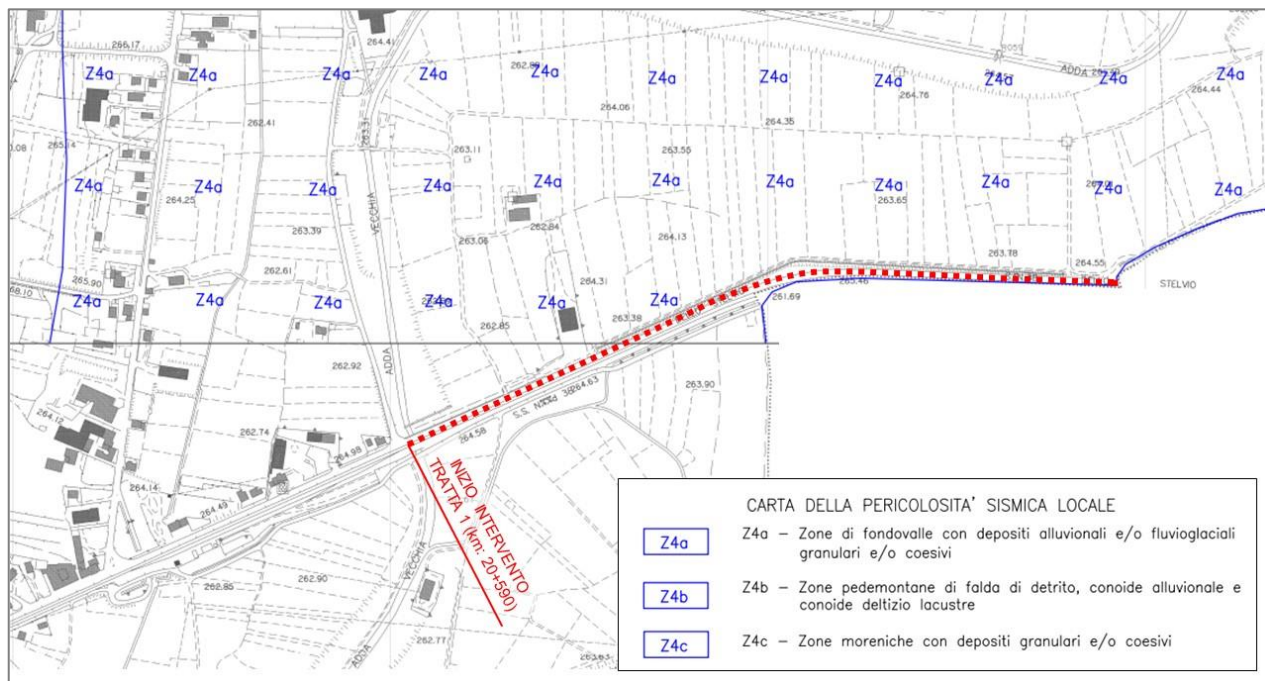


Figura 5.16: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio comunale di Ardenno - Tratta T1

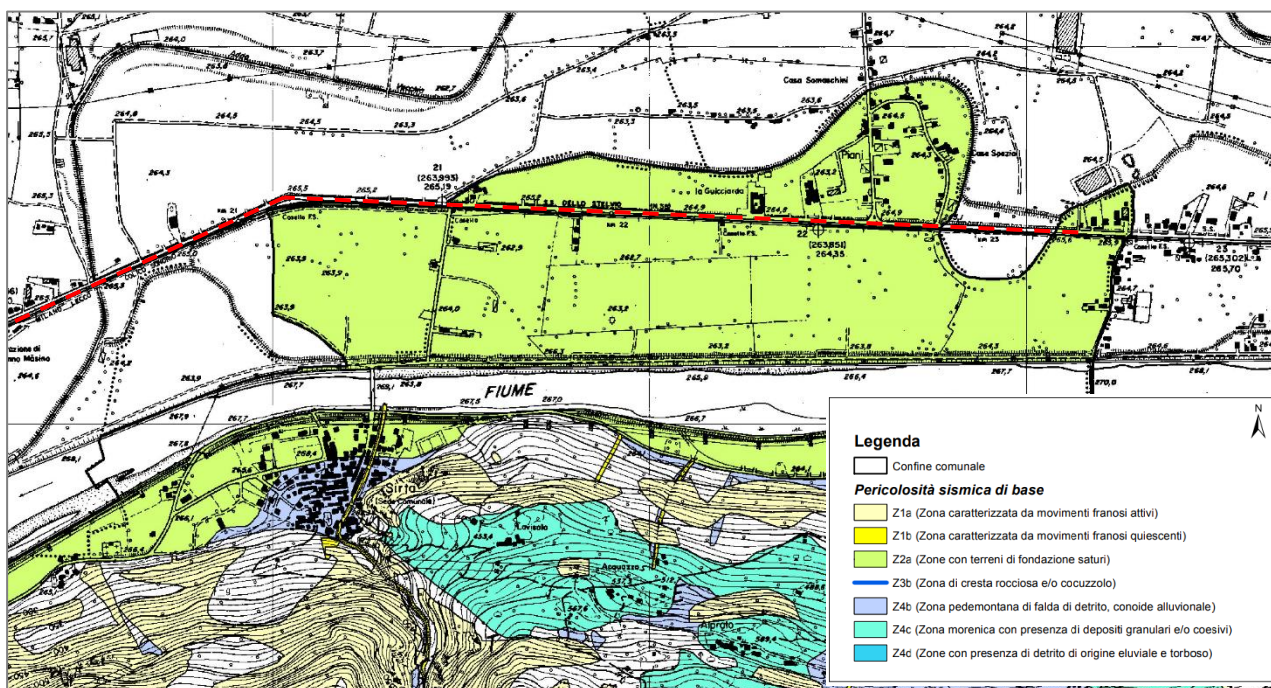


Figura 5.17: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio comunale di Forcola - Tratta T1

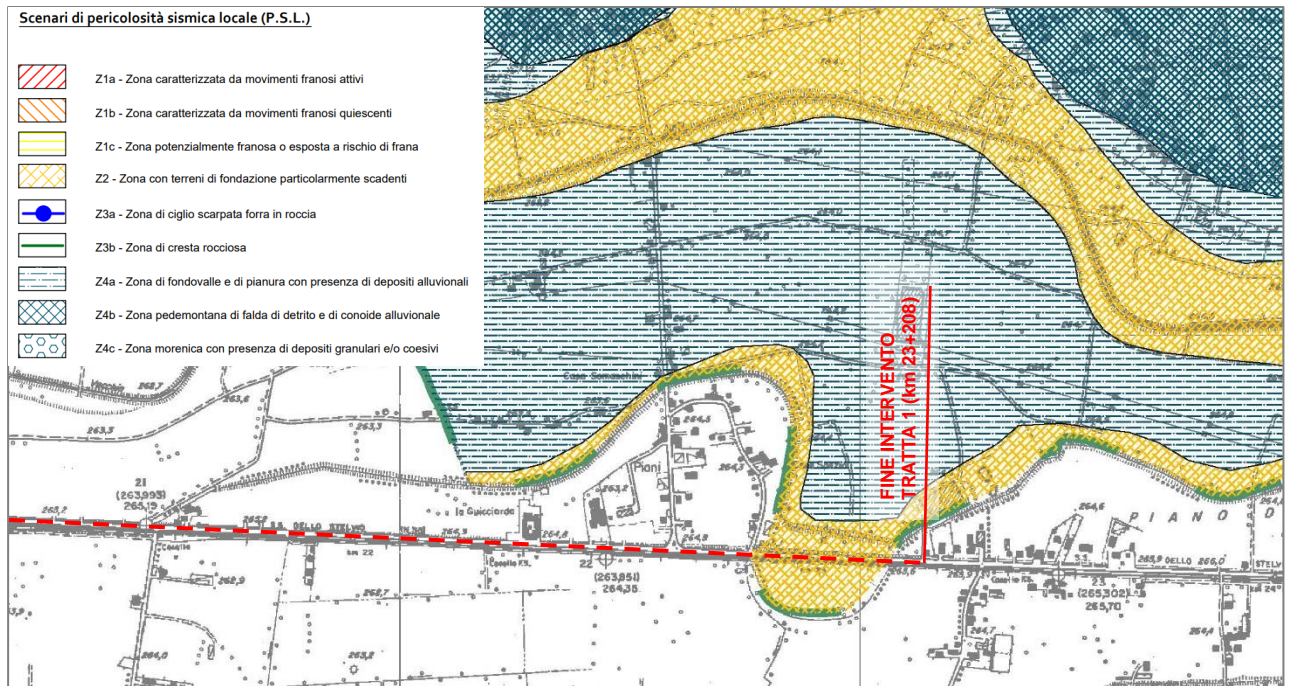


Figura 5.18: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio comunale di Buglio in Monte - Tratta T1

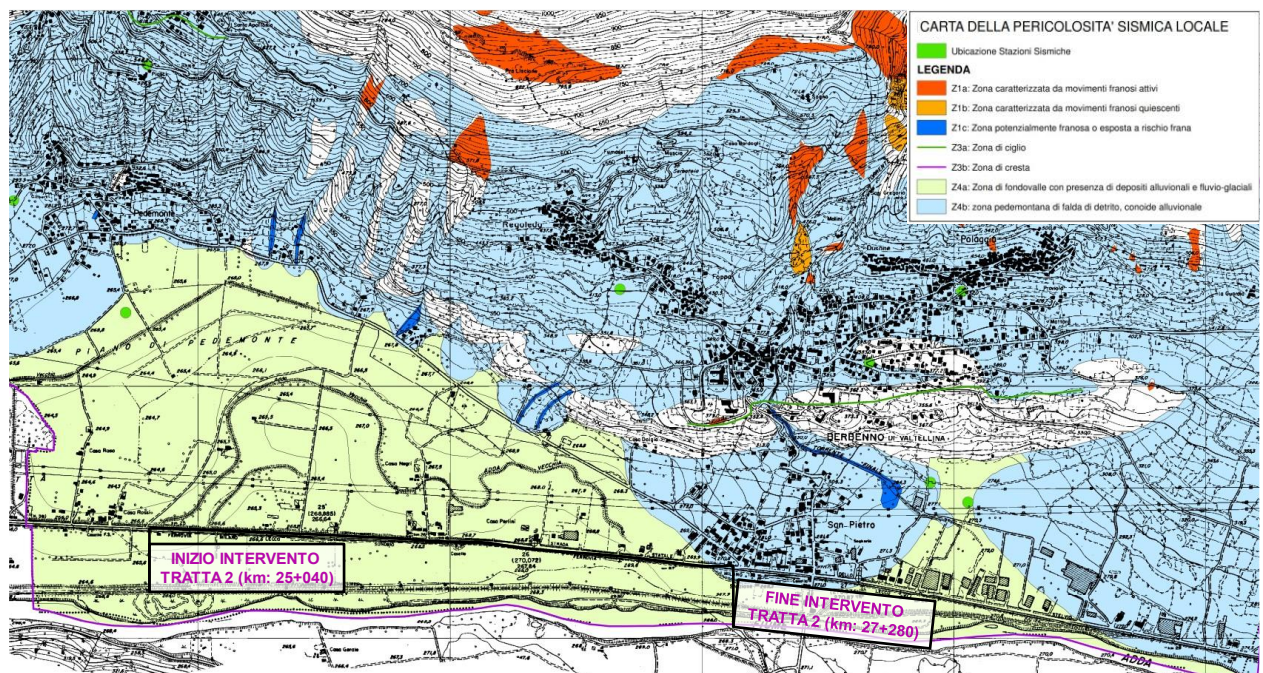


Figura 5.19: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio comunale di Berbenno di Valtellina - Tratta T2

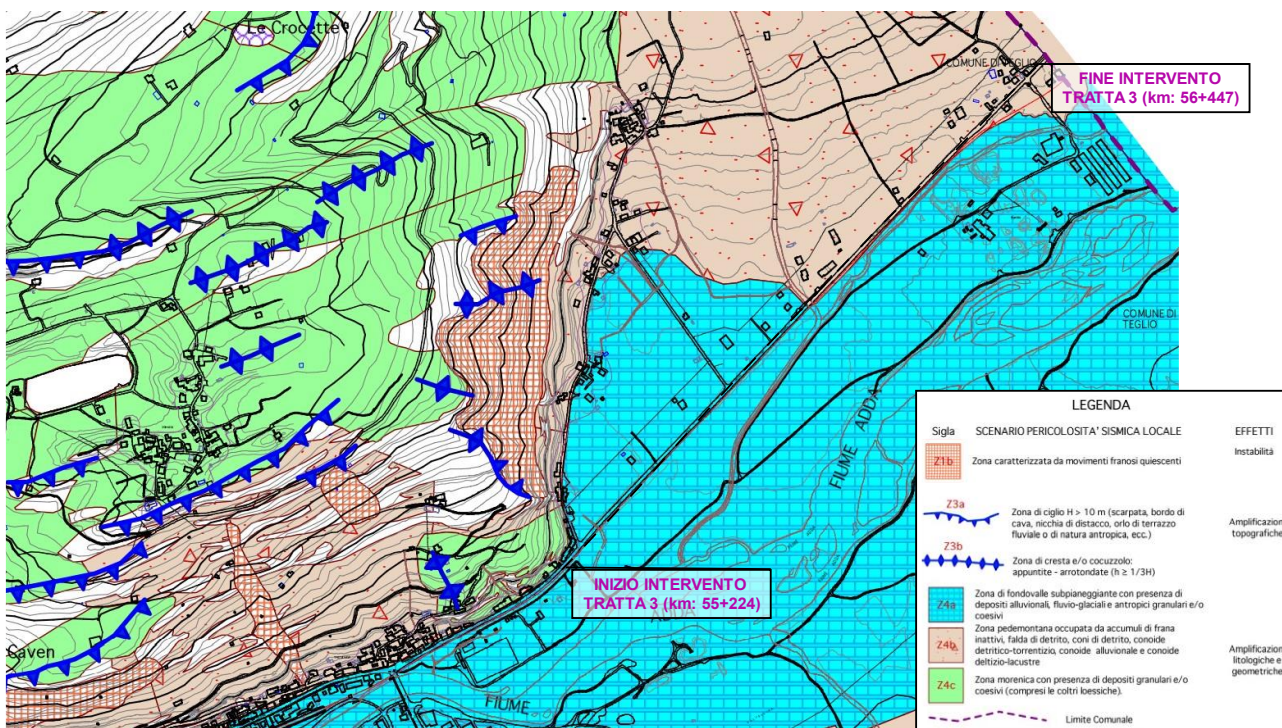


Figura 5.20: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio comunale di Teglio - Tratta T3

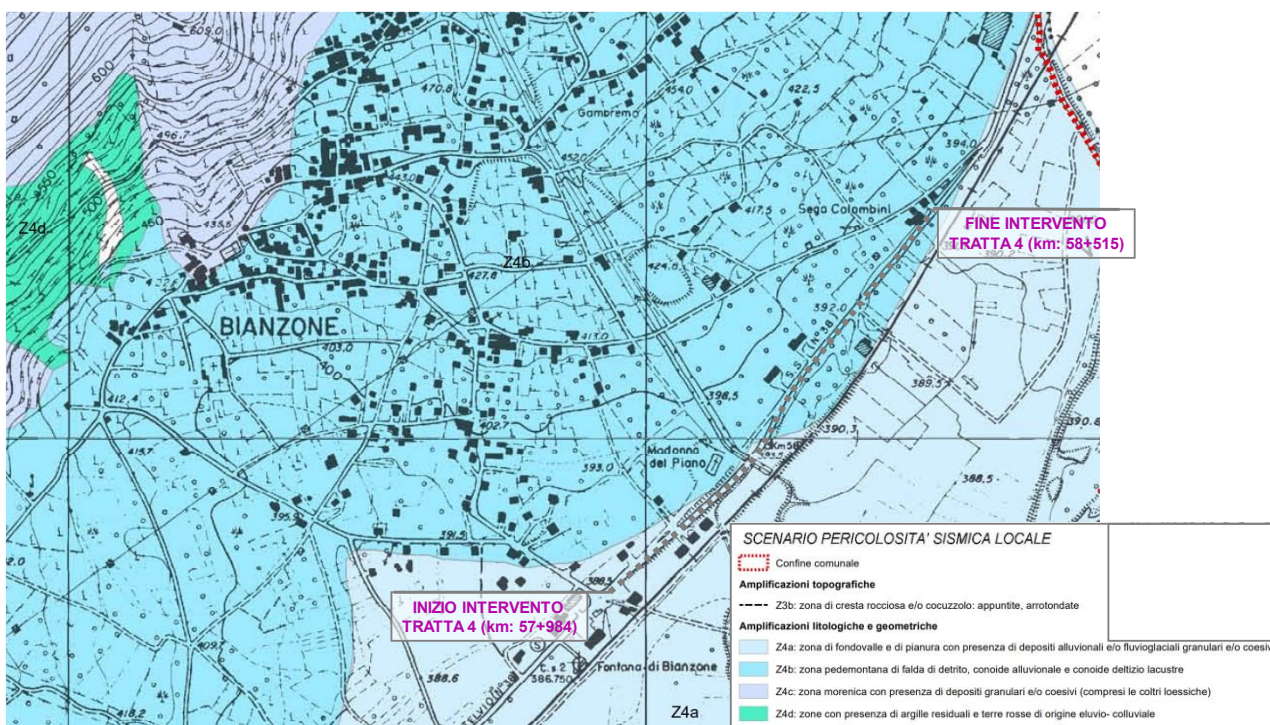


Figura 5.21: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale del territorio comunale di Bianzone - Tratta T4

Nella seguente tabella si mostra una sintesi delle Zone di Pericolosità Sismica Locale attraversate dal tracciato di progetto.

Tratta	Zona PSL attraversate	Effetti
TR1	Z4a, Z2a	Amplificazioni stratigrafiche, cedimenti
TR2	Z4a, Z4b	Amplificazioni stratigrafiche
TR3	Z4a, Z4b	Amplificazioni stratigrafiche
TR4	Z4a, Z4b	Amplificazioni stratigrafiche

**Tabella 11** – Zone PSL da approfondimenti sismici di I livello

### 5.6.2 Approfondimento sismico di II livello

I Piani di Governo del Territorio dei comuni attraversati dal tracciato di progetto non sono dotati di studi di approfondimento sismico di II livello; si è pertanto proceduto in questa sede alla esecuzione di approfondimenti sismici di II livello sulla base degli esiti delle prospezioni sismiche MASW disponibili.

Ai fini della valutazione delle azioni sismiche di progetto è necessario valutare le modifiche in frequenza ed ampiezza del segnale sismico di base agente al bedrock indotte da fenomeni di amplificazione stratigrafica e topografica sitospecifici.

Per la valutazione numerica degli effetti di amplificazione sismica sitospecifica la procedura di cui al punto 1.4.4 dell'Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Sintesi delle procedure", prevede l'applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza.

Ricadendo l'ambito di progetto in **zona sismica 3** gli approfondimenti di II livello sono obbligatori per tutti gli edifici ricadenti in aree a pericolosità sismica locale PSL Z3 e Z4.

L'analisi di 2° livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari PSL Z4, consentendo di verificare se l'analisi di risposta sismica locale semplificata, basata sull'individuazione della categoria di sottosuolo ai sensi del punto 3.2.2 del D.M. 17/01/18, risulta sufficiente o insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fattore di amplificazione  $F_a$  calcolato superiore a  $F_a$  di soglia comunale fornito da Regione Lombardia). Qualora a mezzo della procedura di II livello si verificasse l'inadeguatezza della procedura semplificata, in fase di progettazione, si dovrà procedere ad indagini ed approfondimenti di III livello o, in alternativa, si potrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Il valore di  $F_a$  si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1÷0.5s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5÷1.5s (strutture più alte e flessibili) in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.

La procedura per la verifica degli effetti litologici (punto 2.2.2 dell'Allegato 5 alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.") tramite l'impiego delle schede predisposte dalla Regione Lombardia, necessita della conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle  $V_s$  con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s (ottenuta utilizzando metodi di indagine diretti ed indiretti, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile) e dello spessore e velocità di ciascun strato.

#### 5.6.2.1 Determinazione della categoria sismica di sottosuolo

Per la valutazione degli effetti di amplificazione stratigrafica è stata determinata la categoria sismica di sottosuolo in funzione del valore di  $V_{s,eq}$  misurato in sito mediante le indagini sismiche MASW condotte lungo il tracciato di progetto e definito secondo la seguente espressione, in accordo al D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni":

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

Dove **H** rappresenta la profondità del substrato sismico, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto addensato caratterizzata da valori di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_S$  non inferiori a 800 m/s e  $h_i$  e  $V_{S,i}$  rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio di ciascuno strato. Nel caso in cui la profondità del substrato **H** sia superiore a 30 m dal piano di riferimento (piano di posa delle fondazioni superficiali, testa dei pali di fondazione, testa di opere di sostegno di terreni naturali, piano di posa delle fondazioni di muri di sostegno di terrapieni) la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$ , ottenuto ponendo H pari a 30 nella precedente espressione e considerando le velocità di propagazione dei diversi strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso in esame, assumendo un livello di calcolo alla profondità di 1.0 m dalla quota di p.c. si ottengono i valori di  $V_{S,eq}$  di seguito indicati:

Tratta	Indagine	$V_{S,eq}$ [m/s]	Categoria sismica
TR1	MASW 1	379	B
	MASW 2	214	C
	MASW 3	268	C
TR2	MASW 1	326	C
	MASW 2	374	B
TR3	MASW 1	328	C
	MASW 2	392	B
TR4	MASW 1	375	B
	MASW 2	428	B

Tabella 12 – Valori di  $V_{S,eq}$  e categoria sismica

#### 5.6.2.2 Individuazione della scheda di valutazione semplificata

In accordo alla procedura regionale di cui all'allegato 5 della D.G.R. n° IX/2616/2001 si è proceduto a confrontare le stratigrafie di propagazione delle onde di taglio rilevate in sito a mezzo delle prospezione sismiche MASW con le curve di riferimento attualmente disponibili, estendo in profondità le informazioni disponibili fino al raggiungimento di velocità di propagazione delle onde di taglio pari a 800 m/s come mostrato nelle seguenti figure.

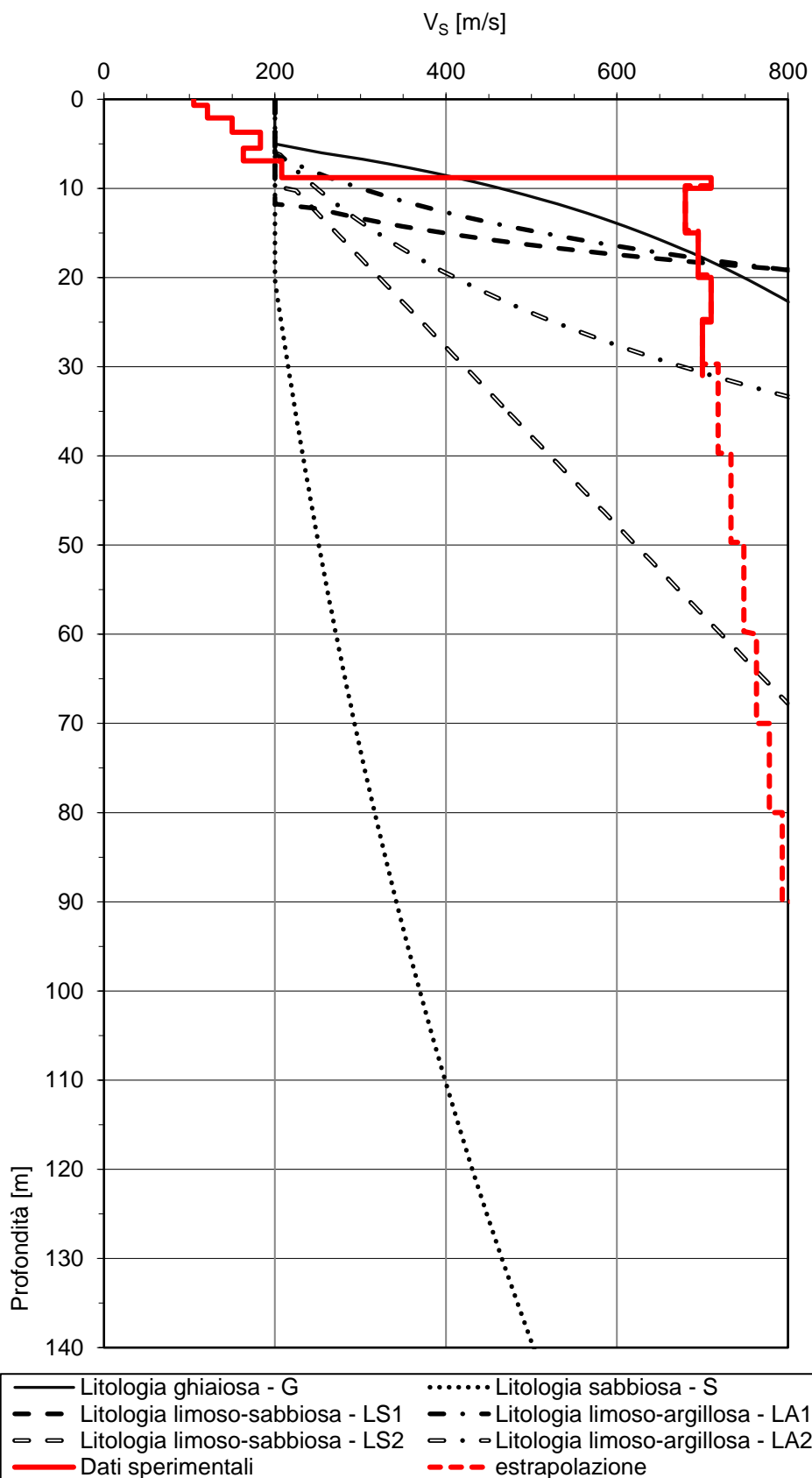


Figura 5.22: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR1 – MASW 1

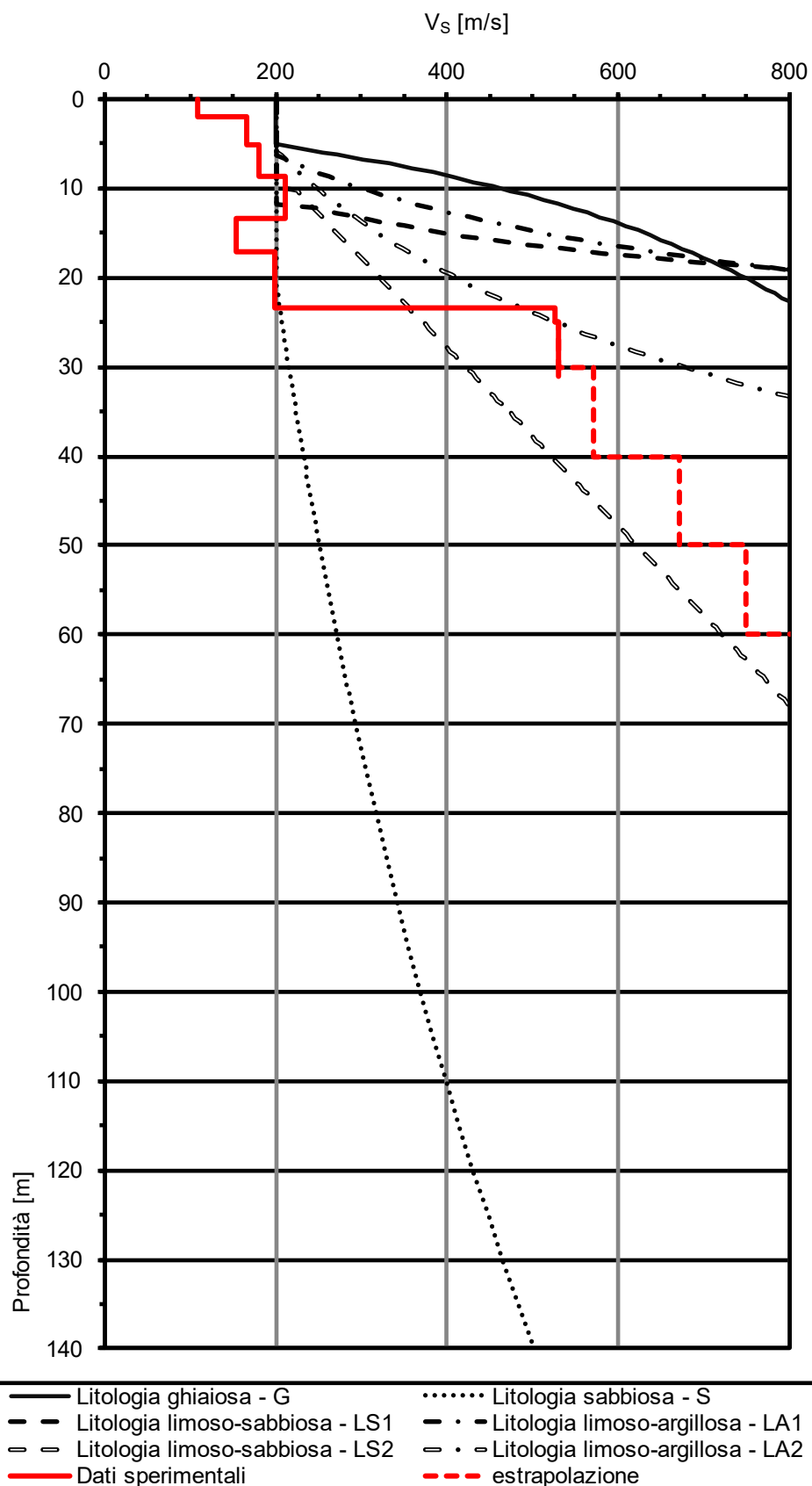


Figura 5.23: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR1 – MASW 2

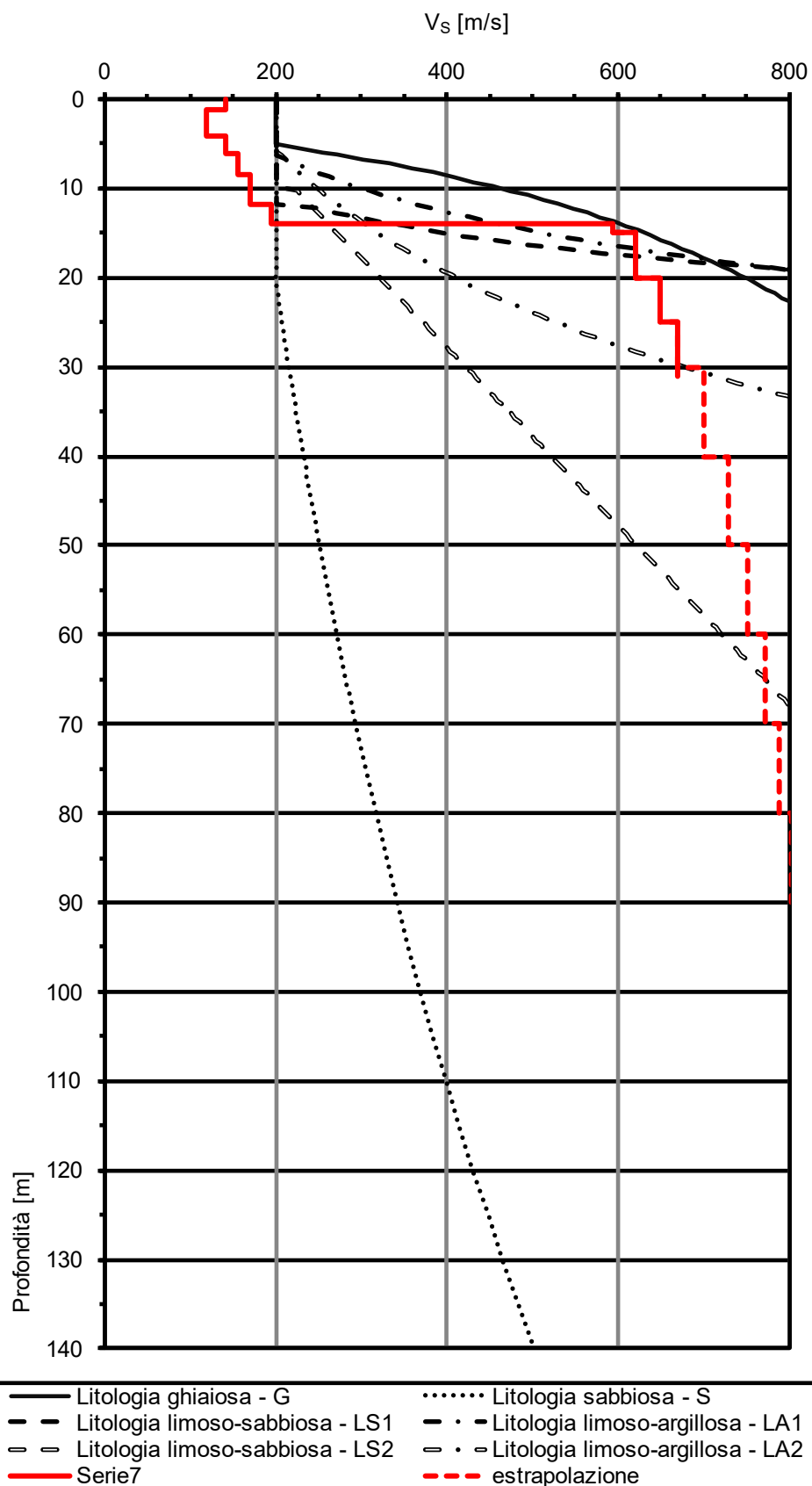


Figura 5.24: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR1 – MASW 3



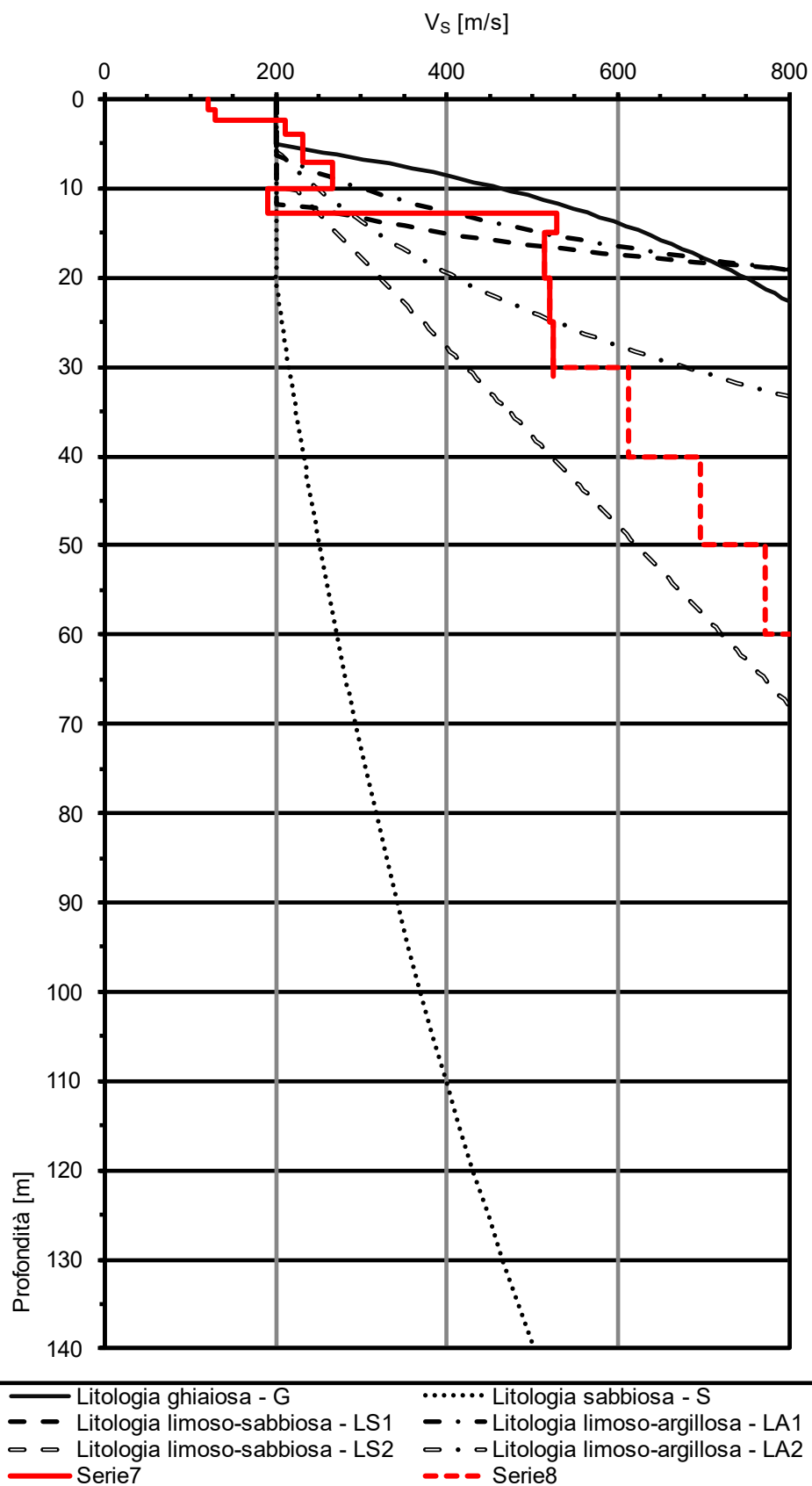


Figura 5.25: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR2 – MASW 1

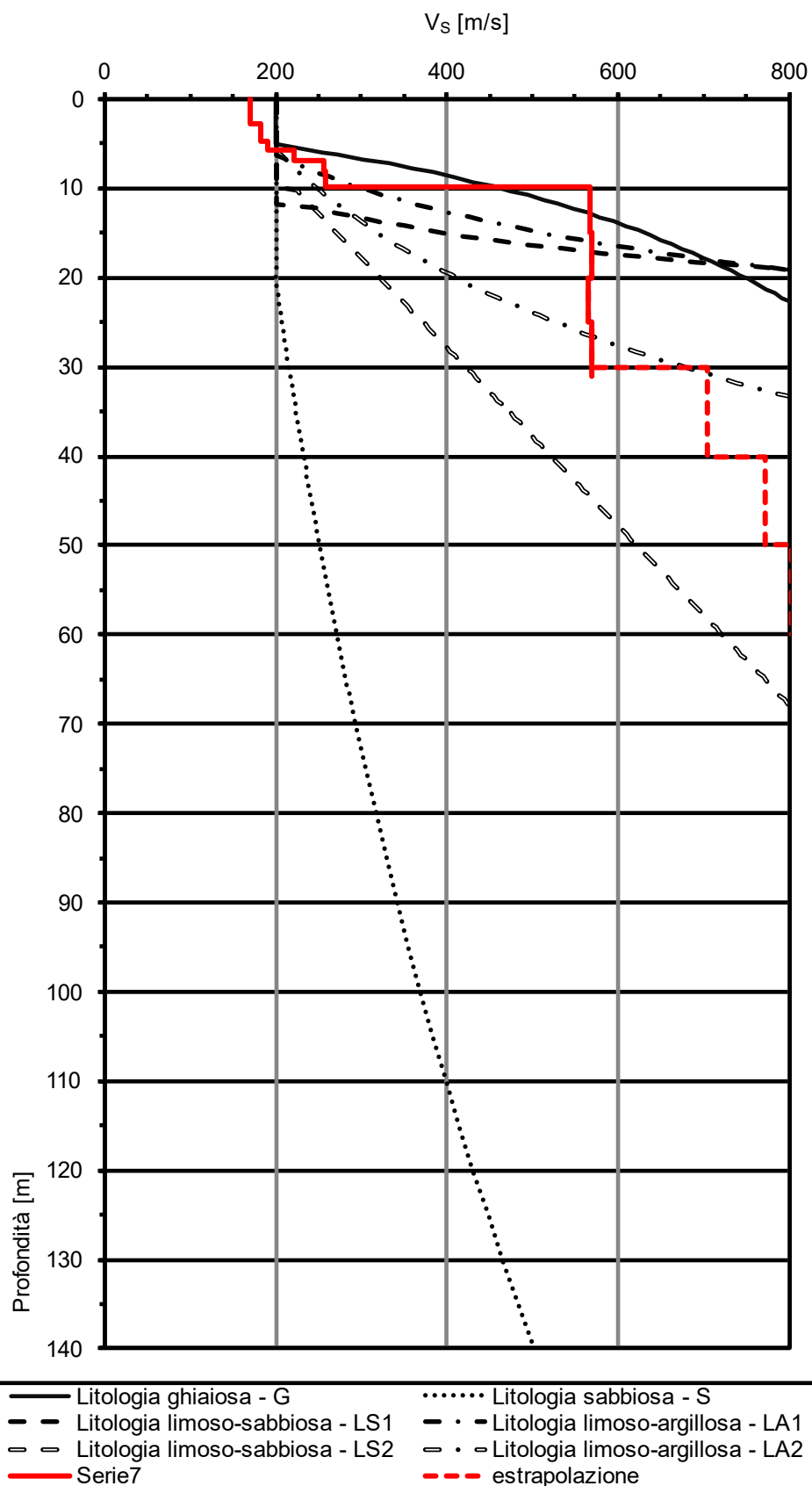


Figura 5.26: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR2 – MASW 2

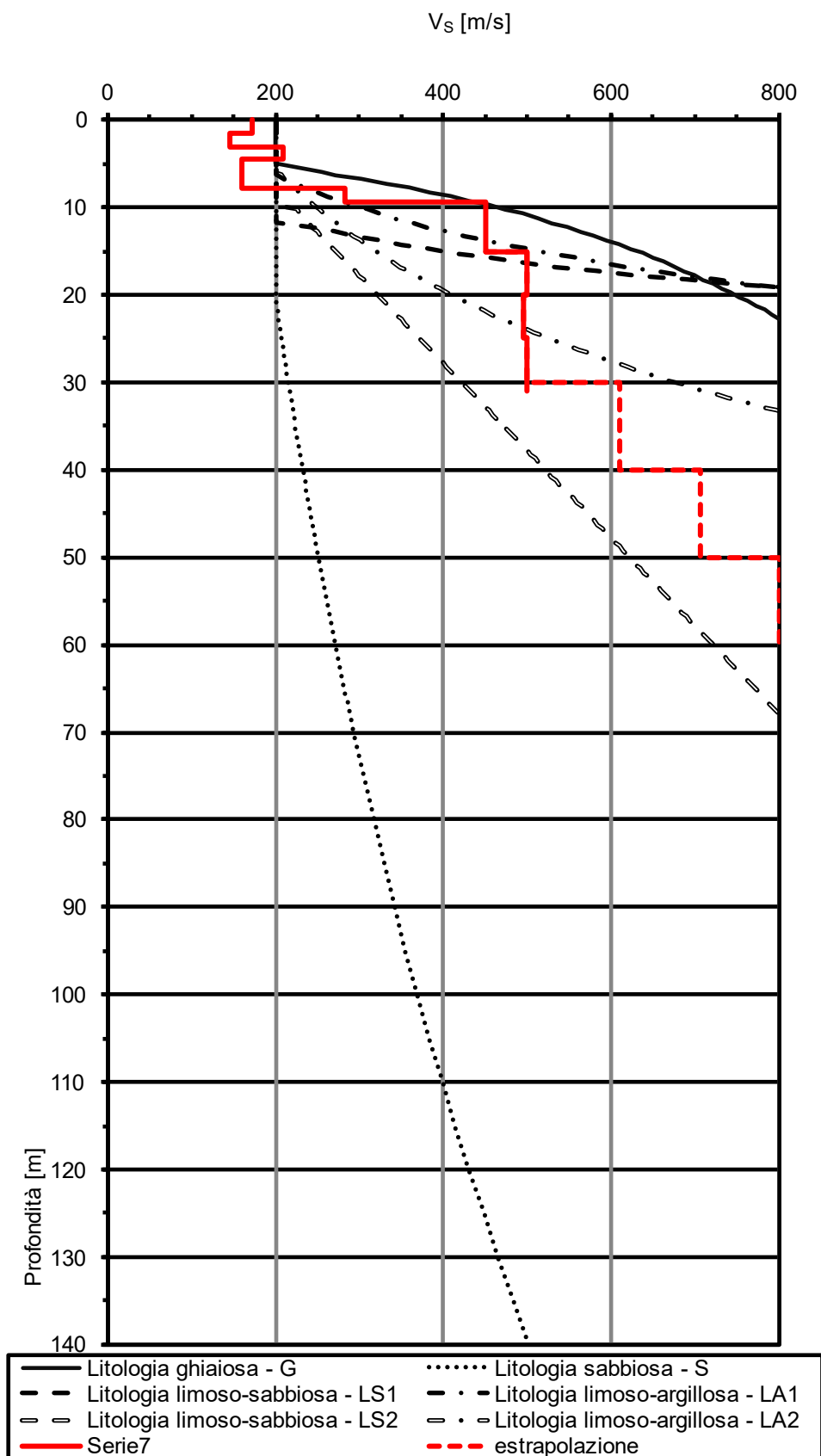


Figura 5.27: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR3 – MASW 1

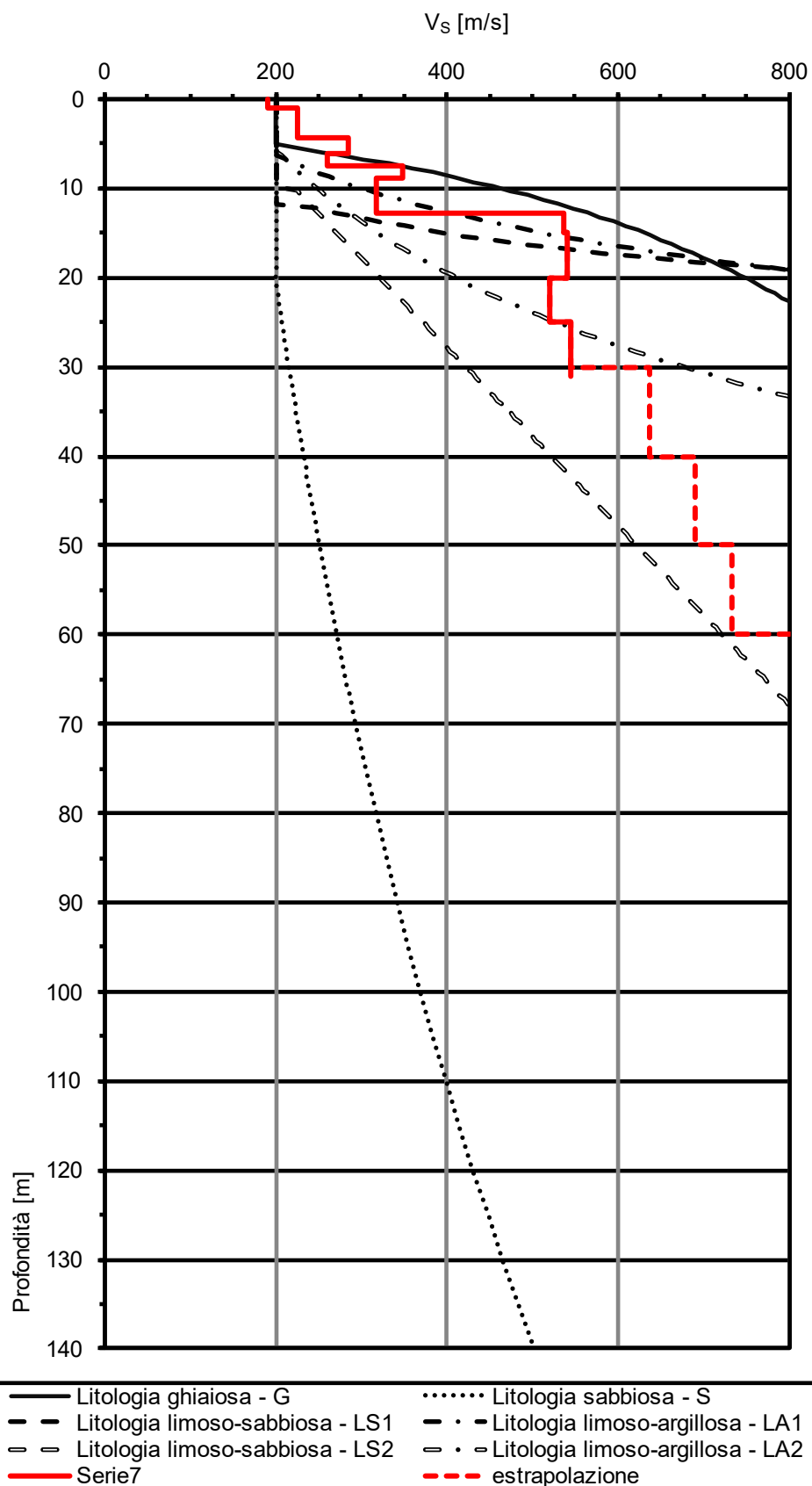


Figura 5.28: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR3 – MASW 2

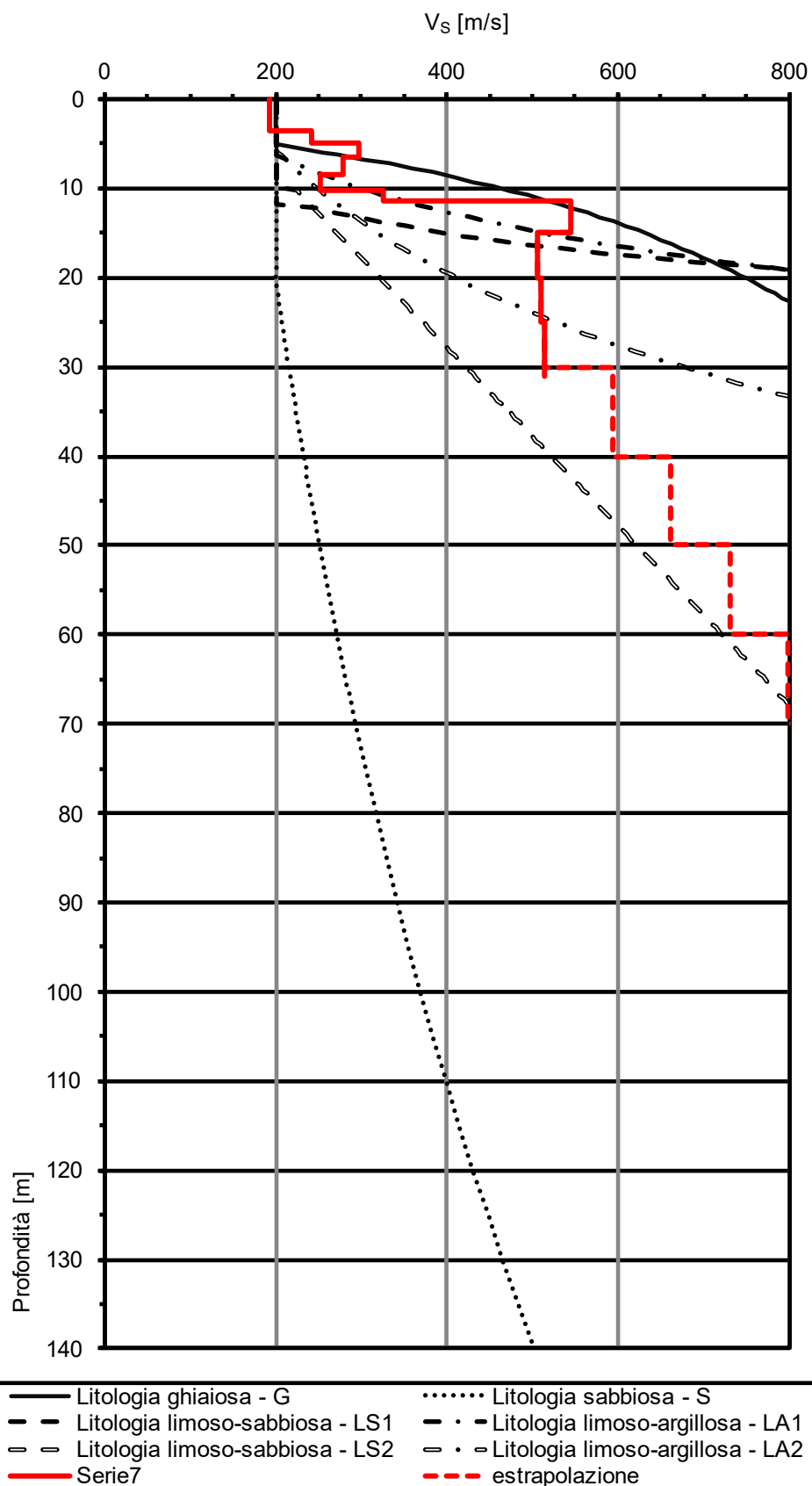


Figura 5.29: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR4 – MASW 1

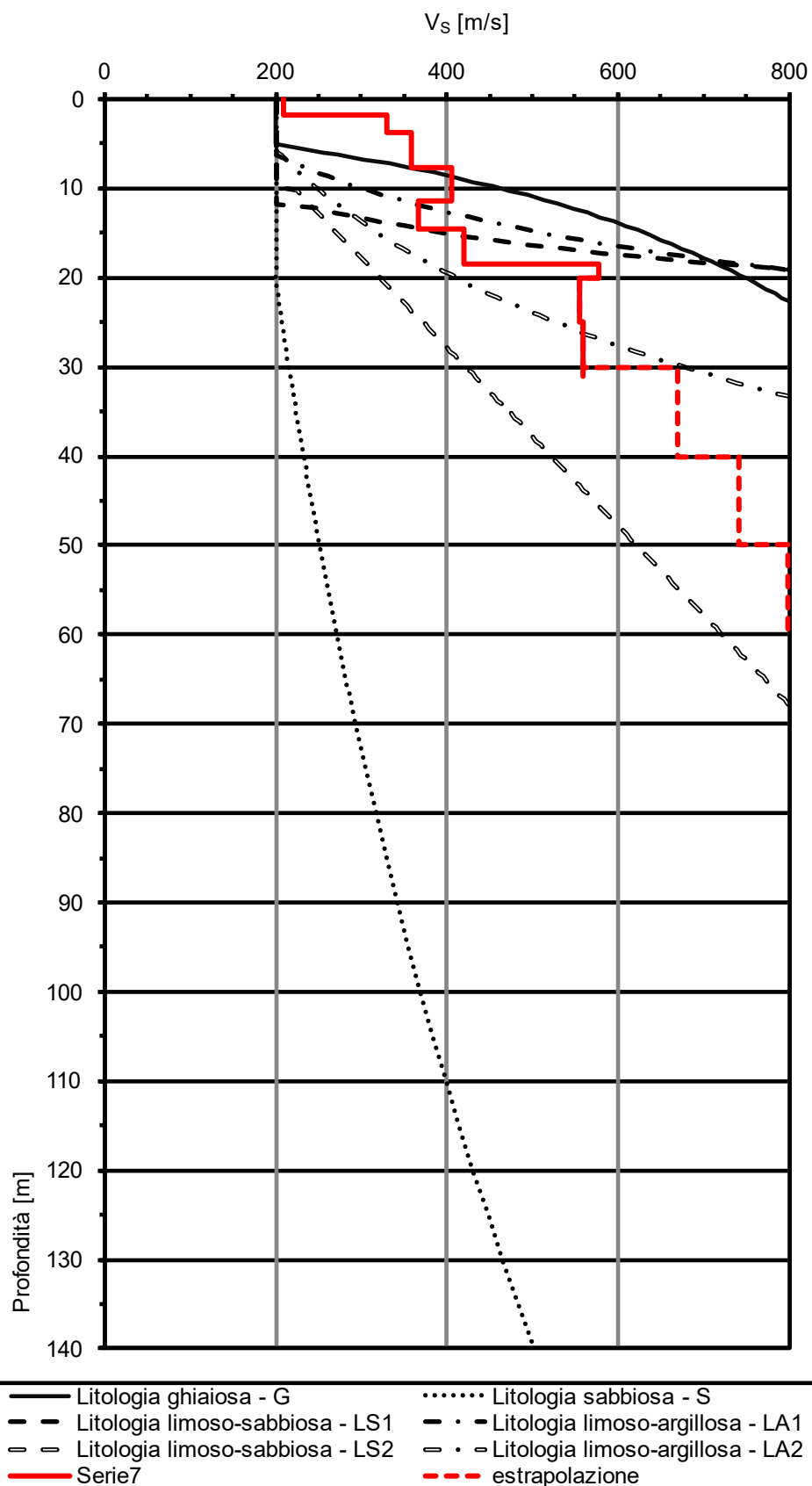


Figura 5.30: Stratigrafia VS e curve di riferimento regionali – TR4 – MASW 2

Sulla base del confronto tra le curve sperimentali sitospecifiche ottenute a mezzo delle prospezioni sismiche condotte, estese in profondità sulla base dell'andamento dei valori misurati, e le curve di riferimento regionali è stata scelta per tutte le zone indagate la scheda di valutazione di seguito indicata:

Scheda di valutazione
S - Litologia sabbiosa

La scheda utilizzata per le successive elaborazioni è riportata di seguito:

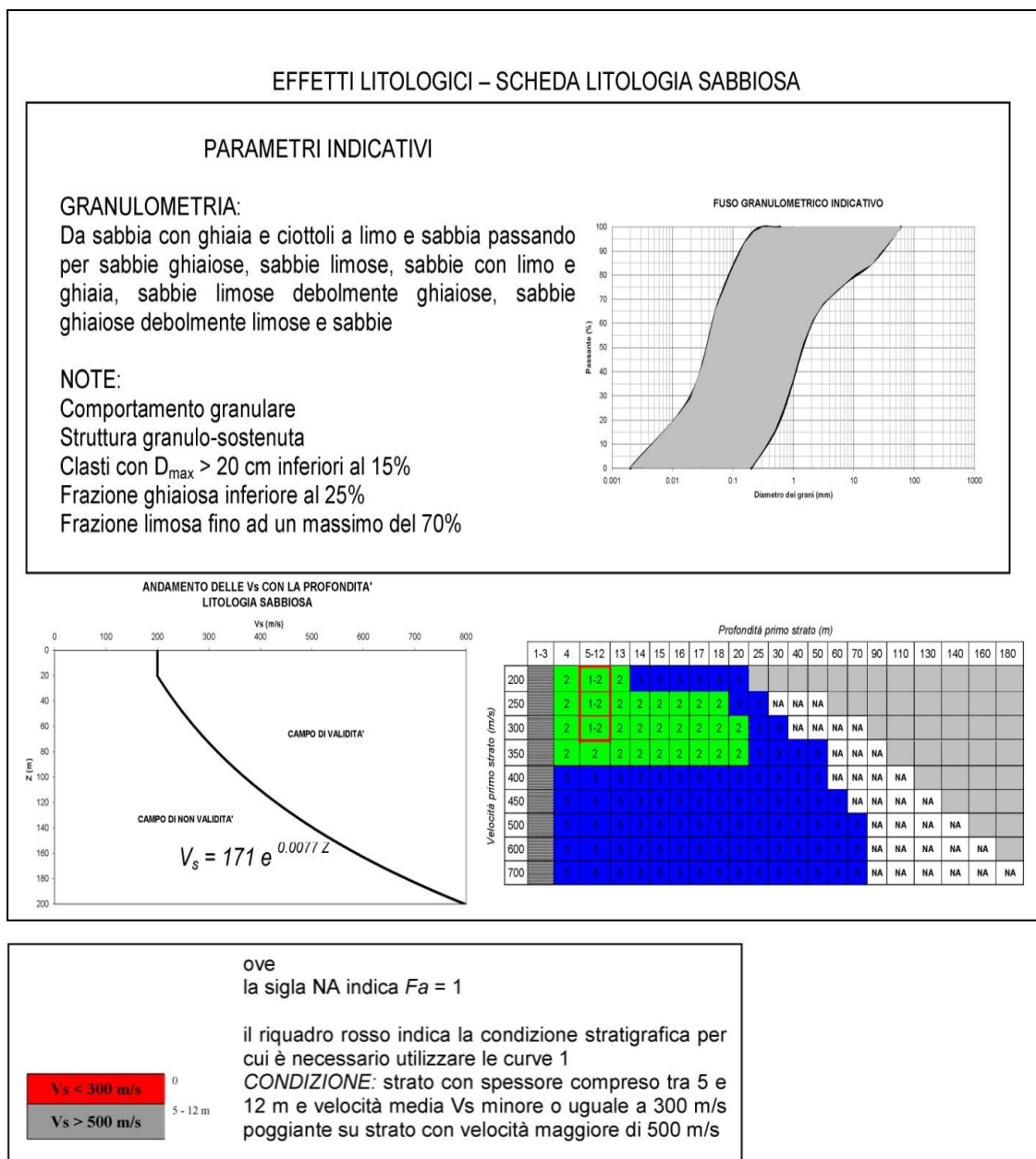


Figura 5.31 – Scheda di valutazione adottata

### 5.6.2.3 Calcolo del periodo proprio di sito

Per il calcolo del periodo proprio di sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, occorre considerare la stratigrafia di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  fino alla profondità a cui si raggiunge un valore pari a o superiore a 800 m/s.

Per il calcolo del periodo proprio di sito la direttiva regionale prevede l'utilizzo della seguente relazione:

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

Per l'area esaminata si ottengono i valori di periodo proprio di sito di seguito indicati:

Tratta	Indagine	T [s]
TR1	MASW 1	0.57
	MASW 2	0.53
	MASW 3	0.55
TR2	MASW 1	0.43
	MASW 2	0.35
TR3	MASW 1	0.42
	MASW 2	0.52
TR4	MASW 1	0.48
	MASW 2	0.40

Tabella 13 – Periodo proprio di sito

#### 5.6.2.4 Calcolo del fattore di amplificazione locale

Per il calcolo fattore di amplificazione litologico locale è necessario individuare dapprima lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dal piano di posa delle fondazioni avente spessore minimo di 4 m. Qualora non si dovesse riconoscere un primo strato di spessore adeguato è necessario procedere alla individuazione di uno strato superficiale equivalente avente spessore adeguato ottenuto sommando gli strati individuati con le indagini sismiche; a tale strato si assegna una velocità di propagazione delle onde di taglio pari alla media pesata delle velocità dei singoli strati che lo costituiscono.

Per l'ambito di progetto si ottengono i seguenti valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale equivalente:

Tratta	Indagine	$V_{s,1}$ [m/s]	$H_1$ [m]
TR1	MASW 1	156	4.5
	MASW 2	153	4.1
	MASW 3	129	5.1
TR2	MASW 1	202	6.0
	MASW 2	180	4.8
TR3	MASW 1	170	5.4
	MASW 2	245	5.2
TR4	MASW 1	210	4.0
	MASW 2	332	6.6

Tabella 14 – Parametri sismostrato superiore



Sulla base dei valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale si individuano le equazioni da impiegare per il calcolo del valore di Fa per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s e per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.5 e 1.5 s sulla base della seguente scheda di valutazione.

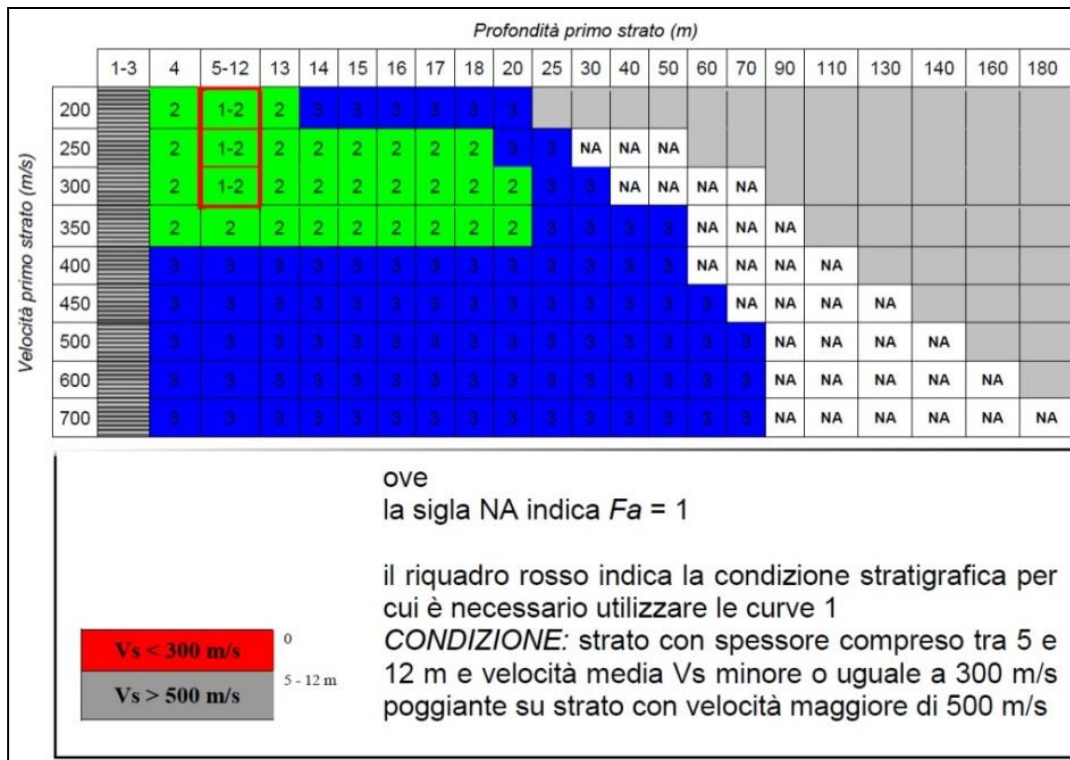


Figura 5.32 – Scheda regionale per analisi sismica semplificata di 2° livello

Le equazioni da impiegare sono mostrate di seguito:

**Strutture aventi periodo proprio  $T$  compreso tra 0.1 e 0.5 s**

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

**Strutture aventi periodo proprio  $T$  compreso tra 0.5 e 1.5 s**

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

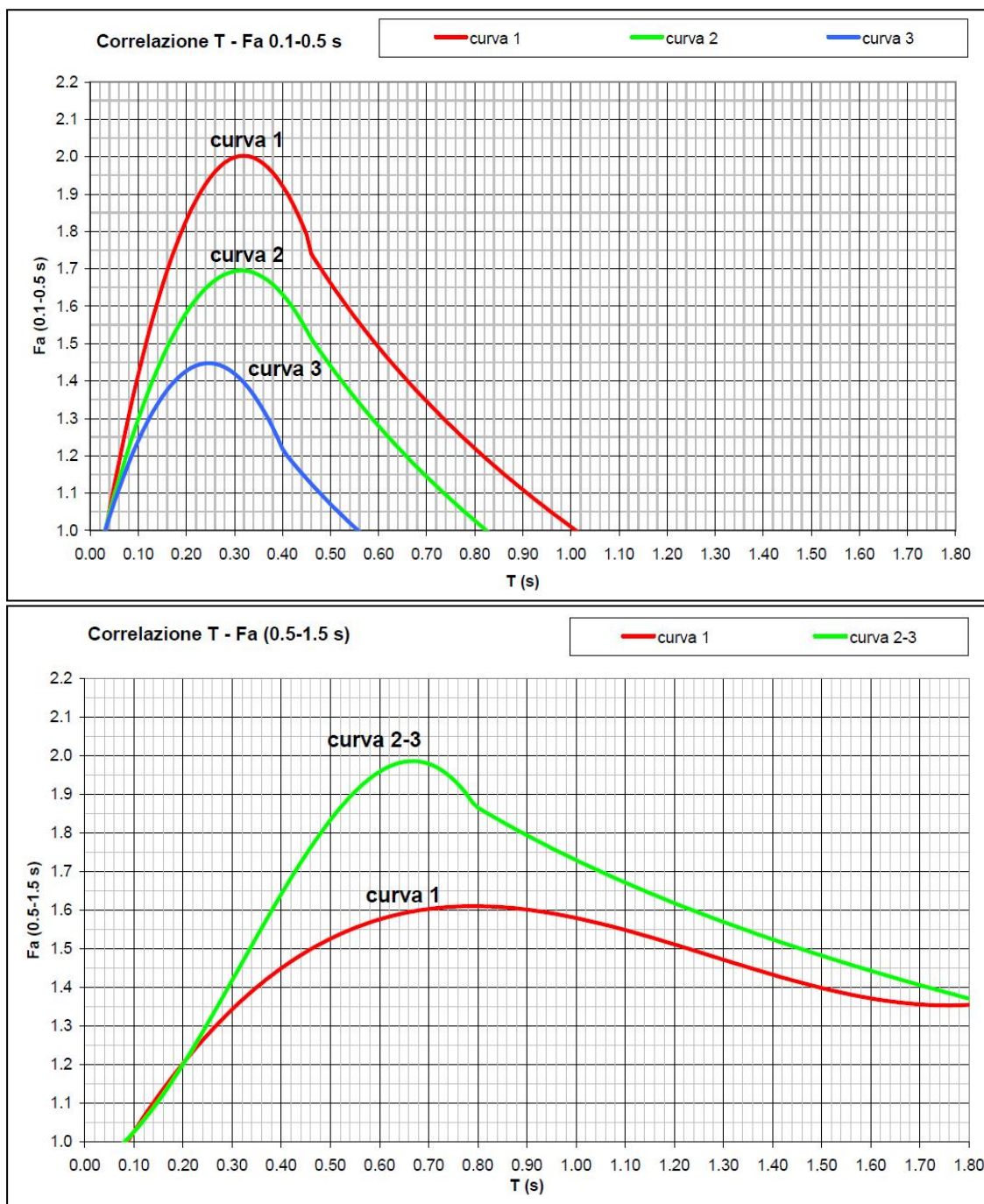


Figura 5.33 – Curve per il calcolo del coefficiente di amplificazione  $F_a$

Utilizzando le equazioni sopra riportate a partire dai valori di periodo proprio di sito precedentemente calcolati si sono determinati i valori del coefficiente di amplificazione litologica  $F_a$  di seguito mostrati:

Tratta	Indagine	Periodo proprio struttura	
		0.1 ÷ 0.5 [s]	0.5 ÷ 1.5 [s]
TR1	MASW 1	1.54	1.56
	MASW 2	1.38	1.89
	MASW 3	1.58	1.55
TR2	MASW 1	1.84	1.48
	MASW 2	1.99	1.40
TR3	MASW 1	1.59	1.69
	MASW 2	1.63	1.54
TR4	MASW 1	1.48	1.80
	MASW 2	1.92	1.45

Tabella 15 – Coefficienti di amplificazione litologica calcolati

#### 5.6.2.5 Confronto tra i valori calcolati ed i valori di soglia comunale

Per i comuni attraversati dal tracciato di progetto, i valori di soglia del Fattore di amplificazione  $F_a$  forniti da Regione Lombardia, differenziati per categoria di suolo di fondazione e per periodo, sono riportati nella seguente tabella:

Comune	$F_{aS\ 0,1-0,5}$				$F_{aS\ 0,5-1,5}$			
	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Ardenno	1,5	1,9	2,2	2,0	1,7	2,4	4,3	3,1
Berberno	1,5	1,9	2,3	2,0	1,7	2,4	4,3	3,1
Bianzone	1,5	1,9	2,3	2,0	1,7	2,4	4,3	3,1
Buglio	1,5	1,9	2,3	2,0	1,7	2,4	4,3	3,1
Forcola	1,5	1,9	2,3	2,0	1,7	2,4	4,3	3,1
Teglio	1,5	1,9	2,3	2,0	1,7	2,4	4,3	3,1

Tabella 16 – Coefficienti di amplificazione di soglia comunale  $F_{as}$

Per procedere al confronto con i valori di soglia dei valori del coefficiente di amplificazione litologica precedentemente determinati, arrotondati alla prima cifra decimale, occorre associare la variabilità statistica pari a  $\pm 0.1$  come precisato nella procedura regionale. I valori così ottenuti sono confrontati con i valori di soglia come mostrato nella seguente tabella di sintesi, in cui si evidenziano nelle caselle a fondo rosso i casi di superamento e la categoria di sottosuolo da assumere in assenza di più accurate analisi di risposta sismica locale di III livello.

Tratta	MASW	V <sub>Seq</sub> [m/s]	Categoria sismica	T <sub>0</sub> [s]	Fattori di amplificazione		Fattori di soglia comunale		Verifica superamento soglia comunale		Categoria adottata
					Fa <sub>0,1-0,5</sub>	Fa <sub>0,5-1,5</sub>	Fa <sub>S 0,1-0,5</sub>	Fa <sub>S 0,5-1,5</sub>	Fa <sub>S 0,1-0,5</sub>	Fa <sub>S 0,5-1,5</sub>	
TR1	1	379	B	0,57	1,54	1,56	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>			<b>C</b>
	2	214	C	0,53	1,38	1,89	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>			<b>C</b>
	3	268	C	0,55	1,58	1,55	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>			<b>C</b>
TR2	1	326	C	0,43	1,84	1,48	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>			<b>C</b>
	2	374	B	0,35	1,99	1,40	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>			<b>C</b>
TR3	1	328	C	0,42	1,59	1,69	<b>1,9</b>	<b>2,4</b>			<b>C</b>
	2	392	B	0,52	1,63	1,54	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>			<b>C</b>
TR4	1	375	B	0,48	1,48	1,80	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>			<b>C</b>
	2	428	B	0,40	1,92	1,45	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>			<b>C</b>

Tabella 17 – Confronto coefficienti di amplificazione litologica

L'approfondimento sismico di II livello relativo agli effetti di amplificazione stratigrafica nelle zone PSL Z4 ha consentito di appurare la necessità di impiegare la **categoria sismica di sottosuolo C** per tutte le opere previste lungo il tracciato di progetto.

Per quanto concerne gli ambiti di progetto ricadenti all'interno di zone PSL Z2a, per le quali la normativa regionale prevede il ricorso diretto ad analisi di III livello, si rimanda alla fase di progettazione esecutiva.

Gli approfondimenti di I livello condotti in sede di PGT consentono di escludere fenomeni di liquefazione nelle aree attraversate dal tracciato di progetto.