



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



MIT  
MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



Regione Lombardia  
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



CODICE  
COMMESSA

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D.P.R.  
207/10

PROGRESSIVO  
ELABORATO

CATEGORIA  
OPERA

NUMERO  
OPERA

REVISIONE

SCALA

B 3 5

D

b

0 0 1

I G

0 1

R 0

===

IMPIANTO DI PRODUZIONE, STOCCAGGIO E DISTRIBUZIONE IDROGENO  
ADEGUAMENTO IMPIANTO FERROVIARIO DI EDOLO  
Progetto Definitivo

Binari adibiti al rifornimento di idrogeno  
Stazione di Edolo  
Relazione geologica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Giu. 2024	PRIMA EMISSIONE	E.Barbanti	R.Pantalena

FERROVIENORD

APPALTATORE

Progettista



REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
E.Barbanti	R.Pantalena	A.Schietti	Giu. 2024
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
2.1. Elaborati di riferimento .....	4
2.2. Normativa e standard di riferimento .....	4
<b>3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
4.1. Assetto geologico-strutturale regionale.....	5
4.2. Assetto geologico locale .....	7
<b>5. ASSETTO STRUTTURALE .....</b>	<b>7</b>
<b>6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
6.1. Inquadramento geomorfologico locale.....	8
6.1.1. <i>Forme e processi glaciali</i> .....	8
6.1.2. <i>Forme strutturali</i> .....	8
6.1.3. <i>Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali</i> .....	8
6.1.4. <i>Forme, processi e depositi gravitativi di versante</i> .....	9
6.1.5. <i>Forme e processi antropici</i> .....	9
6.2. Vincoli territoriali e cartografia di pericolosità e di rischio .....	9
6.2.1. <i>Carta inventario dei fenomeni franosi in Italia (IFFI)</i> .....	9
6.2.2. <i>Carta della pericolosità e rischio per frane (ISPRA) e PGRA nel bacino del fiume Po</i> .....	10
<b>7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>12</b>
7.1. Idrografia .....	12
7.2. Assetto idrogeologico locale .....	13
<b>8. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>13</b>
8.1. Campagna d'indagini 2024 .....	13
8.2. Campagna d'indagini pregressa (2022) .....	14
8.2.1. <i>Sondaggi e prove penetrometriche</i> .....	14
8.2.2. <i>Prove di laboratorio</i> .....	15
<b>9. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>15</b>
<b>10. SISMICITÀ DELL'AREA .....</b>	<b>16</b>
10.1. Classificazione sismica e pericolosità sismica di base .....	16
10.2. Sismicità storica .....	20
10.3. Sorgenti sismogenetiche .....	22
10.4. Magnitudo di riferimento.....	24
10.5. Faglie capaci .....	26
10.6. Analisi sismica di secondo livello (Pericolosità sismica locale).....	27
10.7. Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento .....	29
10.7.1. <i>Categoria di sottosuolo</i> .....	29
10.7.2. <i>Condizioni topografiche</i> .....	30
10.7.3. <i>Vita nominale</i> .....	30
10.7.4. <i>Classi d'uso e periodo di riferimento per l'azione sismica</i> .....	31

---

10.8. Considerazioni preliminari del rischio di liquefazione.....	31
<b>11. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>32</b>



paraschegge a protezione di via Sora lato nord, tra il secondo e terzo binario e al termine dei binari.

A corredo di questa relazione, è stata redatta una carta geologica con elementi di geomorfologia e che comprende anche l'ubicazione delle indagini svolte e il profilo geologico dell'area di studio.

## **2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### **2.1. Elaborati di riferimento**

- [1] Indagini geognostiche: B35-D-b-002-IG-01-R0;
- [2] Carta geologica con elementi di geomorfologia con ubicazione indagini e profilo geologico: B35-D-b-003-IG-01-R0.

### **2.2. Normativa e standard di riferimento**

- [3] UNI EN del 1997 "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica";
- [4] UNI EN del 1998 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica";
- [5] D.P.R. 380 del 06/06/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia";
- [6] D.M. Infrastrutture del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".
- [7] Circolare 7 del 21/01/2019 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [8] Regione Lombardia, Legge Regionale 12 ottobre 2015, n. 33 "Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche".
- [9] Regione Lombardia, Serie Ordinaria n. 29 - Mercoledì 16 luglio 2014 – 2 – Bollettino Ufficiale D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)"
- [10] O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche ed integrazioni.
- [11] O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- [12] Regione Lombardia: Bollettino Ufficiale n.3 del 19 gennaio 2012 – Delibera di giunta regionale 30 novembre 2011 - n. IX/2616: "Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374.

## **3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'area oggetto di studio è ubicata nel comune di Edolo, che è situato in Alta Valle Camonica (provincia di Brescia) in corrispondenza della confluenza del Torrente Ogliolo di Edolo (che scorre in direzione ovest – est lungo il fondovalle e che mette in comunicazione la Valle Camonica e la

Valtellina) e del Fiume Oglio. La stazione di Edolo è situata ad una quota di circa 665 m s.l.m., nel fondovalle della Val Camonica e dista dal Fiume Oglio circa 400 m.

Quest'area è individuabile all'interno del foglio "019 Tirano" in scala 1:100.000, della tavoletta 019 I-SE (Edolo) in scala 1:25.000, entrambi della Carta topografica d'Italia dell'IGMI e all'interno della tavola D3C2 in scala 1:10.000 della Carta tecnica Regionale della Regione Lombardia in scala 1:10.000.

Le coordinate del sito in oggetto, nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Monte Mario (EPSG: 3003) sono:

x = 1602635.08

y = 5114587.12.

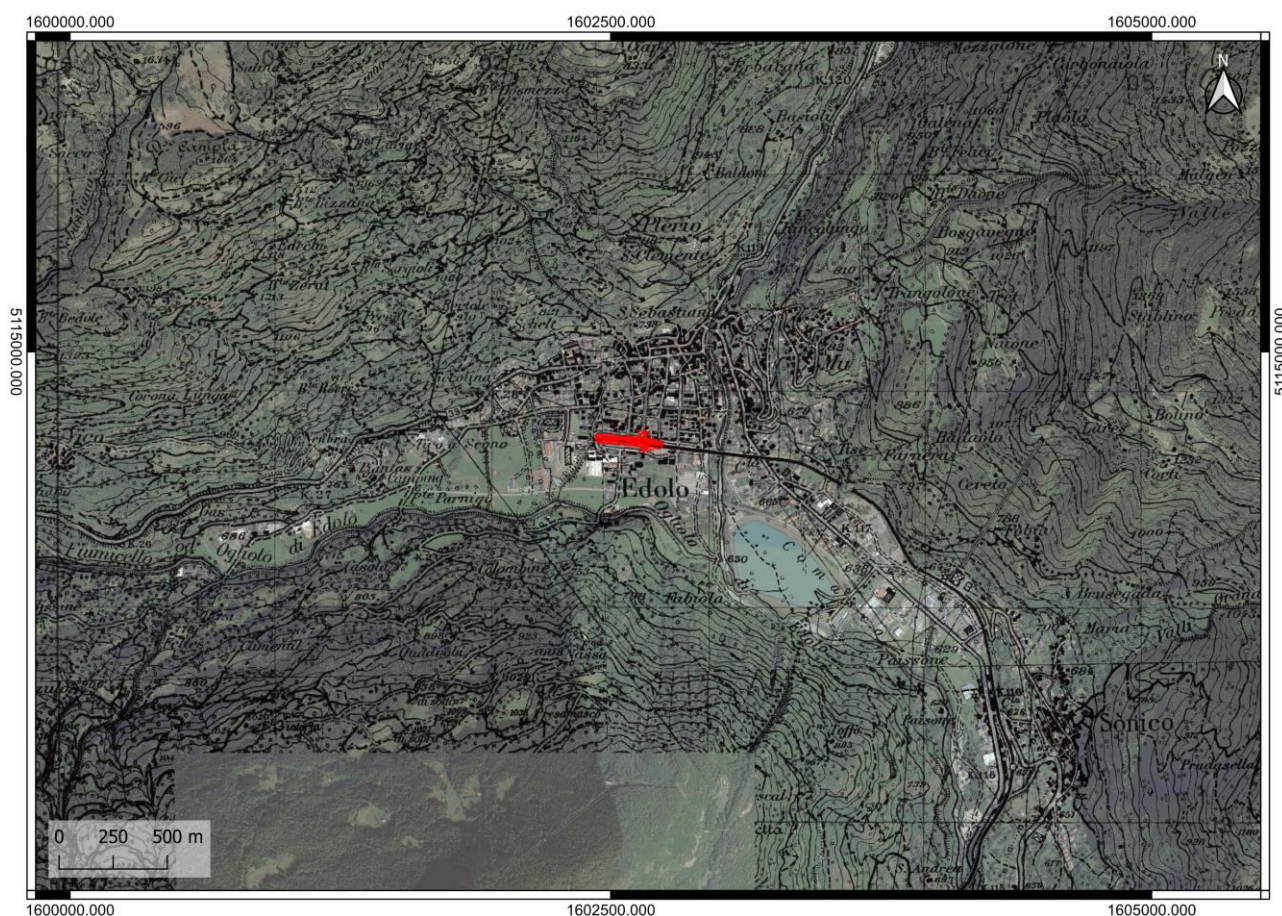


Figura 3-1: Corografia dell'area di studio su base cartografica IGM 1:25.000. In rosso, l'area oggetto di studio.

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 4.1. Assetto geologico-strutturale regionale

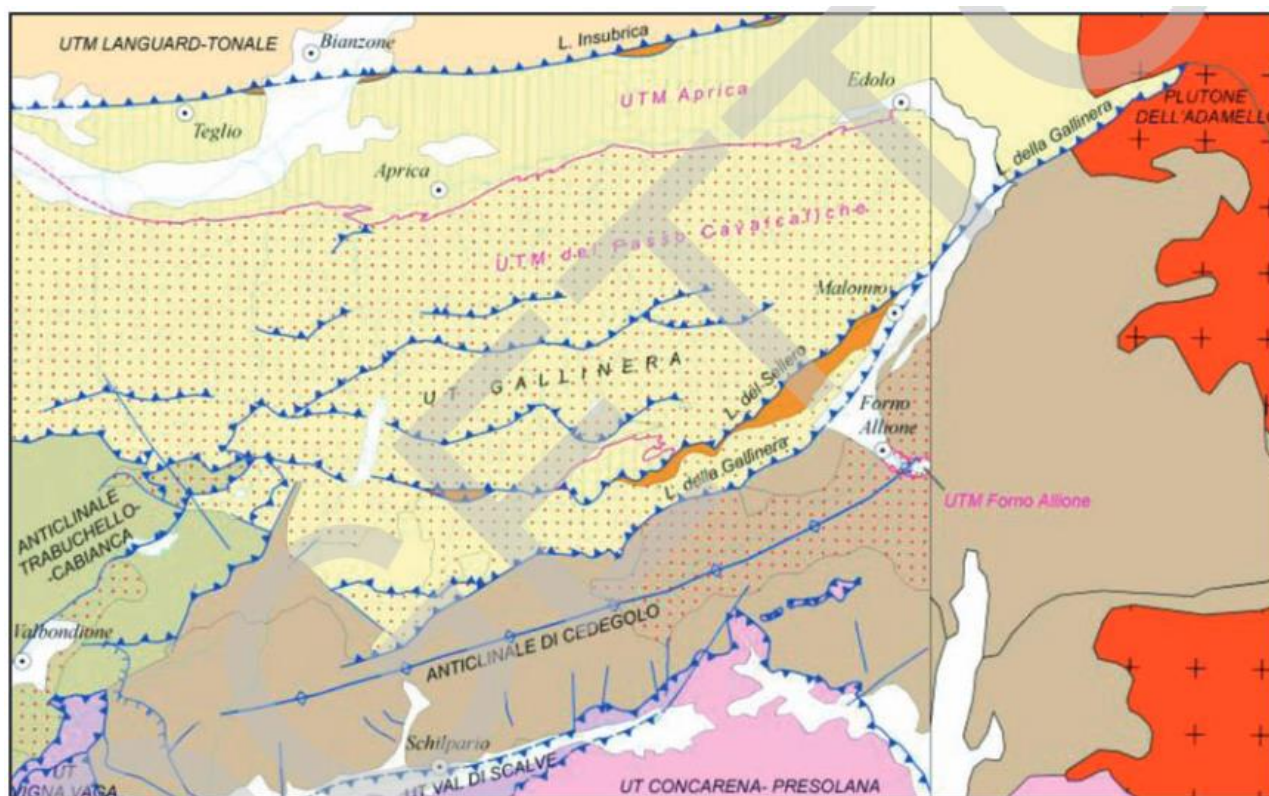
Dal punto di vista geologico generale, l'area di progetto si trova nel settore delle Alpi Centrali, nel settore Sudalpino generato dalla convergenza alpina. Il suo assetto strutturale è composto da un sistema di pieghe e sovrascorrimenti polifasico vergente SSE. Questo sistema coinvolge sia il basamento sia la copertura paleozoico-terziaria, solo localmente accompagnata da un evidente metamorfismo da basso a molto basso. L'area di studio è ubicata all'interno del basamento metamorfico varisco noto come Unità tettonica della Gallinera.



In questo basamento, si possono definire, ulteriormente, tre tipi di unità tettoniche distinte sulla base della loro storia strutturale e metamorfica (UTM = unità tettonometamorfiche):

- UTM Passo Cavalcafi che, composto principalmente da metapeliti a granato, biotite cloritoide e staurolite, metagranitoidi, quarziti e rare metabasiti. Quest'unità mostra un'evoluzione metamorfica di età varisica in facies anfibolitica a epidoto, in facies anfibolitica e quindi in facies scisti verdi durante lo sviluppo di tre gruppi di strutture sovrapposte. L'unità è affiorante a sud di Castello dell'Acqua-Edolo e si estende fino alla Linea della Gallinera.
- UTM Aprica è formata da metapeliti e quarziti, con un'evoluzione metamorfica di età Ercinica e sviluppata esclusivamente in facies scisti verdi, in quest'unità sono preservati parlinomorfi relitti e microplancton marino del Siluriano-Ordoviciano. Quest'unità è affiorante a sud della Linea Insubrica e nord di Castello dell'Acqua-Edolo
- UTM Forno Allione è costituita da paragneiss a biotite-granato, metagranitoidi e anfiboliti, il fabric D1 presenta associazioni di minerali compatibili con la facies anfibolitica o anfibolitica a epidoto, mentre la foliazione pervasiva S2 è marcata da minerali della facies scisti verdi.

I lineamenti tettonici del Sudalpino hanno un'orientazione est-ovest e tendono a disporsi in senso ENE-OSO nel settore più orientale, dove sono interrotte dal corpo intrusivo dell'Adamello.



**Figura 4-1: Schema tettonico del foglio Malonno esteso al plutone dell'Adamello presente nel foglio adiacente. Le unità tettoniche sono distinte in base ai colori e contrassegnate dalle scritte maiuscole nere. Le unità tettonometamorfiche sono contraddistinte dai retini e dalle scritte magenta (Gosso et al., 2012).**

I corpi dei depositi Neogenico-Quaternari sono legati all'attività fluvio-glaciale dell'Oglio e di versante. In corrispondenza del Passo dell'Aprica, i bacini dell'Oglio e dell'Adda entravano in contatto durante le fasi di massima espansione glaciale.

#### **4.2. Assetto geologico locale**

L'abitato di Edolo, in cui è presente l'area oggetto di studio è caratterizzata da depositi quaternari di conoide. Questi conoidi si trovano allo sbocco delle valli tributarie principali del Fiume Oglio e del Torrente Ogliolo, in cui, per effetto della brusca diminuzione di pendenza, i corsi d'acqua abbandonano il materiale trasportato depositandolo nella la tipica forma a cono. Al loro interno, i materiali più fini tendono a disporsi nella parte inferiore e laterale, mentre i più grossolani si collocano nella parte mediana della conoide e in corrispondenza dell'attuale alveo torrentizio, che incide questi materiali. I conoidi più rappresentativi di quest'area sono rappresentati dalla Conoide della Valle dei Bezzi, della Valle Dosso di Mezzano e l'apparato di deiezione del fiume Oglio. Questi conoidi sono tutti depositi con stato inattivo.

Da segnalare anche la presenza di depositi alluvionali in corrispondenza dei corsi d'acqua, in cui la pendenza dell'alveo diminuisce e la diminuzione di velocità di trasporto dei materiali favorisce l'azione di deposizione degli stessi. Questi depositi sono prevalentemente costituiti da materiali grossolani come ghiaie, ciottoli e blocchi in scarsa matrice sabbiosa e localmente limosa. I depositi alluvionali recenti sono costituiti da ghiaie e sabbie limose in corrispondenza del Fiume Oglio e da limi sabbiosi in corrispondenza del Torrente Ogliolo. Questo è dovuto alla formazione di un lago di sbarramento formatosi a seguito degli eventi di trasporto solido della Valle Rabbia di Sonico.

Entrambi i tipi di deposito sono ascrivibili al Sintema del Po di età Pleistocenica-Olocenica. Quest'unità racchiude tutti i depositi originatesi dopo l'ultimo evento glaciale pleistocenico.

All'interno della carta, in corrispondenza dei rilievi che circondano l'abitato di Edolo, si possono trovare diamicton (till indifferenziato) appartenenti al Sintema di Cantù (età Pleistocene superiore), che comprende i sedimenti deposti nel corso dell'ultima grande avanzata glaciale.

I rilievi nei dintorni di Edolo sono costituiti da rocce di basamento metamorfico, distinte in due unità tettonometamorfiche, di età pre-varisica, come descritto nel §4.1:

- Scisti a grana fine con mica chiara, granato, plagioclasio, quarzo affiorano sui rilievi a nord di Edolo. Queste rocce costituiscono l'UTM dell'Aprica;
- Micascisti con intercalazioni gneissiche e filladiche a granato, biotite, cloritoide e/o staurolite affiorano invece sui rilievi a Sud dell'abitato e fanno parte dell'UTM Forno Allione.

### **5. ASSETTO STRUTTURALE**

Dal punto di vista strutturale, l'area oggetto di studio è caratterizzata dalla presenza della Linea Insubrica che si allunga in direzione est-ovest a nord del territorio comunale. L'esatta ubicazione di questa struttura è difficilmente determinabile, perché si tratta di una densa fascia di superfici di movimento subparallele (faglie) con annesse alcune linee parallele minori e non di un singolo lineamento. A queste linee di faglia sono associati fasci di rocce a composizione migmatitica che possono avere ampie estensioni e che sono associate a rocce milonitizzate, cataclasate. Sono presenti alcune linee di fratturazione secondarie, disposte perpendicolarmente al lineamento insubrico e in direzione quindi della massima pendenza del versante: è parallelamente a queste linee di fratturazione che si impostano i principali impluvi e le aree in avvallamento che solcano i versanti del territorio comunale esposti a sud. I versanti esposti a ovest sono invece caratterizzati dalla presenza del lineamento della Gallinera, lungo il quale si imposta l'omonima valle. Anche in questo caso, perpendicolarmente al lineamento principale, sono presenti alcune linee di fratturazione secondarie, lungo le quali si impostano altre vallette secondarie. Un altro lineamento



che interessa marginalmente l'area in studio è costituito dalla Linea di Santicolo. Si tratta di una faglia che interessa il versante esposto a nord in destra idrografica al torrente Ogliolo. In corrispondenza di tale lineamento si possono osservare sottili orizzonti milonitici (dal tipico colore nero e untuosi al tatto) e la brusca deviazione di un corso d'acqua che discende il versante quasi trasversalmente allo stesso. Spingendosi verso il contatto con le zone d'intrusione plutonica (Plutone dell'Adamello) le formazioni risultano interessate da sovrascorrimenti anche intraformazionali, che concordano con il sovrascorrimento principale, cioè con piano d'immersione verso sud e movimento verso nord.

## **6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'assetto geomorfologico generale è caratterizzato da tre fattori principali che hanno scolpito il paesaggio nel tempo: il primo, in ordine temporale, è legato all'attività dei ghiacciai, il secondo dall'attività dei corsi d'acqua e il terzo dall'attività dell'uomo.

### **6.1. Inquadramento geomorfologico locale**

#### **6.1.1. Forme e processi glaciali**

L'impronta glaciale è preponderante nel territorio in esame. La presenza di terrazzi entro le quote 850-800 m s.l.m. suggeriscono la quota in cui era impostato l'antico fondovalle camuno, che poi è stato successivamente inciso dall'erosione lineare del Fiume Oglio che con la sua attività ha creato la forra incassata entro la quale scorre prima di immettersi nell'abitato di Edolo. Altre forme glaciali sono riconoscibili lungo il versante esposto a sud che collega l'abitato di Edolo al Passo dell'Aprica. Anche in questo caso gradini in roccia, terrazzamenti ricoperti da depositi glaciali testimoniano il passaggio della lingua glaciale proveniente dall'Aprica e che si spingeva sino all'abitato di Edolo, collegandosi poi al ghiacciaio camuno.

#### **6.1.2. Forme strutturali**

L'idrografia dell'area suggerisce come sia influenzata dalla tettonica. I torrenti devono il loro assetto geometrico - spaziale alla presenza di trend di fratturazione connessi alla presenza del lineamento insubrico.

#### **6.1.3. Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali**

L'attività legata allo scorrimento delle acque superficiali risulta intensa nel territorio collegata all'azione della gravità.

Le alluvioni intense che si sono verificate nel 1986, nel 1996, nel 2000 e nel 2022, in cui si sono verificati fenomeni di trasporto solido lungo le aste torrentizie, fenomeni di erosione di sponda e di fondo alveo dei principali torrenti che solcano le vallette minori, suggeriscono come lo scorrimento idrico superficiale, sia un agente di modellamento e di trasformazione del territorio che non ha ancora esaurito la sua attività. Perciò deve essere controllato e monitorato.

Come già accennato in precedenza, l'area oggetto di studio è caratterizzata da conoidi di deiezione alluvionali anche di discrete dimensioni perlopiù caratterizzati da stato di attività inattivo. Il più evidente è l'apparato di deiezione del Fiume Oglio, in corrispondenza dell'abitato di Edolo. Piccoli conoidi sono presenti in sinistra idrografica del torrente Ogliolo e provengono da vallette laterali e sono individuabili a monte dell'abitato di Edolo.

#### **6.1.4. Forme, processi e depositi gravitativi di versante**

Si segnala la presenza di aree soggette a crolli e ribaltamenti in corrispondenza degli affioramenti rocciosi che circondano l'abitato di Edolo.

#### **6.1.5. Forme e processi antropici**

Infine, la modellazione territoriale ad opera delle attività antropiche ha avuto gli effetti maggiori in questa area. Si possono riconoscere varie opere di difesa idraulica che regimano sia il corso del Fiume Oglio, sia il corso del Torrente Ogliolo. L'elemento più significativo di trasformazione antropica è rappresentato dal bacino di accumulo dell'ENEL a sud est di Edolo. Sono presenti anche muri di sostegno, muretti a secco e terrazzamenti, nei versanti a nord dell'abitato.

### **6.2. Vincoli territoriali e cartografia di pericolosità e di rischio**

#### **6.2.1. Carta inventario dei fenomeni franosi in Italia (IFFI)**

La Carta inventario dei fenomeni franosi in Italia (IFFI) riportata in Figura 6-1 mostra come nelle immediate vicinanze non vi siano presenti frane. Si può notare tuttavia che sui rilievi a sud dell'Ogliolo e nella parte settentrionale del centro abitato di Edolo, vi siano aree a soggette a crolli e ribaltamenti diffusi.

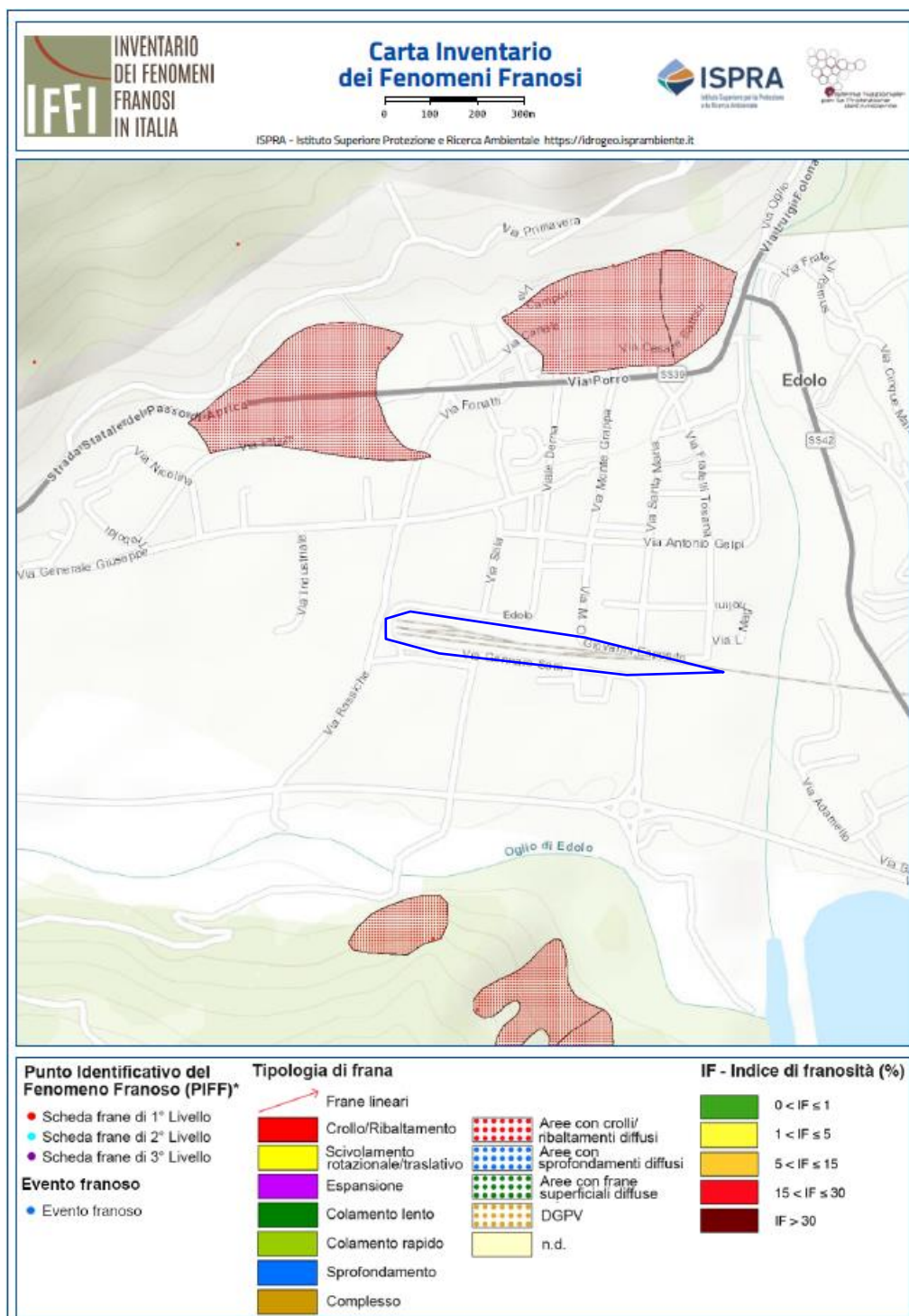


Figura 6-1: Carta inventario dei fenomeni franosi in Italia (in blu l'area di studio) (fonte ISPRA <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>).

### 6.2.2. Carta della pericolosità e rischio per frane (ISPRA) e PGRA nel bacino del fiume Po

Le informazioni contenute nella Carta della pericolosità idrogeologica dell'ISPRA corrispondono ai dati provenienti dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni nel bacino del fiume Po (PGRA) redatto nel PGT in Figura 6-3. Come si può notare da entrambe le carte l'area della stazione è molto prossima ad un'area a pericolosità bassa, che è indicata anche come area di conoide ed è in corrispondenza del Valle del Dosso Mezzano. Le altre aree di pericolosità idraulica risultano in corrispondenza del Fiume Oglio a Est e del Torrente Ogliolo a Sud. Si segnala anche la presenza del Valle dei Bezzi

come reticolo idrico minore che interseca la stazione. Analizzando il tracciato di questo corso d'acqua sembrerebbe che sia tombinato sotto il viale Derna, per poi proseguire verso il torrente Ogliolo. Questo aspetto andrà approfondito nella successiva fase progettuale, perché potrebbe interferire con l'opera oggetto di studio.

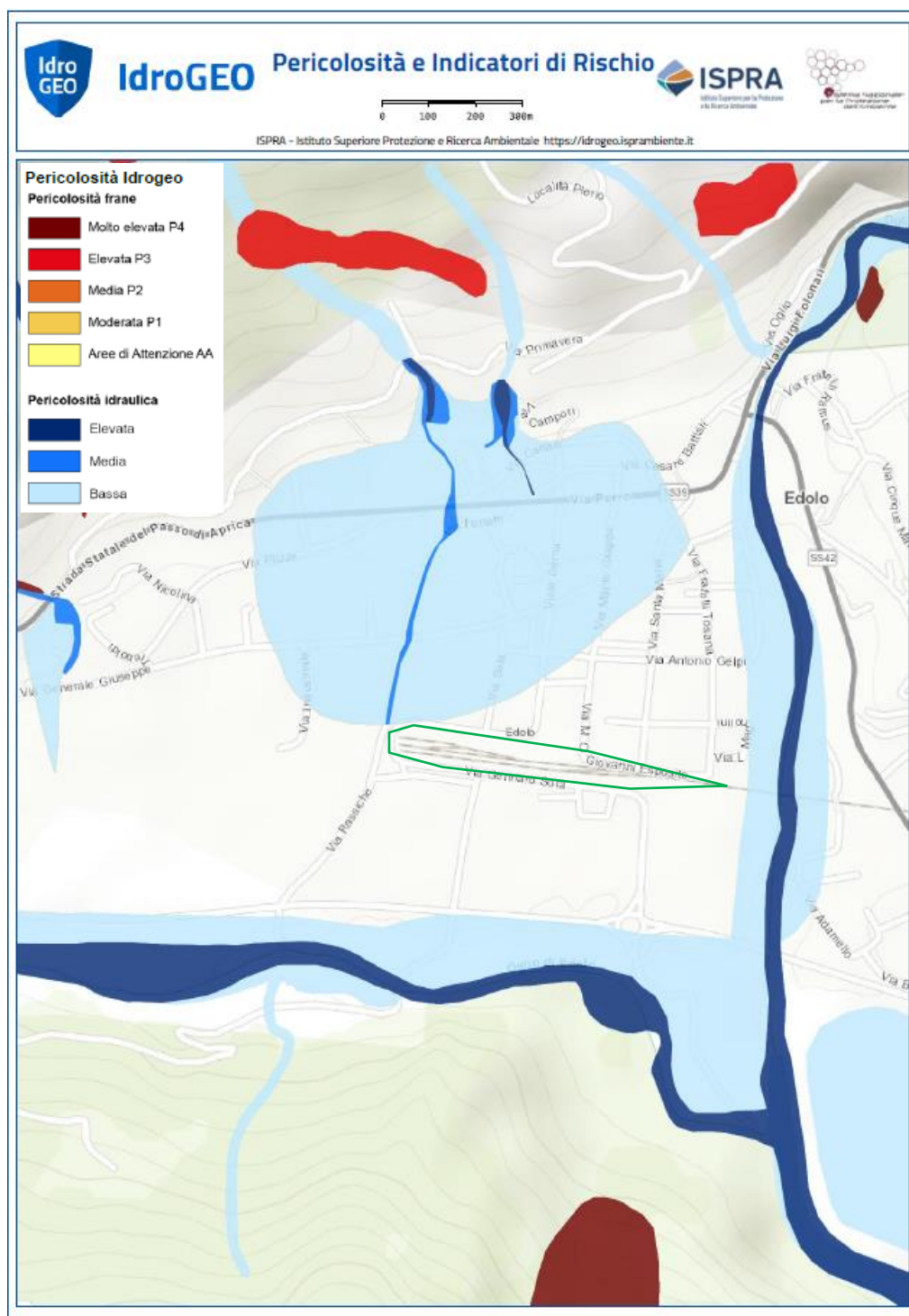
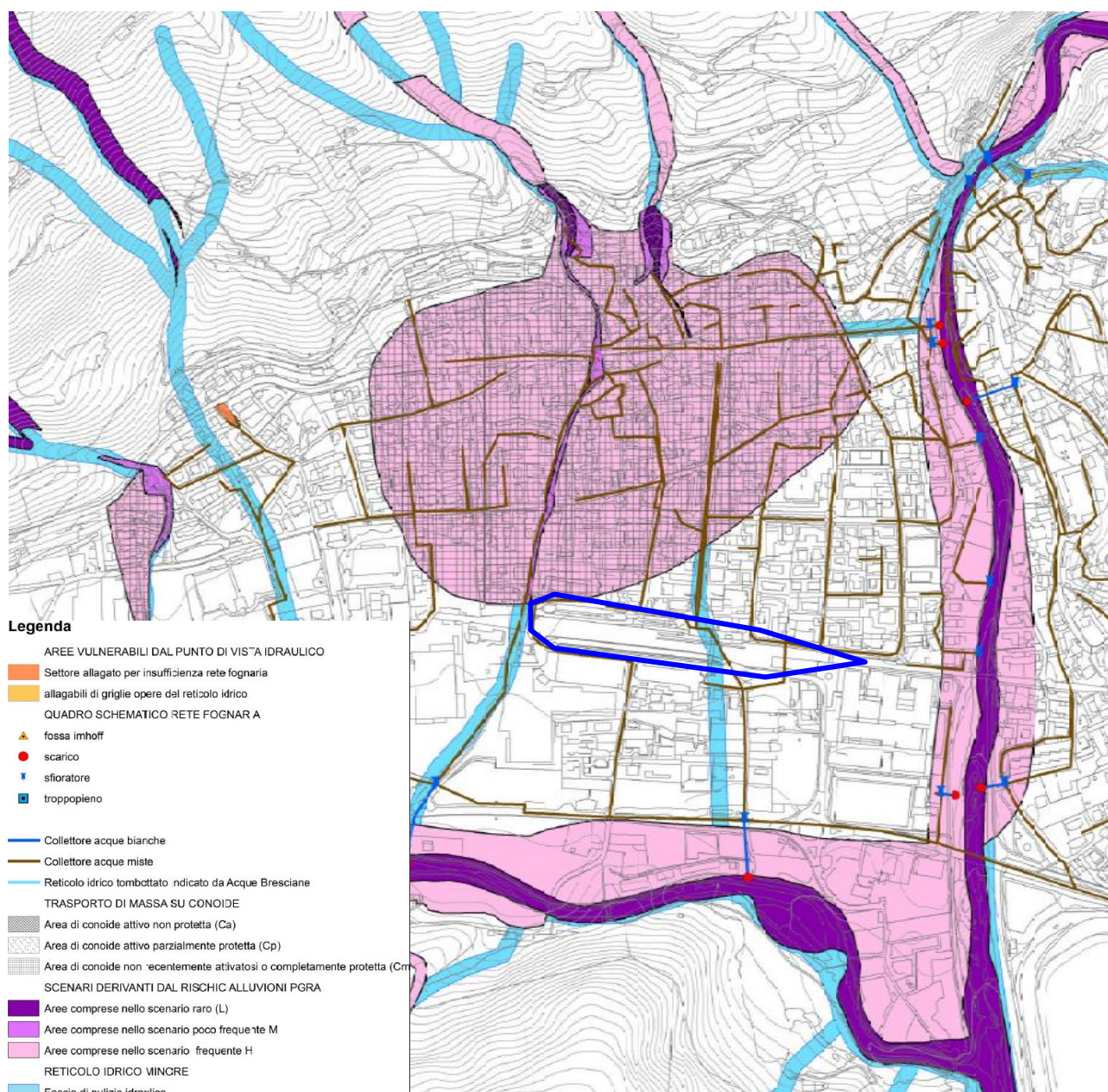


Figura 6-2: Carta pericolosità idraulica e di frane in Italia (in verde l'area di studio) (fonte ISPRA <https://idrogeo.isprambiente.it/app/>).





**Figura 6-3: Stralcio della carta delle dotazioni infrastrutturali delle aree a rischio idraulico del territorio comunale (PRGA, fonte: PGT del comune di Edolo).**

## 7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 7.1. Idrografia

Come precedentemente analizzato, l'area oggetto di studio si trova molto prossima alla confluenza del Torrente Ogliolo (che scorre da ovest verso est) con il Fiume Oglio (che scorre da nord verso sud). A questi due corpi idrici troviamo una serie di corsi d'acqua tributari e che scendono da nord verso sud, e nell'ordine da est verso ovest sono: Valle dei Bezzi (che, come precedentemente esposto, sembrerebbe intercettare le opere progettuali), Valle del Dosso Mezzano (la cui area di conoide coinvolge l'area di studio) e il Valle dei Serioi.



## 7.2. Assetto idrogeologico locale

La presenza dei due corsi d'acqua suggerisce che ci sia una falda alimentata dai due corpi idrici, oltre che dall'acqua di ruscellamento proveniente dai versanti, e che potrebbe infiltrarsi in questi depositi. Nei sondaggi, la falda è stata misurata tra i 14 m (dato ultimo) e i 5 m da piano campagna, in ogni caso questo intervallo di valori, fa intuire che è vicina al piano campagna. Si è scelto di tenere conto della misura più attuale, perché non essendoci un monitoraggio piezometrico esaustivo, non è possibile comprendere le oscillazioni stagionali della falda. Pertanto, è fortemente raccomandabile di eseguire questo tipo di monitoraggio.

Le linee di deflusso seguiranno l'andamento dei corsi d'acqua, cioè un andamento da nord verso sud.

Non si possono escludere falde sospese data la presenza di alternanza di depositi più fini a depositi più grossolani, soprattutto in corrispondenza del Torrente Ogliolo e del bacino artificiale dell'Enel.

La permeabilità dei depositi misurata tramite prove Lefranc è risultata essere compresa in un intervallo di valori tra  $1.55 \times 10^{-5}$  e  $2.72 \times 10^{-4}$ , con valor medio di  $8.98 \times 10^{-5}$ . Questi valori risultano compatibili con il tipo di deposito incontrato ed è indice che il materiale presenti una permeabilità alta.

## 8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Una specifica campagna di indagini geognostiche è stata realizzata all'inizio dell'anno 2024 a supporto della presente relazione geologica di Progetto Definitivo e ad integrazione dei dati derivanti dalle precedenti campagne di indagine realizzate nel 2022.

Nel §8.1 verranno descritte le indagini eseguite durante la recente campagna, nel §8.2 verranno richiamate le indagini pregresse.

### 8.1. Campagna d'indagini 2024

Il piano indagini della campagna geognostica del 2024 prevede:

- un sondaggio a carotaggio continuo di profondità pari a 30 m;
  - attrezzato con piezometro a tubo aperto (tratto fenestrato da -1 m a -19 m da PC),
  - esecuzione di n.10 prove penetrometriche in foro ogni 1.5 m,
  - prelievo di n.7 campioni rimaneggiati e relative prove di laboratorio;
- una prova sismica di tipo MASW.

Le prove di laboratorio eseguite possono essere sintetizzate come segue:

Sondaggio	Campione	Profondità	Tipo	Peso specifico dei grani	Granulometria setacciatura e sedimentazione	Limiti di Atterberg
S-01	CR1	1.40-1.50	R	X	X	X
	CR2	2.60-2.75	R	X	X	X
	CR3	3.10-3.30	R	X	X	X
	CR4	5.85-6.00	R	X	X	X
	CR5	8.85-9.00	R	X	X	X

Sondaggio	Campione	Profondità	Tipo	Peso specifico dei grani	Granulometria setacciatura e sedimentazione	Limiti di Atterberg
	CR6	12.00-12.20	R	X	X	X
	CR7	15.00-15.20	R	-	-	-

Tabella 8-1: Riepilogo delle prove di laboratorio della campagna indagini 2024. R = campione rimaneggiato.

## 8.2. Campagna d'indagini pregressa (2022)

Le indagini pregresse provengono dalla relazione geologica per il Progetto di Realizzazione dell'impianto di distribuzione per treni ad idrogeno e sono state eseguite nel 2022.

La campagna geognostica è stata così articolata:

- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 4 prove di permeabilità Lefranc;
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH;
- n. 1 indagine sismica HVSr (microtremori);
- n. 1 prospezione sismica di tipo MASW;
- Analisi geotecniche di laboratorio.

### 8.2.1. Sondaggi e prove penetrometriche

N.2 sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti durante la precedente campagna d'indagine. La tabella seguente dettaglia i dati principali dei sondaggi e le prove in sito eseguite:

Codice sondaggio	Prof. (m)	Coord. Lat. WGS 84	Coord. Long. WGS 84	Monitoraggio [tratto fenestrato]	Prove SPT	Permeabilità (profondità)	n. campioni
S1_pz	12	46.177147	10.327325	PZ TA [5.5m-12m]	4	2CV (4.5m e 9m)	4 CR
S2_pz	12	46.177094	10.326723	PZ TA [6m-12m]	5	2CV (3 m e 6 m)	4 CR

Tabella 8-2: Riepilogo sondaggi e prove in sito della campagna geognostica 2022; PZ TA: piezometro a tubo aperto. Le prove di permeabilità in foro sono di tipo Lefranc (CV: carico variabile). CR = campioni rimaneggiati. Le profondità sono espresse in metri da piano campagna.

N.2 prove penetrometriche dinamiche continue DPSH sono inoltre state realizzate durante la campagna d'indagine.

La tabella seguente riporta la posizione delle prove e la profondità investigata prima di andare a rifiuto:

Codice sondaggio	Prof. (m)	Coord. Lat. WGS 84	Coord. Long. WGS 84
DPSH1	2.1	46.177147	10.327325
DPSH2	3.9	46.177094	10.326723

Tabella 8-3: Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH.

### 8.2.2. Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante la campagna di sondaggi sono dettagliate nella tabella seguente:

Sondaggio	Campione	Profondità	Tipo	Contenuto d'acqua	Peso di volume	Peso specifico dei grani	Granulometria Setacciatura e sedimentazione	Limiti di Atterberg	Prova di taglio diretto
<b>S1_pz</b>	CR1	3.0-3.5	R	X	X	X	X	X	X*
	CR2	4.5-5.0	R	X	X	X	X	X	X*
	CR3	6.0-6.5	R	-	-	-	-	-	-
	CR4	9.0-9.5	R	-	-	-	-	-	-
<b>S2_pz</b>	CR1	3.0-3.5	R	X	X	X	X	X	X*
	CR2	6.0-6.5	R	-	-	-	-	-	-
	CR3	7.5-8.0	R	X	X	X	X	X	X*
	CR4	10.5-11.0	R	-	-	-	-	-	-

**Tabella 8-4: Riepilogo delle prove di laboratorio eseguite nel 2022. R = campione rimaneggiato. \* = su campioni ricostituiti in laboratorio.**

## 9. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Come già accennato in precedenza, la campagna geognostica ha evidenziato come l'area oggetto di studio sia caratterizzata da uno stato superficiale di riporto e di uno strato più profondo rappresentativo dei depositi di conoide alluvionale, costituito da ghiaia con sabbia debolmente limosa. Lo strato superficiale è caratterizzato da una composizione granulometrica eterogenea, e da prove SPT che variano da 20 a 50 colpi/30 cm. Lo strato più profondo invece è caratterizzato da una prevalenza granulometrica di ghiaia, che varia dal 42% al 64%, e da una consistente presenza di sabbia con percentuali variabili dal 28% al 40%. Le prove SPT in questo strato sono andate quasi tutte a rifiuto, a conferma della natura del deposito.

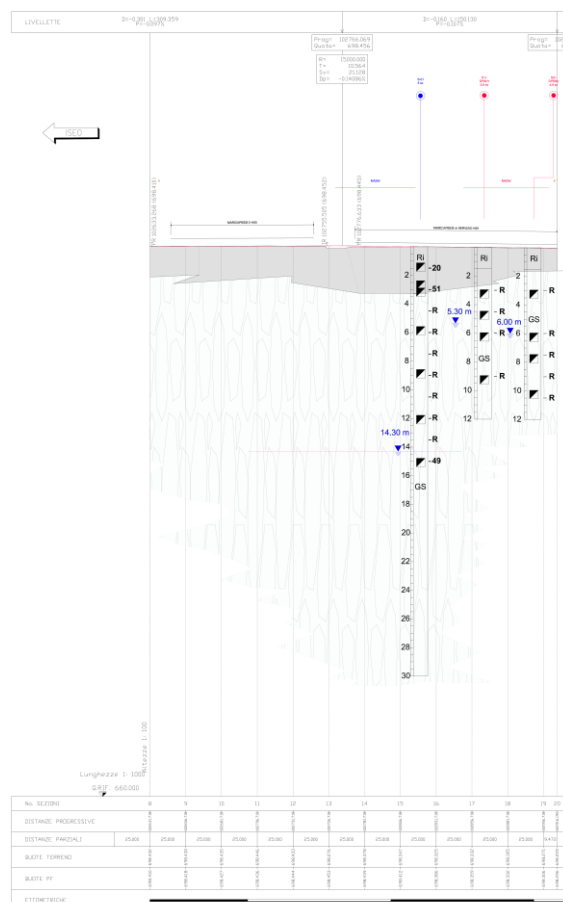


Figura 9-1: Stralcio di profilo geologico.

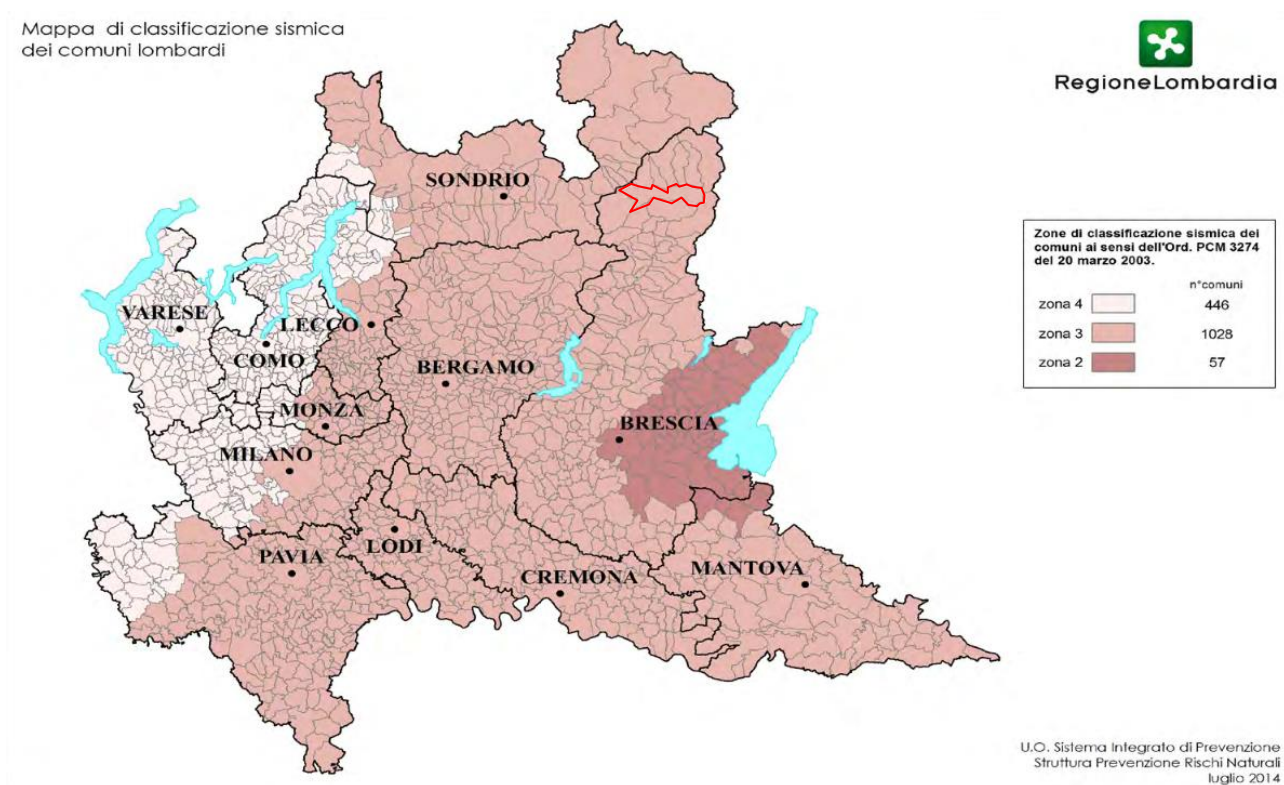
## 10. SISMICITÀ DELL'AREA

### 10.1. Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

L'individuazione delle zone sismiche del territorio italiano è uno degli strumenti in cui lo Stato fa ricorso per organizzare la prevenzione del rischio sismico. Questa classificazione è effettuata a scala comunale ed è competenza della Giunta Regionale.

Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, si fa riferimento alla legge regionale n. 33 del 12 ottobre 2015 e l'aggiornamento delle zone sismiche in Lombardia è contenuto nel DGR n.2129 del 2014. Secondo questo aggiornamento, il comune di Edolo è stato classificato in zona sismica 3, con un valore di  $a_{gmax}$  pari a 0.069257.

Essendo il comune considerato in zona sismica 3, verrà eseguita un'analisi di II° livello.



**Figura 10-1: Classificazione sismica dei comuni Regione Lombardia (il comune di Edolo è evidenziato in rosso).**

Relativamente alla pericolosità sismica di base, in riferimento alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo con probabile eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi, nell'area in studio è compresa tra 0.050 g e 0.075 g.



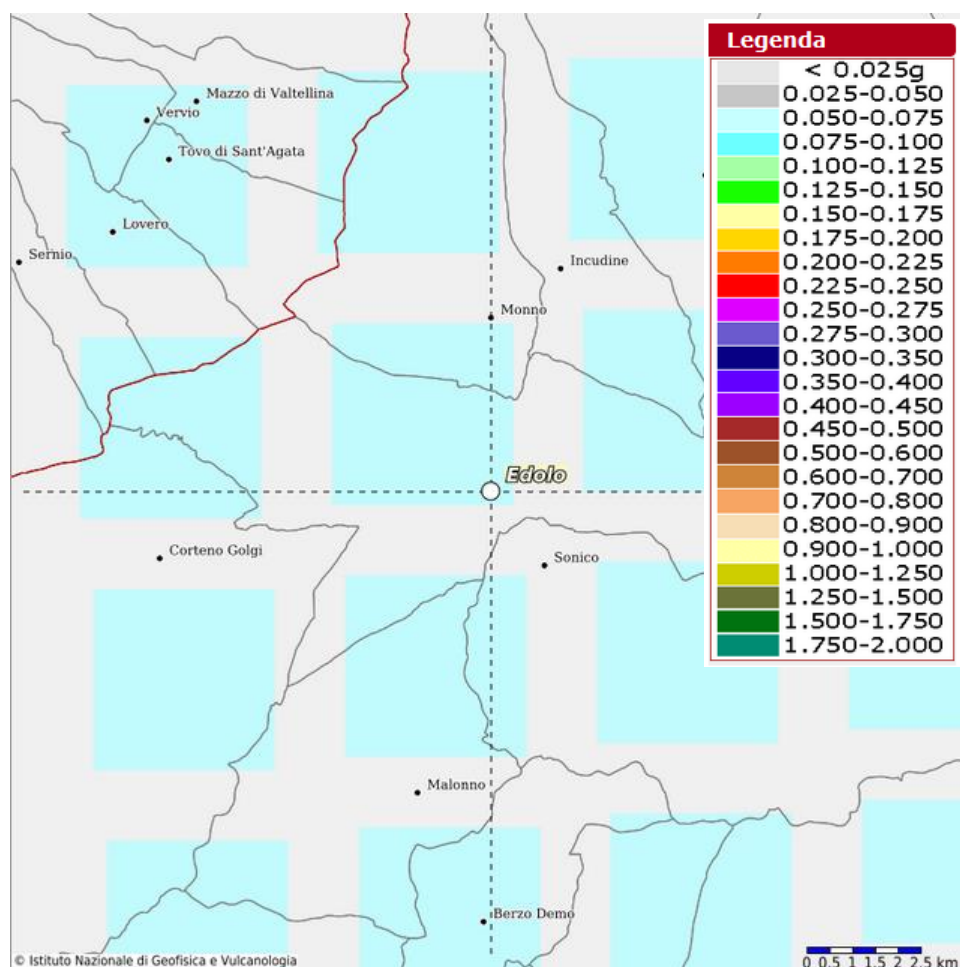


Figura 10-2: Estratto dalla Mappa di pericolosità sismica in Italia (<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Dal 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (ora aggiornate dal D.M. 17/01/2018), per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali (come previsto dalla precedente normativa in materia sismica).

L'azione sismica ai sensi del D.M. 17/01/2018 viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A), a superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), riferendosi alla definizione di "pericolosità sismica di base", fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella sottostante.

Stati Limite	$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 10-1: Probabilità di superamento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.I delle NTC 2018).

La tabella seguente fornisce i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati, per periodi di ritorno  $T_R$  di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni per l'area di studio.

Nel dettaglio:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito su suolo tipo A;

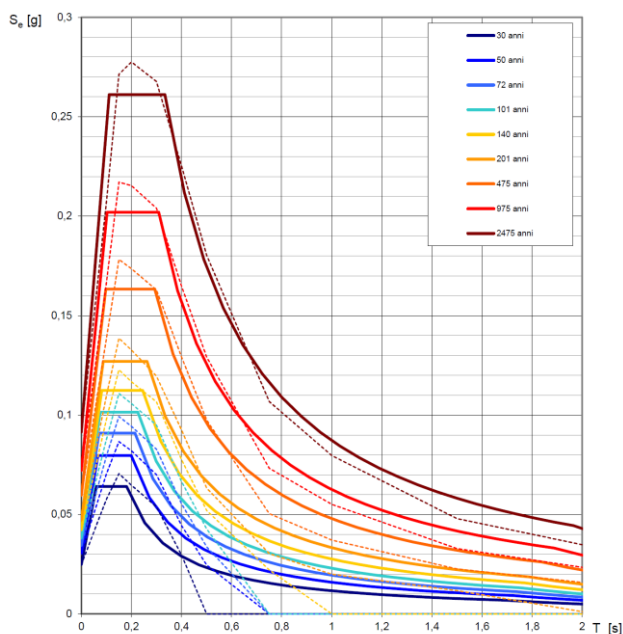
$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

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

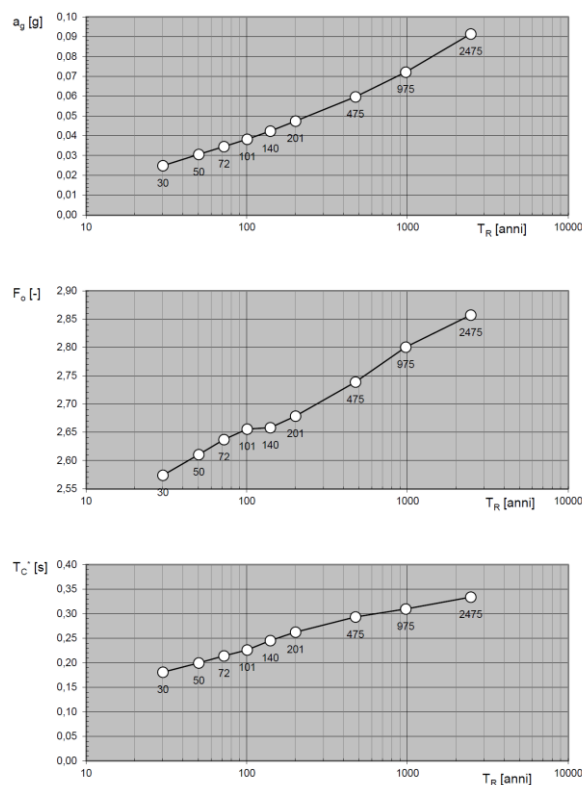
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.025	2.574	0.181
50	0.031	2.611	0.200
72	0.034	2.637	0.214
101	0.038	2.656	0.226
140	0.042	2.658	0.245
201	0.047	2.679	0.262
475	0.060	2.739	0.293
975	0.072	2.801	0.310
2475	0.091	2.857	0.334

**Tabella 10-2: Area di studio (coordinate ED50 EPSG 4230: 46.177847; 10.330389). Valori dei parametri di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

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



Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$



**Figura 10-3: Area di studio (coordinate ED50 EPSG 4230: 46.177847; 10.330389). A sinistra: Distribuzione dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  per differenti periodi di ritorno ( $T_R$ ). A destra: Spettri di risposta elastici per differenti periodi di ritorno ( $T_R$ ). Si evidenzia che con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.**

## 10.2. Sismicità storica

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale. Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

Per ricostruire la sismicità storica e strumentale del tracciato oggetto di studio sono stati consultati i seguenti cataloghi che raccolgono gli eventi sismici storici accaduti nel territorio italiano:

- il Catalogo dei Forti Terremoti in Italia CFTI5Med contenente dati di tipo macrosismico ed una descrizione degli effetti sul territorio e sul tessuto antropico basata su documenti storici, per l'intervallo temporale 461 a.C. – 1997.
- il Catalogo Parametrico dei terremoti italiani CPTI15 ver. 4.0 contenente dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020;
- il DBMI15 v2.0 - Database Macrosismico Italiano utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15.

Come indicato nel catalogo CFTI5Med, nel raggio di circa 25 km dal tracciato, si sono verificati 6 eventi sismici di forte intensità, mostrati nella Figura 10-4 e riassunti nella Tabella 10-3.

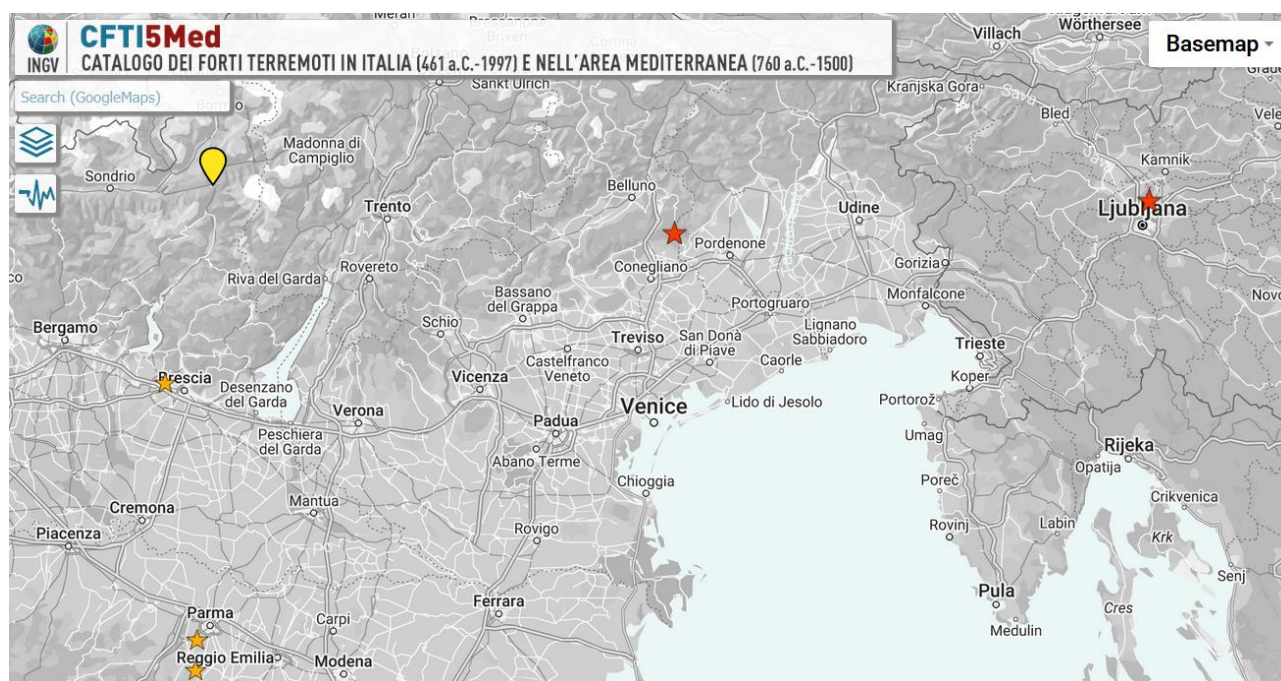


Figura 10-4: Catalogo dei Forti Terremoti in Italia CFTI5Med per la località Edolo (<https://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>).

Is R. intensità del terremoto MCS	Data	Ora	Io Intensità epicentrale	Imax Intensità massima	NMO Numero di osservazioni macrosismiche	Me Magnitudo equivalente	Area epicentrale
III-IV	1894/11/27	05:07:55	6	6	183	5.1	Bresciano
III	1983/11/09	16:29:52	6.5	7	850	5.3	Parmense
NF	1898/03/04	21:05:00	7.5	7.5	313	5.4	Valle del Parma

Is R. intensità del terremoto MCS	Data	Ora	Io Intensità epicentrale	Imax Intensità massima	NMO Numero di osservazioni macrosismiche	Me Magnitudo equivalente	Area epicentrale
(not felt)							
NF (not felt)	1895/04/14	22:17:00	8	8	293	6.2	Slovenia
IV	1936/10/18	03:10:01	9	9	193	6.2	Alpago-Cansiglio

**Tabella 10-3: Eventi tratti da CFT15Med (filtrati per località Edolo).**

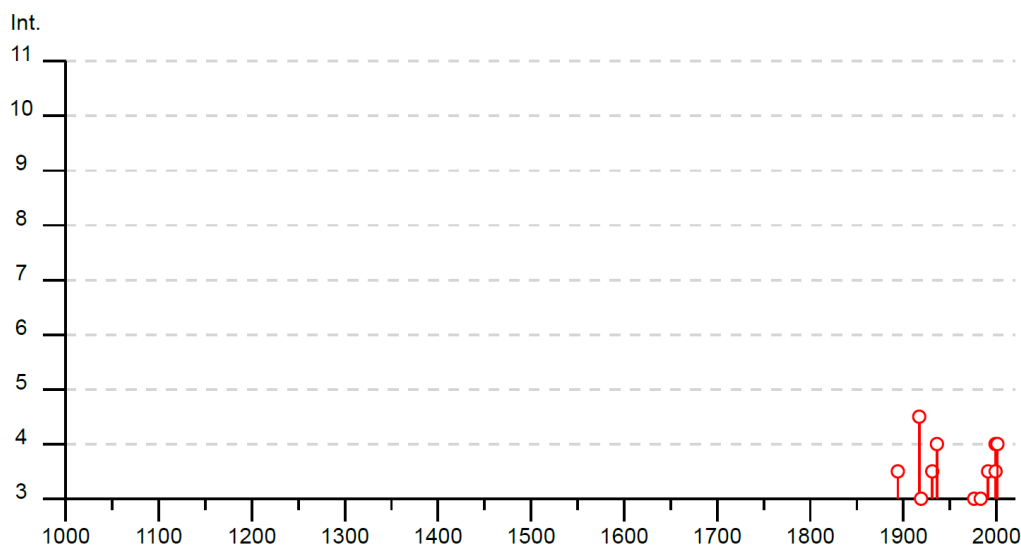
L'evento che ha più avuto effetti sul contesto antropico è stato il terremoto del 09 novembre del 1983 con area epicentrale nel Parmense. In quell'occasione, la scossa della durata di 5s, fu avvertita da poche persone, con tintinnio e leggera oscillazione di oggetti sospesi, come si evince dalle Risposte al Questionario Macrosismico Sperimentale CNR-GNDT relativo a 429 località, pervenute nel periodo novembre-dicembre 1983, predisposto dall'Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo della Regione Emilia-Romagna.

Per avere un quadro più completo sui livelli di sismicità dell'area, si è fatto riferimento anche al catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15) e al relativo database macrosismico (DBMI15), il quale racchiude tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti dall'anno 1000 fino al 2020.

La Figura 10-5 e la Tabella 10-4 sintetizzano la storia macrosismica del comune di Edolo.

## Edolo

PlaceID	IT_16130
Coordinate (lat, lon)	46.179, 10.332
Comune (ISTAT 2015)	Edolo
Provincia	Brescia
Regione	Lombardia
Numero di eventi riportati	14



**Figura 10-5: Tavola sinottica della sismicità storica del comune di Edolo.**

Intensità	Data	Ora	Io Intensità epicentrale	Mw Magnitudo momento	Area epicentrale
3-4	1894/11/27	05:07	6	4.89	Bresciano
NF	1898/03/04	21:05	7-8	5.37	Parmense
4-5	1917/12/9	21:40	6	4.60	Alta Engadina
3	1919/09/16	02:18	4-5	3.50	Alta Valtellina
3-4	1931/04/14	22:13	6	4.77	Valli Giudicarie
2	1934/03/23	01:46	5	4.31	Lago d'Iseo
4	1936/10/18	03:10	9	6.06	Alpago Cansiglio
3	1976/12/13	05:24	7	4.90	Garda settentrionale
3	1983/11/09	16:29	6-7	5.04	Parmense
3-4	1991/11/20	01:54	6	4.70	Grigioni, Vaz
4	1999/12/29	20:42		4.78	Alpi Retiche
3-4	1999/12/31	04:55		4.11	Alpi Retiche
NF	2000/04/06	17:40		4.02	Alpi Retiche
4	2001/07/17	15:06	5-6	4.78	Val Venosta

Tabella 10-4: Storia sismica per il comune di Edolo.

### 10.3. Sorgenti sismogenetiche

Le sorgenti sismogenetiche sono state catalogate in un catalogo specifico chiamato DISS (database of individual seismogenic sources). Questo catalogo ha come obiettivo di caratterizzare le sorgenti ritenute in grado di originare terremoti di magnitudo superiore a 5.5, basandosi su dati geologici e geofisici. Le sorgenti possono appartenere a due tipologie: le sorgenti sismogenetiche individuali (ISS), descrivono nel dettaglio le faglie responsabili di specifici forti terremoti già avvenuti o che potrebbero avvenire; le sorgenti Sismogenetiche Composite (CSS) descrivono i sistemi di faglia estesi, con un livello di dettaglio necessariamente minore.





**Figura 10-6: Sorgenti sismogenetiche più vicine all'area di studio, che è indicata col segnaposto.**

Le strutture più prossime all'area di studio sono sinteticamente descritte di seguito ed indicate con la relativa sigla nella Figura 10-6.

**ITCS048 – Giudicarie.** Questa sorgente composita si estende da Salò (a sudovest) a Trento (a nordest) e appartiene al sistema di faglie delle Giudicarie legato a thrusts e strutture transpressive ad andamento NNE-SSW. I cataloghi strumentali e storici mostrano una distribuzione significativa di sismicità intermedia ( $M_w$  ca. 4) nel settore centrale (Monte Baldo) mentre una sismicità più elevata viene registrata nel settore meridionale.

**ITIS069 – Salò.** Questa sorgente è una faglia inversa immergente a Nord-Ovest ed è congruente con la geometria del sistema di faglie inverse Giudicarie. Questa sorgente è associata con l'evento sismico del 30 ottobre 1901 con epicentro a Salò di magnitudo 5.7. Un altro evento di magnitudo 5.2 è accaduto il 24 novembre 2004 con epicentro a pochi km a nord di Salò. Il meccanismo focale di questo evento mostra un angolo di immersione Nord-Ovest congruente con la geometria del sistema di faglie inverse Giudicarie. Per tale motivo si può ipotizzare che quest'ultimo evento sia localizzato sulla stessa faglia inversa, sorgente sismogenica dell'evento del 1901.

**ITCS010 – thrust interno delle Alpi Meridionali Occidentali.** Questa sorgente composita si estende da Bergamo (a ovest) a Brescia (ad est). Si tratta di una porzione del sistema di faglie compressive a Sud della catena alpina. I dati storici mostrano una diffusione sparsa di fenomeni sismici di magnitudo  $M_w$  compresa tra 4.6 e 5. Il terremoto più rilevante di questo sistema è quello di Salò del 30 Ottobre 1901 ( $M_w$  5.7), seguito, a circa un secolo di distanza temporale, praticamente nella medesima area epicentrale, dal terremoto del 24 Novembre 2004 ( $M_w$  5.2). Il terremoto di

maggiore intensità attribuito a questa sorgente è quello del Veronese del 3 Gennaio 1117 ( $M_w$  6.6).

#### 10.4. Magnitudo di riferimento

Per valutare la stabilità del sito in condizioni sismiche, oltre alla massima accelerazione, occorre stimare la Magnitudo attesa.

Perciò, è possibile riferirsi ai dati disponibili della pericolosità sismica (INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) che costituiscono la base, sulla quale sono state definite i livelli di sismicità recepiti dalla legge.

Per l'area di studio, sono rappresentati di seguito in forma grafica i contributi specifici di Magnitudo-distanza alla pericolosità sismica con  $T_R = 2475$  anni ( $P_{VR}$  2% in 50 anni); questo periodo di riferimento è stato assunto in quanto maggiore di quello associato agli stati limite considerati nel progetto (SLV,  $T_R=1068$  anni – SLC,  $T_R=2193$  anni) e conseguentemente i valori di Magnitudo qui indicati sono coerenti con i valori di  $a_{max}$  assunti per il progetto dell'opera.

Come si può notare dalle figure seguenti, con particolare riferimento ai diagrammi, prevalgono contributi di terremoti caratterizzati da Magnitudo comprese tra 4.0 e 6.0; ai fini progettuali per le verifiche di stabilità del sito si adotterà pertanto un valore di riferimento pari a 5.5.

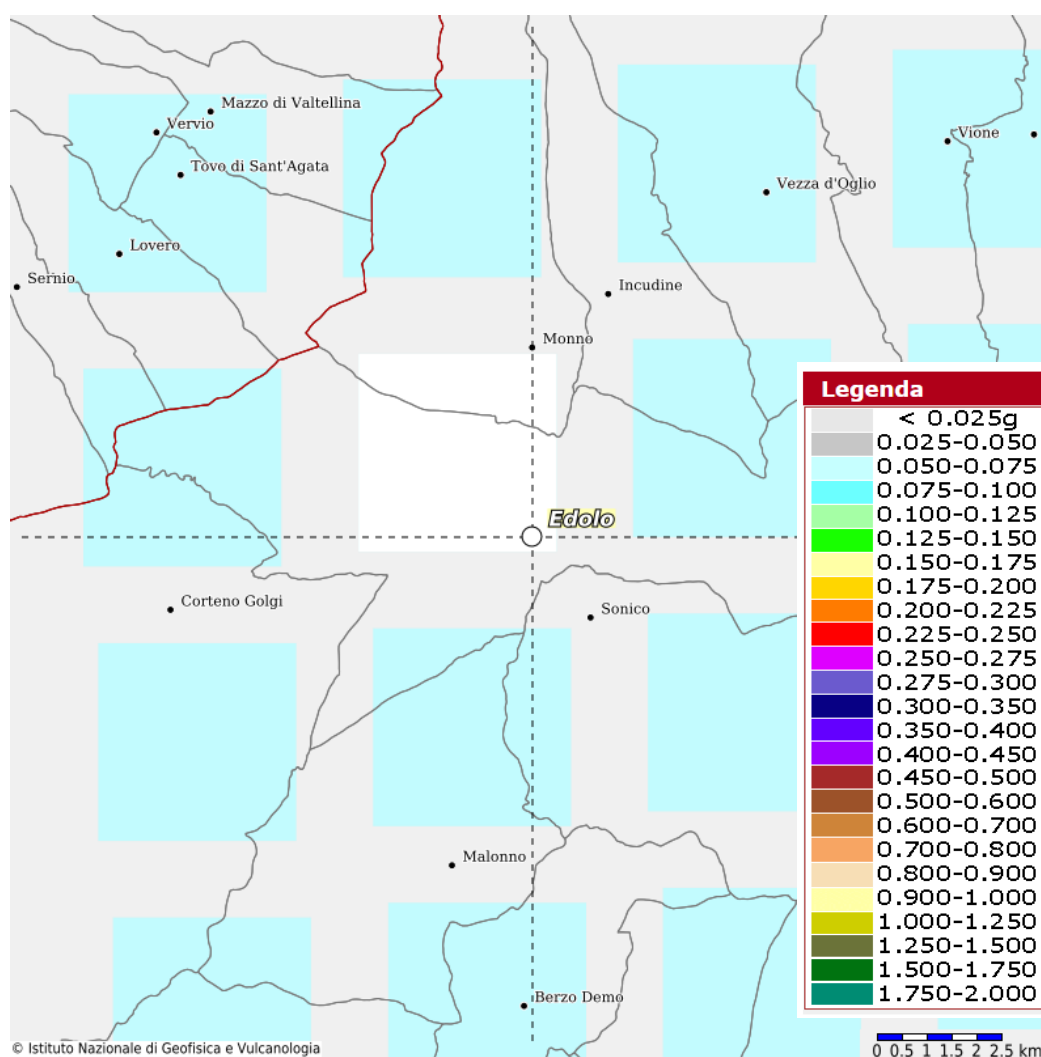


Figura 10-7: Estratto mappa pericolosità sismica INGV, Edolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

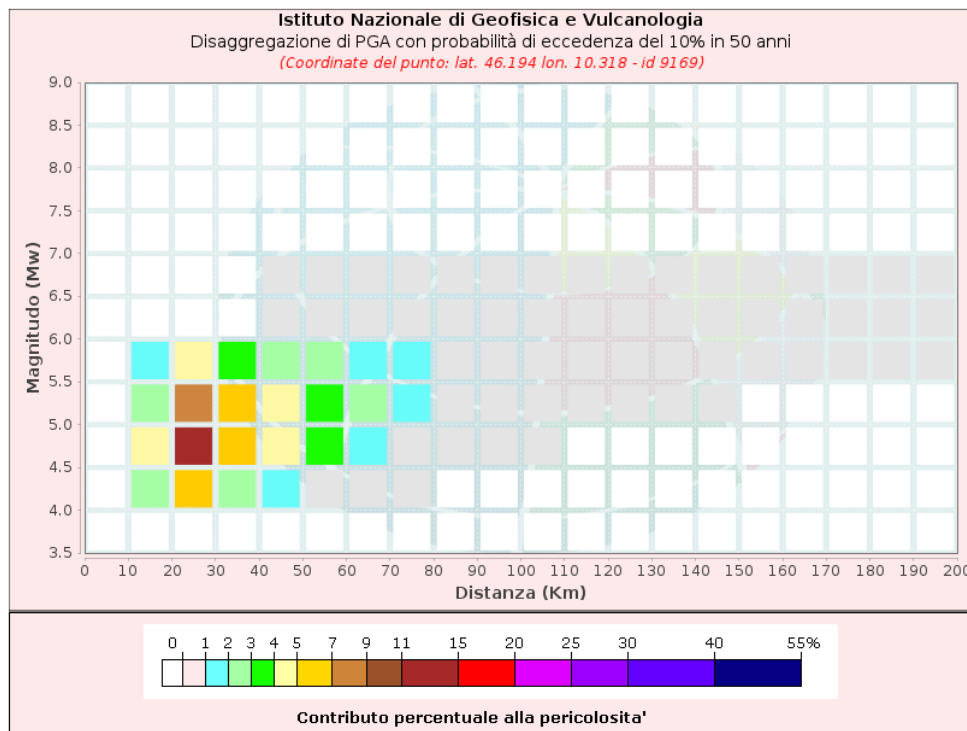


Figura 10-8: Diagramma della disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni – INGV, Edolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 46.194 lon. 10.318 - id 9169)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0- 4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	2.4000	4.7700	2.9000	1.1400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	5.1400	11.9000	8.8600	4.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	2.3100	6.4800	6.0900	3.3600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	1.6000	4.6800	4.6100	2.7700	0.1520	0.0191	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.8470	3.1800	3.5900	2.4500	0.4450	0.0596	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.2150	1.6300	2.3600	1.8500	0.5090	0.0729	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0085	0.6230	1.3300	1.2100	0.4810	0.0734	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.1700	0.6580	0.7090	0.4110	0.0664	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0334	0.3520	0.4780	0.3600	0.0612	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0009	0.1160	0.2280	0.2320	0.0414	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0405	0.1260	0.1470	0.0274	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0152	0.0983	0.1510	0.0326	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	0.1190	0.2370	0.0568	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0760	0.1800	0.0451	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0451	0.1250	0.0320	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0241	0.0871	0.0231	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0105	0.0598	0.0170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0038	0.0424	0.0136	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0302	0.0112	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.1	41.0	1.34

Figura 10-9: Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni – INGV, Edolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

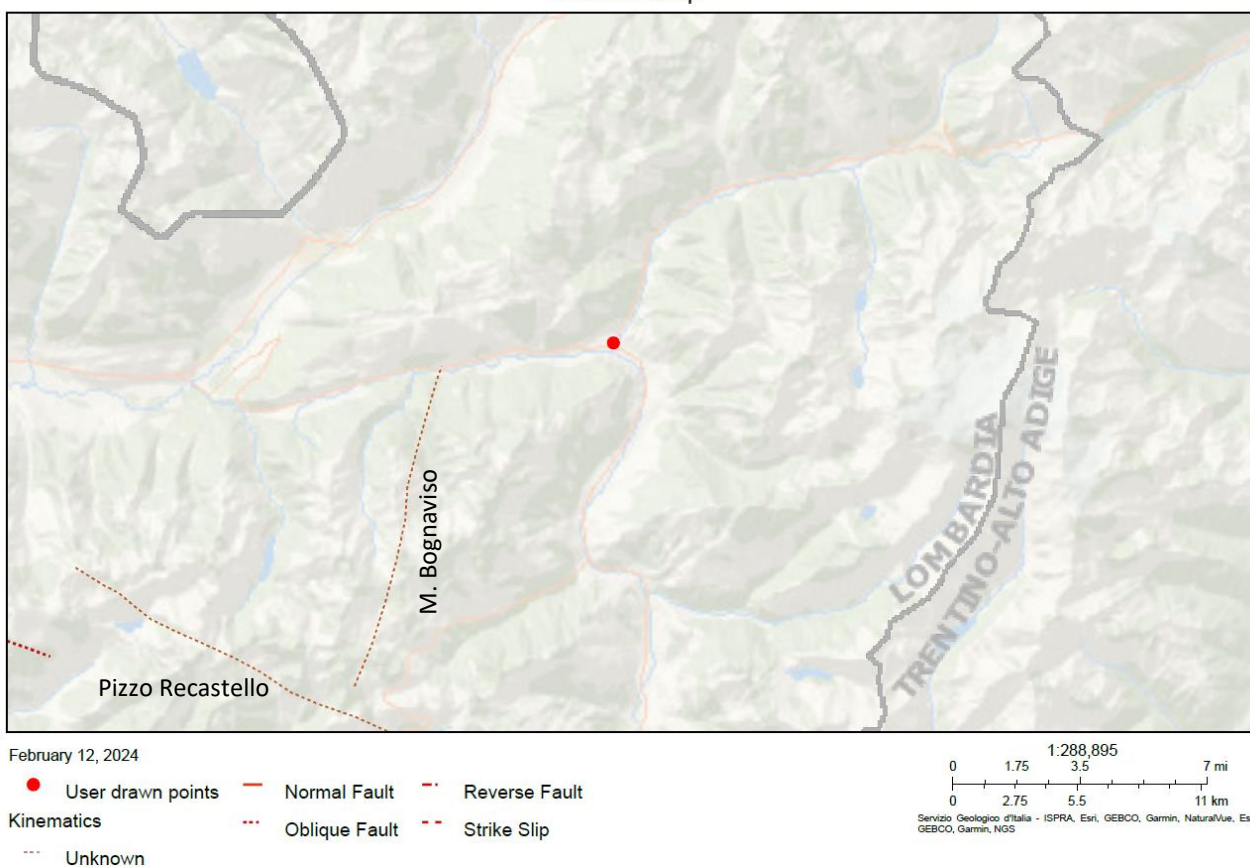


## 10.5. Faglie capaci

Secondo il catalogo delle faglie capaci (ITHACA), le faglie capaci sono in grado di produrre, entro in un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa. Le faglie capaci, come definite sopra, possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche. Nell'ultima versione di ITHACA è stata introdotta la distinzione tra:

- *faglia capace: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente;*
- *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.*

Viewer Map



**Figura 10-10: Catalogo delle faglie capaci ITHACA, il punto rosso indica l'area oggetto di studio**  
(<https://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html>).

Pizzo Recastello: fascio di fratture localmente subparallele ai lineamenti strutturali alpini. Si tratta di fratture che scompognano le masse rocciose lungo le quali si sono spesso impostati canali di drenaggio particolarmente incisi e rettilinei. Età Pleistocene superiore – Olocene.

M. Bognaviso è una frattura trasversale ai lineamenti strutturali alpini posta alla prosecuzione di faglie aventi la stessa orientazione. Evidenza morfologica discontinua, solchi di drenaggio fortemente incisi e contrapposti. Età Pleistocene superiore – Olocene.

## 10.6. Analisi sismica di secondo livello (Pericolosità sismica locale)

La procedura, D.G.R. 30 novembre 2011 – n. IX/2616, consiste in un approccio semiquantitativo e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa).

Gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di Fa. Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Nel caso in oggetto viene considerato lo scenario per gli effetti litologici non essendovi per l'area oggetto d'intervento amplificazioni sismiche per effetti morfologici.

Il piano di riferimento per i successivi calcoli è assunto pari all'attuale piano campagna.

In base al modello geologico del sito ed in base all'andamento delle Vs con la profondità, ricavato dalla prova MASW, per l'area oggetto d'intervento si è scelta la scheda per le "litologie prevalentemente sabbiose" per la quale la curva Vs-z sperimentale (curva blu) è interamente compresa nel campo di validità

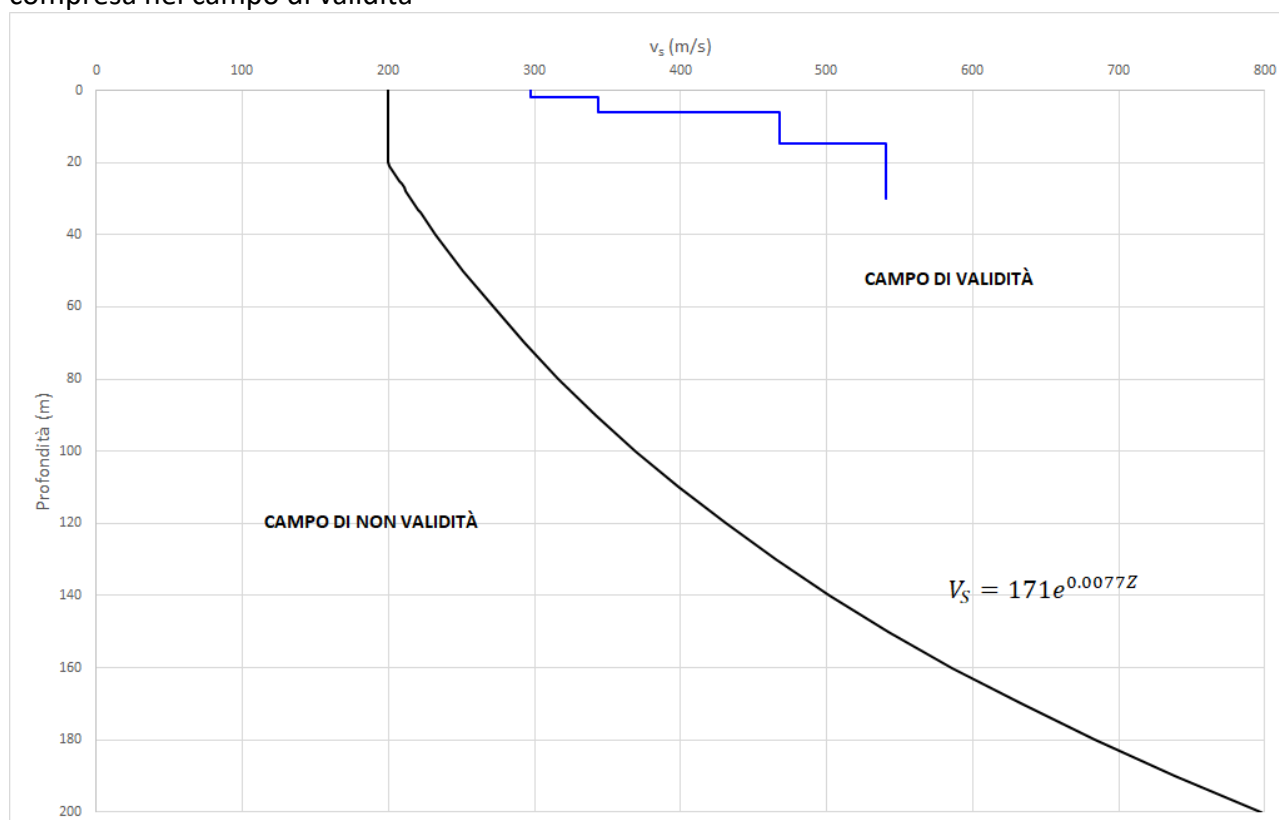


Figura 10-11: Andamento delle Vs con la profondità (litologia sabbiosa) confrontata con i risultati della prova MASW

Per quanto concerne la scelta della curva T-Fa, come strato superficiale è stato considerato lo spessore di 6 m dei terreni presenti sotto il p.c.. Poiché la velocità media del primo strato ottenuta è circa a 328 m/s, quindi, approssimato per eccesso come indicato nella norma, si considera 350 m/s, si utilizza la curva 2 (verde) del grafico T-Fa 0.1-0.5 sec..



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

Figura 9 10 Scelta della curva T-Fa

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione dove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello:

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

Si ottiene così un valore del periodo proprio del sito pari a 0.25s.

Dalla lettura dei grafici si ottengono i seguenti valori di  $F_a$  per i due periodi tipici 0.1- 0.5 s (strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5-1.5 s (strutture più alte e più flessibili):

	Fa	Fa
Periodo	0.1s – 0.5s	0.5s – 1.5s
Fattore calcolato	1.66	1.31

Tabella 10-5: Fattori di amplificazione calcolati per strutture basse e strutture alte.

Il parametro di  $F_a$  calcolato per ciascun comune della Regione Lombardia rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia calcolati dalla Regione per il Comune di Edolo:

COMUNE	INTERVALLO	Valori soglia			
		B	C	D	E
EDOLO	0.1 - 0.5	1.40	1.78	2.10	1.89
	0.5 - 1.5	1.68	2.35	3.98	2.98

Tabella 10-6: Valori soglia del comune di Edolo.

Considerando che per l'area in oggetto la categoria di suolo è la B, ne deriva che il valore di  $Fa_{0.1-0.5}$  è pari a 1.66 ed è maggiore del valore di Soglia  $_{0.1-0.5}$  pari a 1.40 per il suolo B; viceversa il valore di  $Fa_{0.5-1.5}$  è pari a 1.31 ed è inferiore al valore di Soglia  $_{0.5-1.5}$  pari a 1.68 per il suolo B, come riassunto nella tabella sottostante.

	Fa	Fa
Periodo	0.1s – 0.5s	0.5s – 1.5s
Fattore calcolato	1.66	1.31
Fattore soglia Edolo	1.40	1.68

Tabella 10-7: Confronto dei Fa calcolati con i valori soglia comunali.

Nel caso in cui il valore di Fa sia inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.

Nel caso in cui il valore di Fa sia superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema: anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D.

Nel caso in oggetto, essendo prevista la realizzazione di strutture edificatorie basse rientranti nel periodo proprio compreso nell'intervallo tra 0.1-0.5 sec, poiché il valore di Fa calcolato è risultato superiore al valore di soglia corrispondente si dovrà effettuare o un'analisi più approfondita (3° livello) o si dovrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore adottando una categoria di suolo "C" essendo:

$Fa_{0.1-0.5} = 1.66 > Soglia_{0.1-0.5} = 1.40$  (suolo "B")

$Fa_{0.1-0.5} = 1.66 < Soglia_{0.1-0.5} = 1.78$  (suolo "C")

## 10.7. Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo ( $S_s$ ) nonché le condizioni topografiche del sito di interesse ( $S_T$ ).

### 10.7.1. Categoria di sottosuolo

La categoria di sottosuolo viene determinata in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ , ottenuti mediante specifiche prove.

Con riferimento alla tabella 3.2.II delle NTC2018, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

$h_i$ =spessore dell'i-esimo strato;

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

$N$ =numero di strati;

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

Secondo la normativa vigente, per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. La presente classificazione è riferita al piano campagna.

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

Sulla base dell'interpretazione delle prove geofisiche svolte nell'area di studio:

- MASW (2022)  $\rightarrow V_{s,eq} = 506$  m/s
- MASW (2023)  $\rightarrow V_{s,eq} = 459$  m/s

per l'area di studio è risultata una Categoria di sottosuolo B, ma come precedentemente esposto al §10.6, si ritiene opportuno considerare una **Categoria di sottosuolo C** corrispondente a *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."*

Il coefficiente  $S_s$  per la categoria di sottosuolo C si ottiene dalla seguente espressione:

$$S_s = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$$

### **10.7.2. Condizioni topografiche**

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, l'opera oggetto di studio è ubicata all'interno di un sito sostanzialmente pianeggiante e viene classificato in Categoria topografica T1 (Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ , v. Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

### **10.7.3. Vita nominale**

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

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

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

#### **10.7.4. Classi d'uso e periodo di riferimento per l'azione sismica**

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso  $C_U=0.7$ .
- Classe II: Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Per le quali  $C_U = 1.0$ .
- Classe III: Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Per le quali  $C_U = 1.5$ .
- Classe IV: Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Per le quali  $C_U = 2$ .

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso III ( $C_U = 1.5$ )

Pertanto, nel caso in esame, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento  $V_R$  pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

#### **10.8. Considerazioni preliminari del rischio di liquefazione**

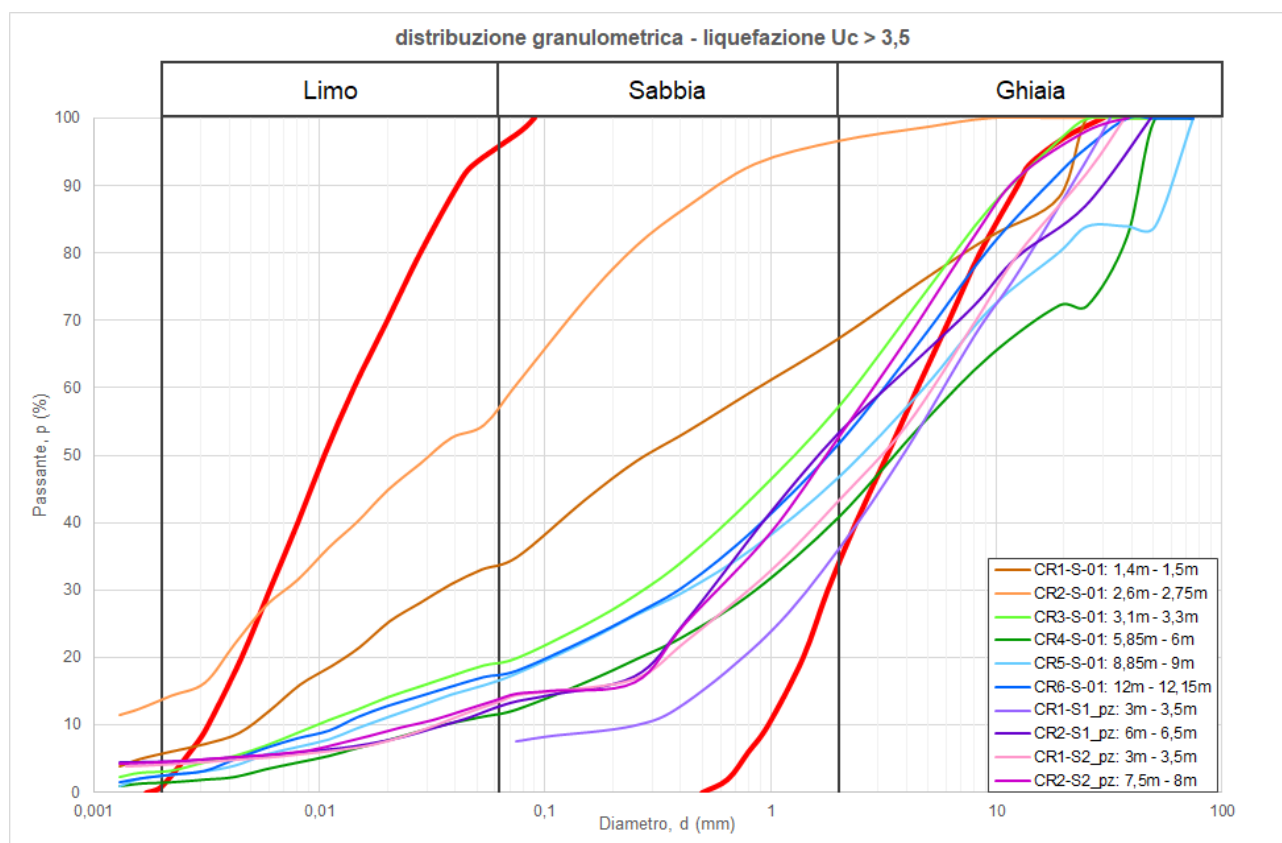
Il DM 17/1/2018, al paragrafo 7.11.3.4.2 stabilisce che la verifica alla liquefazione può essere omessa qualora si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

In questo caso:

- L'accelerazione massima attesa risulta inferiore a 0.1 g, per cui si può omettere la verifica per questo caso;
- La profondità media della falda risulta essere da -5.3 a -24 m da piano campagna; dunque, questa condizione di omissione non è verificata;

- Per quanto riguarda i valori di  $(N_1)_{60}$  sono quasi tutti superiori a 30, tranne nel caso di un valore sopra falda in cui è di poco inferiore. Questo valore si ritiene trascurabile in quanto localizzato e questo criterio è quindi verificato.
- Dalla Figura 10-12, si può notare come la frazione sabbiosa all'interno dei campioni, seppur in materiali granulometricamente eterogenei, sia rilevante (le percentuali di sabbia nei campioni variano dal 28% al 40%), per cui le curve risultano essere all'interno del campo della probabilità di liquefazione. Questa condizione non può essere omessa.



**Figura 10-12: Distribuzioni granulometriche dei campioni con  $C_u > 3,5$ .**

Per i punti 1 e 3, la verifica alla liquefazione può essere omessa.

## 11. BIBLIOGRAFIA

Gosso G., Spalla M.I., Siletto G.B., Berra F., Bini A., Forcella F. (2012). Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio 57 Malonno. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000.

Brack, P., Dal Piaz, G. V., Baroni, C., Carton, A., Nardin, M., Pellegrini, G. B., & Pennacchioni, G. (2008). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 058, Monte Adamello. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G., Valensise G. (2018), CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-

1500). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.

Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019), CFTI5Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, Scientific Data 6, Article number: 80 (2019).

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7).

DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.

Galadini, F., M. E. Poli and A. Zanferrari (2005). Seismogenic sources potentially responsible for earthquakes with  $M \geq 6$  in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy). Geophys. J. Int., 161, 739-762.

ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>.

Meletti C., & Martinelli F. (2008). I dati online della pericolosità sismica in Italia <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Castaldini, D., & Panizza, M. (1991). Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il lago di Como (Italia Settentrionale). Il Quaternario, 4, 333-410.

NORD\_ING (2022). Relazione geologica per la Realizzazione impianto di distribuzione per treni ad idrogeno.

Cogeo (2008). Relazione geologica per la componente geologica del Piano di Governo del Territorio.