



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MIT
MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



RegioneLombardia

Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



FERROVIENORD
FNM GROUP



un progetto di
FNM FERROVIENORD TRENORD

CODICE
COMMESSA

LIVELLO
PROGETTAZIONE

D.P.R.
207/10

PROGRESSIVO
ELABORATO

CATEGORIA
OPERA

NUMERO
OPERA

REVISIONE

SCALA

B 3 5

D

b

0 0 2

I G

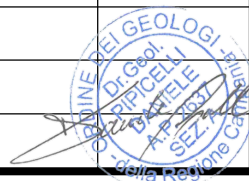
0 2

R 0

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

Relazione Tecnica Specialistica Geologica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Lug. 2024	PRIMA EMISSIONE		



FERROVIENORD

APPALTATORE



Progettista



BTP INFRASTRUTTURE S.p.A.

Via di Torre Rossa 66 - 00165 ROMA
☎ (+39) 06 8710088 ✉ info@btpinfra.it
Web: www.btpinfrastrutture.com

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
D.PIPICELLI	P. TURBOLENTE	N. SBARIGIA	09/07/2024

CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE

AGG.

“RELAZIONE GEOLOGICA”

Sommario

1. PREMESSA	2
1.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
1.2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO	12
1.3. VINCOLI NORMATIVI E STABILITÀ DELL'AREA	15
1.4. ASSETTO IDROGEOLOGICO	19
2. RILEVAMENTO GEOLOGICO-TECNICO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	22
2.1. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E SISMICHE ESEGUITE NEL 2023 DALLA EUROGEO S.R.L INDAGINI GEOGNOSTICHE.	22
3. MODELLO GEOLITOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO	27
4. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE DI PROGETTO	30
4.1. INDAGINI E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOFISICI	30
4.2. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI GEOFISICI	33
4.3. AZIONI SISMICHE DI SITO	40
4.4. VERIFICA A LIQUEFAZIONE	41
5. CLASSIFICAZIONE SEMPLIFICATA DEI SUOLI	42
5.1. INTRODUZIONE	42
5.2. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	42
5.3. AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE	45
6. CONCLUSIONI	46

1. PREMESSA

Nel presente documento sono illustrate le risultanze dello studio geologico e di caratterizzazione e modellazione geologica del sito riguardante lo studio di un'area sulla quale è in progetto la costruzione di: un **IMPIANTO DI PRODUZIONE, STOCCAGGIO E DISTRIBUZIONE DI IDROGENO DI EDOLO (BS)**.

L'area è ubicata in Via Rassiche ad ovest della stazione Ferroviaria di edolo.

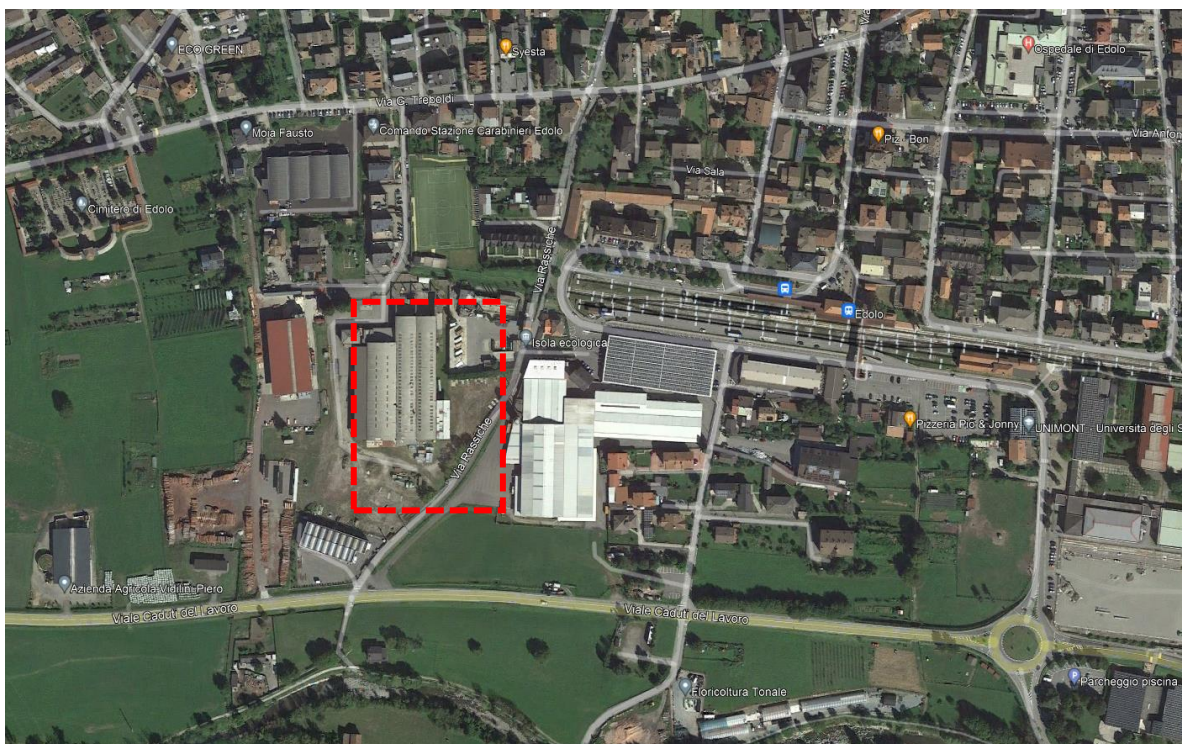


Figura 1– ORTOFOTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

Quanto eseguito nella seguente relazione ha previsto la raccolta di informazioni geologiche e progettuali preliminari nonché storiche, lo studio di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche finalizzate alla ricostruzione stratigrafica, delle caratteristiche dei terreni e la valutazione delle componenti geologiche del progetto.

Il presente progetto prevede la realizzazione del nuovo impianto di produzione, stoccaggio e distribuzione di gas idrogeno a servizio della rete ferroviaria (per locomotive) e della rete stradale per il trasporto di linea (per autobus).

L'area oggetto di proposta d'intervento è suddivisa in due parti: la zona di produzione, stoccaggio e rifornimento di gas idrogeno della rete stradale per il trasporto di linea (autobus) presso il lotto costeggiato da Via Rassiche, a ridosso dell'incrocio con Viale

Caduti del Lavoro, e Via Industriale; la zona di solo rifornimento di gas idrogeno per la rete ferroviaria (locomotive) all'interno della stazione ferroviaria.

Il progetto è inserito nell'ambito di un ammodernamento del trasporto passeggeri sulla linea ferroviaria Brescia – Iseo – Edolo.

Lo scopo della seguente relazione è quello di analizzare lo stato dei luoghi ed eseguire una verifica vincolistica individuando la migliore soluzione progettuale e la realizzazione dell'opera.

1.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area d'indagine ricade interamente nel Foglio 57 (Malonno) della carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 dell'ISPRA.

Dall'indagine rivolta all'identificazione dei terreni affioranti, in prossimità della zona in esame, risulta che questi sono prevalentemente di origine sedimentaria - continentale e rappresentano, nella maggior parte dei casi, i termini superiori della sequenza stratigrafica loro caratteristica.

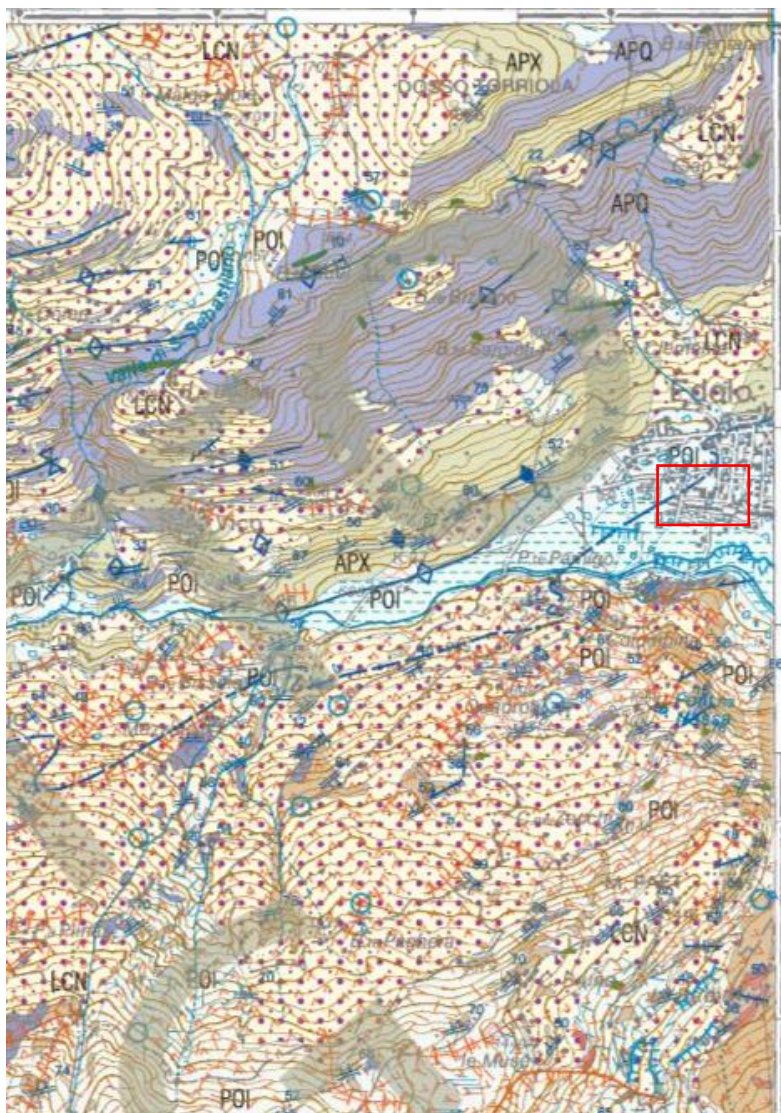




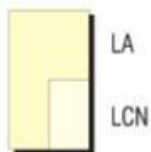
Figura 2 - Stralcio del Foglio Geologico 57 (Malonno) della cartografia Geologica d'Italia 1:50000 dell'ISPRA.

LEGENDA CARTA GEOLOGICA

DEPOSITI CONTINENTALI NEOGENICO-QUATERNARI	
UNITA' NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA	
	SINTEMA DEL PO
	Diamicton e ghiaie massive con clasti eterometrici spigolosi (depositi di versante). Ghiaie e sabbie stratificate o in corpi lenticolari, limi massivi (depositi alluvionali). Limi laminati, sabbie fini, torbe (depositi lacustri e di torbiera). Diamicton massivi a supporto di matrice con clasti da sub angolari ad arrotondati (till d'ablazione e di alloggiamento). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione.
	Subsistema della Piccola Età Glaciale (POI ₈)
	Superficie limite caratterizzata da orizzonte B poco sviluppato, morfologie ben conservate, esteso inerbimento sino a limitata vegetazione arborea. PICCOLA ETÀ GLACIALE (PEG), 1500-1860 AD.
	Subsistema del Po recente (POI ₇)
	Superficie limite caratterizzata da orizzonte B assente, morfologie in evoluzione, inerbimento da scarso a nullo, con sviluppo di vegetazione pioniera. PEG - ATTUALE
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	

UNITA' DEI BACINI DELL'ADDA E DELL'OGLIO

SUPERSINTEMA DEI LAGHI



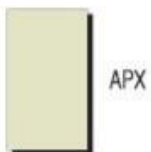
Diamicton massivi (till d'alloggiamento e di ablazione). Ghiaie medie e grossolane, stratificate, a supporto di matrice sabbiosa o in lenti alternate a diversa granulometria (depositi alluvionali); diamicton, ghiaie, sabbie, limi con grande variabilità di facies sia laterale che verticale, in genere stratificati (depositi di contatto glaciale); ghiaie, sabbie, limi e argille laminate (depositi lacustri); ghiaie con elementi spigolosi alterate, con matrice argillosa arrossata (depositi di versante). Superficie limite superiore caratterizzata da morfologia ben conservata, copertura loessica assente, profilo di alterazione poco evoluto.

SINTEMA DI CANTÙ (LCN): till d'alloggiamento e di ablazione; depositi alluvionali; depositi di contatto glaciale; depositi lacustri; depositi di versante. Superficie limite superiore con profilo di alterazione poco evoluto, spessore massimo 2 m, colore della matrice 7,5 -10YR.

PLEISTOCENE SUPERIORE

UNITA' TETTONOMETAMORFICA DELL'APRICA (di età varisica)

MICASCISTI A GRANATO, BIOTITE, CLORITE



Scisti a grana fine con mica chiara, granatoli, plagioclasio, quarzo, opachi, \pm biotite, \pm clorite, in paragenesi contemporanea allo sviluppo della foliazione S_1 (f. scisti verdi). La paragenesi stabile durante lo sviluppo della foliazione pervasiva S_2 (f. scisti verdi) contiene localmente granatoli e abbondanti opachi. Si trovano a Sud degli gneiss granitoidi con relitti di strutture ignee, e a Nord delle quarziti, tra Santicolo e Pisogneto. (Scisti di Edolo *Auct. p.p.*; EDO *p.p.* del limitrofo F. Adamello).

PRE-VARISICO

Dal punto di vista geologico il territorio esaminato si trova a sud della Linea Insubrica, costituendo quindi parte dei terreni delle Alpi Meridionali. Le rocce affioranti sono rappresentate prevalentemente da quelle appartenenti al basamento archeozoico sudalpino.

Dal punto di vista litologico a nord del lineamento insubrico si trovano rocce appartenenti alla formazione degli gneiss del Monte Tonale (appartenenti alla zolla Europea e pertanto definiti in letteratura "Austridi"), mentre a sud compaiono i litotipi appartenenti al basamento cristallino sudalpino.

Il Basamento cristallino è costituito da rocce di medio-basso grado metamorfico riunite sotto il nome di Scisti di Edolo che costituiscono la maggior parte del Complesso Sudalpino. In realtà si tratta di una formazione costituita da rocce che spaziano da micascisti cloritici e localmente muscovitici, scisti grigio-scuri, talora biotitici con letti e vene di quarzo a filladi, con locali intrusioni porfiritiche sia concordanti che discordanti rispetto alla scistosità, passanti a micascisti quarziticci e a quarziti compatte, in funzione del grado metamorfico che a sua volta è funzione della vicinanza o meno del plutone intruso.

Oltre alla variabilità di facies imputabile alla variazione di grado metamorfico, si aggiunge anche quella dovuta all'origine sedimentaria pelitica di questa formazione.

Caratteristica di tali rocce è la presenza dei piani di scistosità, dati dall'isorientazione dei minerali micacei e l'intensa fratturazione (legata alla vicinanza della linea Insubrica parallelamente alla quale tende a disporsi l'orientazione della scistosità principale) accompagnate dalla facile sfaldabilità dell'ammasso roccioso, dovuto anche alla presenza di circolazione idrica localmente abbondante. L'azione glaciale ha agito sulla porzione superficiale degli ammassi rocciosi, determinando la formazione di un "tetto di alterazione" disarticolato ed alterato anche a causa dell'azione degli agenti atmosferici. Tale fenomeno si osserva maggiormente in corrispondenza delle facies "scistose cloritico-muscovitiche" mentre le facies maggiormente quarzitiche e i filoni intrusi di natura porfirica, risultano meccanicamente più resistenti a causa della maggior compattezza e della maggior resistenza alla degradazione.

I fattori precedentemente citati sono i fattori predisponenti per il verificarsi dei fenomeni di caduta massi o di fenomeni di scivolamento in roccia.

Lungo il tratto di versante compreso tra i limiti comunali con il comune di Monno e l'abitato, la formazione degli scisti di Edolo presenta frequenti intercalazioni di quarziti (individuate in letteratura come Quarziti del Dosso Paso). Le quarziti, come già detto, presentano una maggior resistenza meccanica ai fenomeni di degradazione e pertanto tendono a mostrarsi in maggior rilievo rispetto alle facies scistose e più facilmente erodibili.

La valle Grande incide completamente (fatto salvo una piccola porzione in testata che risulta costituita da rocce intrusive dell'Aviolo) il substrato roccioso costituito dagli scisti di Edolo.

Come già detto le caratteristiche strutturali sono legate alla presenza della Linea Insubrica (indicata in tavola 01) che si allunga in direzione est-ovest a nord del territorio comunale ed è individuabile nell'avvallamento posto a nord del tratto di versante compreso tra i limiti comunali con il comune di Monno e di Corteno Golgi. Il tracciamento della Linea Insubrica (che nell'area di interesse prende il nome di Linea del Tonale) e la sua precisa collocazione risulta difficilmente determinabile, poiché trattasi non di un lineamento preciso, ma di una densa fascia di superfici di movimento subparallele (faglie) con annesso alcune linee parallele minori. La linea è costituita da due faglie subparallele che si intersecano in corrispondenza del monte Padrio e nel territorio di Monno. Alle linee di faglia sono associati fasci di rocce a composizione migmatitica che possono avere ampie estensioni e che sono associate a rocce milonitizzate, cataclasate.

Lo stato di fratturazione delle rocce nella porzione alta del versante determina un'evoluzione dinamica del territorio molto rapida, a causa dei fenomeni di crollo e di movimento gravitativo, nonché della forte erosione a cui le aree (poste a quote elevate) sono soggette ad opera degli agenti meteorici e delle variazioni climatiche. Sono poi 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.

In entrambi i casi, sia per il versante esposto a sud sia per quello esposto a est, tali linee di frattura rappresentano linee preferenziali per l'infiltrazione e lo scorrimento delle acque sotterranee che, nel soprattutto nel caso del versante esposto a sud, emergono poi in corrispondenza dei terrazzamenti morfologici (di origine tettonico-strutturale e glaciale) posti alle quote più basse del versante.

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. All'attività neo tettonica connessa a tale lineamento è da ricercarsi secondo alcuni studiosi, la causa del movimento gravitativo profondo (complessivamente inattivo che interessa questo settore di versante).

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.

Il substrato roccioso della testata della Val d'Avio (così come la vicina Val Paghera) è costituito dalle rocce intrusive terziarie del Plutone dell'Adamello: nella zona Forcellino Giulio affiorano lembi di rocce metamorfosate per contatto diretto con la massa magmatica intrusa costituiti originariamente sia dal Basamento cristallino degli Scisti di Edolo, sia dalla copertura Permo Triassica.

La collocazione di lembi di basamento e copertura è legata all'assetto tettonico strutturale dell'area caratterizzato dalla presenza della linea della Gallinera (dislocamento a carattere regionale con sviluppo NE-SW, costituente il prolungamento in direzione est della Linea Orobica. Nelle zone vicine a suddetto lineamento le rocce presentano intensa fratturazione: si trovano infatti fasce cataclastiche che interessano sia le masse intrusive sia le rocce metamorfosate. La valle Gallinera, impostata lungo l'omonimo lineamento, mostra lungo il versante sinistro della valle rocce tonalitiche associabili al complesso magmatico del Baitone (localizzato in Comune di Sonico), mentre alla base, nel fondovalle e in direzione del passo Gallinera affiorano lembi di rocce Permo-triassiche (arenarie e conglomerati appartenenti alla formazione del Verrucano Lombardo e del Servino, oltre che a lembi di Carniola di Bovegno), in stato di cataclasi e metamorfismo di contatto tale da non consentirne il riconoscimento diretto. Il versante destro della Valle Gallinera è invece impostato in rocce metamorfiche del Basamento Cristallino Sudalpino (Scisti di Edolo) e nel tratto inferiore del versante affiorano le quarzodioriti dell'Aviolo. Le stesse quarzodioriti affiorano in corrispondenza della testata della Val Finale.

Le rocce intrusive del Plutone dell'Adamello caratterizzano anche la testata della Val Moia (in zona Monte Aviolo), in forma di granodioriti e quarzodioriti. Nella valle dei laghi Venerocolo-Avio si distingue principalmente una tipologia di massa intrusa: la Granodiorite del Lago d'Avio (affiorante in corrispondenza del Lago d'Arno), biotitico-anfibolica (che affiora per la maggior parte nella parte nord dell'area) e la Tonalite dell'Adamello (affiorante nell'area in esame), dalla tipica grana medio-grossolana con cristalli evidenti di feldspato e plagioclasti.

Le tonaliti sono rocce costituite prevalentemente da plagioclasio e quarzo e in subordine biotite e anfibolo, sono relativamente scure e hanno grana tipicamente grossolana. Spesso si osservano passaggi a facies leucotonalitiche.

Depositi superficiali

I depositi superficiali sono rappresentati da:

- **depositi glaciali**: costituiti perlopiù da materiali fluvioglaciali e morenici rimaneggiati. I primi si distinguono per la presenza di una pseudo-stratificazione e per la posizione morfologica (in corrispondenza dei tratti di versante a debole pendenza quali i terrazzamenti morfologici). Litologicamente sono costituiti da ghiaie e sabbie limose con ciottoli e clasti. I materiali morenici rimaneggiati sono caratterizzati dalla presenza di accumuli caotici di clasti, blocchi in matrice, quantitativamente variabile sabbioso –

limosa. Si tratta di materiali rimaneggiati dall'azione gravitativa, in quanto frammisti a materiali detritici ed eluviali. Alcuni spaccati sono visibili in corrispondenza di nicchie di distacco di frane inattive (dove possono anche manifestarsi fenomeni di emergenza idrica con relativa saturazione dei depositi caratterizzati da presenza di matrice fine scarsamente permeabile). Nel tratto di valle che collega l'Aprica all'abitato di Edolo, i depositi glaciali risultano, seppur di spessore esiguo in quanto il substrato roccioso è perlopiù subaffiorante, piuttosto diffusi a testimonianza dell'antica lingua glaciale che scendeva dal passo dell'Aprica e si collegava al ghiacciaio camuno. La presenza di depositi glaciali nel senso "letterale del termine" è osservabile in corrispondenza della conca dei laghi Benedetto-Venerocolo e Avio: in tal caso la deposizione più recente consente di osservare forme caratteristiche quali cordoni morenici, rock glaciers e aree di accumulo di detrito glaciale attuali, in corrispondenza dei circhi glaciali che delimitano il confine comunale. Depositi glaciali sono diffusi anche lungo il settore di versante posto in destra idrografica al corso del Torrente Ogliolo e che fa capo alla cima del Piz Tri. Si tratta in questo caso di depositi detritico glaciali rimaneggiati che si sviluppano in area a media pendenza sottostanti versanti più ripidi caratterizzati dalla presenza di depositi detritici.

- **depositi eluvio colluviali e colluvio glaciali:** sono originati dal disfacimento del substrato roccioso in posto, frammisti a materiali che hanno subito un'azione di trasporto per gravità e per l'azione delle acque superficiali, lungo i versanti e che sono pertanto costituiti da materiali più grossolani. I depositi sono costituiti da sabbie limose inglobanti ciottoli, ghiaia e pietrisco in quantità variabile. Lo spessore è in genere esiguo, raramente raggiunge il metro di potenza, si ritrovano alle quote medie e basse spesso interdigitati a depositi colluvio glaciali (messi in posto per asportazione degli orizzonti superficiali alterati dei depositi glaciali, ad opera del dilavamento delle acque superficiali in deflusso lungo i versanti), questi ultimi caratterizzati da percentuali significative di argilla. I depositi colluviali in senso generico si formano in corrispondenza delle superfici topografiche subpianeggianti (terrazzi morfologici).

- **depositi detritici di versante:** si trovano localmente alla base delle pareti rocciose più fratturate e alterate, in stato attivo nel settore est del territorio e frammisti a depositi glaciali rimaneggiati presso la maggior parte del territorio comunale. Falde detritiche di maggior estensione sono state individuate, oltre che nella porzione orientale del territorio, alla base delle pareti del versante esposto a nord delimitato dalla cima del Piz Tri. Sono caratterizzati dalla presenza di blocchi eterometrici spigolosi (perlopiù

appartenenti agli scisti di Edolo) immersi in matrice sabbiosa variabile quantitativamente in funzione dello stato di attività del deposito (nel caso di depositi con stato di attività "attivo" i blocchi accatastati sono caratterizzati dalla quasi totale assenza di matrice) e colonizzati o meno dalla vegetazione sempre in relazione allo stato di alimentazione.

- **depositi alluvionali:** sono stati distinti in "depositi alluvionali recenti", spesso colonizzati dalla vegetazione e "depositi alluvionali attuali", che occupano la sede attuale del corso d'acqua. Si trovano dove la pendenza dell'alveo, sia in relazione al Fiume Oglio sia al Torrente Ogliolo, sia riguardo i torrenti minori va diminuendo, ciò implica la diminuzione della velocità di trasporto dei materiali da parte delle acque di scorrimento superficiali e la conseguente prevalente azione di deposizione. I depositi alluvionali attuali sono costituiti in prevalenza da materiali grossolani, blocchi, ghiaie e ciottoli di varia pezzatura in scarsa o nulla matrice sabbiosa e localmente limosa. Per quanto riguarda i depositi alluvionali recenti, nel caso del Fiume Oglio, questi sono costituiti da ghiaie e sabbie limose, mentre lungo la piana del torrente Ogliolo si trovano depositi superficiali caratterizzati da una minor granulometria (a causa del fenomeno precedentemente citato della formazione di un lago di sbarramento temporaneo) prevalentemente limoso sabbiosa. Infine, si segnala la presenza di limi argilloso sabbiosi, di potenza metrica, localizzati presso il bacino di accumulo ENEL. Tali livelli sono stati individuati durante l'esecuzione di alcuni sondaggi geognostici realizzati a supporto del progetto di realizzazione dell'invaso. In corrispondenza di tali aree, la carta di sintesi delle problematiche (tavole 05A e 05B) riporta la dicitura: "aree caratterizzate da depositi superficiali che, per genesi e modalità di deposizione, possiedono medio basse caratteristiche tecniche, poco addensati, scarsamente permeabili e le zone caratterizzate da terreni eterogenei variabili localmente con possibile presenza di lenti e livelli di sabbie fini, limi e argille".

- **depositi di conoide:** si trovano allo sbocco delle valli tributarie principali del Fiume Oglio e del Torrente Ogliolo, dove per effetto della brusca diminuzione di pendenza i corsi d'acqua abbandonano il materiale trasportato depositandolo nella la tipica forma a cono. I depositi di conoide possiedono al loro interno una certa classazione granulometrica orizzontale perché i materiali più fini tendono a disporsi nella parte inferiore e laterale della conoide, mentre i più grossolani (trasportati perlopiù durante gli eventi di piena) nel settore mediano della conoide ed in corrispondenza dell'attuale alveo torrentizio che generalmente incide la sua stessa conoide. I più significativi sono

rappresentati dalla Conoide della Valle dei Bezzi, della Valle Dosso di Mezzano e l'apparato di deiezione del fiume Oglio in corrispondenza del centro abitato di Edolo. Si tratta in tutti i casi citati di depositi con stato inattivo. Conoidi caratterizzati da uno stato di attività "attivo o quiescente" sono invece localizzabili nel settore orientale del territorio esaminato, in particolare nell'area di insediamento dei laghi glaciali allo sbocco delle incisioni vallive. La forte dinamica evolutiva che caratterizza questo settore rende tali forme particolarmente evidenti in quanto scarsamente o per nulla vegetate.

Sono stati distinti, ove significativi, anche i depositi di frana, costituiti da masse di terreno a granulometria prevalentemente grossolana e eterogenea, evidentemente rimaneggiate ad opera degli agenti gravitativi, anche se difficilmente distinguibili da osservazione diretta in sito, ma rilevabili dall'esame delle foto aeree. Le forme inattive caratterizzano i settori centrali e occidentali del territorio, mentre accumuli recenti e attualmente alimentati perlopiù da crolli isolati sono individuabili nel settore orientale. Una serie di fenomeni franosi impostati in depositi glaciali si individua lungo il versante in sinistra idrografica della Val Finale. La valle incide infatti profondamente i depositi glaciali e detritico glaciali costituenti il versante, generando scarpate ripide interessate da erosione intensa e degradazione anche a causa dell'azione erosiva di fondo e laterale esplicita dallo stesso corso d'acqua.

Alle quote più alte dei versanti si sono rilevati anche piccoli depositi "torbosi" (l'estensione modesta spesso ne ha impedito la rappresentazione cartografica), soprattutto in corrispondenza di aree sub-pianeggianti e umide: questi depositi testimoniano la presenza residuale di terreni glaciali ricchi di materiale organico ed ora soggetto a decomposizione.

1.2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il comune di Edolo 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 che mette in comunicazione la Valle Camonica e la Valtellina) e del Fiume Oglio.

L'abitato sorge sul conoide generato dal fiume Oglio in uscita dalla stretta forra posta in Comune di Monno.

I limiti comunali sono costituiti a nord dal Comune di Monno, Incudine, Vezza d'Oglio, Vione, Temù e Ponte di Legno, a est con Saviore dell'Adamello, a sud con Sonico e a ovest con Corteno Golgi e la Provincia di Sondrio.

Il territorio ha un'estensione areale di circa 90 kmq e si estende principalmente in direzione est-ovest, trasversalmente rispetto allo sviluppo della Vallecamonica, spingendosi a ovest sino alla Cima dell'Adamello (3554 m) e comprendendo la zona dei laghi glaciali dell'Avio, Benedetto e Venerocolo.

Oltre all'abitato principale (situato ad una quota media di 690 m s.l.m.) fanno parte del comune le frazioni di Mu (quota media 760 m s.l.m.), Cortenedolo (quota media 880 m s.l.m.), Vico (quota media 935 m s.l.m.) e Nembra (quota media 750 m s.l.m.).

Il territorio può essere suddiviso in cinque settori: l'area di fondovalle (comprendente l'abitato di Edolo, la zona industriale e l'area su cui insiste il bacino di accumulo ENEL), il versante che si sviluppa a nord e a nord ovest dell'abitato (comprendente numerose frazioni quali: Cortenedolo, Vico, Nembra), il versante posto in destra idrografica al torrente Ogliolo (caratterizzata perlopiù dalla presenza di cascinali sparsi e gruppi di baite) e delimitato dalla cima del Piz Tri, i versanti che si sviluppano in destra e sinistra idrografica del Fiume Oglio (tra le località di maggior estensione l'abitato di Mu e la località Pleria) e il settore orientale del territorio (caratterizzato dalla presenza dei bacini idroelettrici di Pantano, Venerocolo, Benedetto e Avio).

Le zone del territorio esterne ai nuclei abitati, sono caratterizzate da una densità abitativa bassa con presenza di tipologie di edifici di carattere alpino (cascinali e baite) utilizzati prevalentemente nei periodi estivi e primaverili e in parte per scopo agricolo (alpeggi e malghe).

La parte montuosa del territorio, che si concentra perlopiù nel settore orientale del territorio e con minor estensione areale lungo i versanti in destra e sinistra idrografica del torrente Ogliolo, è di tipo tipicamente alpino, caratterizzato da elevate pendenze e

dalla presenza della sede del Ghiacciaio dell'Adamello. I laghi glaciali, oltre ad essere conosciute mete turistiche, alimentano la centrale di Edolo.

Le aree pianeggianti nel territorio comunale rappresentano una piccola parte del territorio e si sviluppano principalmente lungo le piane alluvionali del Fiume Oglio e del torrente Ogliolo. L'abitato principale è localizzato in corrispondenza del raccordo tra il conoide generato dal Fiume Oglio e le piane alluvionali.

Il territorio comunale risulta delimitato e inciso da due importanti aste fluviali quella del Fiume Oglio (con sviluppo nord-sud, localizzato nella porzione centro occidentale del territorio) e quella del torrente Ogliolo (che si sviluppa est-ovest nel settore sud occidentale e che confluisce con il Fiume Oglio in prossimità del confine comunale di Sonico). Idrograficamente il territorio è caratterizzato da numerosi alvei torrentizi che confluiscono nel Fiume Oglio e nel Torrente Ogliolo, tra i principali si citano il torrente della Valle Gallinera (che sfocia in comune di Sonico), la valle Moia (che sbocca a nord dell'abitato di Mu), la valle Guspessa (che segna il limite comunale con il comune di Corteno Golgi) e la Valle di San Sebastiano (che delimita a est la frazione di Cortenedolo). I restanti alvei torrentizi (fatto salvo per quelli localizzati nel settore orientale del territorio nell'area dei laghi glaciali) possiedono comunque un limitato sviluppo e piccoli bacini imbriferi.

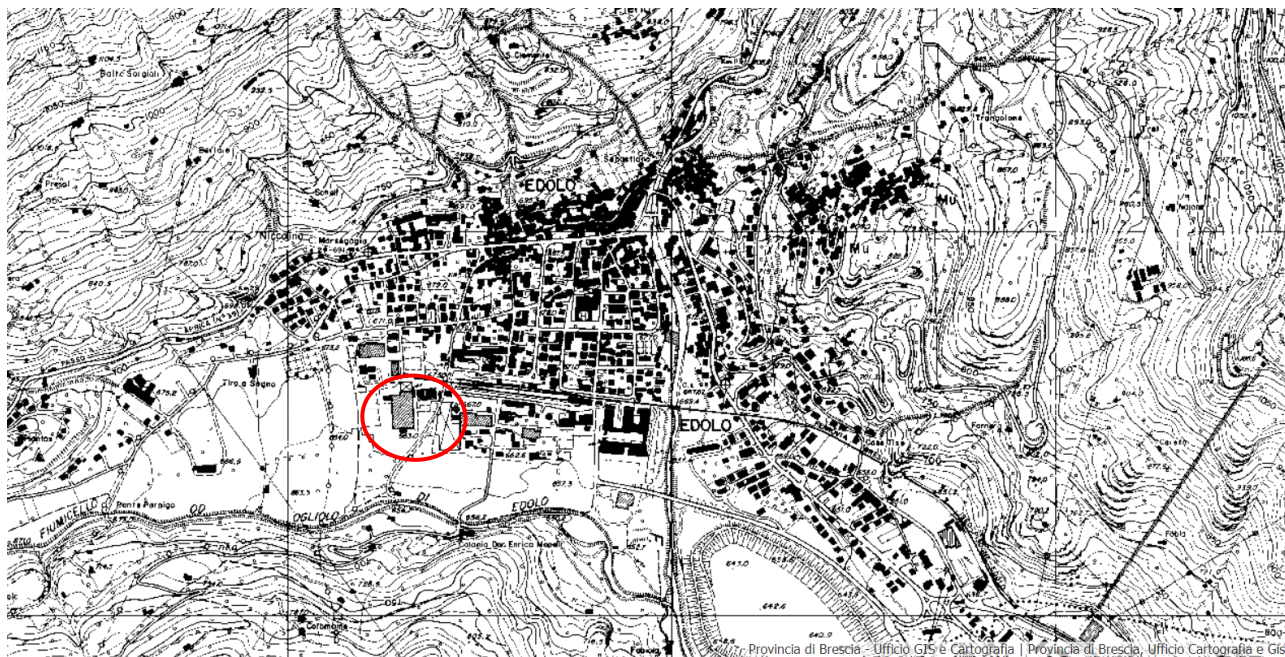


Figura 3 – Stralcio CTR – geoportale PROVINCIA DI BRESCIA

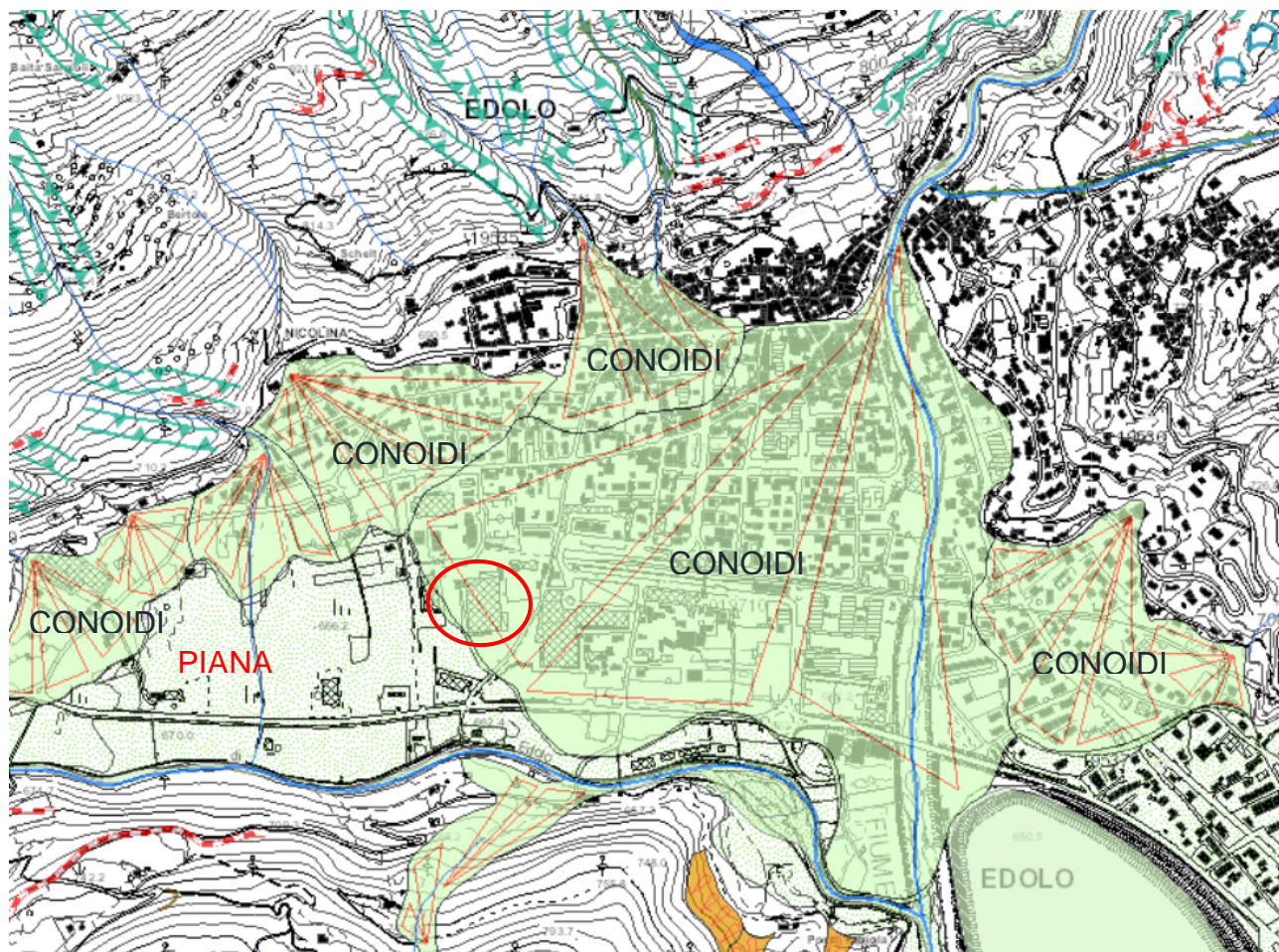


Figura 4 – Stralcio CARTA GEOMORFOLOGICA – GEOPORTALE PROVINCIA DI BRESCIA

1.3. VINCOLI NORMATIVI E STABILITÀ DELL'AREA

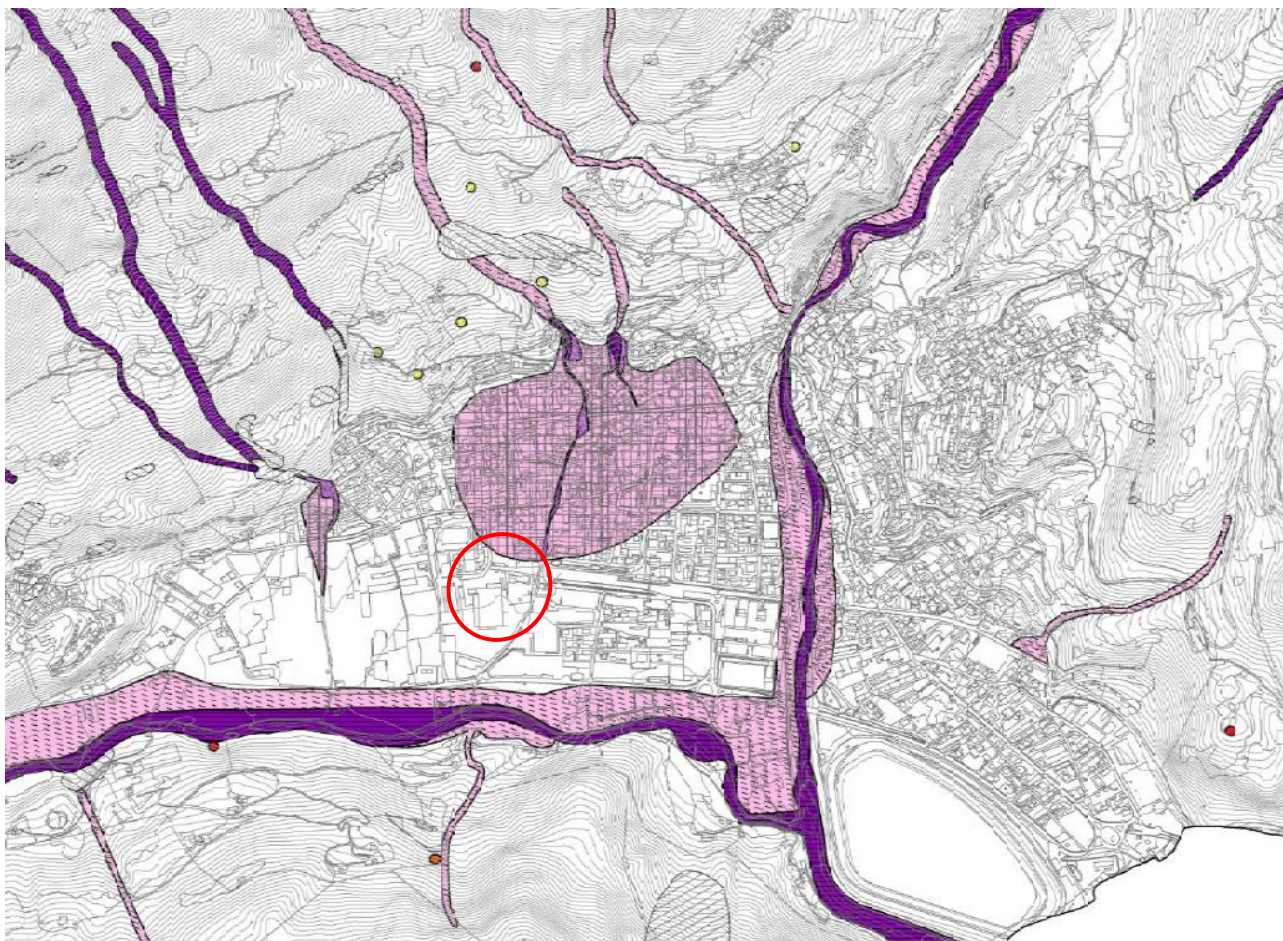


Figura 5 – Stralcio CARTA PAI – PGRA EDOLO OVEST

Nella zona in esame non si evincono particolari problematiche geologico-tecniche relative alla stabilità globale delle stesse come riscontrato dall'esame delle perimetrazioni PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po. L'area risulta priva di perimetrazioni e vincoli.

Legenda














Dissesti puntiformi PAI

- Area di frana attiva non perimetrata (Fa)/Modifiche e integrazioni
- Area di frana quiescente non perimetrata (Fq)/Modifiche e integrazioni
- Area di frana stabilizzata non perimetrata (Fs)/Modifiche e integrazioni




Dissesti lineari PAI

- Area a pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata (Va)/Modifiche e integrazioni

Dissesti poligonali PAI

-  Area a pericolosità molto elevata (Ee)/Modifiche e integrazioni
-  Area a pericolosità media o moderata (Em)/Modifiche e integrazioni
-  Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va)/Modifiche e integrazioni
-  Area a pericolosità media o moderata (Vm)/Modifiche e integrazioni
-  Area di conoide attivo non protetta (Ca)/Modifiche e integrazioni
-  Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp)/Modifiche e integrazioni
-  Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cm)/Modifiche e integrazioni
-  Area di frana attiva (Fa)/Modifiche e integrazioni
-  Area di frana quiescente (Fq)/Modifiche e integrazioni
-  Area di frana stabilizzata (Fs)/Modifiche e integrazioni
-  ESONDAZIONI: Zona 1
-  FRANE: Zona 1
-  FRANE: Zona 2

Pericolosità PGRA reticolo secondario collinare montano (RSCM)

-  H - Alta
-  M - Media
-  L - Bassa

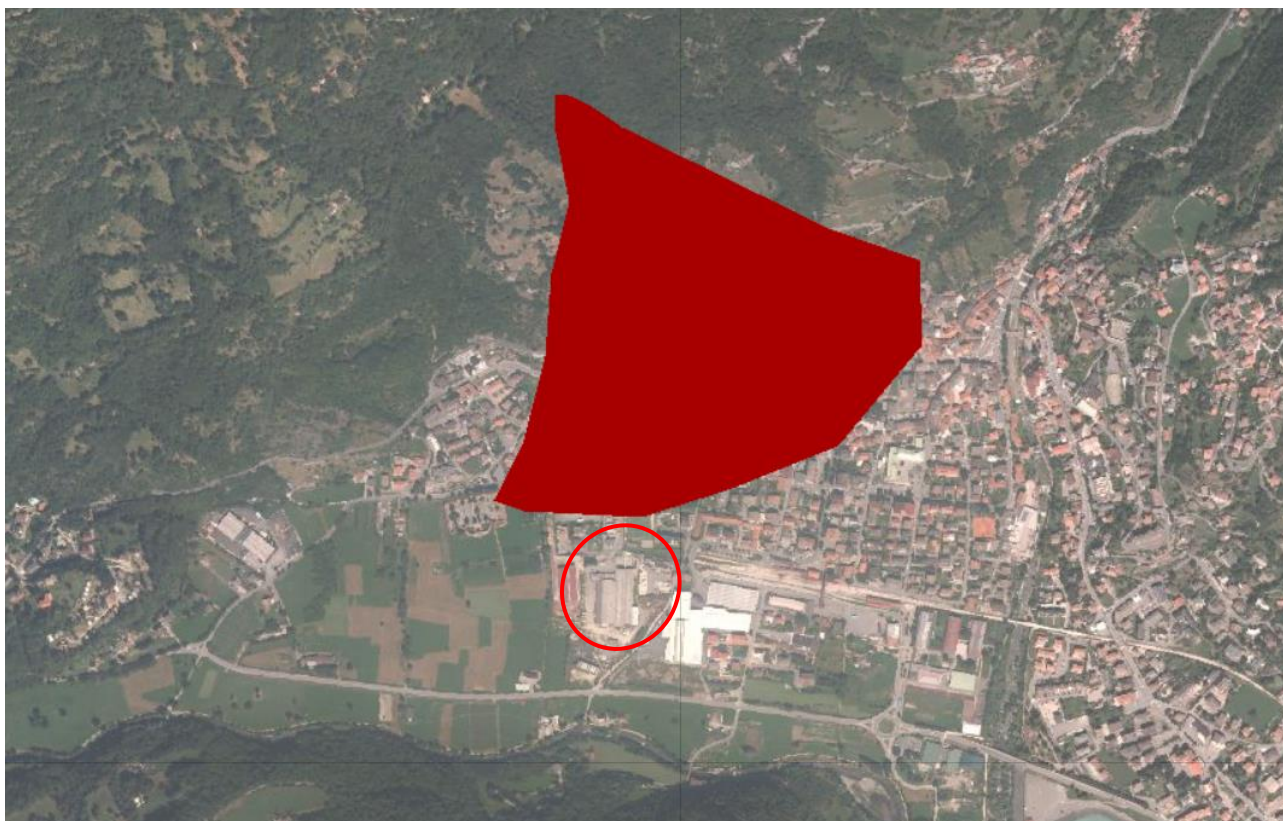


Figura 6 - Stralcio carta PAI – PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA DA FRANA

LEGENDA:

PERICOLO FRANA	
	MOLTO ELEVATA
	ELEVATA
	MEDIA
	MODERATA




Per ciò che riguarda la pericolosità idrogeologica il sito si trova a valle di un'area perimetrata a rischio elevato da frana.











Figura 7 - Stralcio carta Inventario fenomeni franosi Lombardia (IFFI) – GEOPORTALE LOMBARDIA

LEGENDA:

Aree a franosità diffusa

-  Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi
-  Aree soggette a frane superficiali diffuse
-  Aree soggette a sprofondamenti diffusi

Frane poligonali

-  Crollo/ribaltamento
-  Scivolamento rotazionale/traslato
-  Espansione
-  Colamento lento
-  Colamento rapido
-  Sprofondamento
-  Complesso
-  Non determinato

Conoidi detritico-alluvionali



L'area risulta stabile e non interessata da fenomenologie di pericolosità.

La determinazione ed il calcolo della pendenza del sito sono importanti per definire la categoria topografica, la quale andrà ad influenzare il calcolo delle azioni sismiche di progetto.

In questo caso la categoria topografica (tabella 3.2. delle NTC 2018) definita in base al D.M. 17/01/2018 è T1 ("superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $< 15^\circ$ ") cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_t pari a 1.

1.4. ASSETTO IDROGEOLOGICO

Da un punto di vista idrogeologico a grande scala è possibile discriminare, all'interno dei litotipi affioranti sul territorio comunale di Edolo, cinque complessi idrogeologici caratterizzati da diversi gradi di permeabilità come riportato di seguito:

PERMEABILITÀ ELEVATA

- Depositi superficiali: comprendente depositi alluvionali e di detrito di versante, ghiaie e sabbie. Tale complesso è caratterizzato da una permeabilità per porosità variabile in relazione alla granulometria dei depositi. Questi depositi caratterizzano l'area oggetto di studio.

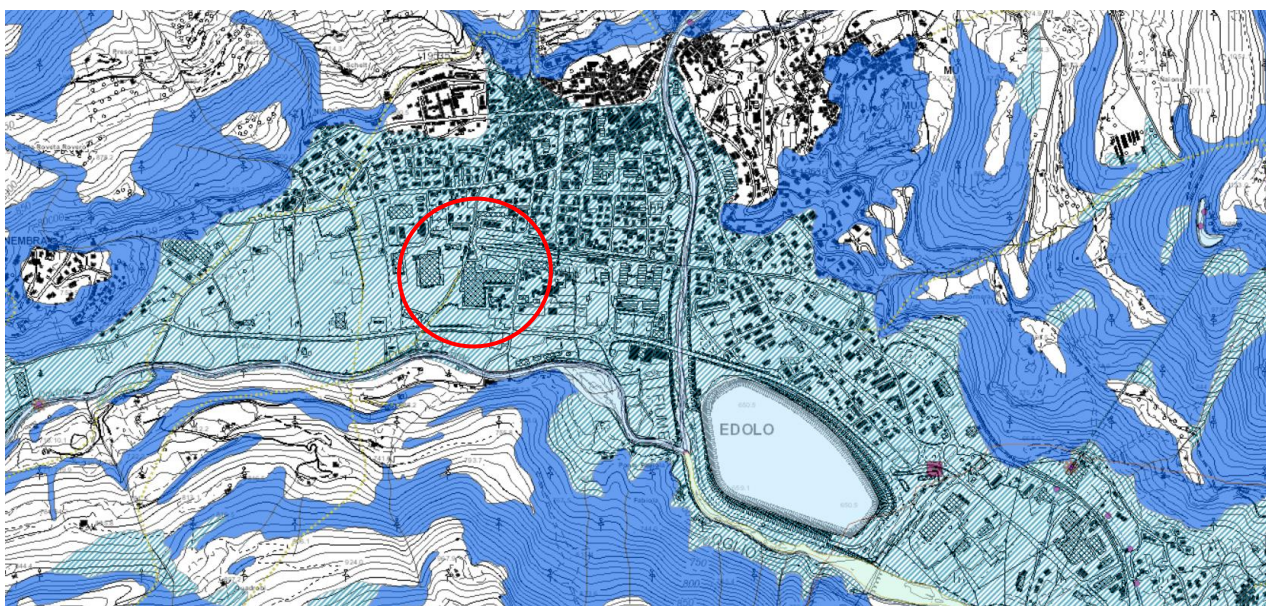


Figura 8— STRALCIO CARTA IDROLOGIA - GEOPORTALE PROVINCIA DI BRESCIA

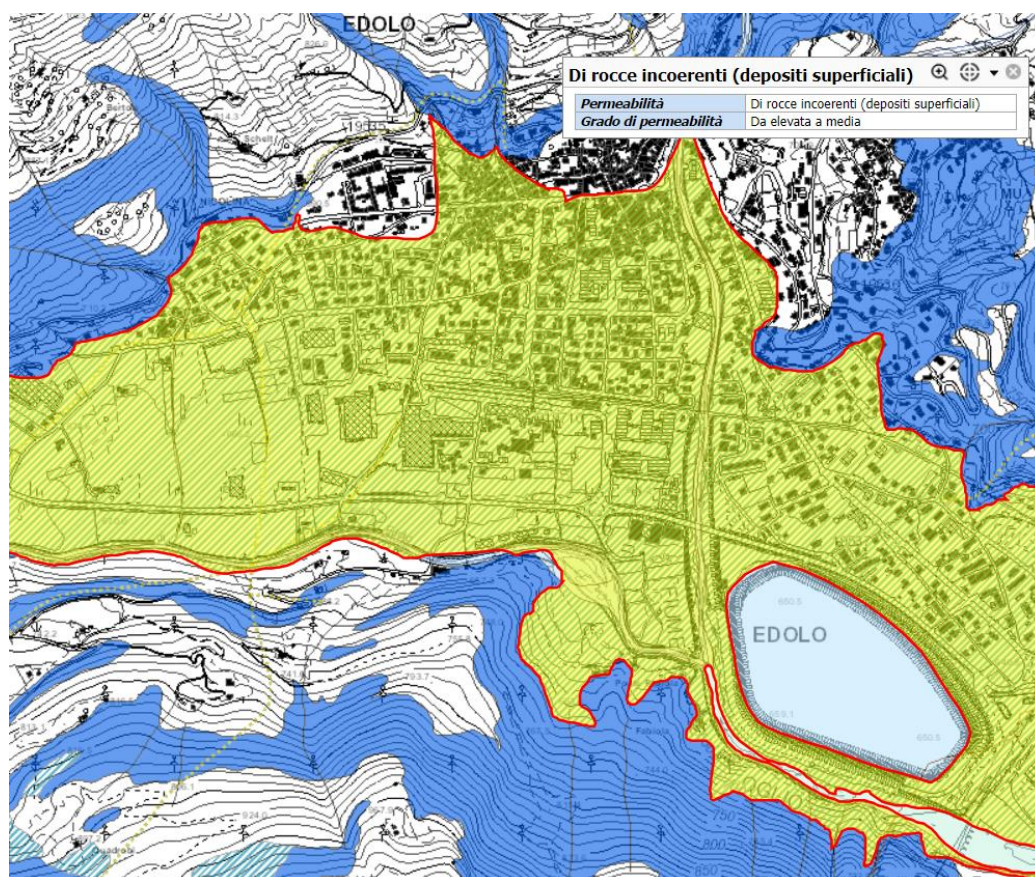


Figura 9– STRALCIO CARTA IDROLOGIA CON LEGENDA - GEOPORTALE PROVINCIA DI BRESCIA

Depositi superficiali costituiti da rocce incoerenti: permeabilità elevata

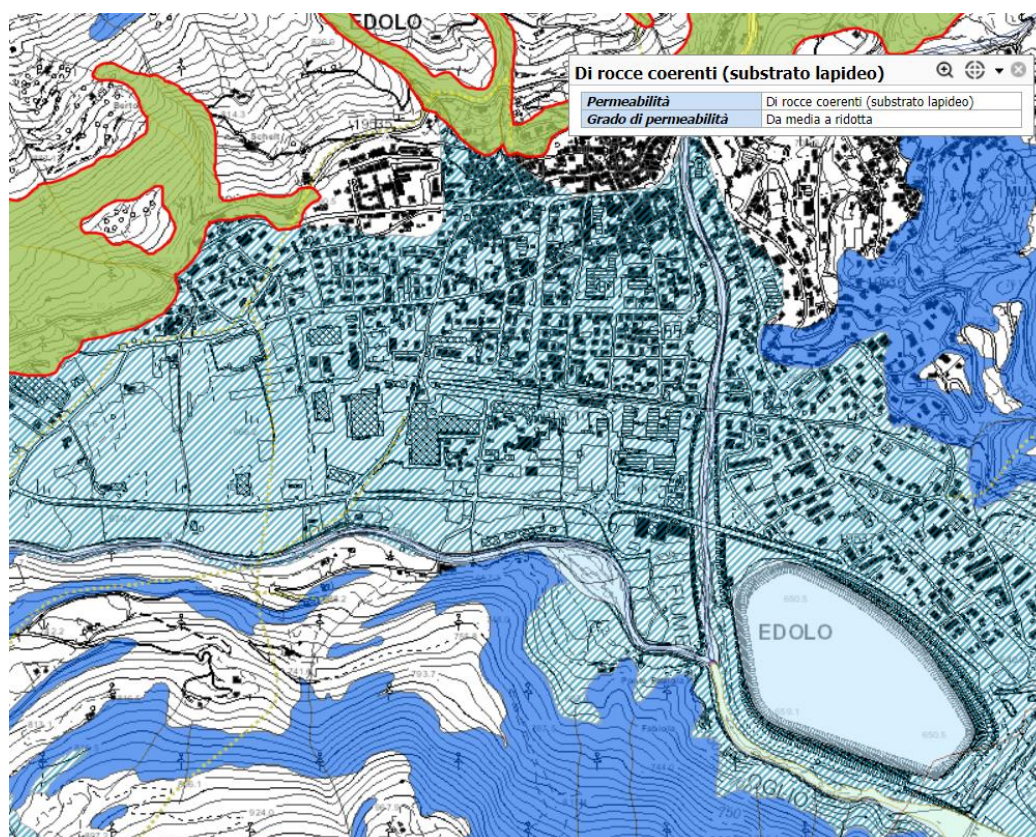


Figura 10 – STRALCIO CARTA IDROLOGIA CON LEGENDA - GEOPORTALE PROVINCIA DI BRESCIA

Depositi costituiti da rocce coerenti (substrato lapideo): permeabilità da media a ridotta

2. RILEVAMENTO GEOLOGICO-TECNICO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

Il presente capitolo illustra i risultati ottenuti a seguito delle indagini geognostiche e geotecniche realizzate ma anche storiche, finalizzate alla definizione del modello geologico – tecnico così come indicato nel paragrafo C6.2.2 del D.M. 17/01/2018 “Nuove Norme tecniche per le costruzioni” che recita *“Per Modello Geotecnico si intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali, e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all’analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico”*.

Nel corso del presente progetto sono state effettuate indagini geognostiche, geotecniche e sismiche nel sito oggetto di intervento.

Nel paragrafo seguente è riportata una descrizione dettagliata della campagna di indagini geognostiche eseguite presso l’area di intervento. Per quanto non espressamente riportato, ed in particolare per quanto attiene ai risultati delle prove geognostiche in situ ed in laboratorio appresso elencate, si rimanda ai report delle indagini allegate alla presente.

2.1. CAMPAGNA INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E SISMICHE ESEGUITE NEL 2023 DALLA EUROGEO S.R.L INDAGINI GEOGNOSTICHE.

Nell’ambito del progetto summenzionato è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche finalizzata alla determinazione delle caratteristiche meccaniche e alla definizione stratigrafica in chiave geolitologica.

La campagna di indagine geognostica è stata così articolata:

- n. 3 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica di cui n.2 spinti fino alla profondità di 15 mt (CR-S1 e CR-S3) mentre n. 1 spinto a 30 mt (CR-S2).
- n. 30 prove penetrometriche SPT di cui n. 8 in CR – S1 e CR – S3 mente n. 14 in CR – S2;
- n. 2 prelievi di campioni indisturbati, n. 12 prelievi di campioni rimaneggiati per i cui dettagli si rimanda all’elaborato “Documentazione indagini geognostiche”

Sono state realizzate inoltre:

- n. 1 prova sismica MASW
- n. 1 indagine sismica passiva HVSR

per i cui dettagli si rimanda all'elaborato "Documentazione indagini geofisiche" .

SONDAGGIO CR - S1



Figura 11– Planimetria ubicazione indagini e particolare della postazione 1/3

SONDAGGIO CR - S2

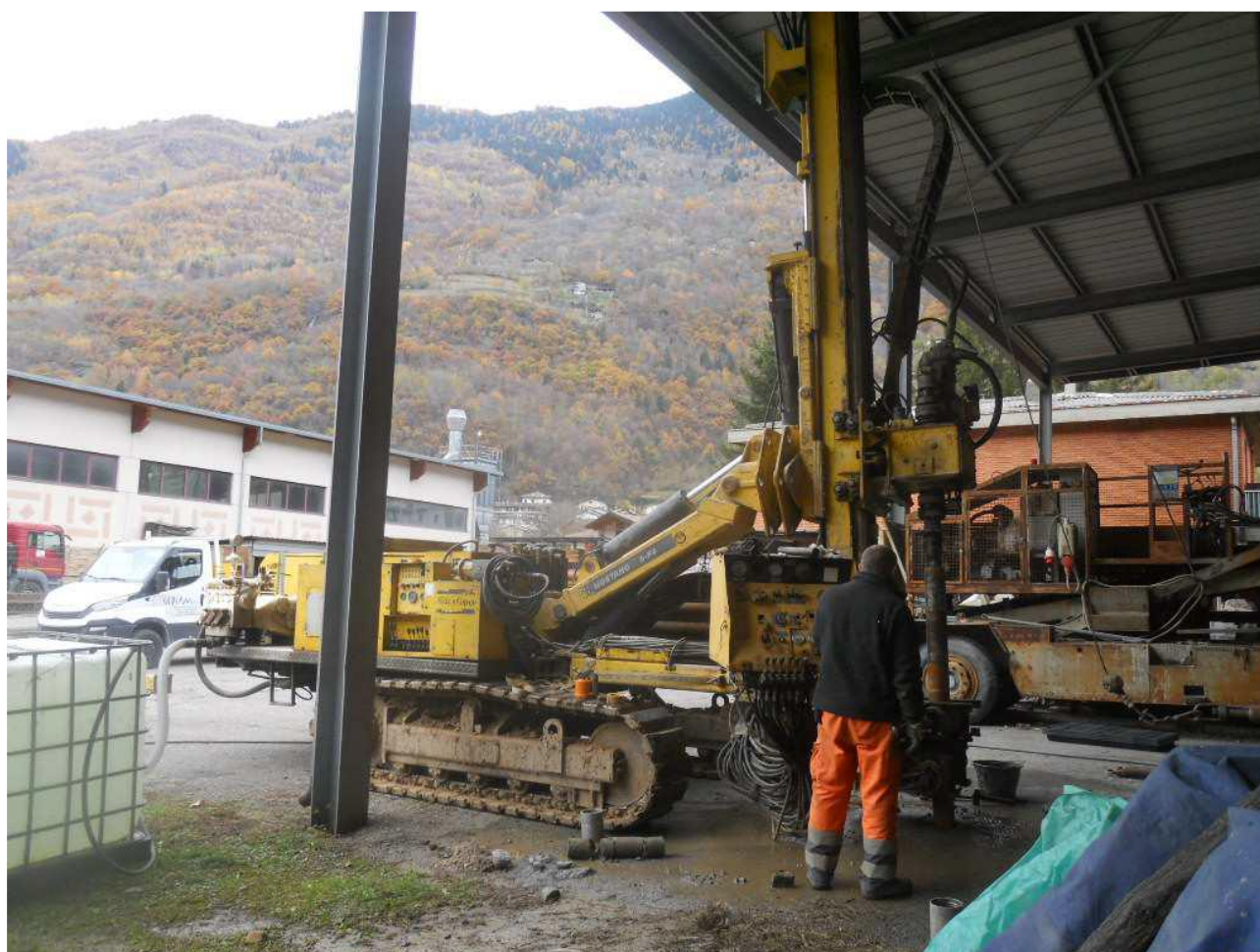
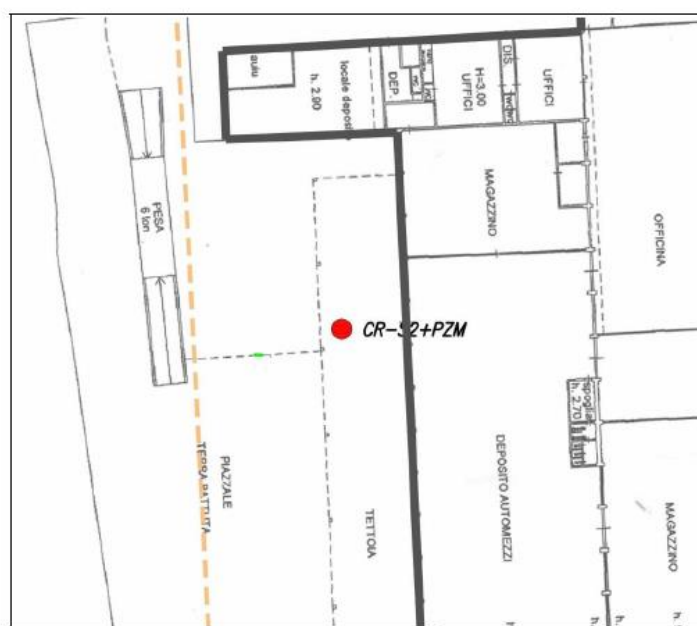


Figura 12 – Planimetria ubicazione indagini e particolare della postazione 2/3

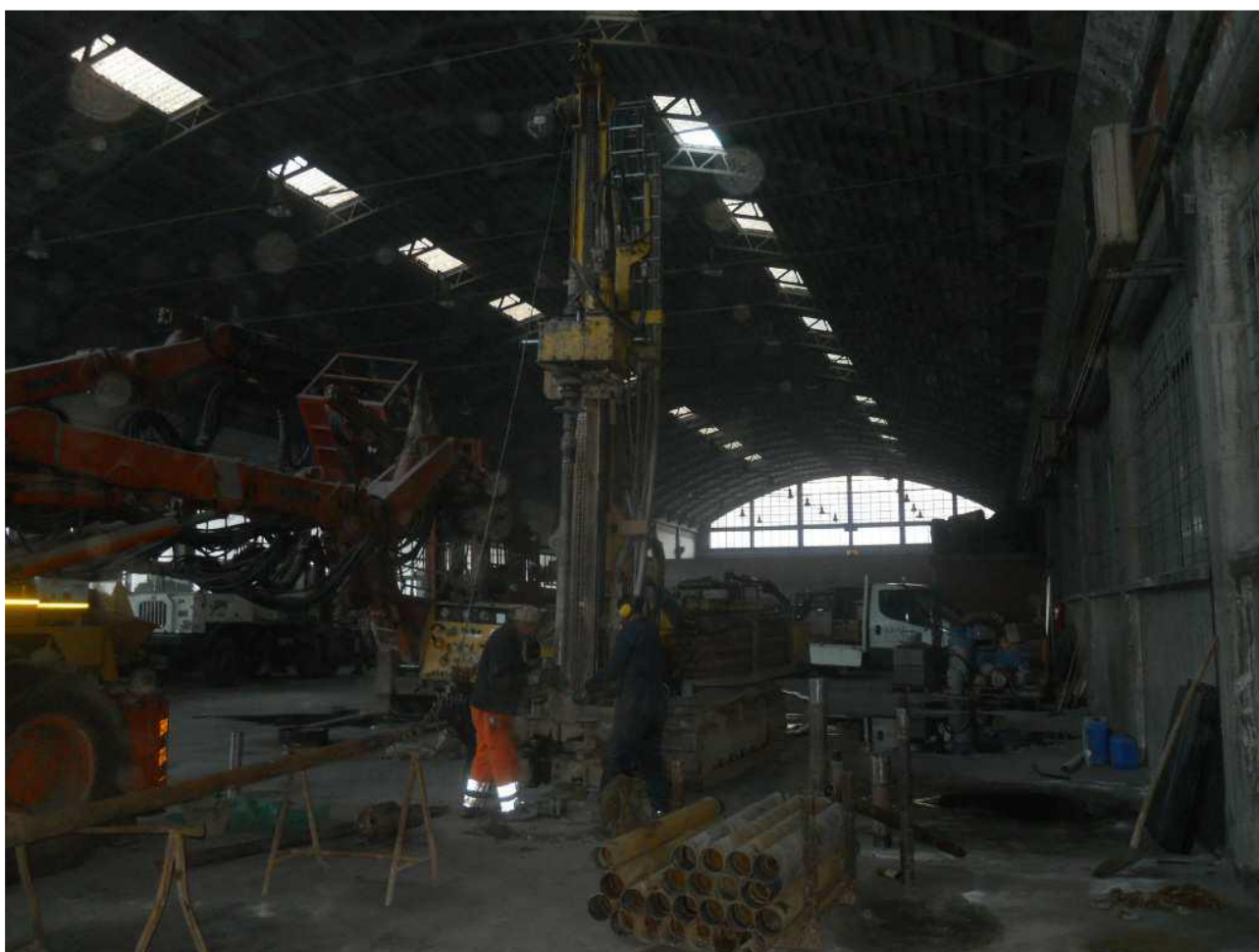
[illegible]

Figura 13 – Planimetria ubicazione indagini e particolare della postazione 3/3

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti in conformità alle norme del capitolato speciale d'appalto ANAS,
alle Raccomandazioni AGI (1977) ed alle Modalità Tecniche ANISG (1977).

3. MODELLO GEOLITOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO

Le indagini geognostiche effettuate per l'area di interesse hanno permesso di definire con un buon grado di accuratezza i materiali costituenti il sottosuolo dell'area di progetto in termini di litotipi, spessori ed i rapporti verticali e laterali.

In linea generale tutta l'area è interessata dalla presenza di litotipi di natura alluvionale costituiti da alternanze di sabbie e ghiaie la cui potenza è stimata in diverse decine di metri. Di seguito si riportano gli esiti dei sondaggi geognostici.

<div>EURO GEO S.R.L</div> <div>INDAGINI GEOGNOSTICHE</div>				PROGETTO: IMPIANTO RIFORMIMENTO IDROGENO		DITTA ESECUTRICE SONDAGGIO: EUROGEO SRL Paderno Dugnano (MI)											
				LOCALITA': Via Industriale Edo (BS)		RESPONSABILE: Dott. Geologo LARA ROSSI											
				COMMITTENTE: BTP Infrastrutture													
SCALA: 1:100 - A3				DATA INIZIO: 22/11/2023		DATA ULTIMAZIONE: 22/11/2023		SONDAGGIO N. CR-S1									
Attrezzatura e metodo di perforazione:						LIVELLI ACQUA											
<div><div><input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Campione S.P.T.</div><div><input checked="" type="checkbox"/> Campione da Vana Test</div></div>						<div><div><input type="checkbox"/> Campione a percussione</div><div><input type="checkbox"/> Campione indisturbato a pressione</div><div><input type="checkbox"/> Campione indisturbato rotativo</div></div>						<div><div><input type="radio"/> LEFRANC</div><div><input type="radio"/> Prova di permeabilità'</div><div><input checked="" type="radio"/> LUGEON</div></div>					
						<div><div>PROFONDITA'</div><div>Rivest. Foro</div><div>SERA</div><div>Data H</div><div>MATTINO</div><div>Data H</div></div>											

Figura 14 – Stratigrafia CR-S1

EURO GEO S.R.L. INDAGINI GEOGNOSTICHE	PROGETTO: IMPIANTO RIFORMIMENTO IDROGENO LOCALITA': Via Industriale EDOLO (BS) COMMITTENTE: BTP Infrastrutture		DITTA ESECUTRICE SONDAGGIO: EUROGEO SRL Paderno Dugnano (MI) RESPONSABILE: Dott. Geologo LARA ROSSI	
	SCALA	1: 100 - A3	DATA INIZIO:	20/11/2023
	DATA ULTIMAZIONE:	22/11/2023	SONDAGGIO N.	CR-S2

Attrezzatura e metodo di perforazione:				LIVELLI ACQUA			
<input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato <input checked="" type="checkbox"/> Campione S.P.T. <input type="checkbox"/> Campione da Vane Test	<input type="checkbox"/> Campione a percussione <input type="checkbox"/> Campione indisturbato a pressione <input type="checkbox"/> Campione indisturbato rotativo	<input type="radio"/> LEFRANC <input type="radio"/> Prova di permeabilità <input checked="" type="radio"/> LUGÉON					
			PROFONDITA' SERA MATTINO Rivest. Foro Data H Data H				

Carotiere	Rivestim.	Profondità	Sezione terreno	DESCRIZIONE LITOLOGICA	NOTE	Campioni Kg/cmq	VANE TEST Kg/cmq		Profondità	S.P.T.	acqua	Z carotaggio
							max.	res.				
131 mm	152 mm	0.00		SABBIA GHIAIOSA ETEROMETRICA (1-4 cm), DEBOLMENTE LIMOSA	[S-3]				1.50	3 3 4		
		0.60		TROVANTE								
		1.20		SABBIA LIMOSA, GRIGIA								
		1.50			[S-3]				3.00	7 24 30		
				SABBIA LIMOSA, ADDENSATA LOCALMENTE DEBOLMENTE GHIAIOSA, COLORE GRIGIO, LOCALMENTE MARRONE								
		3.15		SABBIA GHIAIOSA ETEROMETRICA (1-4 cm), DEBOLMENTE LIMOSA, MARRONE	[S-3]				4.50	24 12 5		
		3.70		TROVANTE								
		4.00		SABBIA GHIAIOSA ETEROMETRICA (1-6 cm), DEBOLMENTE LIMOSA, MARRONE								
		4.80		LIMO SABBIOSO MARRONE	[S-3]				6.00	6 9 21		
		5.00		SABBIA FINE, RARA GHIAIA								
		5.35										
				GHIAIA ETEROMETRICA (1-6 cm) SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA E PICCOLI TROVANTI	[S-3]				7.50	30 R8		
		8.70		SABBIA FINE								
		9.00		GHIAIA ETEROMETRICA (1-5 cm) SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA E PICCOLI TROVANTI								
		10.0			[S-3]				9.00	20 R2		
				SABBIA GROSSOLANA CON GHIAIA ETEROMETRICA (1 - 5 cm), DEBOLMENTE LIMOSA								
		11.80										
				GHIAIA ETEROMETRICA (1-6 cm) SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA E PICCOLI TROVANTI	[S-3]				11.5	12 29 R5		
		15.50										
				SABBIA FINE, DEBOLMENTE LIMOSA, RARA GHIAIA (1 - 2 cm), SCIOLTA, COLORE MARRONE								
		17.20			[S-3]				16.5	3 5 5		
				SABBIA FINE, DEBOLMENTE LIMOSA, ADDENSATA, COLORE DA MARRONE A GRIGIO								
		18.50		LIMO SABBIOSO COMPATTO, COLORE GRIGIO								
		18.80		SABBIA FINE, DEBOLMENTE LIMOSA, LOCALMENTE ADDENSATA, COLORE GRIGIO	[S-3]				19.0	18 R3		
		19.60										
				GHIAIA ETEROMETRICA (1-6 cm) SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA, COLORE DA MARRONE A GRIGIO								
		21.70		SABBIA LIMOSA CON GHIAIA COLORE GRIGIO	[S-3]				21.5	13 17 17		
		22.00		SABBIA LIMOSA CON RARA GHIAIA COLORE GRIGIO								
		22.30		SABBIA LIMOSA, ADDENSATA, COLORE BEIGE								
		23.00			[S-3]				24.0	R3		
				GHIAIA ETEROMETRICA (1-5 cm) SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA, COLORE MARRONE								
		25.45		SABBIA LIMOSA, ADDENSATA, COLORE GRIGIO								
		25.80		SABBIA FINE, ADDENSATA, COLORE DA MARRONE	[S-3]				26.5	21 29 R7		
		26.00		SABBIA LIMOSA CON GHIAIA (1-2cm), COLORE GRIGIO								
		26.90										
				SABBIA FINE, LOCALMENTE LIMOSA, ADDENSATA, COLORE MARRONE	[S-3]				29.0	19 37 R9		
		28.80		SABBIA FINE COLORE GRIGIO								
		29.00		LIMO SABBIOSO COMPATTO, COLORE GRIGIO								
		29.40		SABBIA FINE, ADDENSATA, COLORE DA GRIGIO A MARRONE	[S-3]							
		30.00										

Figura 15 – Stratigrafia CR-S2

EURO GEO S.R.L. INDAGINI GEOGNOSTICHE	PROGETTO: IMPIANTO RIFORMIMENTO IDROGENO LOCALITA': Via Industriale EDOLO (BS) COMMITTENTE: BTP Infrastrutture		DITTA ESECUTRICE SONDAGGIO: EUROGEO SRL Paderno Dugnano (MI) RESPONSABILE: Dott. Geologo LARA ROSSI	
	SCALA	1 : 100 - A3	DATA INIZIO:	22/11/2023
	DATA ULTIMAZIONE:	22/11/2023	SONDAGGIO N.	CR-S3

Attrezzatura e metodo di perforazione:			LIVELLI ACQUA			
<input type="checkbox"/> Campione rimaneggiato <input checked="" type="checkbox"/> Campione S.P.T. <input checked="" type="checkbox"/> Campione da Vana Test	<input checked="" type="checkbox"/> Campione a percussione <input checked="" type="checkbox"/> Campione indisturbato a pressione <input type="checkbox"/> Campione indisturbato rotativo	<input type="radio"/> LEFRANC <input type="radio"/> Prova di permeabilit� <input checked="" type="radio"/> LUGEON	PROFONDITA'	SERA	MATTINO	
Rivest.	Foro	Data	H	Data	H	
	-9.30					

Carotiere	Rivestim.	Profondita'	Sezione terreno	DESCRIZIONE LITOLOGICA	NOTE	Campione	Prova Permeabilit�	VANE TEST Kg/cm�		Profondita'	S.P.T.	acqua	Z scarotaggio
								max.	res.				
131 mm	152 mm	0.20		SABBIA GHIAIOSA ETEROMETRICA (1-2 cm), DEBOLMENTE LIMOSA, CON TROVANTI, COLORE MARRONE									
		1.10		SABBIA LIMOSA, RARA GHIAIA FINE, COLORE MARRONE						1.50	9 7 5		
		3.00		LIMO SABBIOSO, CON RARA SABBIA, COMPATTO, COLORE MARRONE						3.00	2 3 4		
		4.00		SABBIA GHIAIOSA ETEROMETRICA (1-4 cm), DEBOLMENTE LIMOSA, COLORE BEIGE						4.50	R2		
		4.40		SABBIA GROSSOLANA, DEBOLMENTE LIMOSA E GHIAIA ETEROMETRICA (1-6 cm), PICCOLI TROVANTI, COLORE MARRONE CHIARO						6.00	12 25 27		
		6.00		GHIAIA ETEROMETRICA (1- 6 cm), SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA, COLORE GRIGIO						7.50	4 6 7		
		6.60		TROVANTE						9.00	14 R6		
		6.90		GHIAIA ETEROMETRICA (1- 6 cm), SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA, COLORE GRIGIO						11.5	10 12 15		
		7.40		SABBIA FINE CON RARA GHIAIA (1 cm), COLORE MARRONE						14.0	19 36 R9		
		8.00		SABBIA GROSSOLANA, DEBOLMENTE LIMOSA E GHIAIA ETEROMETRICA (1-4 cm), LOCALMENTE PIU' GHIAIOSA, COLORE MARRONE									
		13.70		GHIAIA ETEROMETRICA (1- 6 cm), SABBIOSA, DEBOLMENTE LIMOSA, COLORE MARRONE									
		15.00											

Figura 16 – Stratigrafia CR-S3

4. MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DEFINIZIONE DELLE AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

4.1. INDAGINI E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOFISICI

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la normativa NTC 2018 prevede che, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili ad un serie di categorie tabulate, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , i quali costituiscono parte integrante del caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

Ai fini della valutazione degli effetti sismici locali sono state effettuate delle indagini geofisiche per la determinazione del parametro V_sEQ e della categoria del sottosuolo di fondazione (Tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018).

$$V_{sEQ} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti ad una profondità H del substrato geologico con $V_S > 800$ m/s

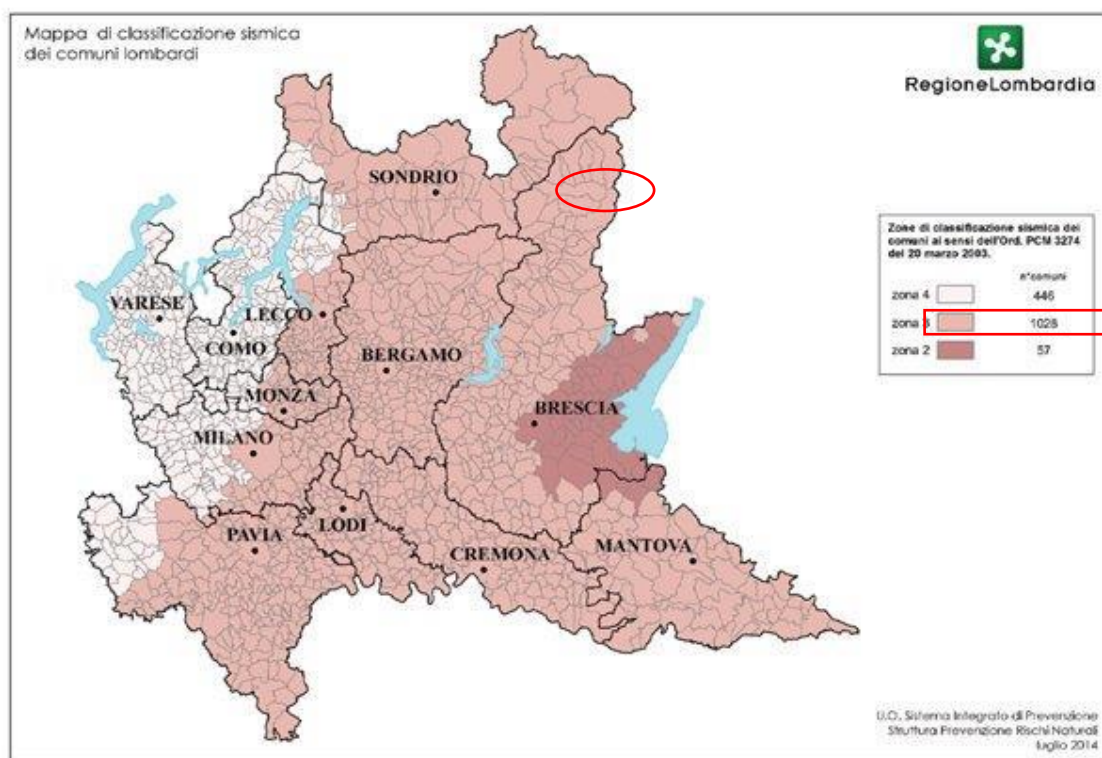


Figura 17 - Classificazione Sismica del Comune di EDOLO (BS) ai sensi della Delibera regionale 2129 dell'11 luglio 2014.

Con l'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03 e successivamente del D.M. 14/01/2008 nonché le Nuove Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17/01/2018, è cambiato il livello energetico attribuito alle classi sismiche, per cui la "Pericolosità Sismica", espressa come intensità sismica in termini di accelerazione al suolo (ag/g), mette in luce nuovi valori di riferimento, notevolmente superiori rispetto a quelli precedentemente vigenti.

Classificazione Sismica (O.P.C.M. 3274/03)	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ag/g	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) ag/g	Classificazione Sismica (D.M. 19/01/96)	Coefficiente Sismico (S)
1	>0,25	0,35	1	0,1
2	0,15 – 0,25	0,25	2	0,09
3	0,05 – 0,15	0,15	3	0,06
4	<0,05	0,05	4	0

Figura 18 - Variazioni dell'intensità sismica a parità di classe (O.P.C.M. 3274/03 e s.m.i)

Il sito interessato dagli interventi in progetto rientra in Terza categoria sismica.

COMUNE	:	ZONA	:	AgMax
COLOGNE			3	0,137
COMEZZANO - CIZZAGO			3	0,136
CONCESIO			3	0,1481
CORTE FRANCA			3	0,13
CORTENO GOLGI			3	0,07095
CORZANO			3	0,1381
DARFO BOARIO TERME			3	0,1041
DELLO			3	0,1415
DESENZANO DEL GARDA			2	0,1614
EDOLO			3	0,06925

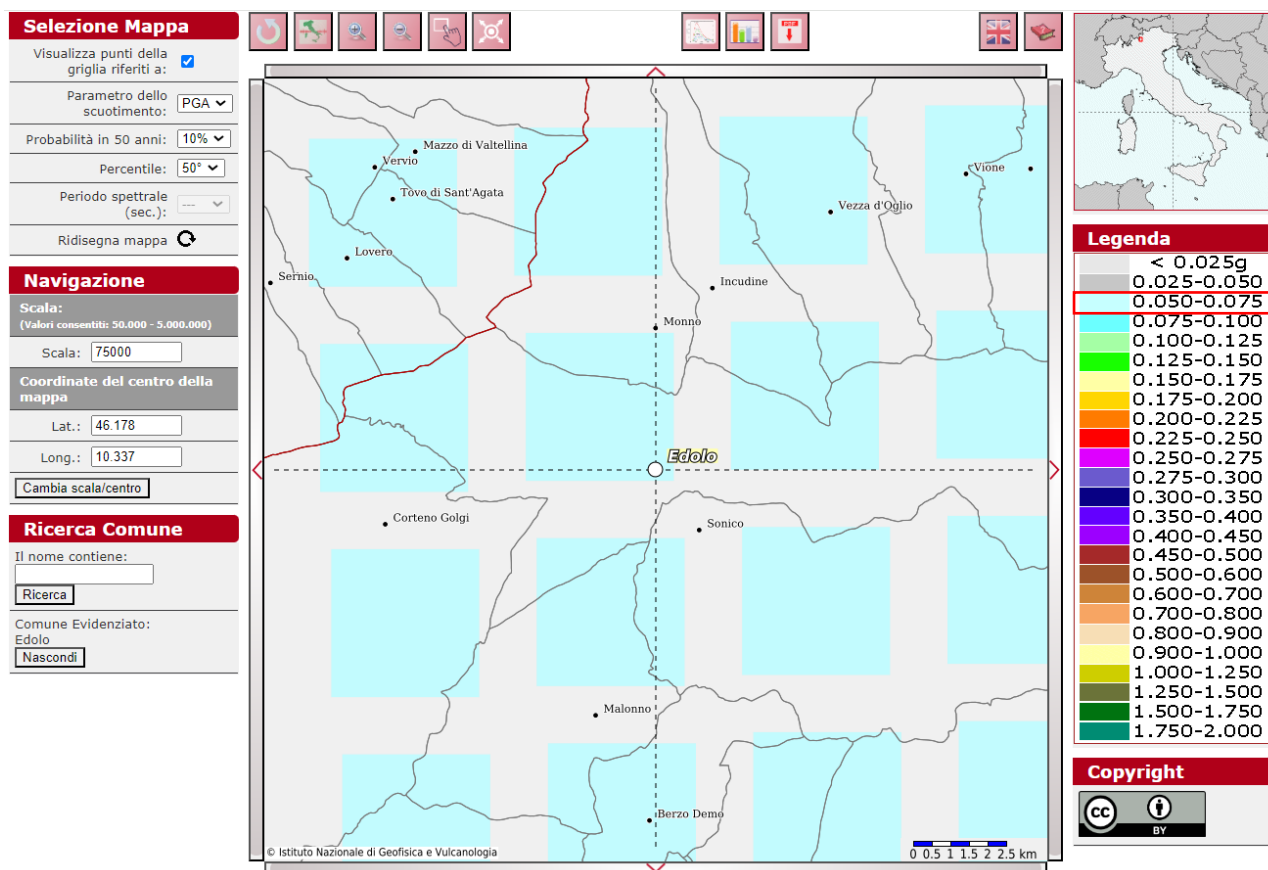


Figura 19 - Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

4.2. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI GEOFISICI

Nell'ambito del progetto già menzionato sono state eseguite dalla società Idrogea srl le indagini geofisiche, di seguito elencate:

- n. 1 prospezione sismiche Masw;
- n. 1 indagine HVSR;

L'ubicazione delle indagini in oggetto, effettuate nel mese di novembre 2023, è riportata nella figura seguente.

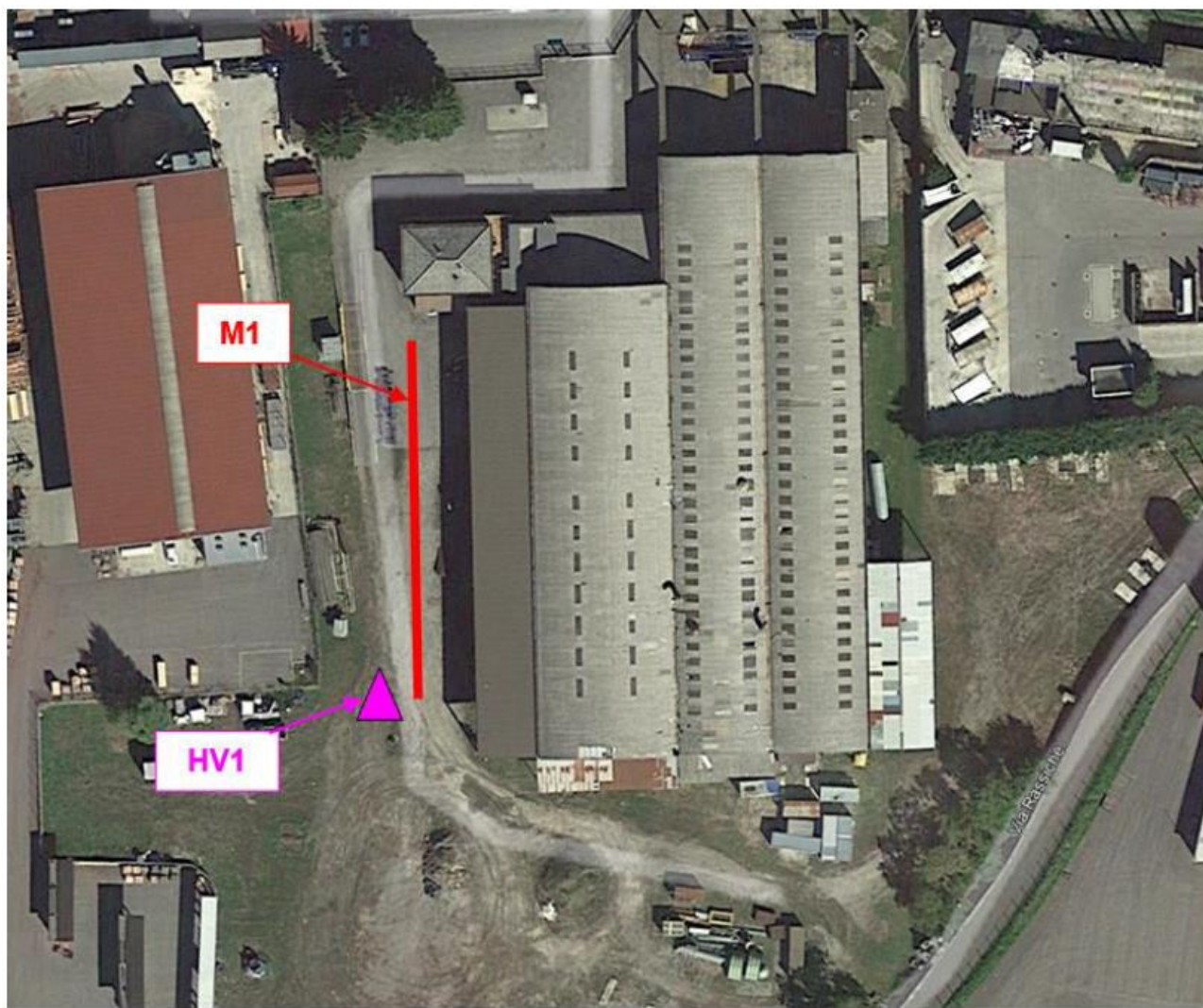


Figura 20 – Ubicazione indagini geofisiche

Di seguito si riportano i risultati delle indagini effettuate:

- Indagine sismica MASW

Configurazione dello stendimento

<i>n°</i>	<i>Strumentazione</i>	<i>Caratteristiche</i>
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavo sismico	L = 60 m



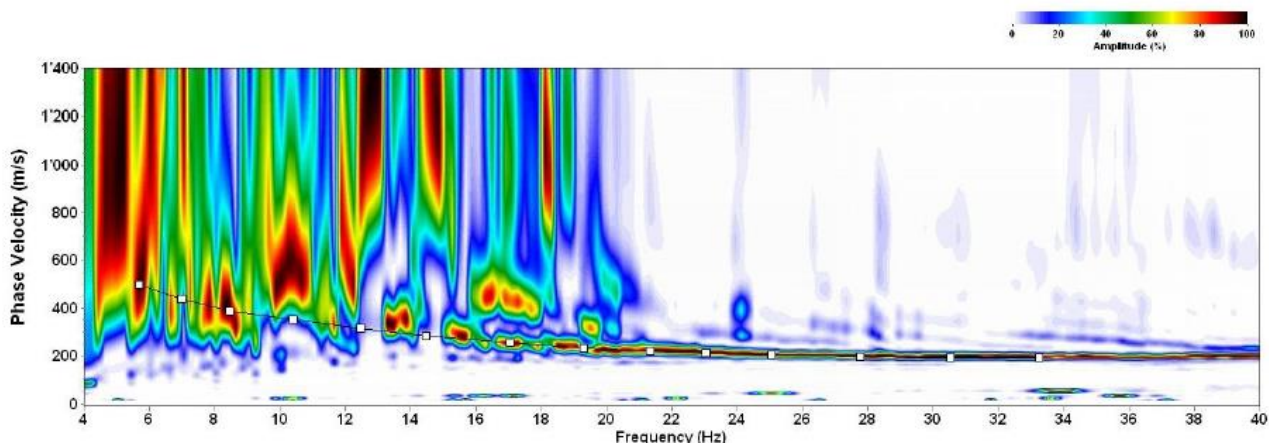
Figura 21– Particolare indagine sismica MASW – 1

L'indagine geofisica ha permesso di riscontrare in sito n. 12 sismostrati con differenti valori in termini di spessori e di velocità delle onde S.

Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]
1	0.7	226
2	0.9	237
3	1.1	168
4	1.4	227
5	1.8	295
6	2.2	286
7	2.8	327
8	3.4	436
9	4.3	421
10	5.4	395
11	6.0	528
12	5.9	649

Tabella 1 – Spessori degli strati e valori di velocità delle onde di taglio

INDAGINE MASW M1 – CURVA DI DISPERSIONE e PICKING



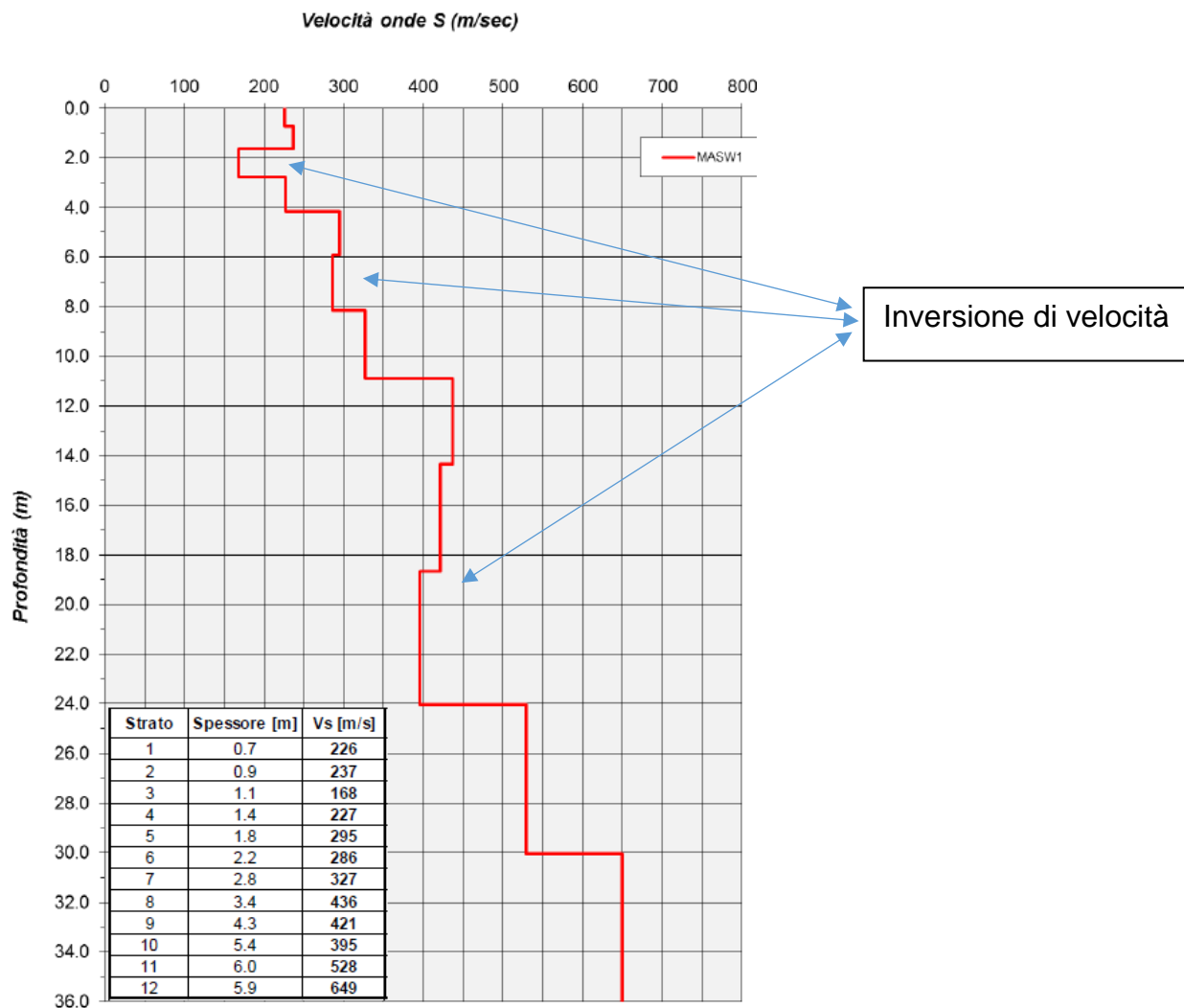


Figura 22 – Curva di dispersione e profilo delle velocità con la profondità

L'elaborazione delle prove MASW, eseguite appositamente per la definizione della categoria del sottosuolo di fondazione (con la metodologia delle VsEQ), ha determinato i seguenti valori di velocità:

Profondità delle fondazioni da q.r. [m]	V _{s,eq} [m/s]	Categoria sottosuolo
0.0	353	C
0.5	359	C
1.0	365	B
1.5	371	B
2.0	380	B
3.0	400	B
4.0	416	B

Tabella 2– Valori V_{seq} rispetto alla profondità' del piano di fondazione

Categoria	Descrizione
A	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> 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	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m</u> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<u>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</u>

Per i dettagli esecutivi del profilo si rimanda alla relazione tecnica allegata ai documenti di progetto

- Indagine sismica HVSR

Il metodo dei rapporti spettrali Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR), noto con il nome Nakamura o H/V (componente/i orizzontale/i su verticale), è utilizzato per la determinazione del periodo di risonanza (T_0) dei terreni, parametro legato alla velocità delle onde di taglio VS sino al bedrock ed allo spessore dei sedimenti sovrastanti il bedrock stesso, tramite la relazione $T_0 = 4H/V_S$.

Particolare dell'acquisizione



Figura 23 – Particolare dell'acquisizione

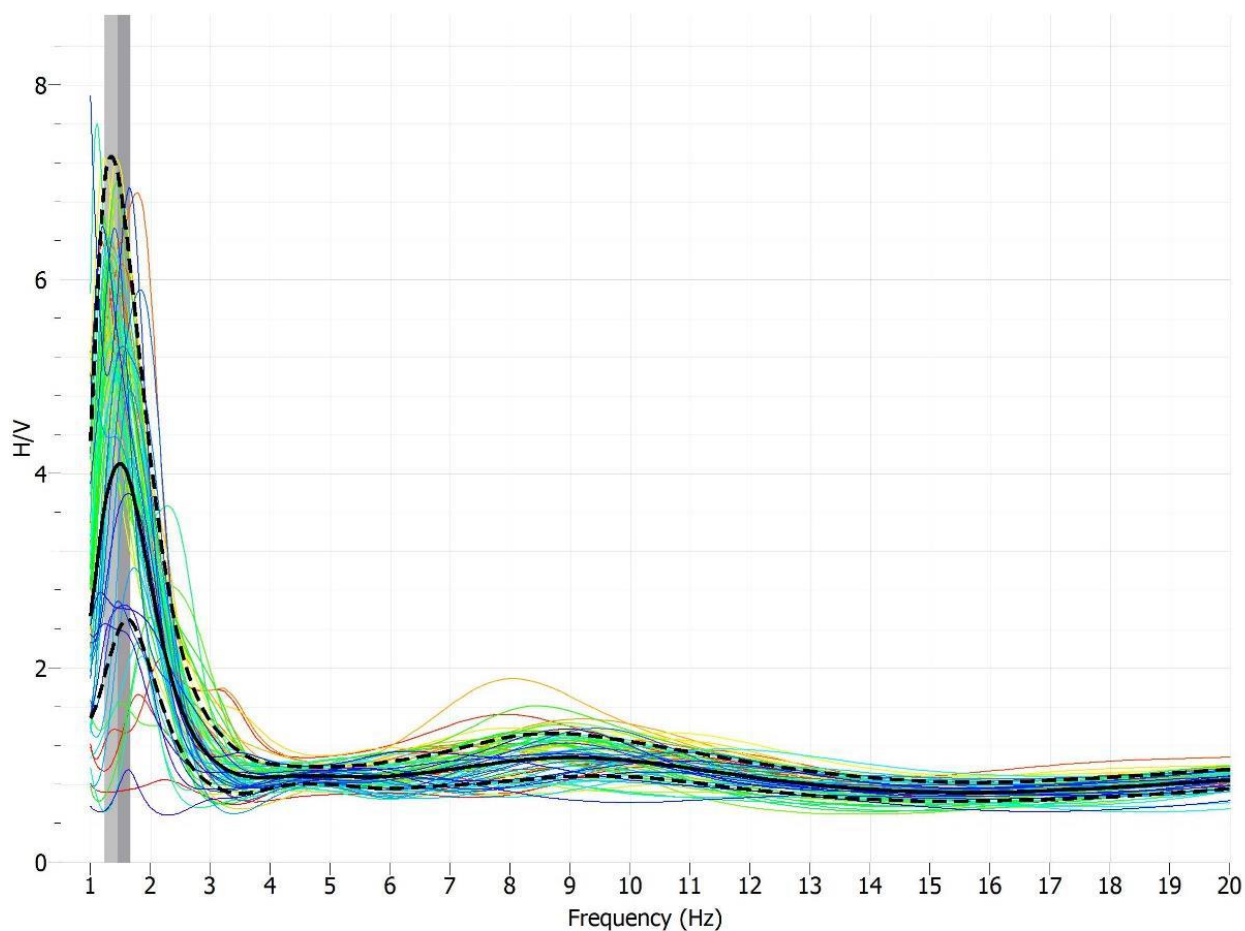


Figura 24 – funzione HVSR

Risultati della prova:

ID	F0 [Hz]	T0 [s]
HV1	1.48	0.676

Il valore della frequenza di picco registrata in sito risulta essere pari a 1,48 Hz al T0=0.676 s

4.3. AZIONI SISMICHE DI SITO

La valutazione delle azioni sismiche di progetto verrà effettuata dal progettista secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018 (Nuove NTC), utilizzando come base di partenza i dati scaturiti dall'indagine geofisica illustrata nella presente relazione sismica.

A tale riguardo, oltre a prevedere la valutazione dell'azione sismica attraverso gli spettri di progetto elastici del terreno (§3.2.3.2 delle nuove NTC), la normativa prevede l'impiego di accelerogrammi per la verifica degli stati limite ultimo e di esercizio; resta tuttavia discrezione del progettista la metodologia da utilizzare in fase di verifica delle strutture.

Ovviamente gli spettri di risposta elastici (o gli accelerogrammi) che verranno ottenuti dall'analisi delle azioni sismiche dovranno essere rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito individuata nell'area oggetto di indagine.

Nello specifico si forniscono al progettista tutti i dati ed i parametri di interesse prettamente geofisico al fine di valutare le azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalla normativa vigente.

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II) **C/B**

Categoria Topografica (Tab. 3.2.IV) **T1**



* coordinate geografiche per definire la pericolosità sismica di base in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag

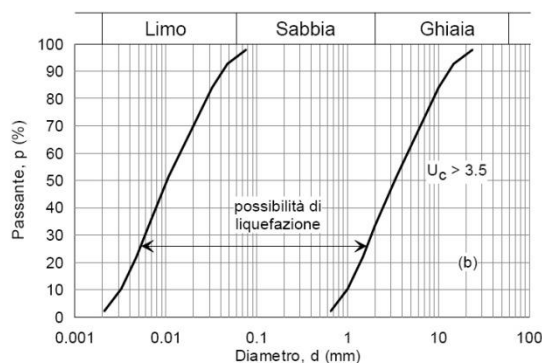
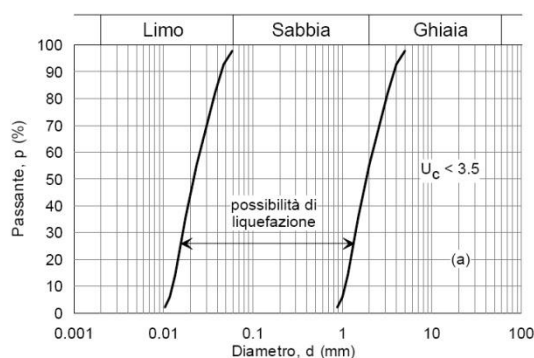
Gli spettri di risposta elastici (o gli accelerogrammi) ottenuti saranno rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di suolo C – categoria topografica T1) individuata nell'area oggetto di indagine.

4.4. VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Il sito in oggetto deve essere stabile nei confronti della liquefazione sismica, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumuli di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (§7.11.3.4 nuove NTC).

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Eventi sismici attesi di Magnitudo M inferiore a 5.
- Accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g.
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c., per p.c. sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1n} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa e qc_{1n} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa.
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti, nel caso rispettivamente di terreni con coefficiente di uniformità U_c minore e maggiore di 3,5.



Quando nessuna delle condizioni sopra elencate risulti soddisfatta e il terreno comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Nel caso in esame le verifiche a liquefazione sono riportate nella relazione geotecnica.

5. CLASSIFICAZIONE SEMPLIFICATA DEI SUOLI

5.1. INTRODUZIONE

Non Conformità: In merito alla classificazione semplificata dei suoli è necessario esprimersi in merito alla necessità o meno degli approfondimenti richiesti dalla normativa regionale (D.G.R. 9/2616/2011).

La Regione Lombardia con la D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008, poi sostituita dalla D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011, ha modificato sostanzialmente la metodologia per l'analisi sismica locale adeguandola a quanto contenuto nelle Norme per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008 ora NTC 17 gennaio 2018). In particolare, sono stati modificati i valori di soglia a cui far riferimento nell'analisi che non sono più legati alla Zona sismica come definita dalla OPCM n°3274 del 20 Marzo 2003, ma derivano dalla Mappa della Pericolosità Sismica nazionale come definita dall'OPCM 3519/2006. La Regione Lombardia ha stabilito nella D.G.R. n° 9/2616 del 30/11/2011 (punto 1.4.3) che "la suddivisione del territorio in zone sismiche (ai sensi dell'OPCM 3274/03) individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria" e specifica altresì che "ai sensi del D.M. 14/01/2008, la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è più valutata riferendosi ad una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, secondo i valori riportati nell'All. B al citato D.M."

5.2. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, contenuta nell'Allegato 5 della D.G.R. n.9/2616 del 30 novembre 2011, prevede tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica individuati sul territorio. Il 1° livello di approfondimento consiste nel

riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base delle osservazioni di tipo geologico e/o bibliografico. Le diverse situazioni tipo (scenari) in grado di determinare gli effetti sismici locali sono elencate in Tabella 1.

Sigla	Scenari di pericolosità sismica locale	Effetti
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zona con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Di seguito si riportano le perimetrazioni di pericolosità sismica locali e di limitazioni territoriali soggette a norme di attuazione.

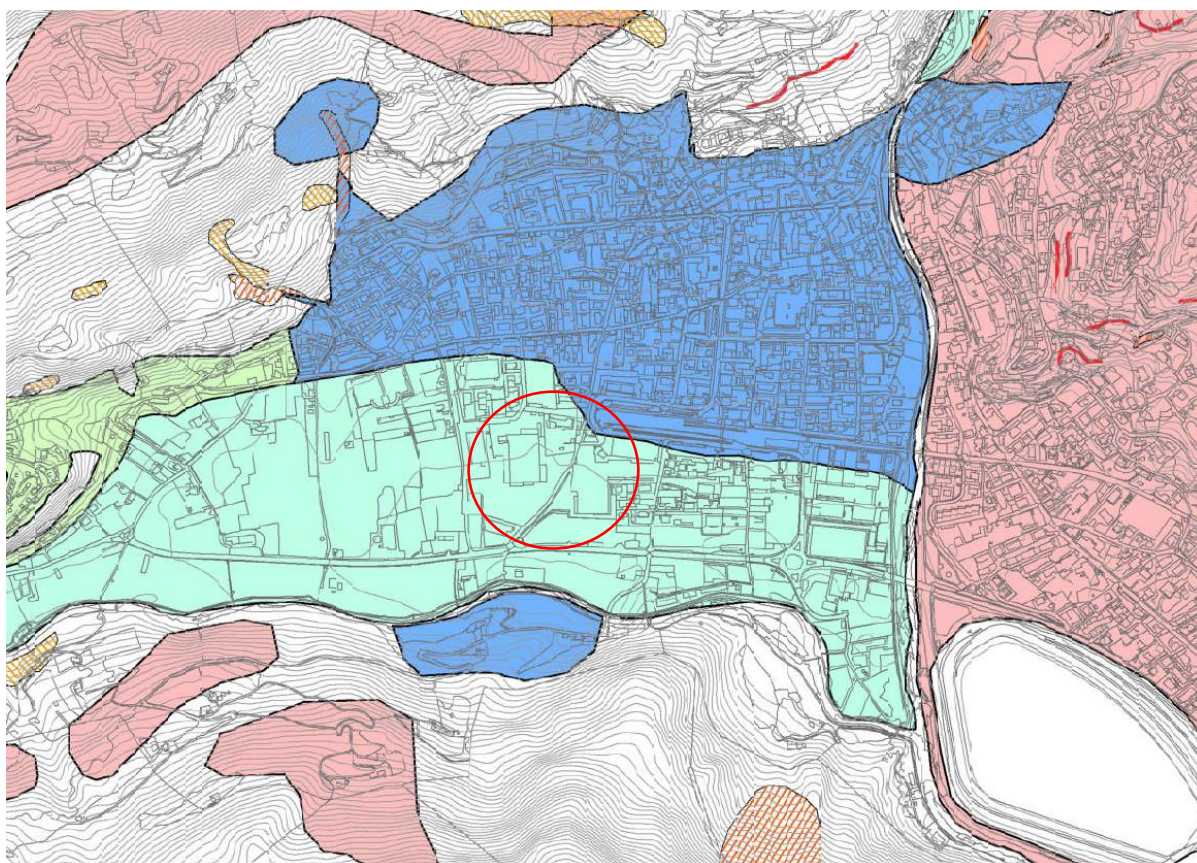


Figura 25 – Carta della pericolosità sismica locale

Legenda

PERICOLOSITA SISMICA LOCALE

ZONE SOGGETTE AD AMPLIFICAZIONI TOPOGRAFICHE

— Z3a - Zona di ciglio > 10 m

— Z3b - Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo

ZONE SOGGETTE AD AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE

— Z1a - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

— Z1b - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti

— Z1c - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio frana

— Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi

— Z4b - Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre

— Z4c - Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)

— Z4d - Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale

L'area di intervento rientra in zone soggette ad amplificazioni locali precisamente viene perimetrata come Z4a.

5.3. AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE

Nel caso in esame siamo nella condizione di amplificazione litologica.

La procedura prevista dalla normativa regionale fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattore di Amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati e sono utilizzati per zonare le aree di studio in funzione del valore di Fa.

Per quel che riguarda la valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia la procedura semplificata di 2° livello richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- Litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- Sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi stratigrafica del sito;
- Andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- Spessore e velocità di ciascuno strato.

La litologia prevalente dei materiali presenti e la stratigrafia dei terreni nei siti di analisi sono state ricostruite mediante tutti i dati geotecnici e stratigrafici effettuati che comprendono sia sondaggi/prove geotecniche.

L'andamento delle onde Vs lungo la verticale è stato determinato mediante la raccolta dei dati di tipo geofisico mediante stendimenti di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie, con elaborazione dei dati secondo la procedura MASW ed analisi congiunta con i dati ottenuti mediante l'esecuzione sismiche passive con metodo HVSR.

Tenuto conto del modello stratigrafico-geofisico-geotecnico e dei relativi parametri, definiti secondo quanto specificato ai punti precedenti, il progettista dovrà eseguire il confronto tra i valori di Fa di sito ed i valori Fa di soglia comunale, come definito dalla D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011, rispetto alla categoria di sottosuolo riscontrata per la stima degli effetti litologici e del relativo fattore Fa di amplificazione di sito.

6. CONCLUSIONI

Le previsioni edilizie in progetto, sono state valutate secondo il grado di approfondimento previsto dalla normativa vigente, e risultano eseguibili senza particolari limitazioni di fattibilità geologica.

Nella zona in esame non presenti dissesti idrogeologici attivi o quiescenti che possano interferire con le opere in progetto né tantomeno elementi geomorfologici che possano inficiare le stesse.

Le indagini geognostiche realizzate all'interno dell'area di interesse hanno permesso di definire con un buon grado di accuratezza i materiali costituenti la banchina in termini di litotipi, spessori e rapporti latero verticali.

In linea generale tutta l'area è interessata dalla presenza di litotipi alluvionali costituiti da alternanza di livelli sabbiosi, ghiaiosi e limosi.

Dal punto di vista geomorfologico, analizzate in particolar modo le pendenze del sito, è stata assegnata al sito una Categoria Topografica T1 con $St = 1,00$.

I risultati dell'indagine sismica Masw hanno classificato il sottosuolo di fondazione come categoria C/B a seconda del piano di posa fondale considerato, mentre, analizzata la geomorfologia ed in particolar modo le pendenze del sito, è stata assegnata al sito una Categoria Topografica T1 con $St = 1,00$.

Dal punto di vista della pericolosità sismica locale l'area ricade in Zone soggette ad amplificazioni locali per la presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali.