



COMUNE DI ISEO

Ricostruzione di parte del muro spondale Lungolago G. Marconi
CUP: F19J22001920004

Responsabile Unico del Procedimento
Arch. Nadia Bombardieri



COOPROGETTI SOC.COOP.
Ing. Alessandro Placucci

E					
D					
C					
B					
A	31.10.2022	EMISSIONE			
Rev.					

SETTANTA7 STUDIO ASSOCIATO
Arch. Daniele Rangone

SPI S.R.L
Ing. Sergio De Felice

CODICE ELABORATO: PE_REL_03_A

INTERVENTO DI TIPO A
Tratto 16 metri

Progetto Esecutivo

R.T.P.:

CAPOGRUPPO MANDATARIA



COOPROGETTI SOC. COOP.

Sede legale ed operativa

Via della Piaggiola 152 - 06024 Gubbio (Italy)

Tel. +39 075 923011

Web: www.cooprogetti.it

Email: cooprogetti@pec.it

P.I. e C.F. 00424850543

MANDANTI:



SETTANTA7
STUDIO ASSOCIATO

Sede legale

Via Principessa Clotilde n. 3 – 10144 Torino (Italy)

Tel. 0110463878

Email: settanta7@pec.it

P.I. e C.F. 10119920014



STUDIO PROGETTAZIONI D'INGEGNERIA-SPI s.r.l.

SPI S.R.L.

Sede legale

Via Gabriele Jannelli 23 – 80128 Napoli (Italy)

Tel. 0815790901

Email: info@pec.spi.srl

P.I. e C.F. 04873791216

Scala -

ELABORATO:
RELAZIONE GEOLOGICA E
GEOSISMICA

Sommario

1	PREMESSA	2
2	MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE	4
3	INDAGINI IN SITU	16
4	MODELLO GEOLOGICO DEFINITIVO	25
5	CONCLUSIONI.....	39

1 PREMESSA

La presente relazione geologica è finalizzata ai lavori di riqualificazione del lungolago - rifacimento del muro spondale del lungolago Guglielmo Marconi ed il rifacimento della passerella pedonale del porto Gabriele Rosa sito in Iseo (BS) (coordinate geografiche WGS84 del sito 45.661588° N - 10.049238° E).

La relazione è stata redatta ai sensi delle seguenti normative:

- ❖ *Norme tecniche per le costruzioni (NTC 17 gennaio 2018);*
- ❖ *La Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";*
- ❖ *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)" che ha riclassificato il territorio comunale di Iseo (BS) definendolo di zona 3;*
- ❖ *LR 33/2015 - Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;*
- ❖ *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po. Il PGRA, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con D.P.C.M. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017.*

L'area oggetto di intervento è situata nel settore centrale del territorio comunale di Iseo (BS). Il lungolago Marconi si allunga nel tratto a nord rispetto al centro abitato, a poca distanza dalla sede del Municipio ed in prossimità del lago d'Iseo.

La presente relazione geologica è stata redatta eseguendo in sequenza diverse fasi operative: la prima è consistita in una serie di sopralluoghi ed in un accorto rilevamento geologico e geomorfologico, il quale ha permesso di rilevare le litologie affioranti e le caratteristiche morfologiche nei dintorni del sito e, inoltre, di verificare la possibilità di realizzare una campagna di indagini geognostiche e geofisiche in situ.

I dati acquisiti durante le operazioni di campagna sono stati poi confrontati anche con dati bibliografici ottenuti per la redazione di relazioni geologiche effettuate nelle vicinanze del sito per conto di soggetti privati e pubblici e, in particolare, della "Componente geologica, idrogeologica e sismica per il Piano di Governo del Territorio (PGT) per il Comune di Iseo" (Geoll. Ziliani L. e Quassoli G., 2011) e della "relazione geologica finalizzata ai lavori di riqualificazione e consolidamento lungolago di Iseo e frazioni – 2° lotto giardini Garibaldi" redatta dal dr. Geol. Feriti Giampiero nel 2017.

Per quanto riguarda il presente studio, a seguito dei sopralluoghi effettuati è stata progettata e realizzata una campagna di indagini geognostiche e geofisiche per verificare le condizioni di sito eseguite dalla C-SPIN S.r.l. di Orio al Serio (BG). Nello specifico, sono state eseguite le seguenti indagini:

- N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- N. 6 prove penetrometriche SPT;
- N. 1 prelievo di campione indisturbato;
- Indagini di laboratorio sul campione prelevato;
- N. 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH;
- N. 2 prospezioni sismiche con metodologia Masw;
- N. 2 prospezioni sismiche a rifrazione.

L'ubicazione delle suddette prove è riportata in dettaglio in allegato alla presente relazione geologica insieme ai certificati emessi dalla società esecutrice.

2 MODELLO GEOLOGICO PRELIMINARE

Ubicazione del sito

Il lungolago di Iseo si estende lungo la sponda sud orientale dell'omonimo lago e presenta le caratteristiche tipiche di un ambiente posto a cavallo tra il lago e le colline retrostanti (Figura 1).

Il territorio comunale si ubica lungo la fascia di passaggio tra le Prealpi Bresciane e le colline moreniche della Franciacorta. Esso si presenta con una forma allungata in direzione E-O e, oltre che essere delimitato dal lago stesso per tutto il settore nord, confina con i territori comunali di: Sulzano e Polaveno, ad est; Monticelli Brusati, Provaglio d'Iseo e Corte Franca, a sud, Capriolo e Paratico, ad ovest.

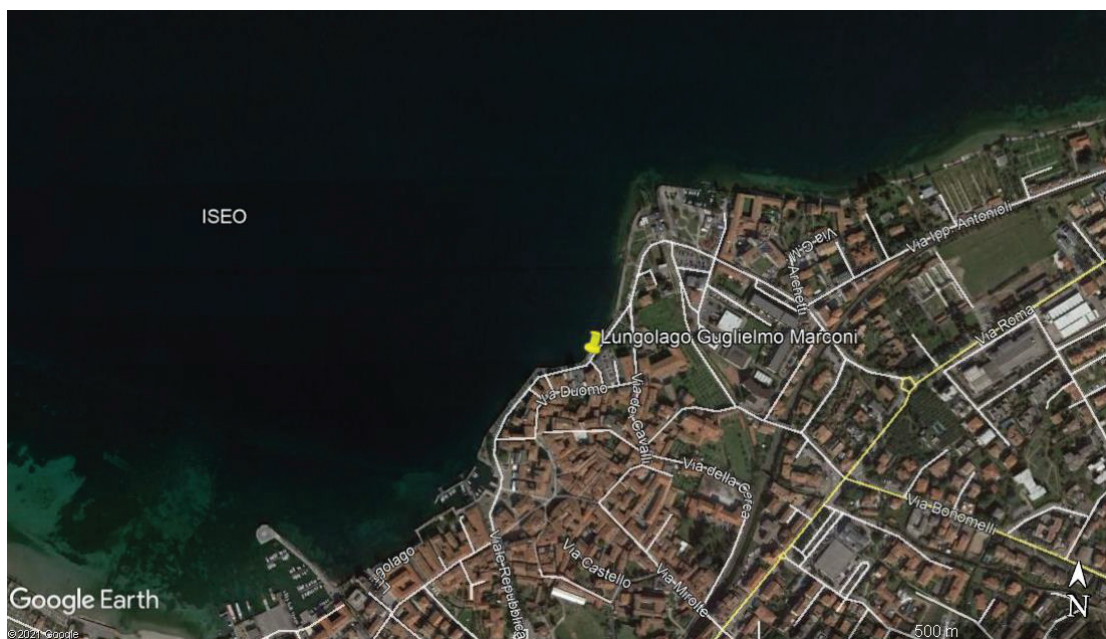


Figura 1: Ubicazione dell'area di studio. L'immagine è tratta da Google Earth.

Descrizione delle caratteristiche morfologiche generali dell'area

Il lago d'Iseo o Sebino si pone a cavallo tra le province di Bergamo e Brescia, copre un'area di circa 60 kmq, ha una profondità massima di 256 m ed è posto mediamente a circa 185 m s.l.m.: pertanto, buona parte del fondale del lago è abbondantemente al di sotto dell'attuale livello del mare.

Esso si inserisce nella depressione valliva della Val Camonica dove, in genere, si ha un'orografia piuttosto irregolare. Le caratteristiche morfologiche di tale settore dipendono in parte dall'erosione glaciale che si è sovrapposta ai normali cicli erosivi e al sostanziale condizionamento che la litologia e la tettonica hanno esercitato un ruolo predominante nella fisionomia morfologica del paesaggio e sull'evoluzione dell'area.

L'azione del modellamento glaciale, invece, ha anch'esso avuto un ruolo importante nella Val Camonica, particolarmente evidente nelle sue forme deposizionali: da massi erratici di svariate dimensioni a veri e propri cordoni morenici.

La terminazione della Val Camonica, verso sud, è data dall'anfiteatro morenico del Lago d'Iseo, avente la classica morfologia a cerchi concentrici (Figura 2). L'anfiteatro presenta forme con grado di conservazione variabile, solitamente meglio conservate nelle porzioni interne dello stesso. Tra le morfologie glacigeniche visibili accanto a cordoni morenici terminali, si riconoscono cordoni di sovrapposizione, terrazzi di kame e till plain (vasta piana glaciale),

oltre che terrazzi fluvio-glaciali situati a varie quote. L'anfiteatro risulta suddiviso in due settori dall'azione erosiva esercitata dal paleovalle, attualmente occupato dal Fosso Longherone, delimitato da netti orli di scarpata morfologica e che nel suo punto più ampio arriva a poco meno di 1 km di larghezza.

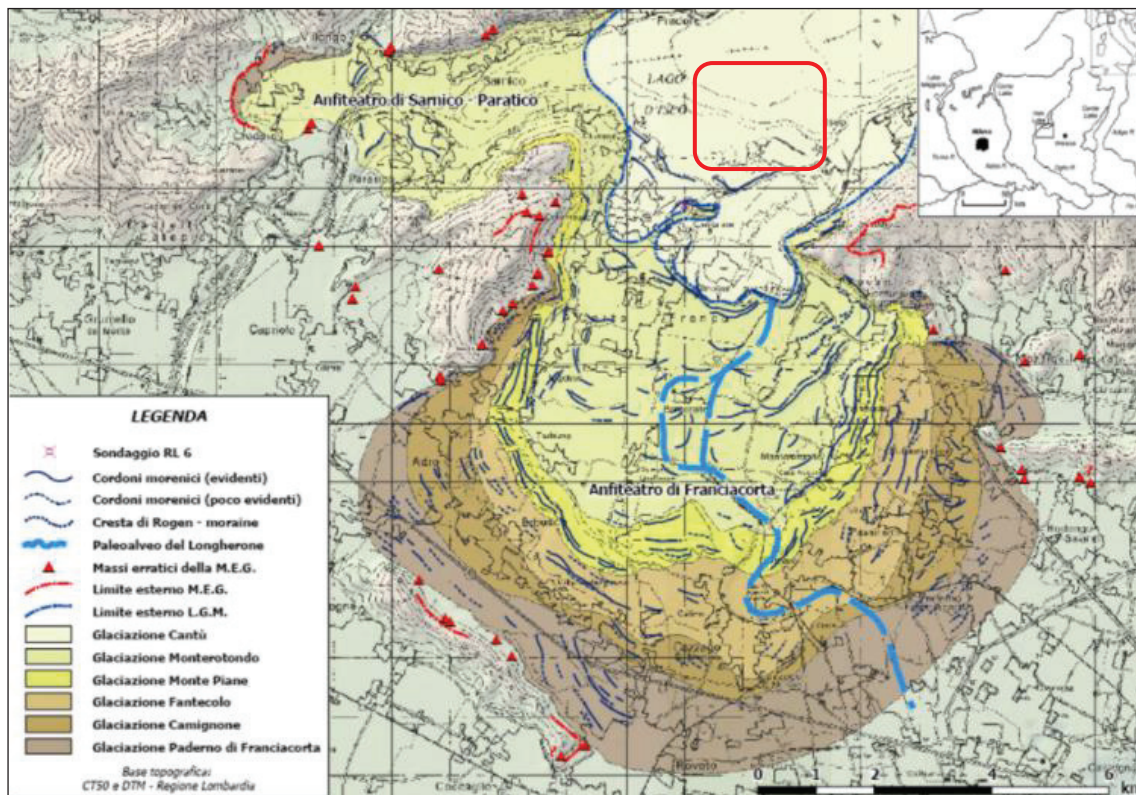


Figura 2: Anfiteatro morenico del Lago d'Iseo. Nel riquadro rosso rientra l'area di studio.

Descrizione delle caratteristiche geologiche generali dell'area

L'area di studio rientra nel dominio paleogeografico, strutturale ed ambientale delle Alpi Meridionali. Il Sudalpino è il settore più meridionale della catena alpina. Si estende in senso est - ovest per circa 700 km dal Canavese fino al Bacino Pannonico e ha una larghezza variabile da meno di 50 a 150 km. Rappresenta il margine passivo della catena alpina e il settore più settentrionale del margine continentale africano. È suddiviso in una parte occidentale, lombardo - piemontese, e in una orientale, veneto - friulana. Dal punto di vista tettonico, tale settore è compreso tra la linea insubrica e la pianura padana. L'attuale assetto tettonico è da riferirsi agli eventi collisionali legati all'orogenesi alpina, iniziati nel Cretacico (Figura 3).

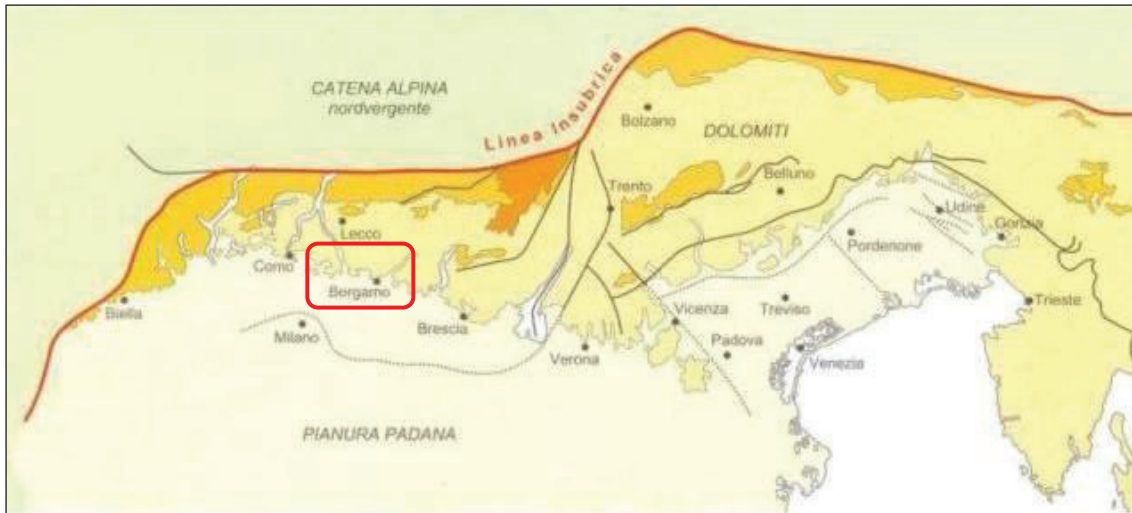


Figura 3: Carta geologica semplificata del dominio Sudalpino, delimitata a nord dalla linea Insubrica (Bosellini, 2005). Nel riquadro rosso rientra l'area di studio.

Le Alpi Meridionali sono costituite da una serie di sovrascorrimenti S - SE vergenti. Questo dominio mostra una deformazione di tipo fragile con piani di faglia con una geometria a ventaglio embricato e sono dominate da accavallamenti, con pronunciate anticlinali di rampa costituite da rocce provenienti dalla medesima area. Il fronte occidentale delle Alpi Meridionali è sepolto dai depositi costituenti la Pianura Padana, a causa dell'avanzamento verso Nord dell'avanzata appenninica.

L'assetto geologico-strutturale di quest'area, quindi, è caratterizzato da una serie di scaglie tettoniche sud-vergenti che coinvolgono il basamento cristallino subalpino e le successioni sedimentarie Permo-Cretaciche (Cassinis et al., 2011). Il substrato roccioso del bacino lacustre è costituito prevalentemente da rocce carbonatiche mesozoiche la cui strutturazione, legata alle diverse fasi dell'orogenesi alpina, risente dell'eredità dei lineamenti strutturali permiani e mesozoici. Le ultime fasi dell'orogenesi, culminate nel Tortoniano, hanno portato all'emersione della catena e all'instaurarsi di un reticolo idrografico fortemente controllato dall'assetto tettonico.

L'origine del lago d'Iseo è legata alla morfologia fluviale del tardo Miocene, caratterizzata da profonde incisioni vallive al margine subalpino causate dallo stazionamento basso del livello del mare durante il Messiniano (Bini et al., 1978). A queste morfologie fluviali si è poi sovrapposta l'azione morfogenetica delle diverse fasi glaciali pleistoceniche, che hanno modellato entrambi i fianchi del bacino lacustre e generato l'anfiteatro morenico della Franciacorta, che chiude il lago verso sud (Bini et al., 2007). Non è esclusa, tuttavia, che anche le fasi strutturali del Pleistocene medio, documentate nell'alta pianura bresciana (Carcano e Piccin, 2002), possano avere avuto un qualche ruolo nella definizione della soglia meridionale del lago.

Il Sudalpino Lombardo, geologicamente, è caratterizzato dall'affioramento di formazioni rocciose triassico-giurassiche costituite in prevalenza da calcari, marni e calcari marnosi con subordinate argilliti e calcari selciferi. Il substrato roccioso è in buona parte coperto da depositi quaternari (in prevalenza depositi sciolti) che formano generalmente terrazzi morfologici o superfici a pendenza debole o moderata.

Nell'area si alternarono i periodi freddi delle invasioni glaciali e i periodi caldo-umidi e secchi degli interglaciali da cui sono derivati processi periglaciali, ferrettizzazione rapida di materiali depositati, cementazione di ghiaie e detriti ecc. che testimoniano un'attività dei cicli di gelo e disgelo molto intense con elevate variazioni di temperatura. Il succedersi delle fasi glaciali ha dato origine all'Anfiteatro morenico sebino che, in conseguenza della disposizione dei rilievi che lo delimitano verso S e della conformazione del Lago di Iseo, presenta una struttura bilobata dove, il lobo più esteso (circa 110 km²) è allineato secondo la direzione di flusso principale del ghiacciaio vallivo e costituisce l'Anfiteatro della Franciacorta. Il lobo occidentale, invece, corrisponde all'Anfiteatro di Sarnico-Paratico ed è ampio poco più di 12 km².

Descrizione delle caratteristiche idrogeologiche generali dell'area

Dal punto di vista idrogeologico il territorio in esame viene suddiviso in 3 diversi settori: Alpino, Prealpino e Collinare e dell'Alta Pianura.

1. Il settore Alpino ha un substrato roccioso affiorante che controlla la circolazione idrica. I depositi, di natura morenico - detritica in quota e conoide alluvionale a quota lago, caratterizzati da superfici sub pianeggianti, sono in genere limitati ad aree ristrette e raramente formano massicce successioni. Similmente a quanto verificabile nel settore pedemontano, le differenze sostanziali della struttura idrogeologica vincolano le modalità di approvvigionamento idrico, correlato alla presenza di un gran numero di sorgenti, ripartite in modo non omogeneo nel territorio, in corrispondenza di incisioni vallive o di importanti discontinuità morfologiche e strutturali.
2. Il settore Prealpino è caratterizzato dalla presenza di numerosi corsi d'acqua. In questo settore, i principali sistemi acquiferi hanno uno scorrimento da ovest verso est. In molte aree collinari e di fondovalle del territorio risulta sviluppato un consistente sistema di sorgenti prevalentemente di origine carsica, soprattutto nelle zone montane, che determinano condizione idonee allo sfruttamento di falde acquifere isolate, con buona produttività.
3. Il settore Collinare e di Alta Pianura è caratterizzato da importanti successioni di depositi di copertura quaternari, con spessore che va aumentando dalla zona pedemontana verso Sud. Tale contesto fisico condiziona la distribuzione degli acquiferi presenti nel sottosuolo; in genere essi risultano organizzati, nella zona pedemontana e nelle valli, in un'unica struttura di spessore crescente a partire dalla zona di affioramento del substrato roccioso mentre, in alta pianura, si hanno strutture più complesse, caratterizzate dalla presenza di più falde sovrapposte, che rappresentano la principale fonte di approvvigionamento idrico sia per gli usi idropotabili che produttivi.

Descrizione dei caratteri sismici e tettonici generali dell'area

La penisola italiana è una delle zone sismicamente più attive del Mediterraneo. Essa è stata, inoltre, sede di alcune tra le più antiche civiltà e ciò ha permesso la registrazione di notizie attendibili anche di eventi sismici molto antichi. Tuttavia, solo a partire dal XIX secolo gli studiosi di sismologia hanno cominciato ad estrarre da queste cronache le informazioni riguardanti i terremoti nel tentativo di "scrivere" una storia sismica italiana.

Dalla raccolta e classificazione sistematica di eventi sismici sono nati i primi cataloghi dei terremoti. La prima versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPT199, è stata realizzata utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali resi disponibili dal 1999 in poi. L'ultima versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPT111, aggiornata al 2011, comprende tutti i terremoti a partire dall'anno 1000 al 2006.

Numerosi studi hanno sottolineato che la pericolosità sismica non dipende solo dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l'epicentro e la località interessata ma, soprattutto, dalle caratteristiche geologiche dell'area di interesse. Infatti, la geometria della struttura del sottosuolo, le variazioni dei tipi di terreni e delle sue proprietà con la profondità, le discontinuità laterali e la superficie topografica sono all'origine delle larghe amplificazioni delle vibrazioni del terreno e sono stati correlati alla distribuzione del danno durante i terremoti distruttivi (Aki, 1993; Bard, 1994; Faccioli, 1991, 1996; Chavez-Garcia et alii, 1996).

Questi fattori sono particolarmente importanti per la corretta valutazione dell'azione sismica nell'ambito della difesa dai terremoti e, per tale motivo, ai fini della riduzione del rischio sismico, è importante riconoscere le aree in cui le oscillazioni del suolo sono più ampie e definire le frequenze con le quali esse tendono ad oscillare.

L'azione esercitata localmente dagli strati più superficiali che operano sia da filtro che d'amplificatore, costituisce quello che va sotto il nome d'Effetto di Sito. Riconoscere in dettaglio le aree caratterizzate in media da uguale Risposta di Sito dovuta alle caratteristiche geologiche o alla topografia, è diventata una richiesta fondamentale negli studi geologici e geofisici relativi alle costruzioni.

Anche la nuova normativa sismica del territorio italiano (OPCM, n° 3274/2003; OPCM n° 3519 del 28/04/2006, D.M. 14 gennaio 2008, D.M. 17 gennaio 2018), sottolinea l'importanza della conoscenza delle condizioni geologiche del sito per adeguare le tecniche di costruzione.

Il territorio comunale di Iseo (BS), interessato nell'arco della sua storia sismica da più eventi, ricade nella zona sismogenetica 907 "Bergamasco" definita dalla Zonazione Sismogenetica ZS4 a cura di Meletti et al. (marzo 2000) (Figura 4 e Figura 5).

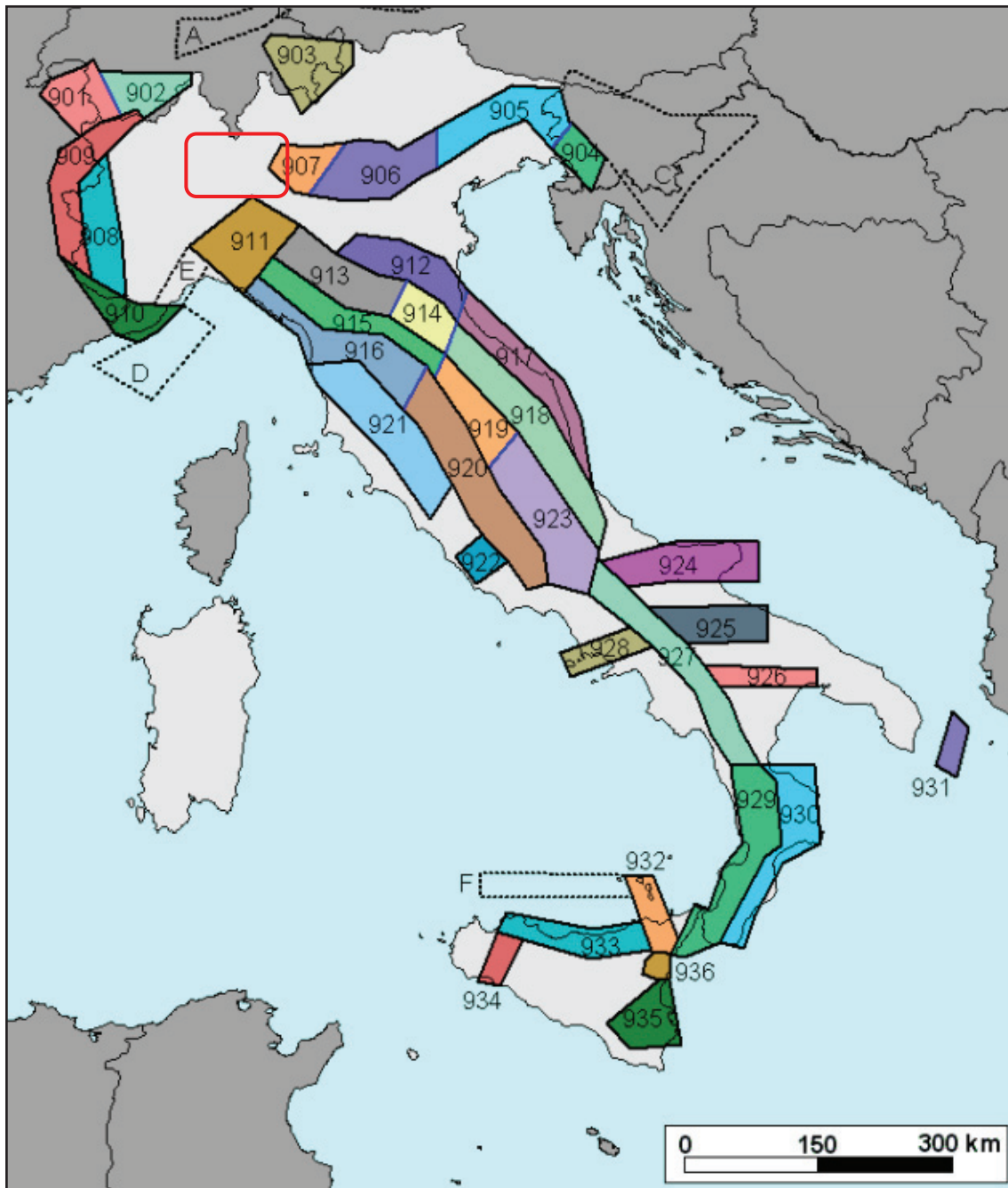


Figura 4: Zonazione Sismogenetica ZS9. Nel riquadro rosso è evidenziata l'area di interesse.

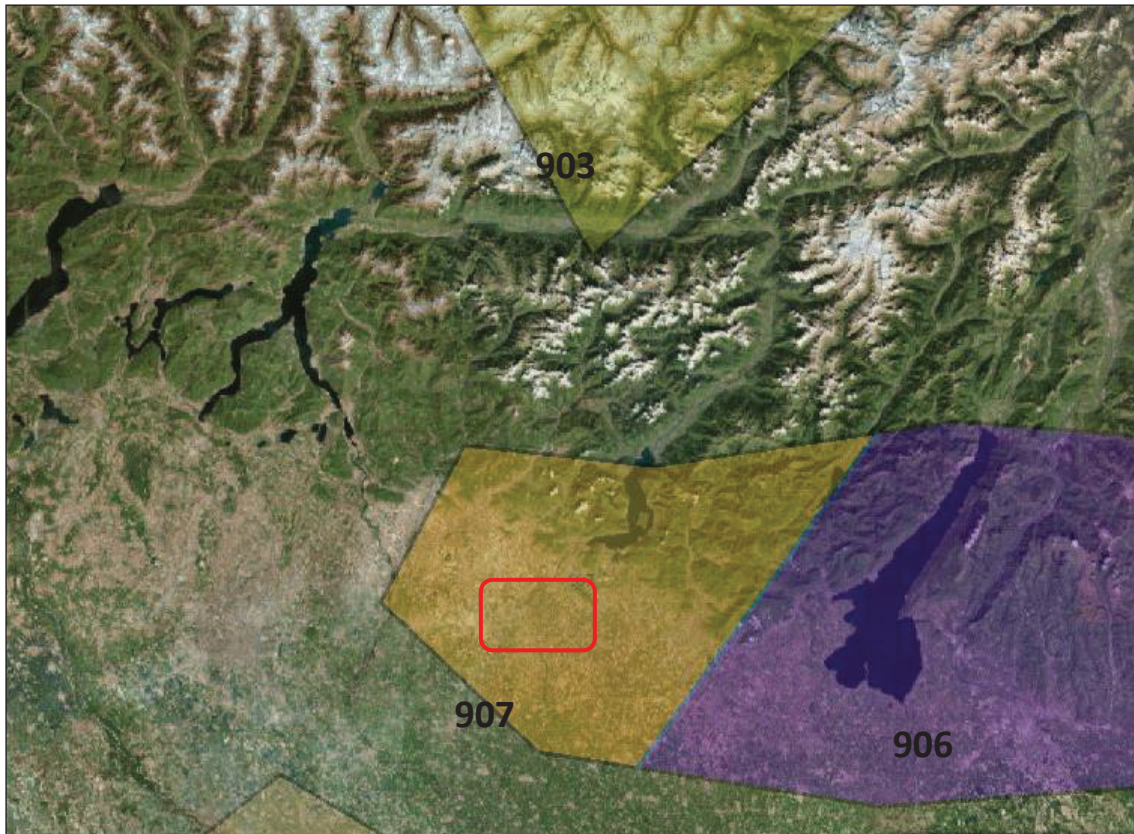


Figura 5: Zonazione Sismogenetica ZS9. Immagine tratta dal Geoportale Nazionale. Nel riquadro rosso è evidenziata l'area di interesse.

Dalla banca dati DISS (Database of Individual Seismogenic Sources dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: INGV) è possibile ricavare le sorgenti sismogenetiche dell'area.

Per sorgente sismogenetica individuale si intende una struttura geologica che sia in grado di generare, ripetitivamente ed esclusivamente, il terremoto massimo ad essa associato. Un'altra proprietà è quella di possedere una consistenza interna in termini di lunghezza, larghezza, entità della dislocazione per evento e magnitudo.

Una sorgente sismica areale rappresenta un insieme di strutture geologiche aventi tra loro caratteristiche geometriche e cinematiche comuni quali profondità, direzione, immersione, verso e pendenza ed è potenzialmente in grado di generare terremoti di magnitudo maggiore di 5.5.

Infine, le sorgenti macrosismiche sono state ottenute, nella suddetta banca dati, sulla base dei campi macrosismici dei terremoti storici di magnitudo uguale o superiore a 5.5 attraverso il programma Boxer (Gasperini et al., 1999) che consente di determinare la posizione (coincidente con l'epicentro macrosismico del terremoto), le dimensioni e, nel caso in cui i dati siano sufficienti, la direzione della sorgente sismogenetica.

Per quanto concerne l'area in esame, nel territorio non è individuata alcuna sorgente sismogenetica individuale così come illustrato nella Figura 6. Tuttavia, a poca distanza a sud della stessa, si individua la sorgente sismogenetica denominata "Western S-Alps internal thrust" (DISS-ID: ITCS010).

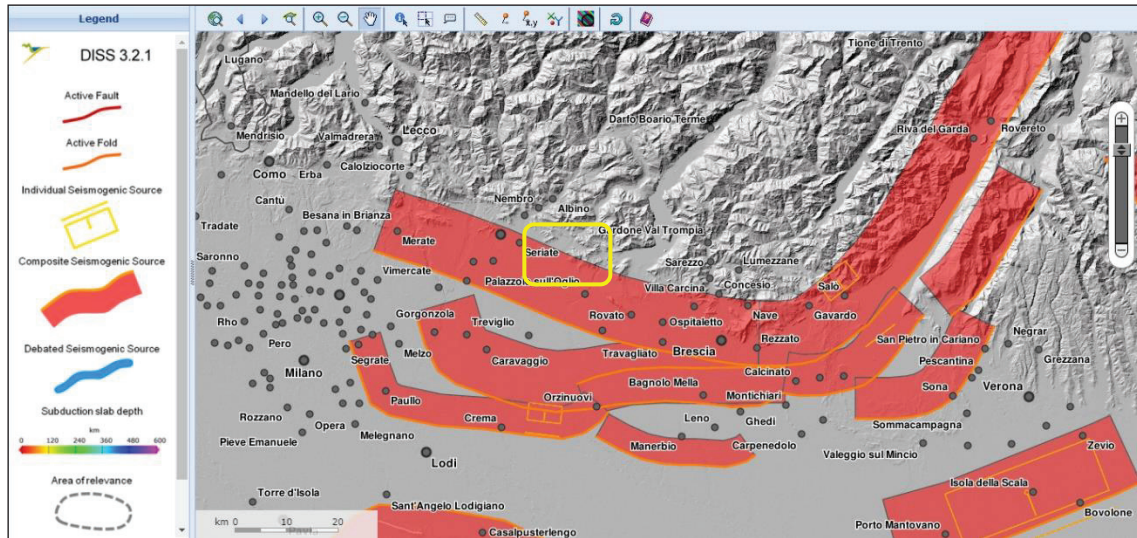


Figura 6: Database of Individual Seismogenic Sources dell'INGV <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>.

Invece, per quanto concerne il database Ithaca nel quale sono riportate le faglie capaci, disponibile online tramite il portale del Servizio Geologico d'Italia Geomapviewer (<http://sgj2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>), anche esso non evidenzia alcuna presenza di faglia potenzialmente attiva e capace che attraversa il settore territoriale in esame (Figura 7).

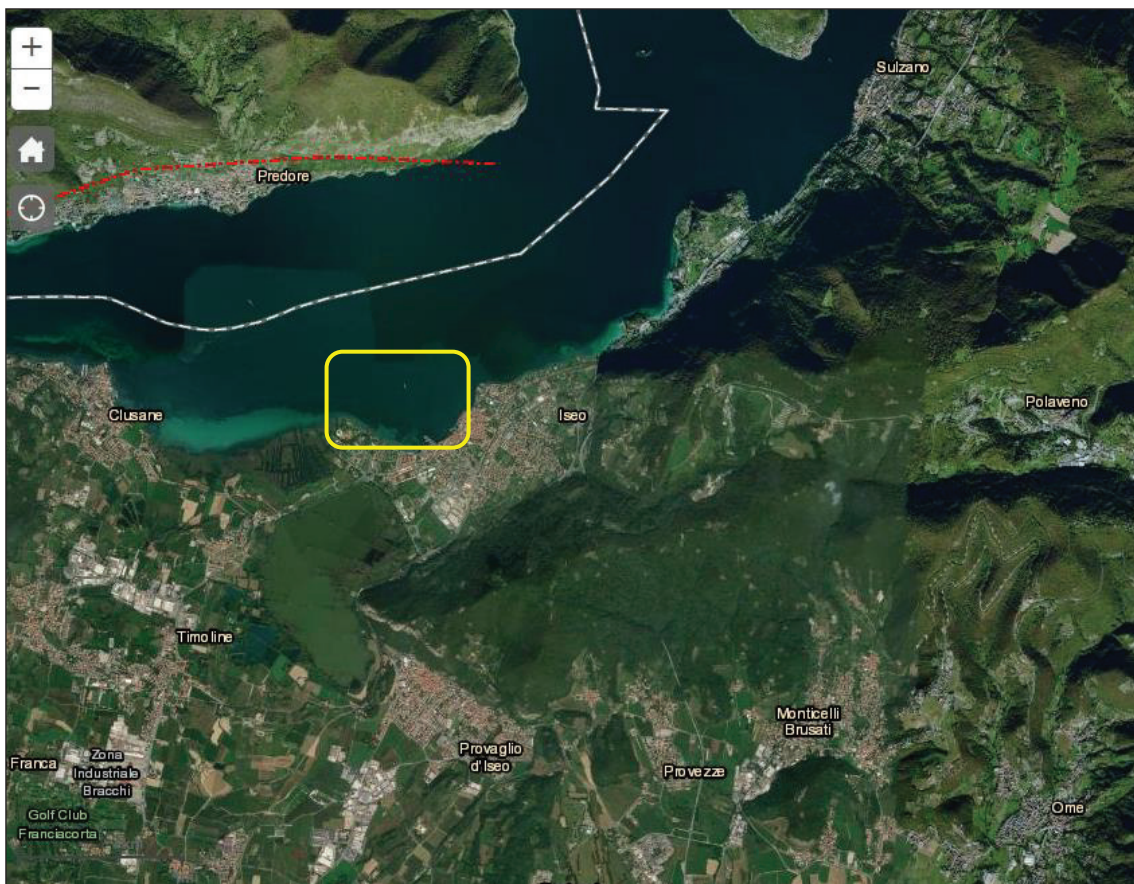


Figura 7: Faglie attive e capaci dal progetto Ithaca. Nel rettangolo in giallo rientra l'areale oggetto di studio.

Infine, il Catalogo degli eventi sismici riporta per il territorio comunale di Pagani i dati illustrati nella **Errore. L'origine r** **iferimento non è stata trovata.** e nel grafico di Figura 8 (Dati tratti da CPT115 - DBMI15 dell'INGV). I suddetti dati evidenziano eventi sismici a partire dall'anno 1873 fino al 2002, tutti relativi a sorgenti appenniniche.

Tabella 1: Storia sismica del Comune di Iseo (BS). LEGENDA: Int: intensità avvertita nella località; Data Point; lo: Intensità epicentrale; Mw: Magnitudo momento.

Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	lo	Mw
4-5	1873	6	29	3	58		Alpago Cansiglio	9-10	6.29
5	1892	1	5				Garda occidentale	6-7	4.96
NF	1892	8	9	7	58		Valle d'Alpone	6-7	4.91
2-3	1894	2	9	12	48	5	Valle d'Illasi	6	4.74
6	1894	11	27	5	7		Bresciano	6	4.89
NF	1905	4	29	1	46	45	Haute-Savoie, Vallorcine	7-8	5.1
NF	1907	4	25	4	52		Veronese	6	4.79
NF	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	4-5	4.65
5	1914	10	27	9	22		Lucchesia	7	5.63
2	1918	7	19	19	3		Mantovano	4	4.06
4	1934	3	23	1	46	50	Lago d'Iseo	5	4.31
5	1979	11	17	20	53		Lago d'Iseo	5-6	4.37
4	1983	11	9	16	29	52	Parmense	6-7	5.04
4	1989	9	13	21	54	1.5	Prealpi Vicentine	6-7	4.85
4-5	1995	10	29	13	0	27.69	Lago d'Iseo	5-6	4.35
5	2002	11	13	10	48	3.19	Franciacorta	5	4.21

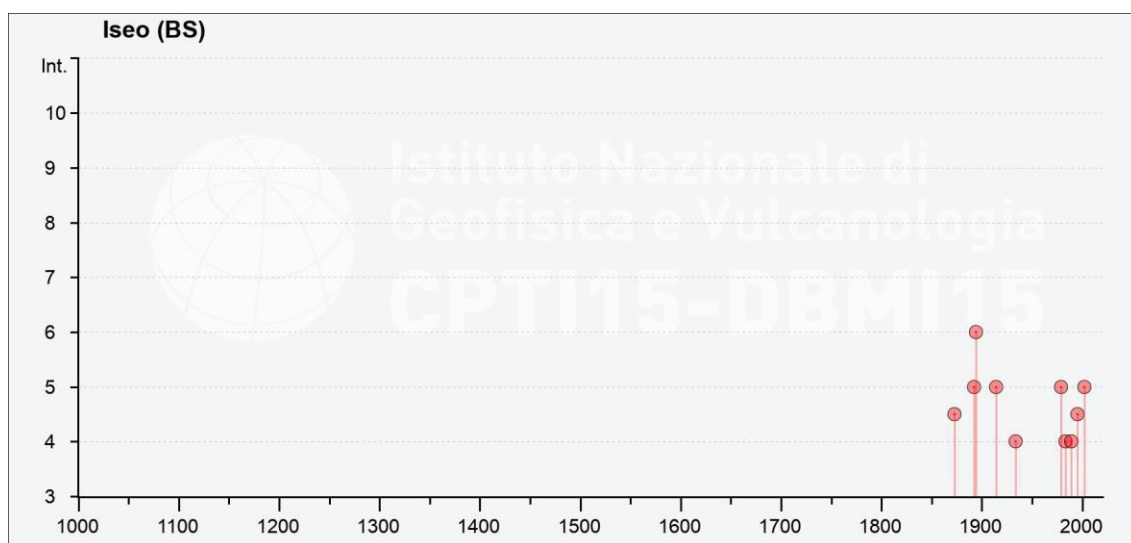


Figura 8: Storia sismica di dal 1873 al 2002.

Rischio Sismico

In base alla delibera di Giunta Regionale dell'11 luglio 2014 - n. X/2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)" il comune di Iseo (BS) è stato classificato in zona sismica 3 (Figura 9).

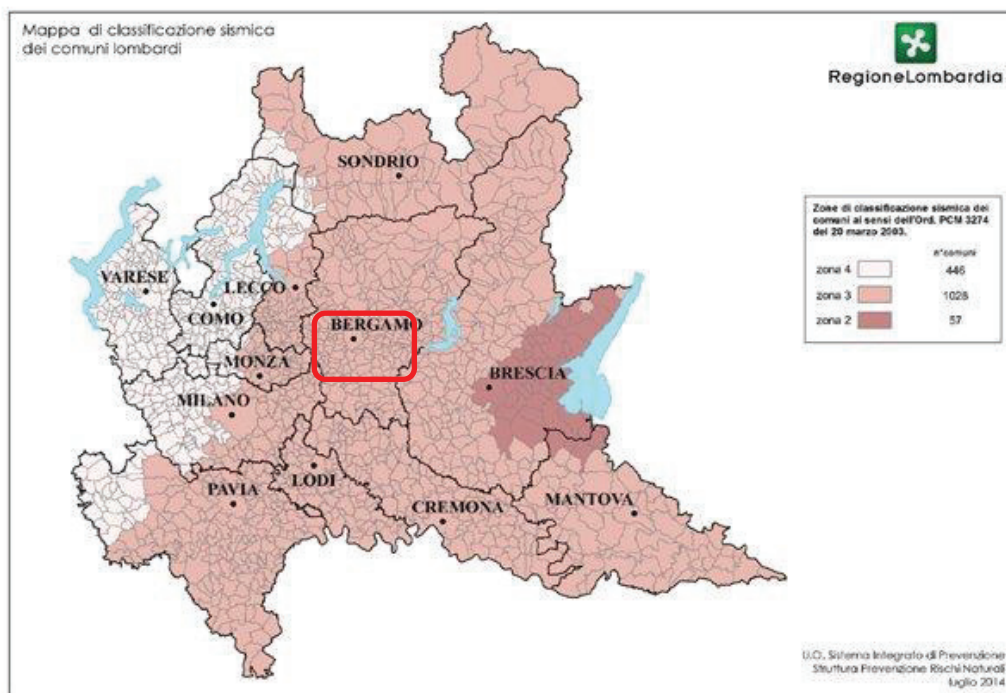


Figura 9: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia. Nel riquadro rosso rientra l'area di interesse.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 10), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Iseo (BS) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.125 e 0.150 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



Figura 10: Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

Rischio idrogeologico

Il sito rientra nell'area di competenza dell'Autorità di Bacino del fiume Po. Per quanto riguarda il rischio idrogeologico, invece, si fa riferimento alla Carta della Perimetrazione delle aree in dissesto con legenda uniformata PAI redatto per il PGT comunale. All'interno della stessa, il sito rientra in un'area di conoide di non recente attivazione o completamente protetta.

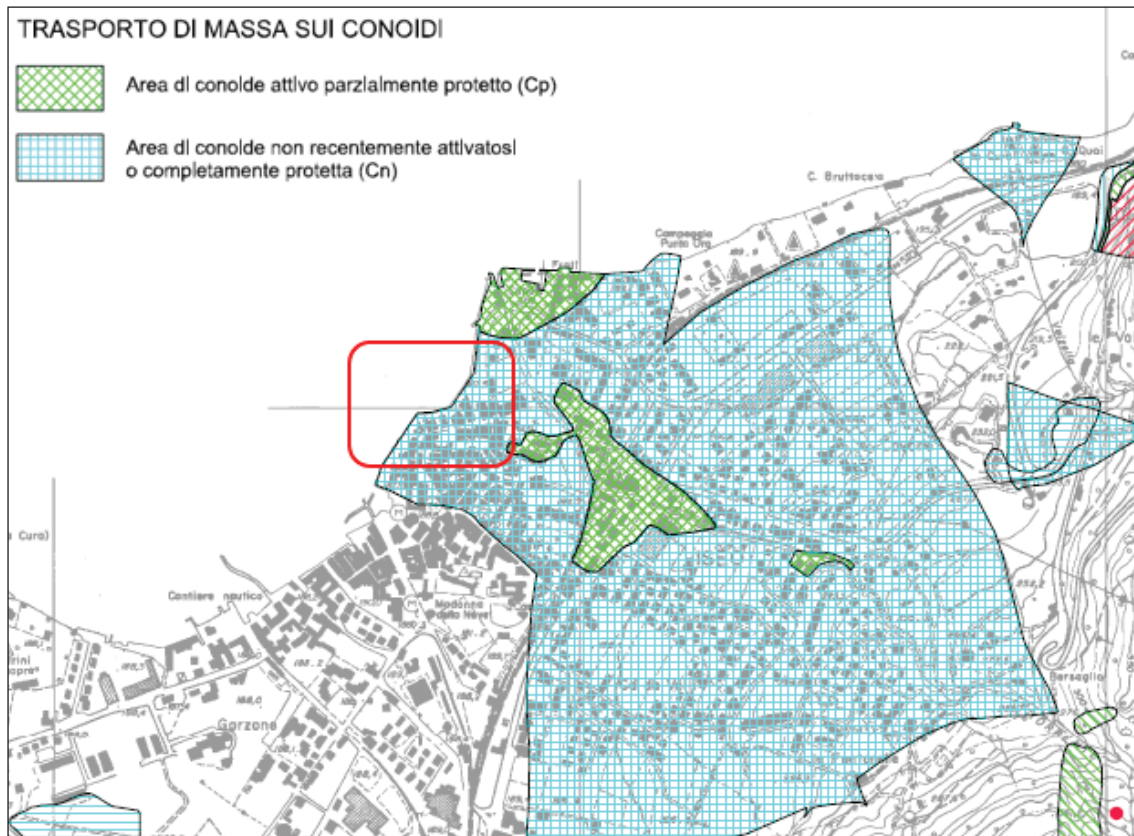


Figura 11: Stralcio della Carta della Perimetrazione delle aree in dissesto con legenda uniformata PAI redatto per il PGT comunale.

Il sito, inoltre, ricade nella zona “Z4b – Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre” della Carta della Pericolosità Sismica Locale redatta per il PGT comunale. Per tale area, in fase di progettazione per tipologie edilizie con periodo proprio compreso tra 0.1 – 0.5 s, qualora l’indagine geotecnica evidenzi la presenza di terreni riferibili alla categoria di sottosuolo C, si dovrà applicare lo spettro di norma riferito alla categoria di sottosuolo D o, in alternativa, realizzare un approfondimento applicando l’analisi di 3° livello. Qualora, invece, si rinvenissero terreni ricadenti nelle altre categorie, verrà utilizzato lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo di appartenenza.

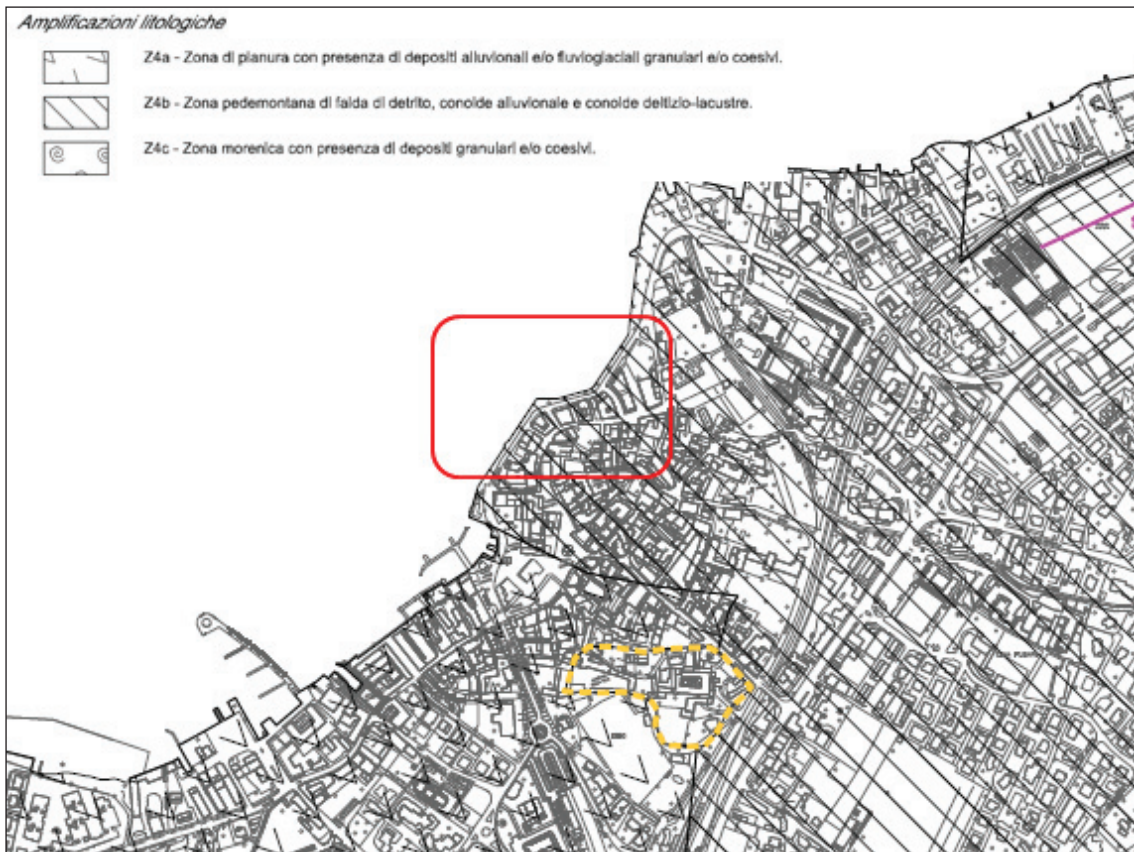


Figura 12: Stralcio della Carta della Pericolosità Sismica Locale redatta per la componente geologica del PGT comunale.

3 INDAGINI IN SITU

Per quanto riguarda il presente studio, a seguito dei sopralluoghi effettuati è stata progettata e realizzata una campagna di indagini geognostiche e geofisiche per verificare le condizioni di sito eseguite dalla C-SPIN S.r.l. di Orio al Serio (BG). Nello specifico, sono state eseguite le seguenti indagini:

- N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- N. 6 prove penetrometriche SPT;
- N. 1 prelievo di campione indisturbato;
- Indagini di laboratorio sul campione prelevato;
- N. 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH;
- N. 2 prospezioni sismiche con metodologia Masw;
- N. 2 prospezioni sismiche a rifrazione.

L'ubicazione delle suddette prove è riportata nella seguente Figura 13 e in dettaglio in allegato alla presente relazione geologica insieme ai certificati emessi dalla società esecutrice.

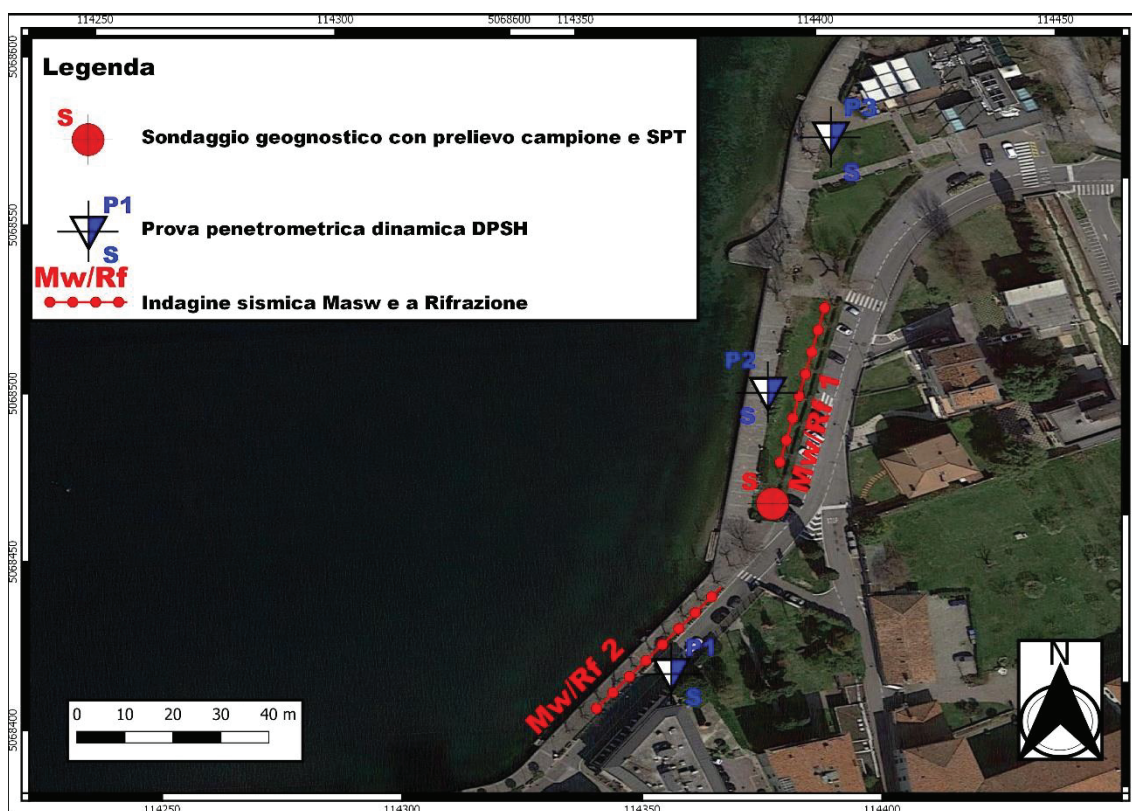


Figura 13: Immagine satellitare con ubicazione delle indagini effettuate.

Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

Il sondaggio geognostico a carotaggio continuo, i prelievi dei campioni e le prove dinamiche del tipo SPT sono stati eseguiti utilizzando un carotiere semplice $\phi = 101$ mm e tubi di rivestimento di diametro $\phi = 127$ mm. L'avanzamento, nei terreni sciolti, è avvenuto a secco o con la minima quantità d'acqua necessaria alla perforazione, onde ottenere la più completa descrizione granulometrica degli stessi, mediante i seguenti accorgimenti:

- le manovre di estrazione dell'attrezzo di perforazione vengono eseguite con velocità molto basse nel tratto iniziale per minimizzare "l'effetto pistone";
- la pulizia del fondo foro, prima di eseguire le prove SPT in sito, è assicurata eseguendo manovre di pulizia con attrezzo a fori radiali.

Le attrezzature sono corredate di tutti quegli accessori necessari per il corretto funzionamento.

Il sistema, le modalità di perforazione e di rivestimento sono tali da minimizzare il disturbo provocato nei terreni attraversati. L'utensile di perforazione e le modalità d'impiego garantiscono una percentuale di recupero pari a circa il 90%.

Le carote così estratte, sono successivamente sistemate all'interno di apposite cassette catalogatrici (aventi dimensioni di 100x60x10cm, munite di scomparti divisori e di coperchio) ed opportunamente numerate e classificate. Su tali cassette sono indicati, in modo indelebile, il sondaggio e le quote di riferimento nonché, sugli scomparti interni, le quote di riferimento di ciascuna manovra eseguita.

In base all'esame dei campioni di cui sopra, viene compilata la stratigrafia dei sondaggi che comprende:

- spessore e profondità dal p.c. del tetto di ogni unità litostratigrafica;
- colore prevalente;
- composizione granulometrica approssimata, nei termini correnti (trovanti, ciottoli, ghiaia, sabbia, limo, argilla), indicando il diametro massimo della ghiaia ed elencando per prima la frazione prevalente e, di seguito, le eventuali altre frazioni secondo importanza percentuale;
- caratteristiche di addensamento (terreni non coesivi) nei termini usuali (sciolto, mediamente compatto, compatto);
- presenza di inclusi organici e non.

Le prove S.P.T. (Standard Penetration Test) sono state eseguite a punta chiusa seguendo le metodologie previste dalle norme A.G.I. – Associazione Geotecnica Italiana (Giugno 1977) e A.S.T.M. - D1586-67(74); D1586-84.

La prova penetrometrica dinamica del tipo SPT consiste nel rilevare il numero di colpi N di un maglio di 73 Kg cadente da un'altezza costante di 76 cm, necessari per infiggere nel terreno l'apposito attrezzo normalizzato (campionatore Raymond a punta aperta o chiusa in funzione dei litotipi individuati) per tre tratti successivi di 15 cm, e valutando la somma dei colpi N_{spt} relativi agli ultimi 30 cm. Le prove penetrometriche dinamiche del tipo SPT sono utili, come è noto per una stima dell'angolo di attrito interno dei terreni (φ).

Per l'area di interesse progettuale è stato eseguito n. 1 sondaggio spinto fino alla profondità di -20 m dal p.c. e n. 6 prove SPT mentre i certificati rilasciati dalla ditta esecutrice sono riportati in allegato.

Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio rappresentano il metodo più diffuso per definire i parametri fisici e meccanici di un terreno.

Durante l'esecuzione del sondaggio S1 è stato prelevato n. 1 campione che è stato sottoposto a prove tecniche di laboratorio finalizzate a:

- Determinazione delle caratteristiche fisiche quali: contenuto d'acqua e del peso di volume, sia saturo (Y_{sat}) che secco (Y_d); peso specifico dei granuli (Y_s); contenuto in acqua (W); peso; indice dei vuoti (e); porosità e grado di saturazione (S_r);
- Determinazione della granulometria del campione, attraverso l'analisi granulometrica;
- Prova di taglio diretto.

La profondità di prelievo e le caratteristiche dei campioni sono riepilogate nelle successive tabelle da 2 a 3 e nella figura 14 e riportate in allegato alla presente, nei certificati rilasciati dalla Geolab S.r.l..

Tabella 2: Riepilogo caratteristiche del campione di laboratorio C1.

<i>Campione</i> <i>Indisturbato</i>	<i>Profondità</i> <i>prelievo (m)</i>	<i>di</i> <i>Principali parametri geotecnici</i>
C1	12.0-12.6	<i>Umidità naturale (%)</i> : 63.1
		<i>Peso di volume (kN/m³)</i> : 16.0
		<i>Peso di volume secco (kN/m³)</i> : 9.8
		<i>Peso di volume saturo (kN/m³)</i> : 16.0

<i>Campione</i> <i>Indisturbato</i>	<i>Profondità</i> <i>prelievo (m)</i>	<i>di</i> <i>Principali parametri geotecnici</i>
		<i>Peso specifico (kN/m³): 26.8</i>
		<i>Indice dei vuoti: 1.736</i>
		<i>Porosità (%): 63.4</i>
		<i>Grado di saturazione (%): 99.2</i>
		<i>Angolo di attrito f (°) = 27.3</i>
		<i>Coesione c' (kPa) = 4.2</i>

Tabella 3: Riepilogo caratteristiche del campione di laboratorio C1.

<i>Campione</i> <i>Indisturbato</i>	<i>Profondità</i> <i>prelievo (m)</i>	<i>di</i> <i>Analisi Granulometrica</i>
C1	12.0-12.6	Ghiaia: 0.7%
		Sabbia: 23.5%
		Limo: 70.5%
		Argilla: 5.3%
		<i>Definizione: Limo argilloso sabbioso grigio brunastro scuro</i>

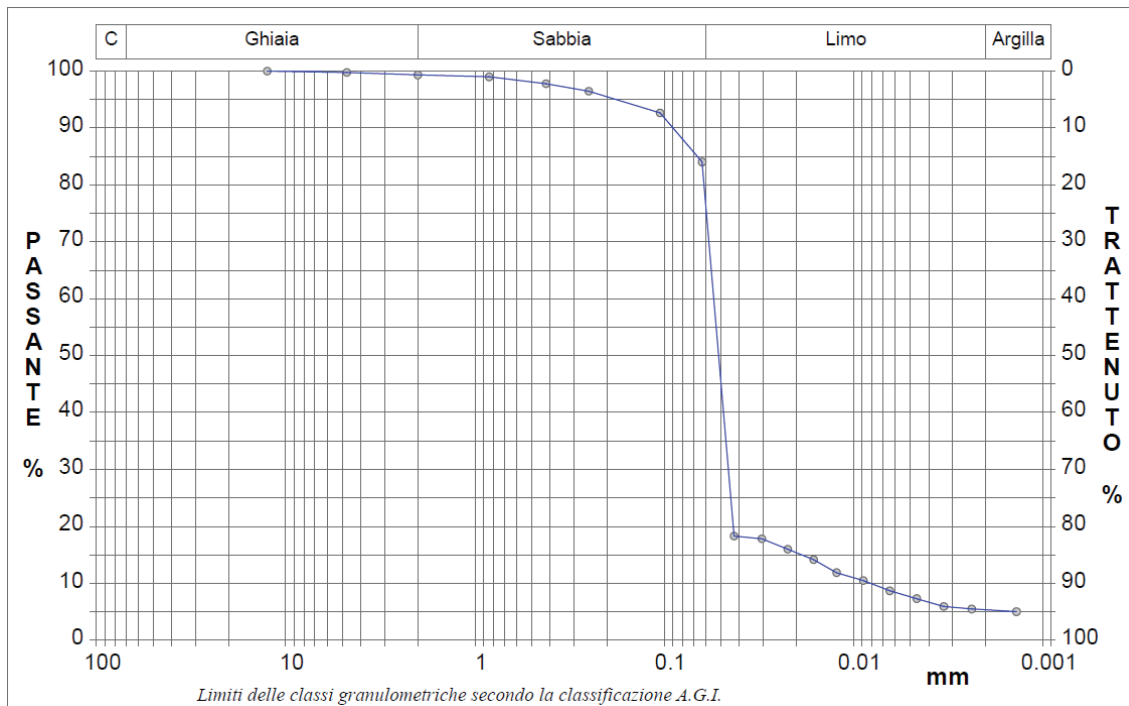


Figura 14: Curva granulometrica relativa al campione C1.

Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi di lunghezza pari a 20 cm) misurando il numero di colpi N necessari all'infissione della punta stessa.

La prova viene generalmente eseguita a partire dal piano campagna, ma in alcuni casi può anche essere condotta, tramite alcuni accorgimenti, a partire dal fondo di fori di sondaggio.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati.

Gli elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M ;
- altezza libera caduta H ;
- punta conica: diametro base cono D , area base A (angolo di apertura α);

- *avanzamento (penetrazione) d.*

Le informazioni che la prova fornisce sono di tipo continuo, perché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione.

Nel caso in esame sono state effettuate n° 3 prove DPSH, con penetrometro dinamico tipo Pagani TG 63/100 kN, le cui caratteristiche tecniche sono le seguenti:

✓ <i>Peso Massa battente</i>	73,5	kg
✓ <i>Altezza di caduta libera</i>	0,75	m
✓ <i>Peso sistema di battuta</i>	30	kg
✓ <i>Diametro punta conica</i>	50,50	mm
✓ <i>Area di base punta</i>	20,43	cm ²
✓ <i>Lunghezza delle aste</i>	1	m
✓ <i>Peso aste a metro</i>	8,00	kg/m
✓ <i>Profondità giunzione prima asta</i>	0,30	m
✓ <i>Avanzamento punta</i>	0,30	m
✓ <i>Numero colpi per avanzamento N(30)</i>		
✓ <i>Coeff. Correlazione</i>	1,141	
✓ <i>Rivestimento/fanghi</i>	No	
✓ <i>Angolo di apertura punta</i>	60°	

Le prove sono interpretabili in base alle esperienze locali (Associazione Geotecnica Italiana 1977) e forniscono valutazioni qualitative e quantitative del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati, potendo essere correlati il numero di colpi con le caratteristiche meccaniche dei terreni.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni sul sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova penetrometrica dinamica con il numero di colpi di una prova penetrometrica standard (N_{spt}).

Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = bt N$$

Dove:

$$\beta_i = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

d = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (d / N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

Metodologia di Elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini, 1983 – Meyerhof, 1956 – Desai, 1968 - Borowczyk-Frankowsky, 1981.

Il programma permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

La vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permette spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale degli intervalli stratigrafici;

- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche;

- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

La seguente tabella 4 fornisce un prospetto riepilogativo delle prove effettuate in sito, mentre il certificato rilasciato dalla ditta esecutrice è riportato in allegato.

Tabella 4: Prospetto delle prove penetrometriche DPSH effettuate.

<i>Prova</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Note</i>
P1	15.0	
P2	15.0	
P3	15.0	

Prospezioni sismiche MASW ed a rifrazione

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo nell'area oggetto di indagine, sono state eseguite n. 2 prospezioni sismiche con le seguenti caratteristiche (Tabella 5):

Tabella 5: Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Offset (m)</i>
<i>N.1</i>	<i>86.0</i>	<i>4.0</i>	<i>shot 1 = 2.0m da G1 shot 2 = 16.0m (tra G4 e G5) shot 3 = 16.0m (tra G8 e G9) shot 4 = 16.0m (tra G12 e G13) shot 5 = 16.0m (tra G16 e G17) shot 6 = 16.0m (tra G20 e G21) shot 7 = 2.0m da G24</i>
<i>N.2</i>	<i>46.0</i>	<i>2.0</i>	<i>shot 1 = 2.0m da G1 shot 2 = 8.0m (tra G4 e G5) shot 3 = 8.0m (tra G8 e G9) shot 4 = 8.0m (tra G12 e G13) shot 5 = 8.0m (tra G16 e G17) shot 6 = 8.0m (tra G20 e G21) shot 7 = 4.0m da G24</i>

Per l'indagine sismica M.A.S.W. la sorgente è stata posizionata all'inizio e alla fine di ogni stendimento geofonico, in modo tale da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo i profili di indagine con spacing predefiniti. La lunghezza complessiva di ogni stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto.

I segnali sismici acquisiti per la M.A.S.W. sono stati successivamente elaborati con apposito programma per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

Per l'elaborazione di sismica a rifrazione, energizzando il terreno in superficie e misurando i tempi di arrivo delle onde P, sono state determinate le velocità V_P dei litotipi e la loro disposizione geometrica bidimensionale.

Lungo lo stendimento sono state eseguite varie energizzazioni con battute in 7 diversi punti. Per le acquisizioni dei segnali è stata evitata la sommatoria sincrona dei segnali al fine di evitare di "sporcare" i segnali stessi.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito software utilizzando il metodo GRM (Metodo Reciproco Generalizzato) per la determinazione della sismostratigrafia delle V_P del sottosuolo.

Il Generalized Reciprocal Method (GRM) consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistono di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-

profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti, e nella fattispecie il metodo tomografico, sono dei casi particolari.

Le modalità di realizzazione della prova e i risultati della prospezione effettuata sono riportati in allegato.

4 MODELLO GEOLOGICO DEFINITIVO

Caratterizzazione morfologica locale del sito oggetto di intervento

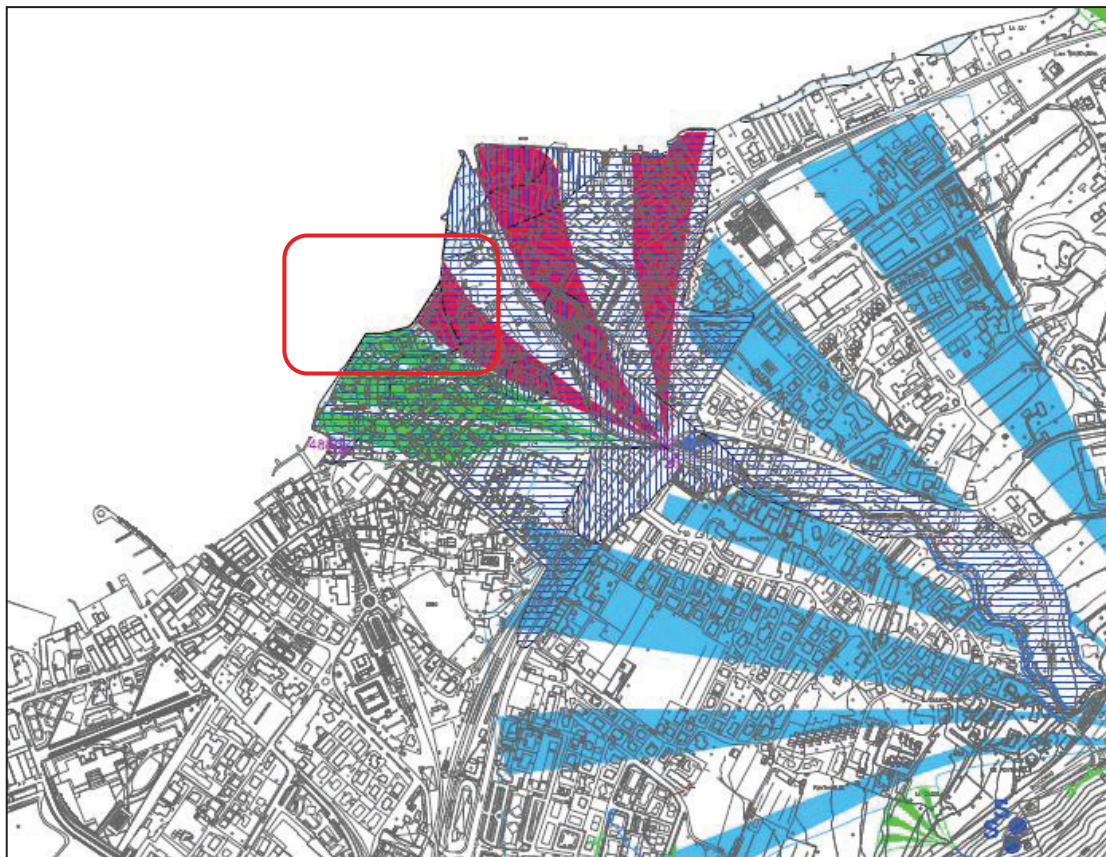
Morfologicamente, il sito si posiziona lungo la sponda meridionale del lago d'Iseo, in un settore territoriale subpianeggiante caratterizzato da classi di pendenze comprese tra 0% e 2% in direzione N e, cioè, verso il lago stesso. In considerazione di tale valore di acclività, la categoria topografica del sito è T1:

Categoria topografica T1 = Pendii con inclinazione media $i < 15^\circ$.

Il suddetto settore si inserisce in una fascia di classe altimetrica compresa tra i 100 e 200 m s.l.m.. Nello specifico il sito si pone ad una quota assoluta s.l.m. pari a circa 190 m.

Lo stesso, inoltre, così come riportato nella Carta Geomorfologica del PGT, si pone su conoidi alluvionali di seconda generazione. In particolare, il lungolago Marconi si inserisce tra due diverse conoidi differenziate per il loro stato di attività: il conoide posto nel settore orientale (colore rosso), di maggiore estensione, è definito attivo mentre, il conoide posto nel settore occidentale (colore verde) risulta essere quiescente.

Idrologicamente, il sito si pone in sinistra idrografica rispetto al torrente Cortelo.



Forme, processi e depositi per acque superficiali

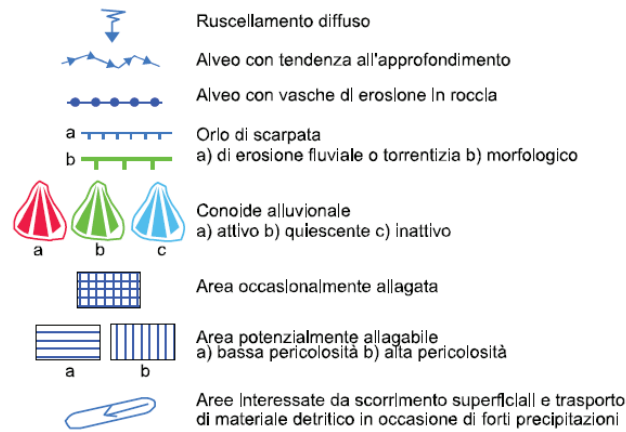


Figura 15: Stralcio della Carta Geomorfologica tratto dalla componente geologica del PGT comunale.

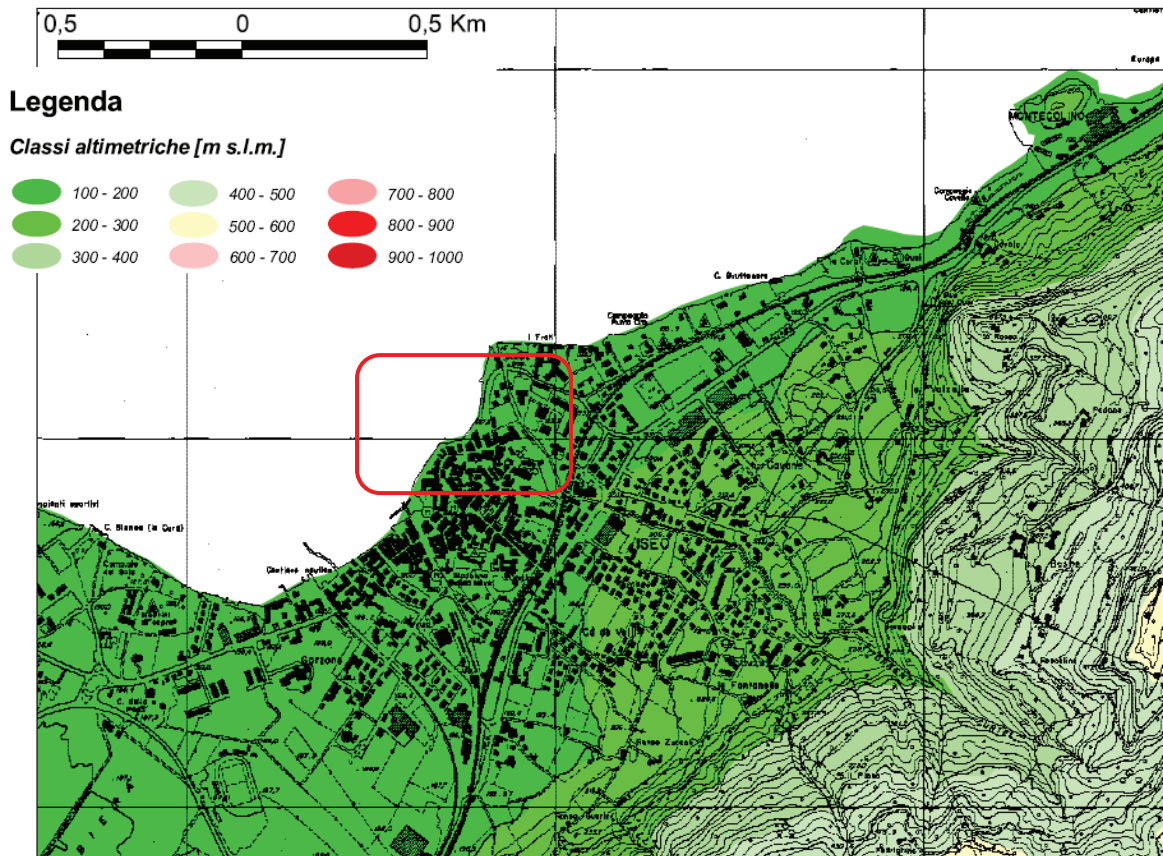
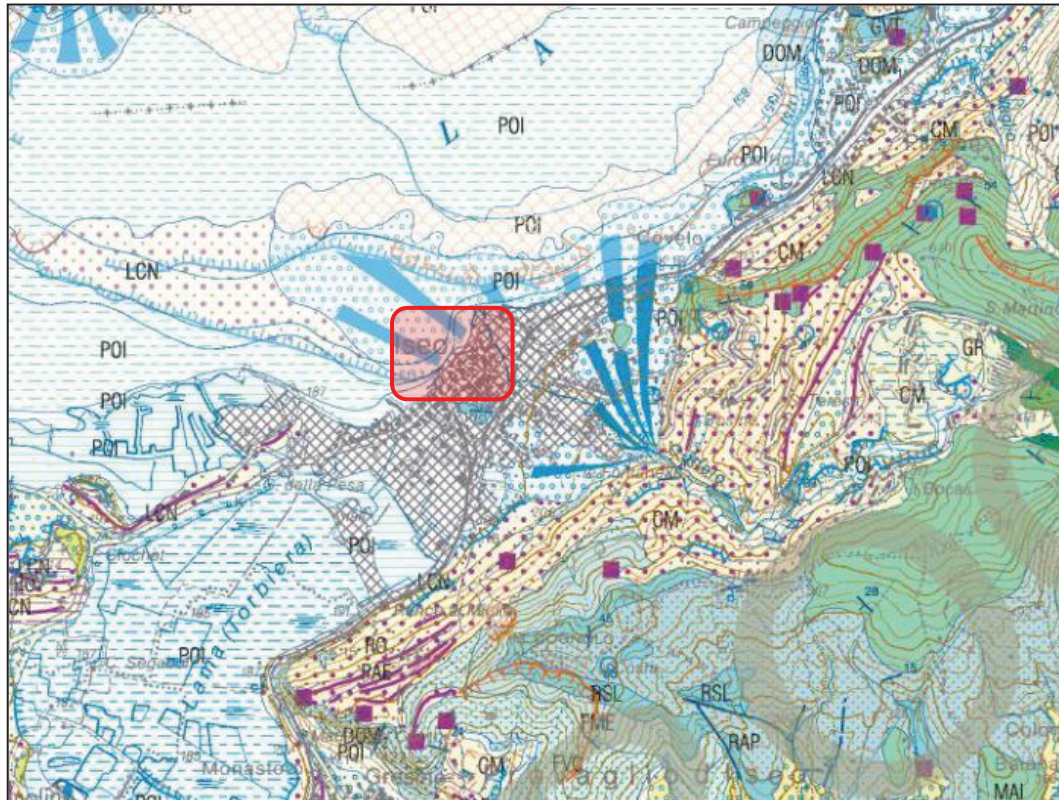



Figura 16: Stralcio della figura 1a - Altimetria della zona Est del territorio comunale di Iseo redatta per il PGT comunale.

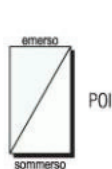
Caratterizzazione geologica locale del sito oggetto di intervento

Dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 Foglio 99 - Iseo, nell'area d'interesse affiorano i litotipi afferibili al Sintema del Po (POI) (Figura 17), rappresentati da depositi quaternari continentali del Sintema del Po, rappresentati da Limi e limi argillosi massivi, con clasti sparsi (depositi colluviali) e da Ghiaie poligeniche da massive a stratificate con locali livelli di sabbie e limi (depositi alluvionali). La superficie limite superiore è caratterizzata da morfologie ben conservate o ancora in evoluzione – Pleistocene superiore-Olocene.

L'intera area di studio, così come l'area urbanizzata d'Iseo, è caratterizzata inoltre dalla presenza di terreni antropici/riporto che ricoprono le successioni presenti.



 **Struttura antropica**



SINTEMA DEL PO

Diamicton massivi o grossolanamente stratificati, a prevalente supporto di matrice; ghiaie eterometriche a supporto clastico; clasti di provenienza locale (depositi di versante). Limi e limi argillosi massivi, con clasti sparsi (depositi colluviali). Ghiaie poligeniche da massive a stratificate con locali livelli di sabbie e limi (depositi alluvionali). Depositi palustri e di torbiera. Travertini. Superficie limite superiore caratterizzata da morfologie ben conservate o ancora in evoluzione; profilo di alterazione con profondità inferiore a 50 cm; colore della matrice 2,5 Y ÷ 10 YR.
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE

Figura 17: Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000. Nel riquadro rosso rientra il sito di interesse.

Il sito, inoltre, come riportato nella Carta Geologica della componente geologica relativa al PGT comunale, ricade sui depositi di conoide (Dc) costituiti da elementi rocciosi di varia pezzatura, a spigoli vivi o parzialmente arrotondati, immersi in una matrice limosa ed argillosa quantitativamente variabile. Sono particolarmente riconoscibili e separabili dai restanti depositi soprattutto per la tipica forma a cono a cui danno origine allo sbocco di alcune valli laterali.

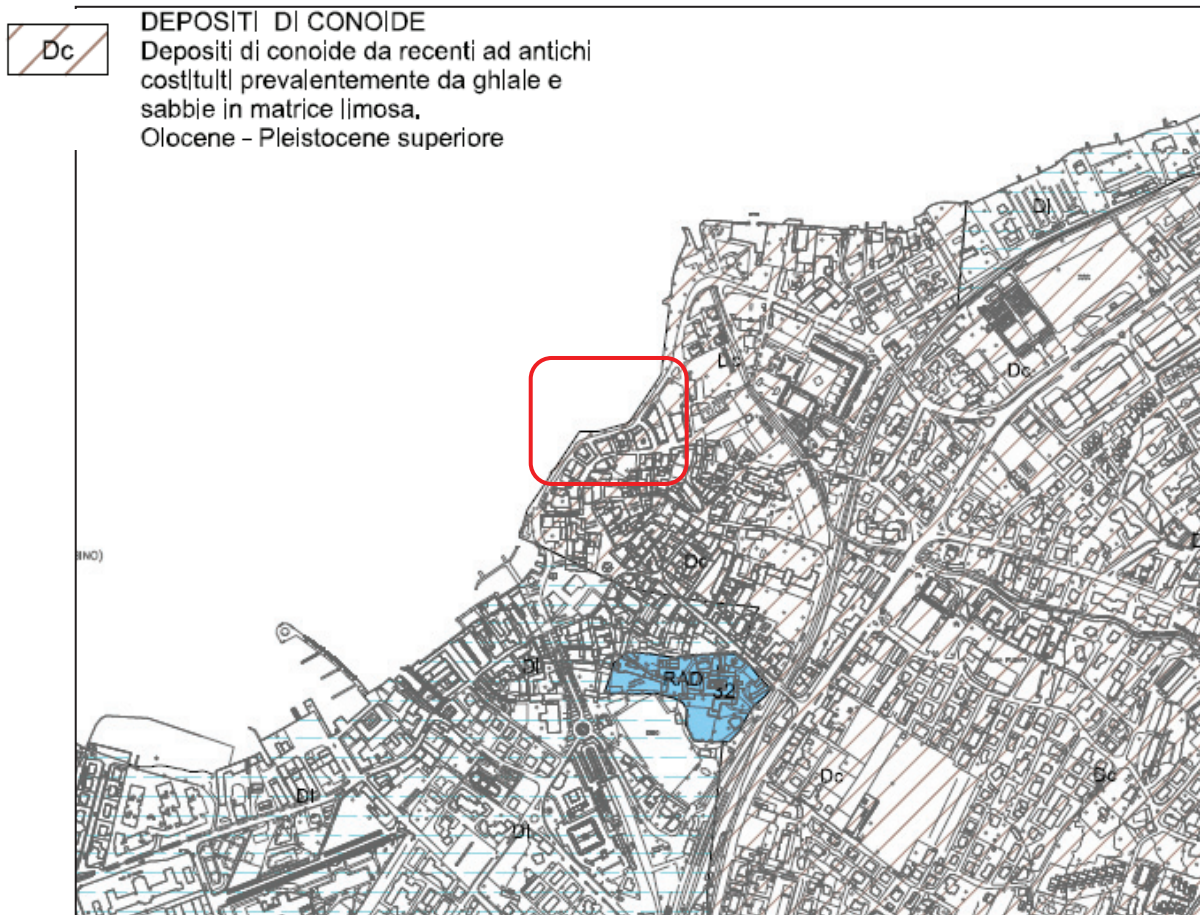


Figura 18:Stralcio della Carta Geologica tratta dalla componente geologica del PGT comunale.

Per quanto riguarda la stratigrafia tipo dell'area di studio, si fa riferimento al sondaggio S1 effettuato per il quale, dopo uno strato di riporto spesso 0.5 m, vede la presenza di terreni sciolti rappresentati da sabbia e ghiaia e ghiaia medio-fine e sabbia fino alla profondità di -5.6 m dal p.c., poggianti su terreni più fini come limo con sabbia debolmente argilloso fino alla profondità di -10.8 m dal p.c.. Successivamente si rinviene la presenza di un livello di paleosuolo fino alla profondità di -13.0 m dal p.c. poggiante su limo con argilla/argilloso fino alla profondità di fondo foro (-20.0 m dal p.c.).

Inoltre, durante l'esecuzione del sondaggio è stato rinvenuto un livello di falda a partire dalla profondità di -1.0 m dal p.c..

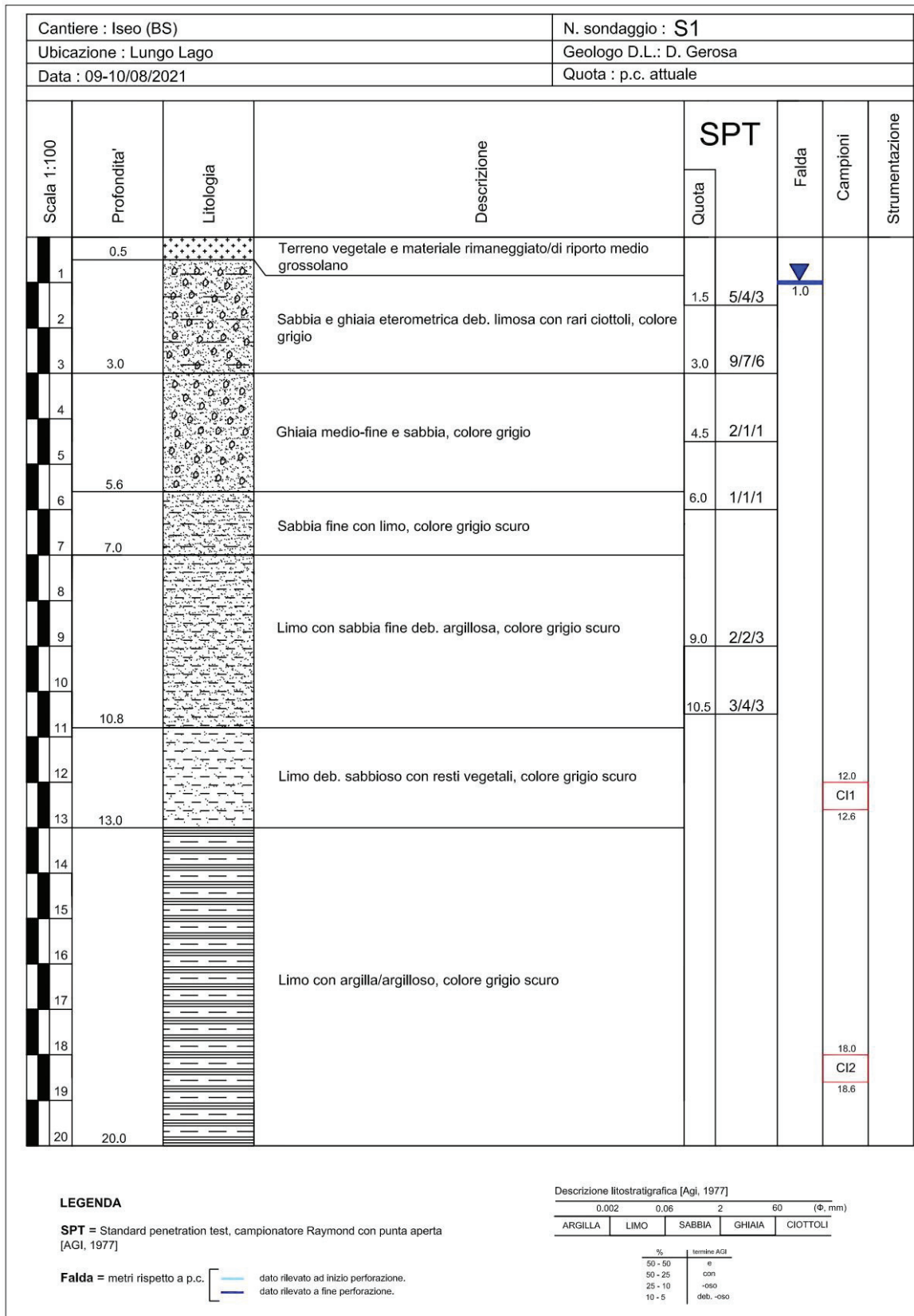
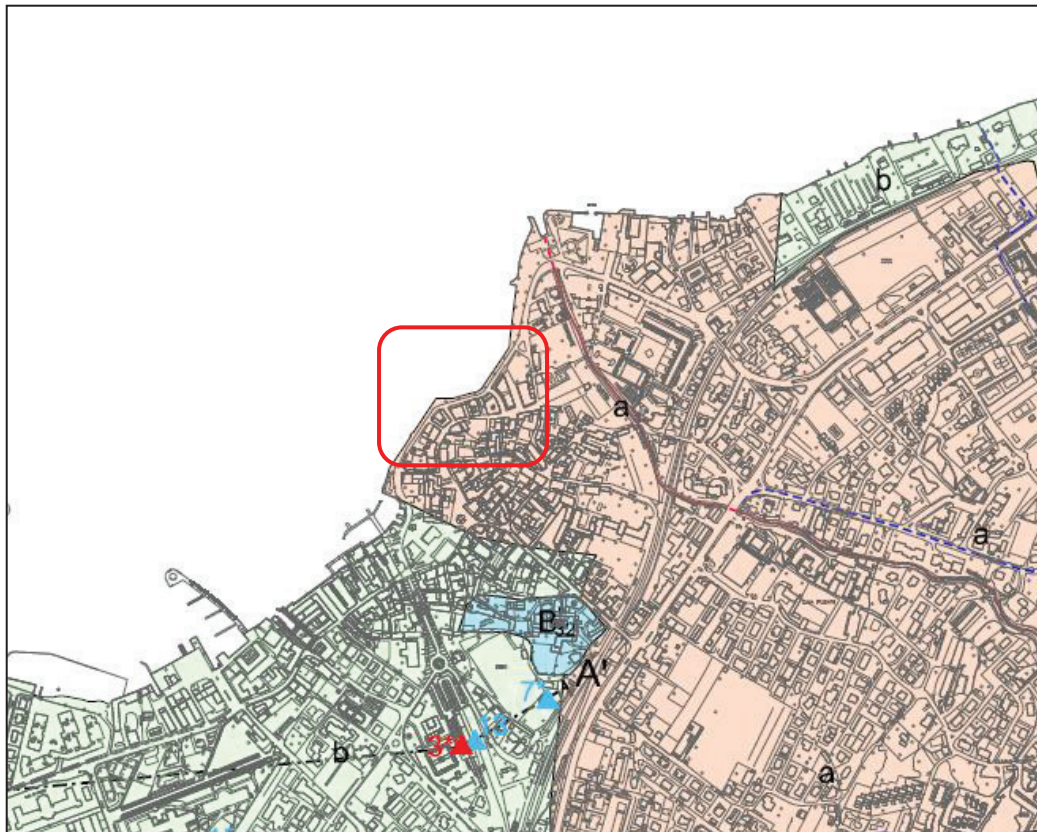


Figura 19: Stratigrafia del sondaggio S1 effettuato.

Caratterizzazione idrogeologica locale del sito oggetto di intervento

Idrogeologicamente, il sito ricade nel complesso idrogeologico caratterizzato dai depositi fluvio-glaciali e quelli alluvionali e di conoide (a) caratterizzati da permeabilità medio-alta per porosità, possono contenere falde freatiche la cui potenzialità, generalmente piuttosto scarsa, varia comunque in relazione allo spessore dei depositi, alla loro permeabilità e ai processi di alimentazione.

Per quanto riguarda la falda acquifera, essa si intercetta ad una profondità di circa 3-4 m dal p.c., ovvero al livello del lago d'Iseo.



Legenda

	LITOLOGIA	PERMEABILITA' ALL'ACQUIFERO	SIGNIFICATO IDROGEOLOGICO	GRADO DI VULNERABILITA' DELLE ACQUE SOTTERRANEE
DEPOSITI QUATERNARI	Depositi alluvionali e di conoide, detrito di falda, depositi fluvio-glaciali	Alta o medio alta per porosità	Contengono una falda acquifera di importanza variabile in funzione dello spessore	Alto
a				

Figura 20: Stralcio della Carta Idrogeologica tratto dalla componente geologica del PGT comunale.

Caratterizzazione geotecnica e sismica del sito

Per caratterizzare geotecnicamente il sito in oggetto si fa riferimento alle prove penetrometriche dinamiche DPSH ed SPT effettuate, ed alle indagini sui campioni di laboratorio prelevati. I dati desunti a partire dalla suddette indagini sono stati successivamente confrontati anche con valori bibliografici di riferimento e sono riepilogati nella successiva Tabella 6.

Tabella 6: Successione geotecnica di sito. N_{SPT} = numero di colpi di SPT; D_r = densità relativa (Gibbs e Holtz – 1957); f = angolo d'attrito (Malcev – 1964); E_d = modulo edometrico (Farrent – 1963); E_y = modulo di Young (Schmertmann – 1978); Y = peso di volume (Meyerhof et alii); Y_{SAT} = peso di volume saturo (Terzaghi-Peck – 1948/1967); c = coesione.

Complesso	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Profondità (m)	0.0–1.2	1.2-1.8	1.8-4.2	4.2-6.0	6.0-6.9	6.9-8.1	8.1-15.0
Descrizione litologica	Terreno di riporto/vegetale	Sabbia limosa con rari ciottoli ghiaiosi	Sabbia e ghiaia medio-fine	Sabbia fine con limo	Sabbia e ghiaia medio-fine	Limo con sabbia debolmente argilloso	Limo con argilla
N_{SPT}	9	1	3	1	5	1	6
D_r (%)	72	26	37	23	42	21	30
ϕ (°)	28	24	25	23	24	23	24
E_d (MPa)	73.7	1.1	2.6	1.1	43.2	1.1	51.2
E_y (MPa)	65.4	10.4	2.3	10.4	38.3	10.4	45.5
Class. A.G.I.	SCIOLTO	SCIOLTO	SCIOLTO	SCIOLTO	SCIOLTO	SCIOLTO	SCIOLTO
Y (kN/m ³)	1.7	1.4	1.5	1.4	1.5	1.4	1.6
Y_{SAT} (kN/m ³)	1.8	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	1.8
C (kPa)	-	-	-	-	-	-	-

È possibile evidenziare, quindi, la presenza di terreni sciolti con caratteristiche variabili da scadenti a mediocri fino alla profondità di fine indagine.

Inoltre, come già riportato, la falda acquifera nell'area di studio si intercetta ad una profondità di -1.0 m dal p.c., così come desunto a partire dal sondaggio S1 effettuato.

Indicazione di calcolo per il coefficiente di sottofondazione k_w o di Winkler:

Per la definizione del modulo di Winkler, si propone la relazione di Vesic (1961) che correla k_w con il modulo di elasticità del terreno e della fondazione:

$$k_w \text{ (kg/cm}^3\text{)} = (1/B) \times 0,65 \times [(Et \times B^4)/(Ef \times If)]^{(1/12)} \times Et/(1 - p^2);$$

con:

Et (kg/cm²) = modulo di deformazione dello strato di fondazione (modulo di Young nella tabella precedente);

Ef (kg/cm²) = modulo elastico della fondazione;

If (cm²) = momento d'inerzia della fondazione;

B (cm) = lato corto della fondazione;

p = rapporto di Poisson.

Poiché il prodotto $0,65 \times [(Et \times B^4)/(Ef \times If)]^{(1/12)}$ ha generalmente un valore prossimo all'unità, la relazione può essere semplificata come segue:

$$k_w \text{ (kg/cm}^3\text{)} = (1/B) \times Et/(1 - p^2)$$

dalla quale si potrà ricavare il valore di k_w in funzione della larghezza B della trave e della profondità d'imposta del sistema fondale, sostituendo i valori nella precedente formulazione.

Indicazione di calcolo per il Modulo di reazione orizzontale K_h

Per la definizione di tale parametro si propone la seguente relazione:

$$K_h \text{ (kg/cm}^3\text{)} = nh \times Z / d;$$

valida per terreni incoerenti normalconsolidati con nh (kg/cm³) = costante dipendente dalla litologia;

- Z (cm) = profondità;
- d (cm) = diametro o larghezza del palo.

In questo caso si ammette una variazione con la profondità di K_h e si adotta una relazione di tipo lineare.

Per nh si propongono i seguenti valori, espressi in kg/cm³ (Tabella 7):

Tabella 7: Variazione di n_h in funzione della densità relativa.

Sabbia sciolta ($D_r\% < 30\%$)	secca-umida $n_h=0.224$	satura $n_h=0.128$;
Sabbia media ($D_r > 30$ $e \leq 70\%$)	secca-umida $n_h=0.672$	satura $n_h=0.448$;
Sabbia grossa ($D_r\% > 70$)	secca-umida $n_h=1.792$	satura $n_h=1.088$;

I risultati forniti dalle indagini sismiche effettuate permettono di definire la categoria di suolo del sito, che risulta posto in categoria di sottosuoli C, definita come:

Categoria di sottosuolo C: depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o teneri 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.

La stessa categoria C dovrà essere utilizzata per la progettazione, tenendo conto che la tipologia edilizia presenta un periodo proprio non compreso tra 0.1 – 0.5 s.

Tabella 8: Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (D.M. 17/01/2018).

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

I valori di V_{Seq} calcolati sono di seguito riportati:

Tabella 9: Valori di V_{Seq} calcolati, relativi alle prospezioni sismiche effettuate.

<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
MASW n. 1	[222]	C
MASW n. 2	[224]	C

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nelle prospezioni sismiche MASW effettuate.

Tabella 10: Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.1.

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	V_S (m/s) <i>acquisizione n.1</i>
S1	0.0 – 0.7	154
S2	0.7 – 2.6	188
S3	2.6 – 10.2	219
S4	10.2 – 26.8	221
S5	26.8 – 32.0	285

Tabella 11: Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.2.

<i>Sismostrato</i>	<i>Profondità (m)</i>	V_S (m/s) <i>acquisizione n.1</i>
S1	0.0 – 0.6	195
S2	0.6 – 2.2	224
S3	2.2 – 11.4	176
S4	11.4 – 26.4	224
S5	26.4 – 32.0	296

In funzione della categoria di suolo C e della categoria topografica T1 sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici.

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al suolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C), relativamente ai 4 stati limite pari a:

Tabella 12: Valori massimi di a_g e Se [g] relativamente ai 4 stati limite – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1,5$.

-	SLO	SLD	SLV	SLC
a_g	0.048	0.062	0.155	0.196
$Se[g]$	0.174	0.226	0.564	0.691
F_0	2.399	2.410	2.474	2.498
$T_C(s)$	0.226	0.245	0.282	0.293
S_S	1.500	1.500	1.470	1.410
C_C	1.710	1.670	1.600	1.570
S_T	1.000	1.000	1.000	1.000
S	1.500	1.500	1.470	1.410
$T_B(s)$	0.129	0.137	0.150	0.153
$T_C(s)$	0.387	0.410	0.451	0.460
$T_D(s)$	1.792	1.848	2.220	2.386

LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine l'insieme di quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (NTC 2018 7.11.3.4.1).

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere con interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

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

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
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 $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 21 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Figura 22 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

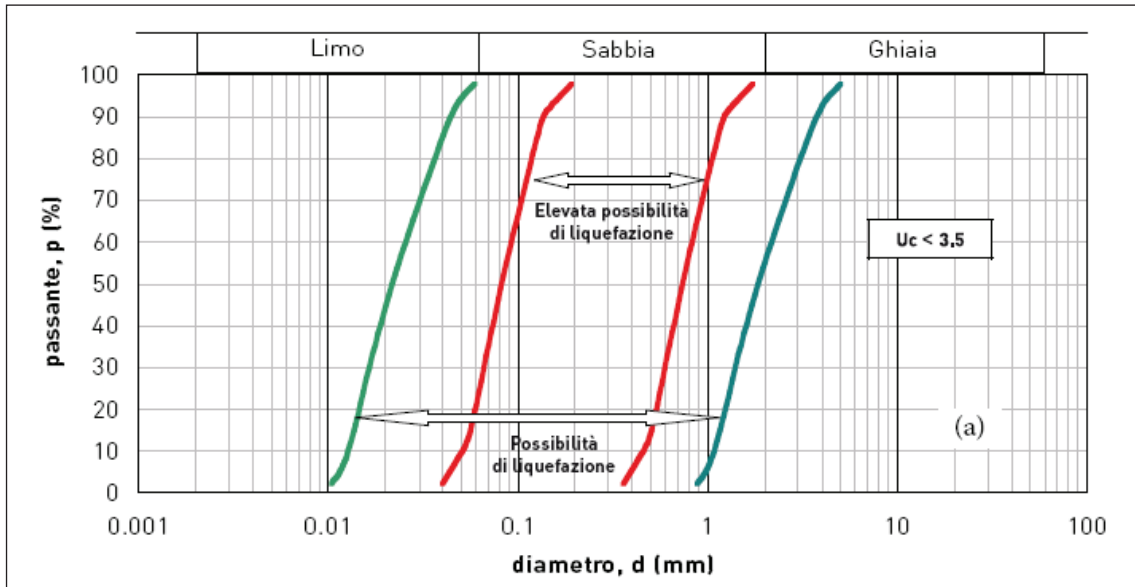


Figura 21: Fusi granulometrici suscettibili a liquefazione con $U < 3,5$.

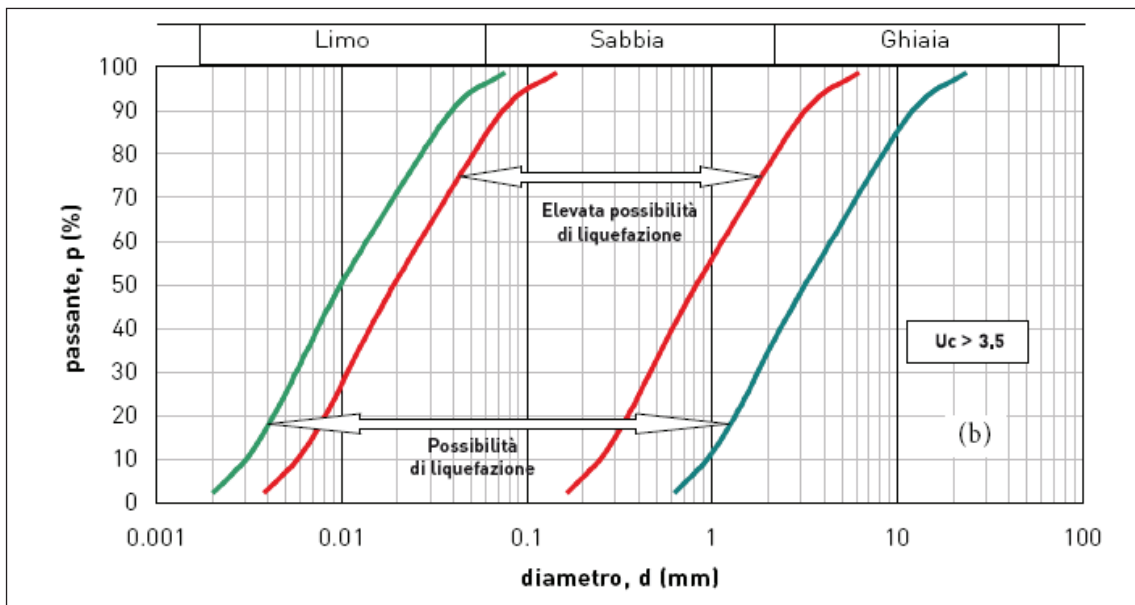


Figura 22: Fusi granulometrici suscettibili a liquefazione con $U > 3,5$.

Considerata la presenza di un livello acquifero a partire dalla profondità di -1.0 m dal p.c. non è dunque possibile escludere a priori la possibilità che si verifichi il fenomeno della liquefazione, pertanto è stata effettuata la verifica a liquefazione utilizzando metodi semi-empirici (cfr. C7.11.3.4 della Circolare di applicazione delle NTC 2018):

“La sicurezza nei confronti della liquefazione può essere valutata con procedure di analisi avanzate o con metodologie di carattere semi-empirico.

Nei metodi di analisi avanzata si deve tenere conto della natura polifasica dei terreni, considerando l'accoppiamento tra fase solida e fase fluida, e si deve descrivere adeguatamente il comportamento meccanico delle terre in condizioni cicliche.

Le metodologie di carattere semi-empirico possono permettere una verifica di tipo puntuale o una verifica di tipo globale.

Nelle prime, la sicurezza alla liquefazione viene valutata localmente, a diverse profondità, calcolando il rapporto tra la resistenza ciclica alla liquefazione (CRR) e la sollecitazione ciclica indotta dall'azione sismica (CSR).


Committente: DINAGAS S.R.L. Riferimento: VIA FILETTINE Località: PAGANI Prov.: SA Oggetto: INTERVENTI DI RINFORZO SISMICO SULLE STRUTTURE				 EPC LIBRI	
ANALISI					
Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento (M)	Indice del Potenziale di Liquefazione (PL)	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)
	Fs (Autore)	OPCM 3274			
Prove Sismiche (Vs)					
Andrus e Stokoe (1997)	> 1,0	>1,25	5.58	0.000	Molto Basso
					STRATIGRAFIA 3

Figura 24: Verifica a liquefazione con la metodologia di calcolo di Andrus e Stokoe (1997) modificata.

5 CONCLUSIONI

Per la definizione dell'assetto geologico e stratigrafico di sito, oltre ad un rilevamento geologico e geomorfologico dell'area ed un'attenta analisi bibliografica comprensiva di revisione dei dati relativi a una serie di indagini condotte in aree immediatamente limitrofe, è stata realizzata una campagna di indagini geognostiche e geofisiche consistente in:

- N. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo;
- N. 6 prove penetrometriche SPT;
- N. 2 prelievi di campioni indisturbati;
- Indagini di laboratorio sui campioni prelevati;
- N. 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH;
- N. 2 prospezioni sismiche con metodologia Masw;
- N. 2 prospezioni sismiche a rifrazione.

Morfologicamente, il sito si ubica in una zona con pendenze molto blande, lungo la sponda meridionale del lago d'Iseo, ad una quota di circa 190 m s.l.m.. Lo stesso, inoltre, si pone in sinistra idrografica rispetto al torrente Cortelo.

Per ciò che concerne la successione stratigrafica, essa è costituita da una serie di depositi continentali quaternari appartenenti al Sintema del Po, rappresentati da livelli limo sabbiosi e sabbie limose, con intercalazioni ghiaiose nei livelli più profondi.

La falda acquifera si individua con soggiacenza pari a circa -1 m dal p.c., così come desunto dal sondaggio S1 effettuato.

Per quanto riguarda l'opera realizzata si evidenzia come le caratteristiche geotecniche dei terreni in esame variano da scadenti a mediocri, fino alla massima profondità investigata.

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica di sito, si presume che il sito ricade nella categoria di sottosuolo C secondo il D.M. 17/01/2018.