

COMUNE DI SESTO SAN GIOVANNI (MI)

INTERVENTO DI RIFACIMENTO DELLE COPERTURE, RIPRISTINO DELLE FACCIATE E DELLE SUPERFICI ESTERNE, PROTEZIONE ALLO SFONDELLAMENTO DEI SOLAI E RIFACIMENTO DELLE SOPRASTANTI PAVIMENTAZIONI DI UNA PORZIONE DELLE GALLERIE DEL CIMITERO MONUMENTALE DI SESTO SAN GIOVANNI .

PROGETTO ESECUTIVO

data
luglio 2026

Responsabile Unico del Progetto: Ing. Alessandro Castelli

aggiornamento

Progettisti:

SA SPADA e ASSOCIATI srl

Sede legale: via Padre Vicinio da Sarsina 42, Cesena
Sede operativa: via Carlo Cattaneo 26, Monza
Mail: progettazione@spadaeassociati.eu
Pec: spadaeassociati@pec.it
Arch. Marco Spada, Ordine degli Architetti PPC di Milano n. 17112

Consulenti:



Progetto strutturale
Coordinamento sicurezza



Progetto impianti elettrici

Arch. Anja Visini

Rilievi e restituzioni grafiche

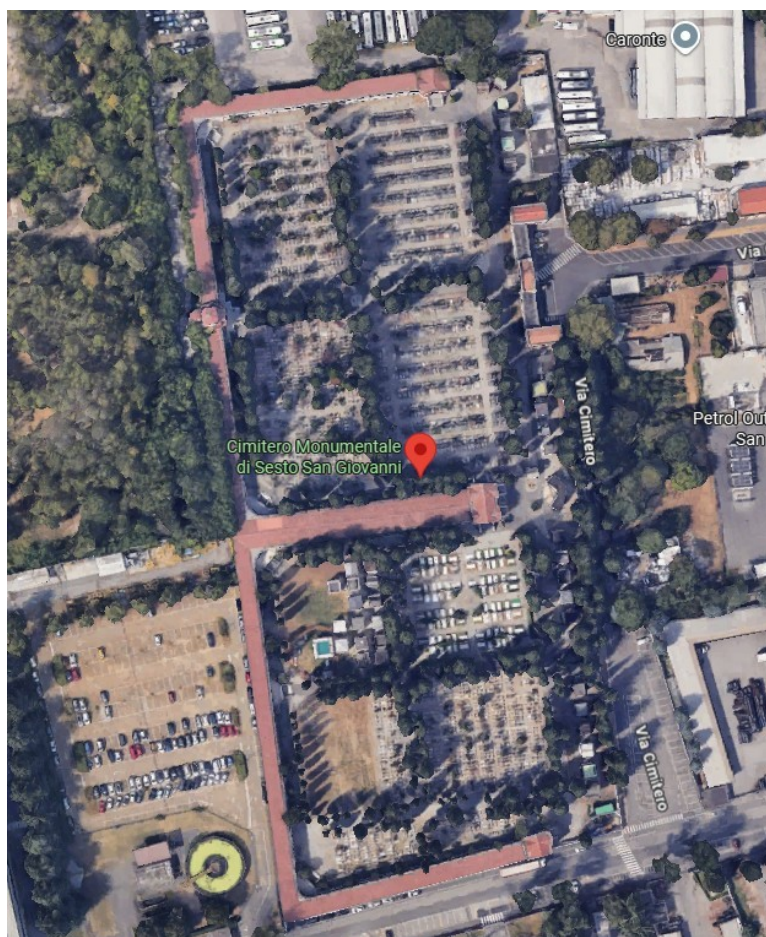
Dott. Andrea Monti

Progetto di restauro

RELAZIONE GEOLOGICA

R.12

Comune di SESTO SAN GIOVANNI



*RELAZIONE GEOLOGICA R1
RELAZIONE GEOLOGICA R3*

*ai sensi del p.to 6.2.1 del D.M. 17.01.18
ai sensi della DGR IX/2616/2011*

**PER LA RISTRUTTURAZIONE DELLE GALLERIE DEL CIMITERO
MONUMENTALE NEL COMUNE DI SESTO SAN GIOVANNI (MI)**

Monza, luglio 2026

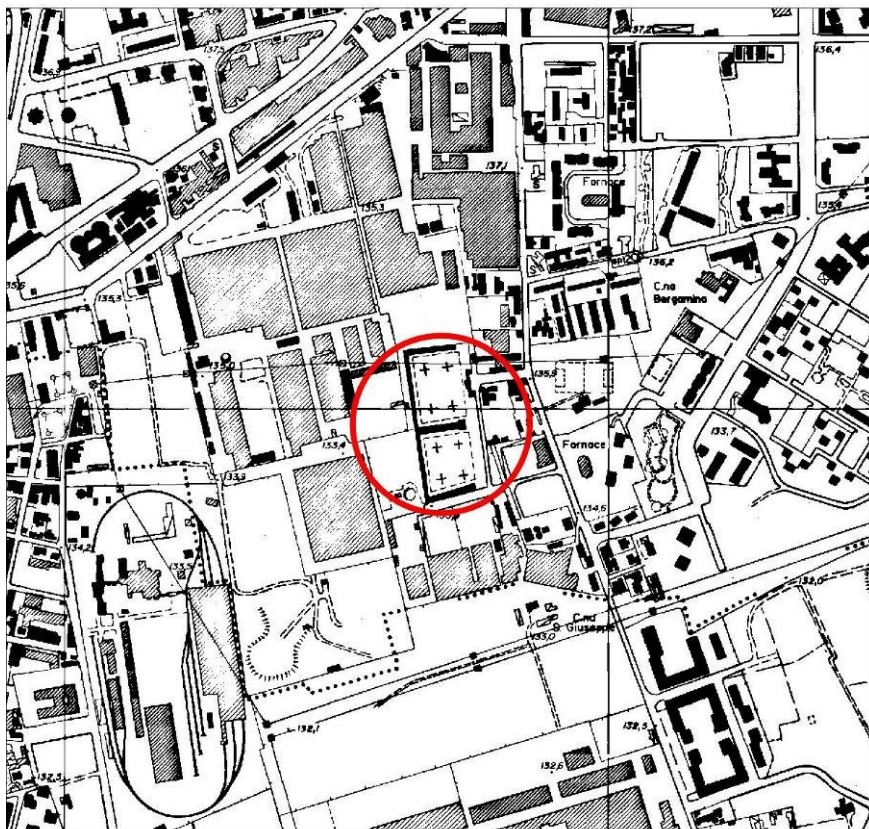
A cura di: Dott. Geol. R. Cortiana
Dott. Geol. F. Valentini

INDICE

1	PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO	6
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	7
4	CLASSIFICAZIONE SISMICA	8
5	ANALISI RISCHIO SISMICO	15
6	INDAGINE GEOGNOSTICA	17
7	PARAMETRI GEOTECNICI	19
8	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE	20
9	CONCLUSIONI.....	21

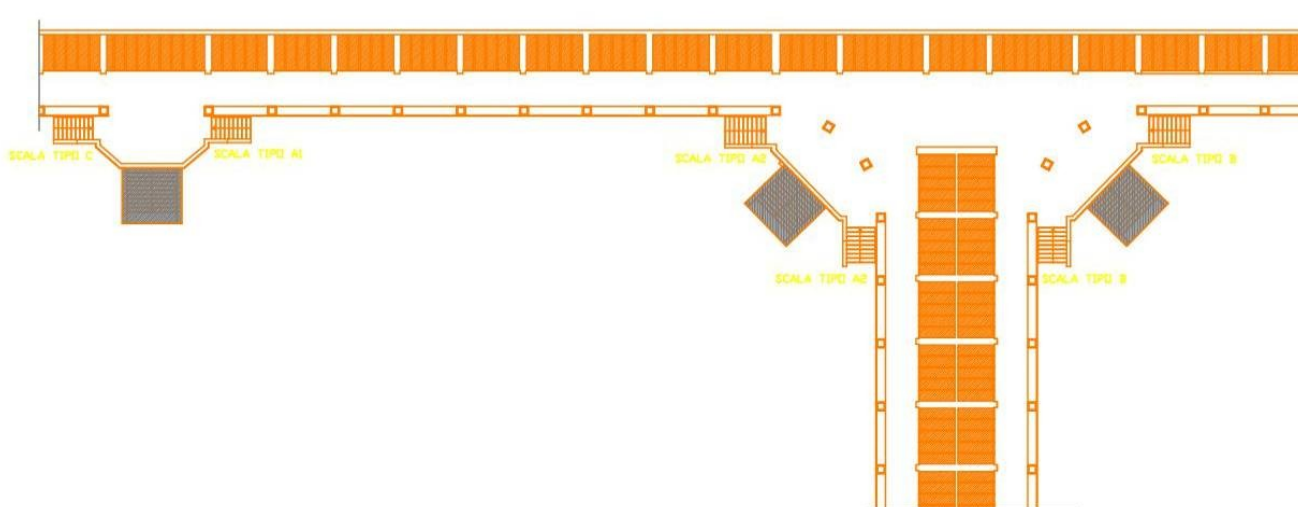
1 PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

La presente relazione illustra i risultati di uno studio geologico-tecnico, idrogeologico e sismico condotto presso un'area ubicata presso il Cimitero Monumentale di Sesto San Giovanni.



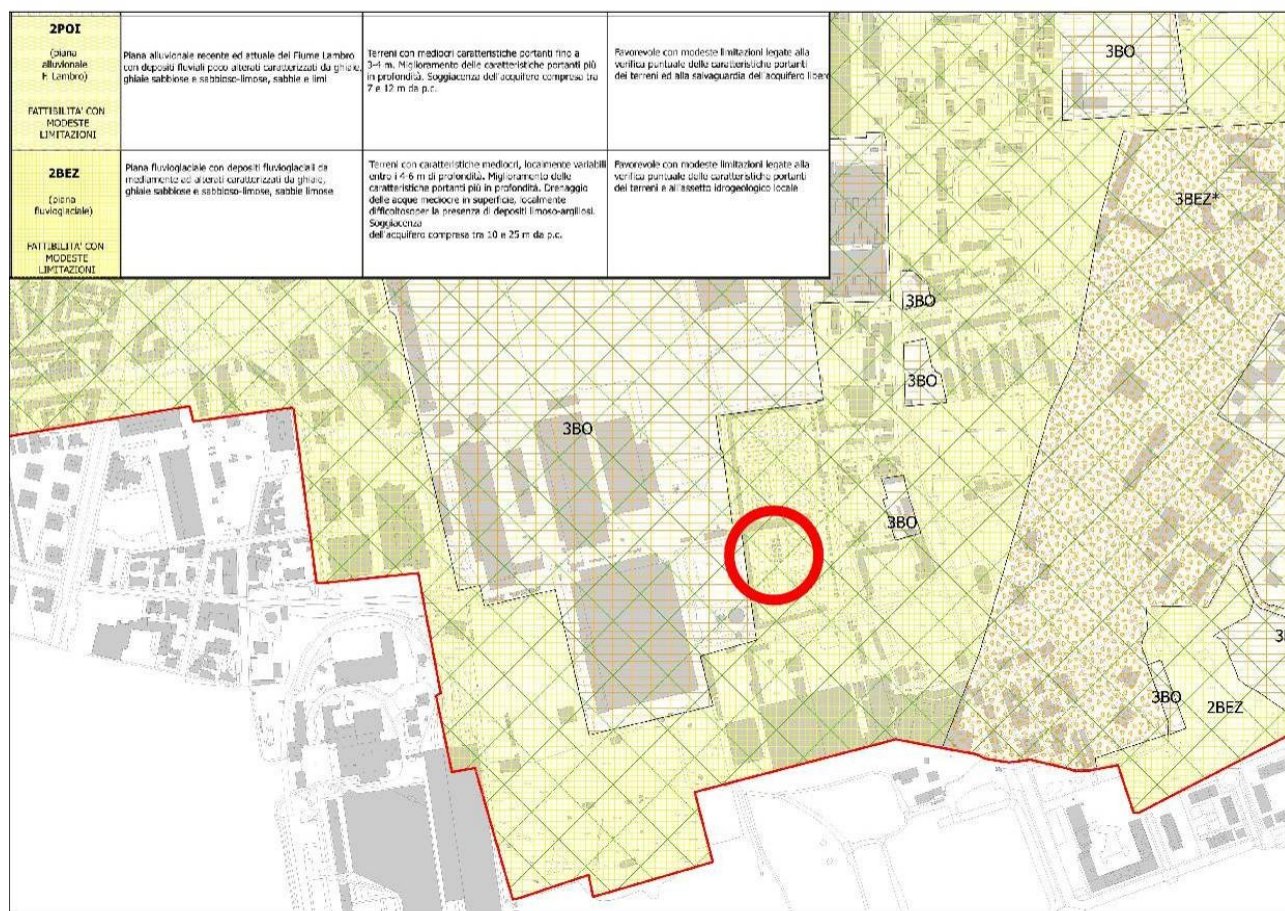
Corografia area di studio

Il progetto prevede la ristrutturazione delle gallerie del cimitero monumentale di Sesto San Giovanni e in particolare il rifacimento delle coperture, il ripristino delle facciate e delle superfici esterne, la protezione allo sfondellamento dei solai e rifacimento delle soprastanti pavimentazioni di una porzione delle gallerie, la demolizione e ricostruzione di alcune scale.



Planimetria delle scale oggetto d'intervento

Secondo la carta della fattibilità geologica, allegata alla componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T vigente del comune di Sesto San Giovanni, l'area in esame appartiene alla **classe di fattibilità 2**, ovvero **fattibilità con modeste limitazioni**.



Estratto Carta della fattibilità

CLASSE 2_BEZ (Piana fluvio-glaciale) FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI)

Principali caratteristiche: Piana fluvio-glaciale con depositi fluvio-glaciali da mediamente ad alterati caratterizzati da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbioso-limose, sabbie limose. **Problematiche generali:** Terreni con caratteristiche mediocri, localmente variabili entro i 4-6 m di profondità. Miglioramento delle caratteristiche portanti più in profondità. Drenaggio delle acque medio-croce in superficie, localmente difficoltoso per la presenza di depositi limoso-argillosi. Soggiacenza dell'acquifero compresa tra 10 e 25 m da p.c.

Parere sulla edificabilità: Favorevole con modeste limitazioni legate alla verifica puntuale delle caratteristiche portanti dei terreni e all'assetto idrogeologico locale.

Opere edificatorie ammissibili: sono ammesse tutte le categorie di opere edificatorie ed infrastrutturali. Sono ammessi gli interventi di cui all'art. 3, comma 1 del D.P.R. 380/2001, nel rispetto delle normative vigenti.

Indagini di approfondimento necessarie, preventive alla progettazione: si rende necessaria la verifica litotecnica e idrogeologica dei terreni mediante rilevamento geologico di dettaglio e l'esecuzione di prove geotecniche per la determinazione della capacità portante, da effettuare preventivamente alla progettazione esecutiva per tutte le opere edificatorie (IGT), secondo quanto indicato all'art. 2 delle presenti norme. Nel caso di opere che prevedano scavi e sbancamenti, dovrà essere valutata la stabilità dei versanti di scavo (SV) al fine di prevedere le opportune opere di protezione durante i lavori di cantiere. La modifica di destinazione d'uso di aree produttive esistenti necessita la verifica dello stato di salubrità dei suoli ai sensi del Regolamento Locale d'Igiene Pubblica (ISS). Qualora venga rilevato uno stato di contaminazione dei terreni mediante un'indagine ambientale preliminare, dovranno avviarsi le procedure previste dal D.Lgs 152/06 "Norme in materia ambientale" (Piano di Caratterizzazione/PCA con analisi di rischio, Progetto Operativo degli interventi di Bonifica/POB).

Le suddette indagini geotecniche dovranno essere commisurate al tipo di intervento da realizzare ed alle problematiche progettuali proprie di ciascuna opera.

Interventi da prevedere in fase progettuale: per ogni tipo di opera gli interventi da prevedere saranno rivolti alla regimazione idraulica e alla predisposizione di accorgimenti/sistemi per la regimazione e lo smaltimento delle acque meteoriche e di quelle di primo sottosuolo, con individuazione del recapito finale, nel rispetto della normativa vigente e sulla base delle condizioni idrogeologiche del sito (RE), a salvaguardia della falda idrica sotterranea.

Quale norma generale a salvaguardia della falda idrica sotterranea è necessario che per ogni nuovo intervento edificatorio, già in fase progettuale, sia previsto ed effettivamente realizzabile il collettamento degli scarichi idrici in fognatura (CO).

Per gli ambiti produttivi soggetti a cambio di destinazione d'uso, qualora a seguito dell'indagine ambientale preliminare venga accertato uno stato di contaminazione dei suoli e delle acque ai sensi del D.Lgs 152/06, dovranno essere previsti interventi di bonifica (BO).

Norme sismiche da adottare per la progettazione: la progettazione dovrà essere condotta adottando i criteri antisismici del D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", definendo la pericolosità sismica locale attraverso analisi di approfondimento di II livello per tutte le categorie di edifici. Se Fa calcolato>Fa di soglia: analisi di approfondimento di 3° livello in fase di progettazione o uso degli spettri di normativa per la categoria di suolo superiore.

Scopo della presente relazione è verificare la fattibilità, per quanto attiene le problematiche geologico-tecniche ed idrogeologiche, del nuovo intervento in progetto: si tratta in sostanza di verificare, con maggiore puntualità rispetto alle indicazioni generali dettate dalla perizia geologica a supporto del P.G.T. vigente, ed in ottemperanza delle prescrizioni dettate dalla perizia stessa, la fattibilità dell'intervento in oggetto.

Così come previsto dal punto 6.2.1¹ delle nuove Norme Tecniche Costruzioni 2018 (D.M. 17/01/2018), è stato condotto nell'area in esame un accurato studio geologico e geotecnico considerando precedenti indagini geognostiche eseguite dagli scriventi in aree attigue a quella oggetto d'intervento.

Sulla base dei risultati delle suddette prove si sono individuati i parametri geotecnici dei terreni, secondo le nuove Norme Tecniche Costruzioni (D.M. 17/01/2018).

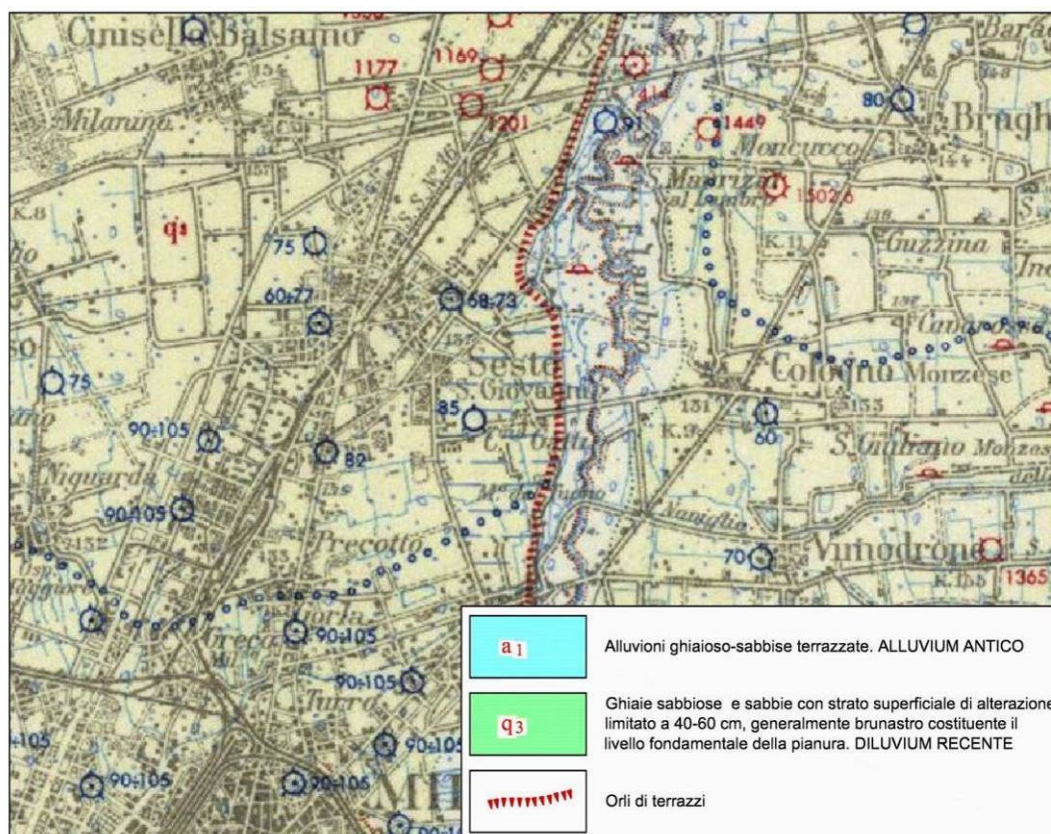
¹ 6.2.1. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento. In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMORFOLOGICO

L'area milanese ha subito importanti trasformazioni in un'epoca geologicamente recente; dal Miocene Superiore hanno avuto inizio intense fasi erosive culminate con la genesi di profondi canyon scavati allo sbocco nella Pianura Padana dai corpi glaciali che percorrevano le vallate alpine. Ciò è avvenuto in concomitanza con l'alternanza di episodi di trasgressione e regressione marina che si sono succeduti in questo periodo. In seguito, nel Pliocene Superiore, si è avuta una definitiva regressione marina con la deposizione di sedimenti di tipo fluvio-lacustre e deltizio; tale fase è durata fino a tutto il Pleistocene Inferiore. Con il Pleistocene Superiore si è avuta la sedimentazione di depositi di origine glaciale e fluvioglaciale apportati dai corpi glaciali provenienti dalla catena alpina; si è così formata una spessa coltre di sedimenti di origine glaciale (nelle aree pedemontane) e fluvioglaciale ed alluvionale (nelle aree di pianura). Si è quindi assistito ad un susseguirsi di cicli di erosione e di deposito corrispondenti ad un'alternanza di fasi glaciali e interglaciali che si sono succedute fino ai giorni nostri; questo ha dato origine ad una tipica morfologia a cordoni morenici (visibili nella zona dell'alta pianura lombarda) e a terrazzi (visibile nella media e alta pianura lombarda). Nella zona oggetto di studio, ubicata nella media pianura lombarda, lontana dai corsi d'acqua principali, tali forme non sono visibili e la morfologia che si osserva è data da una superficie pianeggiante che costituisce il cosiddetto Livello Fondamentale della Pianura.

Nell'area in esame i depositi fluvioglaciali formano una coltre dello spessore di alcune centinaia di metri costituita da ghiaie, sabbie e ciottoli in percentuali differenti con limo subordinato.



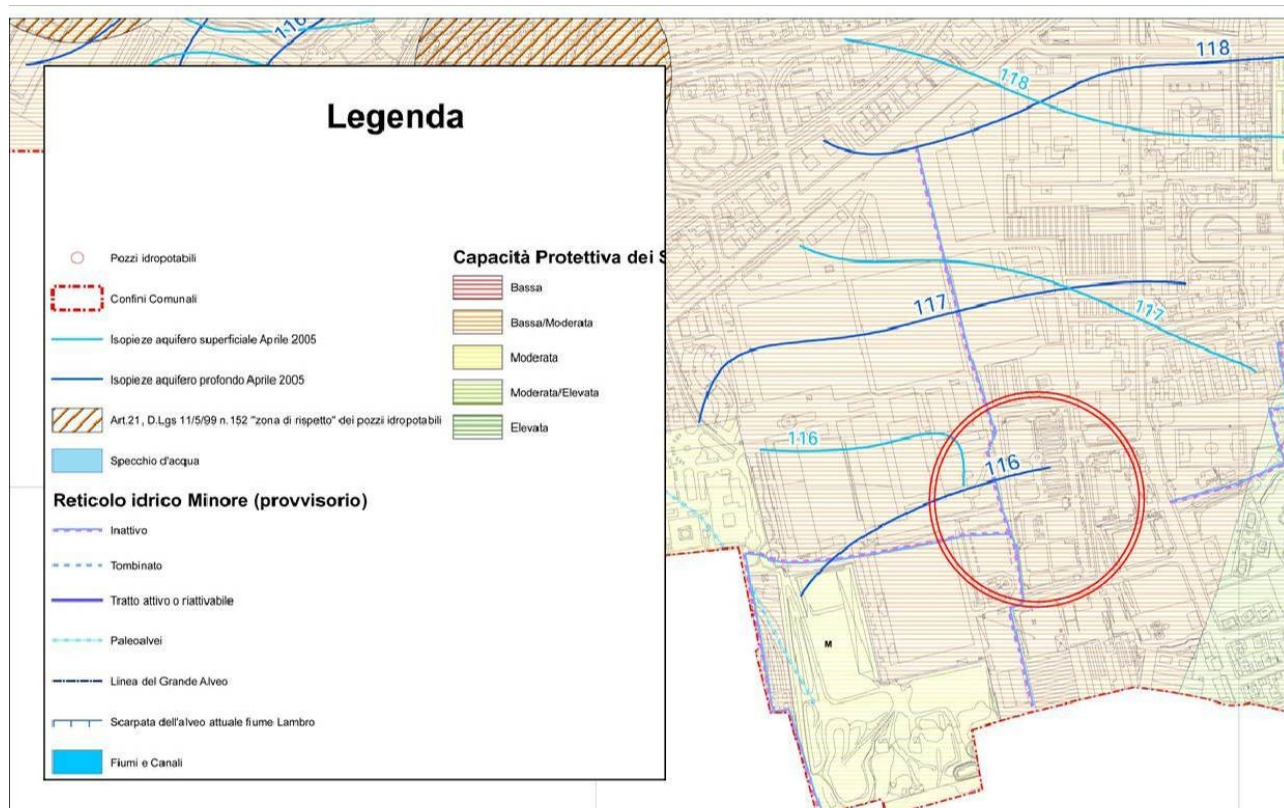
Stralcio della Carta Geologica d'Italia - Foglio 45 Milano

Il comune di Sesto San Giovanni, come si osserva dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (Foglio 45 - Milano) e dalla Carta Geologica della Lombardia in scala 1:250.000, è caratterizzato dalla presenza di depositi appartenenti alle alluvioni fluvioglaciali del periodo Würm (DILUVIUM RECENTE).

Il fluvioglaciale Würm è generalmente caratterizzato da ghiaie e sabbie con subordinata matrice limosa e rare intercalazioni argillose; frequenti sono i ciottoli di dimensioni centimetriche, generalmente con un grado elevato di arrotondamento.

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Secondo la carta della soggiacenza allegata al PGT comunale, la falda nell'area indagata si attesta ad una profondità di 15 m dal p.c.



La presenza di letti e orizzonti poco permeabili che si alternano ad altri con permeabilità maggiore, favorisce l'instaurarsi di una serie di modeste falde superficiali sospese, anche ipodermiche, a carattere prettamente temporaneo, legate agli eventi meteorici più intensi.

4 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche attese in un certo sito si prevedono, su base probabilistica, tramite la pericolosità sismica che è funzione delle caratteristiche di sismicità regionali e del potenziale sismogenetico delle sorgenti sismiche; la valutazione della pericolosità sismica porta poi alla valutazione del rischio sismico di un sito in termini di danni attesi a cose e persone come prodotto degli effetti di un evento sismico.

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

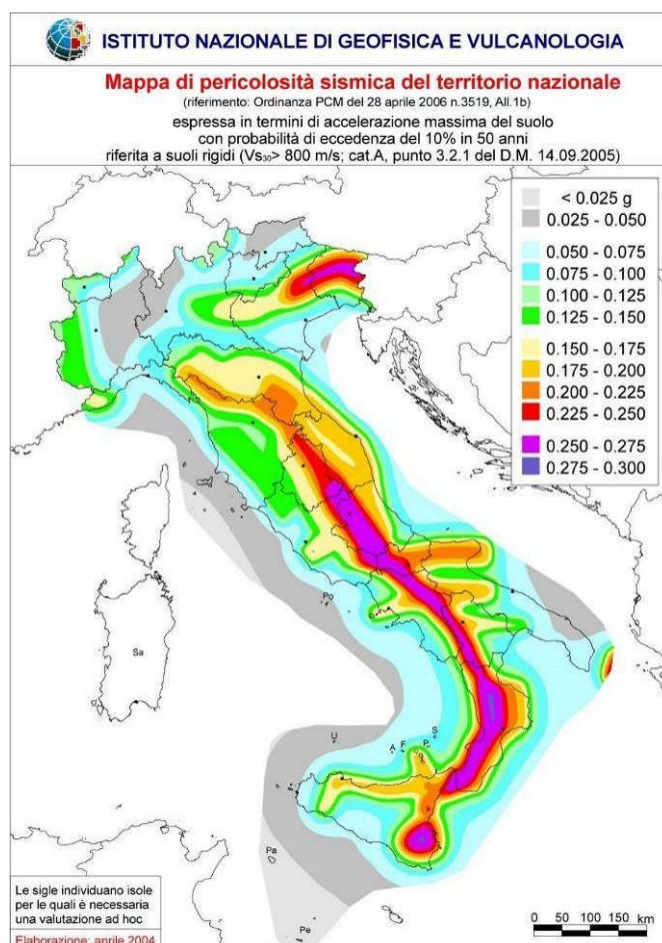
4.1 Classificazione nazionale

OPCM 28 aprile 2006

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/06 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11/05/06 Serie Generale Anno 147° – n. 108 (*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*) adotta come riferimento ufficiale una nuova mappa di pericolosità sismica e definisce i criteri generali per la classificazione delle zone sismiche. Costituiscono parte integrante dell'ordinanza:

- ❖ Allegato 1A – *Criteri per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*
- ❖ Allegato 1B – *Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.*

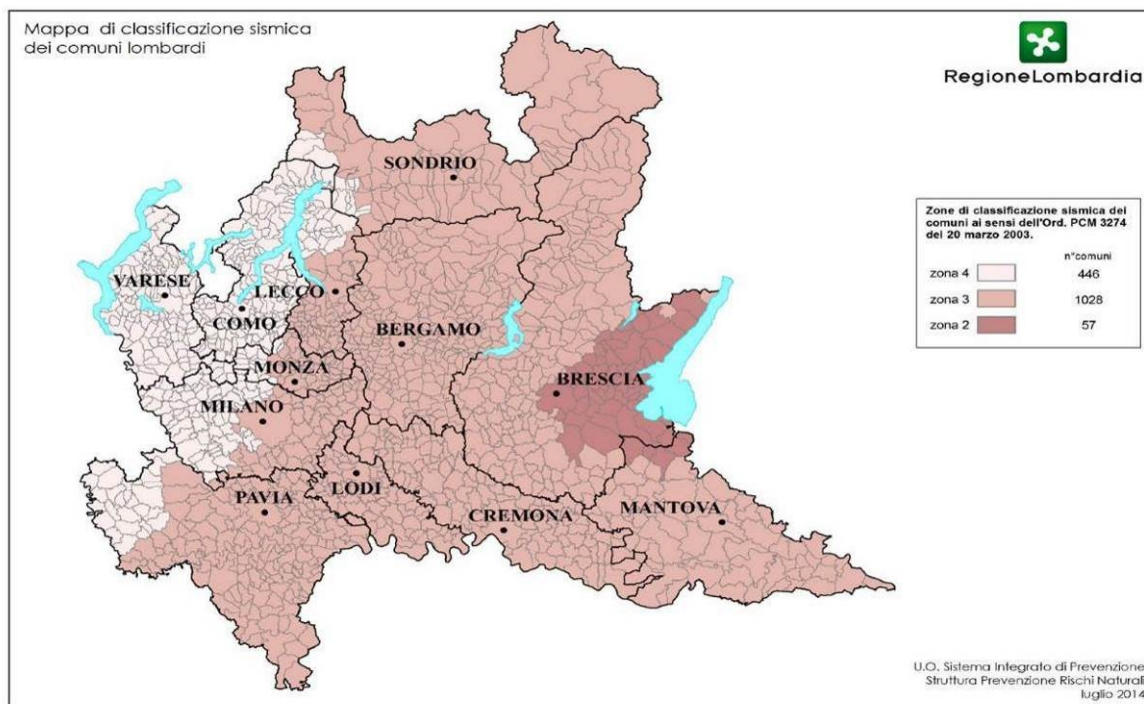
La mappa, riportata nell'Allegato 1B (vedasi figura di seguito riportata), rappresenta graficamente la pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{S30} > 800$ m/s).



4.2 Classificazione regionale

D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129

La Regione Lombardia con 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) e pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione in data 16 luglio 2014 ha provveduto alla nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia così come previsto dall'ordinanza **O.P.C.M. 3519/06** "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



Secondo la classificazione vigente il comune di Sesto San Giovanni si trova in **zona 3** caratterizzata da una A_{gMax} pari a 0,0541274.

4.3 Progettazione antisismica

D.M. 17 gennaio 2018

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S e (T) , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_0 e T^*_c , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A (pericolosità sismica) e B (tabella dei parametri che definiscono l'azione sismica) al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Secondo l'allegato A l'azione sismica sulle costruzioni viene valutata a partire da una pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (categoria di sottosuolo A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta con sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; i risultati dello studio di pericolosità devono essere forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata in funzione delle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo e morfologiche della superficie; tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>.

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, 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 valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- | | |
|-----------|---|
| h_i | spessore dell'i-esimo strato; |
| $V_{s,i}$ | velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato; |
| N | numero di strati; |
| H | profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. |

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità

è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>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.</i>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Una serie di indagini sismiche da noi eseguite nelle vicinanze dell'area in esame hanno evidenziato una velocità di propagazione delle V_{seq} compresa tra 370 e 410 m/s e quindi riferibili ad una **Litozona Sismica di tipo B**.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003

La Regione Lombardia con D.G.R. n. 14964 del 7/11/03 prende atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata ordinanza 3274/03 ed impone l'obbligo della progettazione antisismica per i comuni che ricadono in zona 2, zona 3 ed in zona 4 esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/03.

D.G.R. n IX/2616 del 30 novembre 2011

Per l'analisi della pericolosità sismica dell'area in esame si è fatto riferimento all'Allegato 5 (*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio*)

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1^ livello fase pianificatoria	2^ livello fase pianificatoria	3^ livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2^ livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Tale allegato illustra la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale che prevede tre livelli di approfondimento, di seguito sintetizzati:

1° livello, riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL).

2° livello, caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima di risposta sismica nei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (F_a)

3° livello, definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini e analisi più approfondite.

Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni.

riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello, obbligatorio per tutti i Comuni, prevede la redazione della Carta della pericolosità sismica locale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale (e lineare per gli scenari Z3a, Z3b e Z5) delle diverse situazioni tipo, riportate nella Tabella 1 dell'Allegato 5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL).

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area, quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti (a scala 1:10.000 e 1:2.000) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Perciò, salvo per quei casi in cui non siano disponibili informazioni geotecniche di alcun tipo, nell'ambito degli studi di 1° livello non sono necessarie nuove indagini geotecniche.

Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1:10.000 – 1:2.000 rappresentata dalla:

- carta geologica con le relative sezioni, in cui viene rappresentato il modello geologico e tettonico dell'area, le formazioni, le discontinuità e i lineamenti tettonici in essa presenti;
- carta geomorfologica, in cui vengono distinte le varie forme e i processi (dinamica dei versanti, dinamica fluviale, etc.) in atto, quiescenti o relitti presenti nell'area in esame;
- carta della pericolosità sismica locale (PSL), derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle situazioni tipo Z1, Z2, Z4 e gli elementi lineari delle situazioni tipo Z3, Z5, in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1). In particolare per lo scenario Z3a si evidenzierà il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati. Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di 1° livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e liquefazione e/o cedimenti: si sottolinea che le prescrizioni da assegnare a questi scenari in fase di pianificazione riguardano, oltre al fenomeno prioritario, anche i fenomeni di possibile amplificazione sismica che dovranno essere valutati in fase di progettazione sulla base degli interventi adottati per risolvere le problematiche prioritarie.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' 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	Zone 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 cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali 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 (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

TABELLA 1 – SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In riferimento alle diverse situazioni tipo, riportate nella suddetta tabella, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale – PSL) si effettua l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e conseguentemente dei successivi livelli di approfondimento necessari.

All'interno delle aree classificate come scenario Z1 o Z2 non è necessario realizzare l'analisi di 2° livello ma si passa immediatamente all'analisi di 3° livello.

All'interno delle aree classificate come scenario Z3 o Z4, si potrà realizzare (nei casi sotto riportati) l'analisi di 2° livello e, conseguentemente ai suoi risultati, si potrà realizzare (dove necessario) l'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Lungo le aree classificate come scenario Z5 non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

Il secondo livello è obbligatorio in fase pianificatoria:

consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella carta di pericolosità sismica locale, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa).

L'applicazione del 2^a livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (F_a calcolato superiore a F_a di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano). Per queste aree si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3^a livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

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

Il secondo livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari PSL, individuati attraverso il 1^a livello, suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5) interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato, negli scenari PSL Z3 e Z4, nel caso di costruzione di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2 della Tabella 1 dell'Allegato 5) non è prevista l'applicazione degli studi di 2^a livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3^a livello, come specificato al punto successivo.

Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3^a livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo. Nell'impossibilità di ottenere tale condizione, si dovranno prevedere opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

Il terzo livello è obbligatorio in fase progettuale:

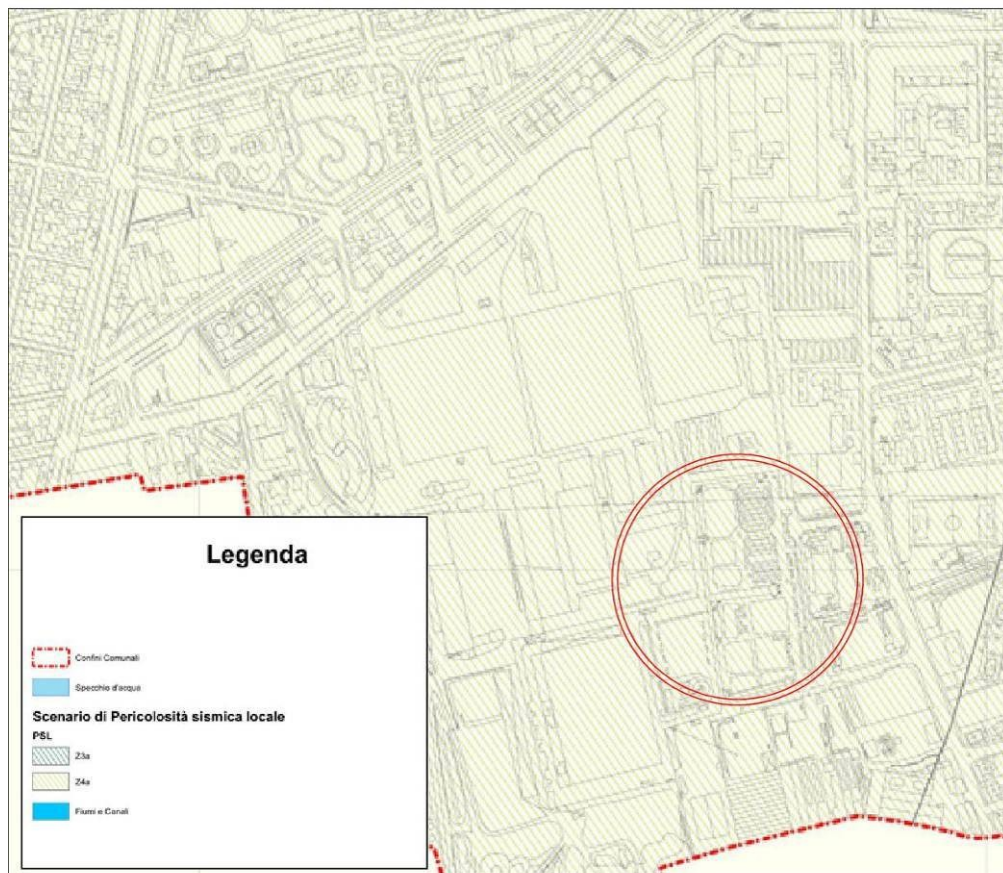
Consiste nella definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3^a livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati, rese disponibili sul Geoportale della Regione Lombardia, il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5.

Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:

- quando, a seguito dell'applicazione del 2^a livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4 della Tabella 1 dell'Allegato 5);
- in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in zona sismica 4 nel caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

5 ANALISI RISCHIO SISMICO

5.1 Analisi di I livello



Carta della Pericolosità Sismica Locale allegata al PGT

Secondo la Carta di PSL allegata al PGT vigente, l'area in esame ricade nello scenario PSL Z4a – Zona di fondovalle e/o di pianura con depositi fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

L'area in esame ricade in zona sismica 3 pertanto è obbligatorio realizzare l'analisi di secondo livello.

5.2 Analisi di II livello

Nel caso in esame, l'approfondimento di 2° livello consiste nella valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche del sito.

Si tratta quindi di fornire una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nell'area, fornendo la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di fattore di amplificazione (F_a). Il valore di F_a viene calcolato in due intervalli di periodo diversi che sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale: tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide e 0.5-1.5 s per strutture più alte e più flessibili. Il parametro è stato calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4), per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D, ed E) e per i due intervalli di periodo considerati (banca dati in formato excel: *soglie_lomb.xls*).

Per l'analisi degli effetti sismici del sito oggetto di studio sono stati utilizzati i dati derivanti dalle indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche e stendimento sismico MASW) eseguite in corrispondenza dell'area in esame. Sulla base dei dati geotecnici raccolti è stato delineato un modello geologico-tecnico utile alla definizione del periodo proprio del sito (T) calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$T = 4 \cdot \sum h_i / (\sum (V_s \cdot h_i) / \sum h_i)$$

dove

V_s velocità delle onde S nello strato i -esimo

h_i spessore dello strato i -esimo

Per l'area in esame è stato stimato un periodo T pari a circa **0.40 s**.

Per la stima degli effetti litologici è stata utilizzata come scheda di valutazione di riferimento quella riguardante la litologia sabbiosa.

All'interno della scheda è stata scelta, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata per rappresentare il sottosuolo dell'area indagata comunale: curva 2 (colore verde).

Pertanto F_a è stato calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$\text{per } 0,03 \leq T \leq 0,45 \quad F_{a0,1-0,5} = - 8,65 T^2 + 5,44 T + 0,84$$

La seguente tabella riporta i valori di soglia calcolati per il comune di Sesto San Giovanni come indicati nella banca dati messa a disposizione dalla Regione, per edifici bassi, regolari e rigidi (periodo 0.1-0.5 s) come quello in esame.

Valori di soglia per il periodo compreso tra 0.1 e 0.5 s			
Suolo tipo B	Suolo tipo C	Suolo tipo D	Suolo tipo E
1.4	1.9	2.2	2.0

Il valore massimo di F_a (approssimato alla prima cifra decimale, utilizzando una variabilità di ± 0.1) calcolato tramite la scheda di valutazione, è stato confrontato con il corrispondente valore soglia sopra riportato:

$$FAC_{(0,1-0,5 \text{ s})} = 1.62 (\pm 0.1) > FAS_{(0,1-0,5 \text{ s})} = 1.4$$

Il valore di F_{ac} risulta superiore al valore soglia comunale: la normativa è da considerarsi non sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e/o morfologica locale; pertanto in fase progettuale sarà necessario applicare lo spettro previsto dalla normativa per la categoria di suolo superiore (**categoria C**).

6 INDAGINE GEOGNOSTICA

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione è stata considerata una precedente indagine (consistita nell'esecuzione di due prove penetrometriche dinamiche di tipo dinamico) eseguita dagli scriventi per la realizzazione di una cappella gentilizia all'interno del cimitero monumentale di Sesto San Giovanni

Le prove penetrometriche S.C.P.T. sono state eseguite con un *penetrometro superpesante tipo Meardi A.G.I.* avente le seguenti caratteristiche:

peso del maglio	73 kg
altezza di caduta	75 cm
angolo al vertice della punta conica	60°
diametro del cono	50.8 mm
peso delle aste	4.6 kg/ml



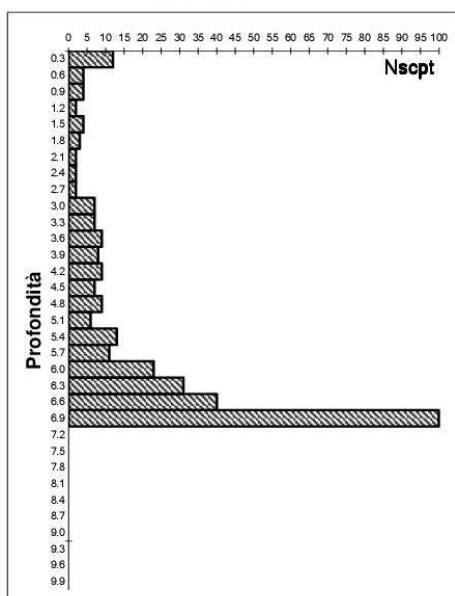
Penetrometro utilizzato

Il terreno è stato indagato a partire dalla quota del piano campagna esistente fino alla profondità di 6.9/7.5 m dal piano campagna, dove le prove si sono interrotte per la presenza di orizzonti talmente addensati da causare il rifiuto alla penetrazione dinamica.

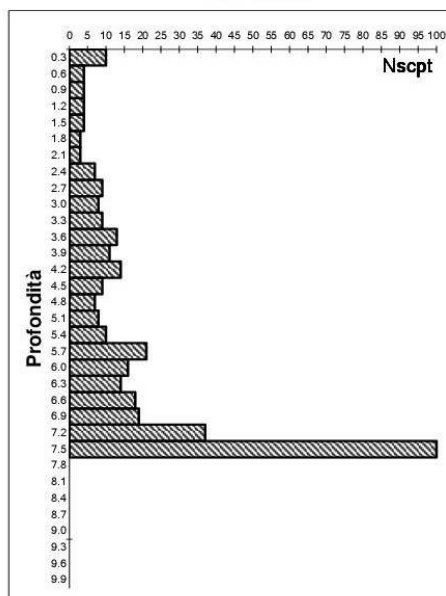
Durante l'esecuzione delle prove non si è riscontrata la presenza di acqua di falda, a sostegno dei dati in nostro possesso.

Profondità (m)	S.C.P.T. 1	S.C.P.T. 2
0.3	12	10
0.6	4	4
0.9	4	4
1.2	2	4
1.5	4	4
1.8	3	3
2.1	2	3
2.4	2	7
2.7	2	9
3.0	7	8
3.3	7	9
3.6	9	13
3.9	8	11
4.2	9	14
4.5	7	9
4.8	9	7
5.1	6	8
5.4	13	10
5.7	11	21
6.0	23	16
6.3	31	14
6.6	40	18
6.9	100	19
7.2		37
7.5		100

S.C.P.T. 1



S.C.P.T. 2



7 PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base del grado di addensamento rilevato nel corso delle indagini, possono essere riconosciute le seguenti litozone:

- LITOZONA A: grado di addensamento molto basso con caratteristiche geotecniche pessime ($N_{scpt} < 5$).
- LITOZONA B: grado di addensamento medio-basso con caratteristiche geotecniche quasi discrete ($5 < N_{scpt} < 10$).
- LITOZONA C: grado di addensamento medio-alto con caratteristiche geotecniche da discrete a buone ($N_{scpt} > 10$).

Il terreno è stato suddiviso in litozone in base ai parametri geotecnici medi degli orizzonti attraversati dalle verticali

Litozona	Profondità (m p.c.)	N_{SCPT}	N_{SPT}	γ (T/m ³)	Φ (°)	E (Kg/cm ²)	K's (kN/m ³)
R	0.0 – 0.3	Terreno addensato antropicamente non paratmetrabile					
A	0.3 – 2.1/2.7	2 – 3	4 - 5	1.65 – 1.70	25.5 – 26.5	30 - 75	$5.4 – 8.5 \times 10^3$
B	2.1/2.7 – 5.1	6 - 9	10 - 15	1.75 - 1.80	29 - 31	195 - 300	$16.0 – 27.0 \times 10^3$
C	5.1 – 6.9/7.5	> 15	> 24	1.85	> 33.5	> 450	$> 47.5 \times 10^3$

dove:

- N_{SCPT} = numero di colpi necessario per ottenere un avanzamento di 30 cm in una prova SCPT
 N_{SPT} = numero di colpi SPT correlato
 γ = peso di volume del terreno (T/m³)
 Φ = angolo di attrito del terreno (°)
E = modulo di deformazione (o di Young) (Kg/cm²)
K's = stima del modulo di reazione del sottofondo (o di Winkler) (kN/m³)

Le prove penetrometriche hanno rilevato la presenza di un orizzonte superficiale caratterizzato da un grado di addensamento basso e da caratteristiche geotecniche modeste (Litozona A) fino alla profondità di circa 2.1/2.7 m. Inferiormente si osserva un generale miglioramento dello stato di addensamento (litozone B e C); a profondità comprese tra 6.9 e 7.5 m dal piano campagna si osserva la presenza di sedimenti dalle ottime caratteristiche geotecniche che determinano l'interruzione delle verticali di indagine.

8 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione delle sabbie è il comportamento dei suoli sabbiosi che, a causa di un aumento della pressione interstiziale, passano improvvisamente da uno stato solido ad un fluido, o con la consistenza di un liquido pesante.

La liquefazione avviene più frequentemente in depositi sabbiosi e/o sabbioso limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante. Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Secondo il D.M. 17/01/2018 (articolo 7.11.3.4.2 "Esclusione della verifica a liquefazione") è possibile non effettuare la verifica alla liquefazione quando si manifesta almeno una delle seguenti condizioni:

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 $q_{c1N} > 180$ 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 q_{c1N} 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 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

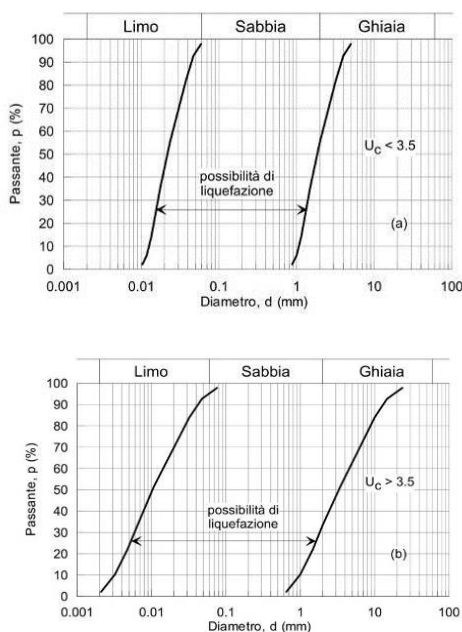


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nell'area in esame la superficie della falda freatica è situata ad una profondità media superiore a 15 m da p.c.; il manifestarsi di tale condizione esclude, per l'area oggetto di studio, la verifica alla liquefazione.

9 CONCLUSIONI

L'area in esame sita in via Cimitero è caratterizzata dalla presenza, in affioramento, di un terreno di fondazione appartenente dal punto di vista geologico al *Diluvium Recente* (fluvioglaciale Wurm).

Il progetto prevede la ristrutturazione delle gallerie del cimitero monumentale di Sesto San Giovanni e in particolare il rifacimento delle coperture, il ripristino delle facciate e delle superfici esterne, la protezione allo sfondellamento dei solai e rifacimento delle soprastanti pavimentazioni di una porzione delle gallerie, la demolizione e ricostruzione di alcune scale.

Allo scopo di verificare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, sono state considerate 2 prove penetrometriche di tipo dinamico eseguite dagli scriventi all'interno del cimitero per altro progetto.

Le prove penetrometriche hanno rilevato la presenza di un orizzonte superficiale caratterizzato da un grado di addensamento basso e da caratteristiche geotecniche modeste (Litozona A) fino alla profondità di circa 2.1/2.7 m. Inferiormente si osserva un generale miglioramento dello stato di addensamento (litozone B e C); a profondità comprese tra 6.9 e 7.5 m dal piano campagna si osserva la presenza di sedimenti dalle ottime caratteristiche geotecniche che determinano l'interruzione delle verticali di indagine.

Secondo la carta della soggiacenza allegata al PGT comunale, la falda nell'area indagata si attesta ad una profondità di 15 m dal p.c.

Il tecnico incaricato

Dott. Geol. Riccardo Cortiana

A blue circular professional stamp for Riccardo Cortiana, a geologist. The stamp contains the text "ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA" around the perimeter, "CORTIANA RICCARDO" in the center, and "n° 878 AP" below the name. A large, stylized handwritten signature in black ink is written over the stamp.