

PROGETTO

AREA PRU BORGONUOVO

PIANO ATTUATIVO EX COMPARTO 2 IN VARIANTE AL P.G.T. Località Borgochiesanuova - Mantova

COMMITTENTE

SANSEDONI SIENA SPA

Via Giuseppe Garibaldi, 60 - 53100 Siena



REGIONE LOMBARDIA
PROVINCIA DI MANTOVA
COMUNE DI MANTOVA



CONTENUTO

Relazione Geologica

INDIRIZZO	COMUNE	PROVINCIA
Via Giorgio Gaber / Strada Circonvallazione Sud	Mantova	Mantova

DATA EDIZIONE	DATA ULT. AGG.	ELABORATO
10/01/2022		

PROT.
347/2021

G

PROGETTISTA

ARCHITETTO PAOLO VINCENZI

Corso Vittorio Emanuele II, 33 - 46100 Mantova
0376 224380 - pmvinc@tin.it

PROGETTISTA

SOPRINT SRL SOCIETÀ PROGETTAZIONI INTEGRATE

Galleria Ferri, 6 - 46100 Mantova
0376 222077 - soprint@libero.it

**PIANO ATTUATIVO EX COMPARTO 2
IN VARIANTE AL P.G.T.
RELAZIONE GEOLOGICA IDROGEOLOGICA E
SISMICA**

**COMUNE DI MANTOVA
PROVINCIA DI MANTOVA**



COMMITTENTE: SANSEDONI SIENA S.P.A.

IL TECNICO: GEOL. ROSARIO SPAGNOLO

San Giorgio Bigarello, Dicembre 2021

Dott. Geol. Rosario Spagnolo - GEOLOGIA TECNICA-IDROGEOLOGIA

Via Stradella,35 – San Giorgio Bigarello (MN) 46051 Tel.Fax. 0376.262759 – 338.2949637 – e-mail rosario@geologiaspagnolo.it

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	6
3. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL SITO	9
4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO	11
5. VINCOLI GEOLOGICI	13
6 RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	15
7. INQUADRAMENTO STRUTTURALE	16
10. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	23
11. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	27
12. COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'	29
13. VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO.....	30
14. INDAGINI GEOGNOSTICHE	35
15. STRATIGRAFIA DEL SITO IN ESAME.....	36
15. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	37
16. METODOLOGIA DI INDAGINE	38
16.1 STRUMENTAZIONE	40
16.2 ELABORAZIONE	41
17 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE.....	43
18. APPROFONDIMENTO DI 1° LIVELLO.....	45
19. APPROFONDIMENTO DI 2° LIVELLO.....	47
20. SISMICITA'	48
21. AZIONE SISMICA	51
22. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA	52
23. PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO	52
24. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	54
25. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE.....	55
26. CONSIDERAZIONI FINALI E PRESCRIZIONI.....	58

1. PREMESSA

Lo scrivente, a seguito dell'incarico ricevuto dalla Soc. Sansedoni Siena, ha provveduto alla stesura di uno studio geologico-idrogeologico e sismico, relativo al Piano Attuativo Comparto 2, di iniziativa privata, di un'area sita in località Chiesanuova.

L'area interessata dagli interventi in questo momento è libera da fabbricati ed è a ridosso della tangenziale sud, Il lotto di terreno è altresì individuabile nella planimetria catastale del Comune di Mantova al Foglio 45, Mappali 330 – 334 – 354 – 356 - 358.

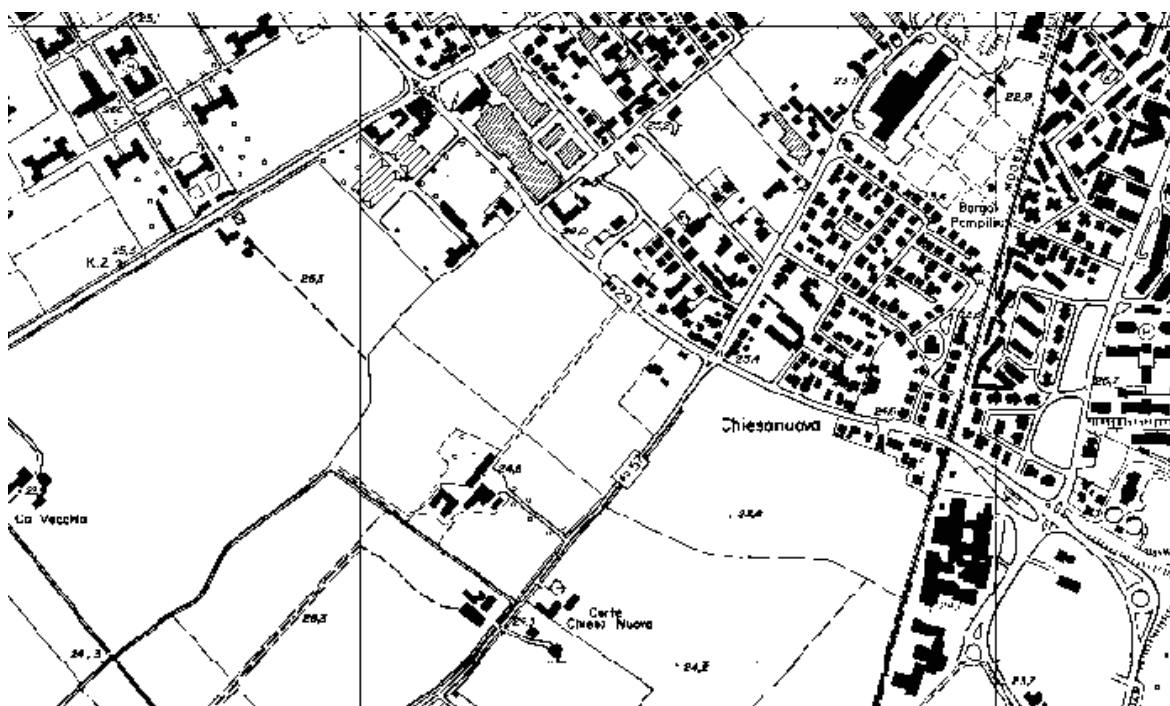
Scopo del lavoro è stato quello di valutare la natura litologica dei terreni di fondazione presenti nell'area, verificare la fattibilità delle opere di progetto secondo i regolamenti urbanistici comunali e regionali vigenti e considerare le problematiche realizzative. Lo studio degli aspetti geomorfologici e idrografici del territorio d'interesse e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, si è articolato in una prima fase di rilievi geologico-geomorfologici di campagna, eseguiti in un intorno significativo dell'area di progetto. Quindi si è proceduto ad una seconda fase che ha riguardato l'acquisizione dei dati reperibili in letteratura consultando, tra gli altri, lo studio della "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio" di Mantova, sulla base del quale è stata considerata la fattibilità dell'opera di progetto e vari studi geologici eseguiti dallo scrivente (di cui si dispone dell'archivio personale), in aree limitrofe a quella oggetto di studio e più in generale nel territorio comunale, inoltre, lo scrivente ha provveduto a realizzare n° 2 prove penetrometriche statiche in sito per la caratterizzazione geotecnica idrogeologica.

L'analisi della Pericolosità Sismica Locale preliminare è stata eseguita secondo quanto previsto dalle norme vigenti regionali come recepite dal P.G.T. vigente di Mantova. Inoltre è stato fornito un dettagliato inquadramento delle norme di Fattibilità Geologica e di Vincolo vigenti nell'area d'interesse e delle rispettive limitazioni previste all'interno del Piano di Governo del Territorio comunale. Sono stati infine prodotti alcuni allegati cartografici e tecnici a supporto della presente relazione.

Quadro normativo di riferimento:

- L.R. 11 marzo 2005 n° 12 – Legge per il governo del territorio;
- L.R. 41/97 - “Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti”;
- D.G.R. 29 ottobre 2001 – n° 7/6645;
- D.M. 11.03.1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate.....”;
- piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI), adottato con deliberazione n° 18/01 del Comitato Istituzionale ed approvato con D.P.C.M;
- D.G.R. 25/01/02 – n° 7/7868. Determinazione del reticolo idrico principale. Trasferimento delle funzioni relative alla polizia idraulica concernenti il reticolo minore;
- O.P.C.M. 20 marzo 2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- L. n. 183/1989 – Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo; istituzione delle Autorità di Bacino per la redazione dei Piani di bacino idrografico;
- D.lgs. n° 152/99 (T.U. Ronchi sulla tutela delle acque dall’inquinamento) e successive modificazioni;
- D.lgs. n° 152/06 – Norme in materia Ambientale;
- L. n° 431/85 (Legge Galasso);
- R.D. n° 523/1904 (fascia di rispetto dei corsi d’acqua secondari);
- D.G.R. 2616 del 2011;
- D.M. 14 gennaio 2008;
- D.G.R. 11 luglio 2014, n° 2129;
- D.G.R. n° X/6738 del 19 giugno 2017.
- D.M. 17 gennaio 2018;

Ubicazione del sito su CTR



Estratto di mappa catastale



Estratto planimetrico con localizzazione dei futuri interventi



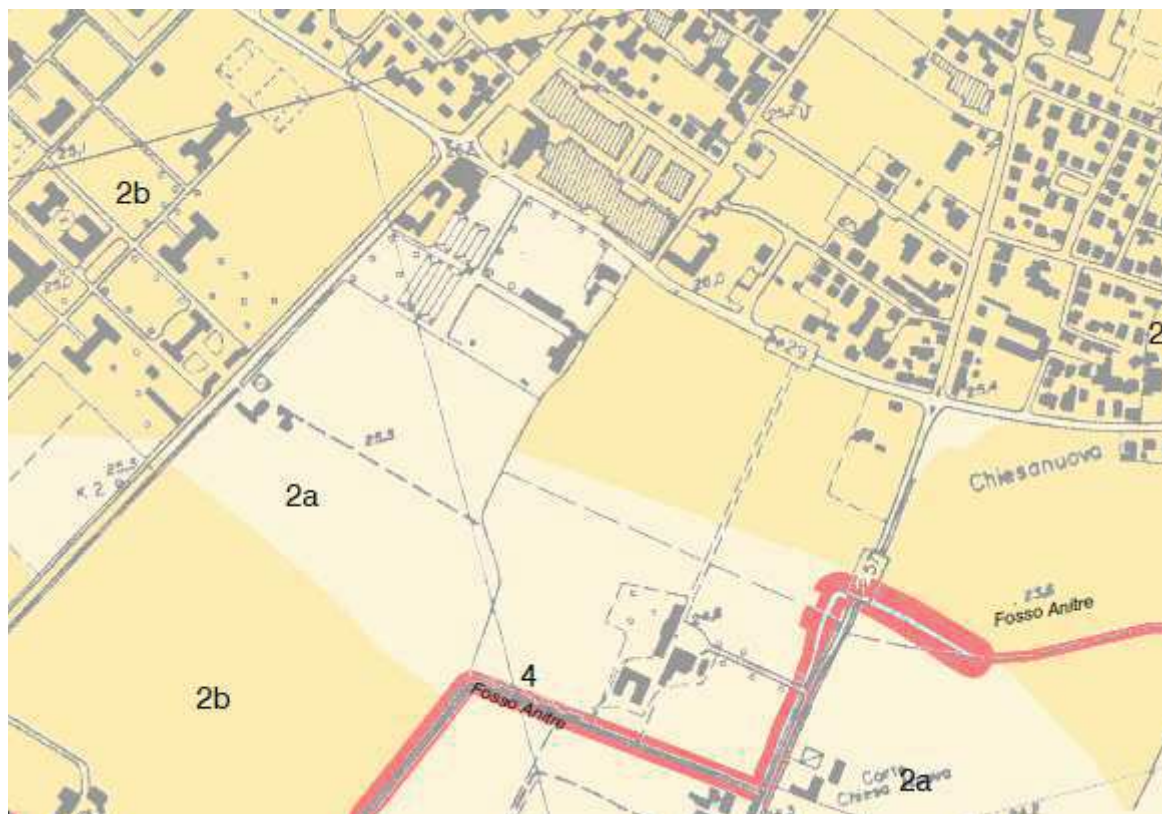
Nella presente documento viene fornito, sulla base di tutti i dati raccolti, un inquadramento generale e vengono descritte le unità litologiche, presenti nell'area oggetto d'intervento.

Lo studio delle caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche del territorio d'interesse e delle caratteristiche geotecniche dei terreni, si è articolato mediante una prima fase di acquisizione dei dati reperibili in letteratura e, in seguito a rilievi in situ.

3. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL SITO

Dall'analisi della cartografia allegata allo Studio Geologico redatto per la "Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio" di Mantova è stato verificato che il sito di progetto ricade nella Classe di Fattibilità 2, con modeste limitazioni d'uso.

Estratto tavola della fattibilità geologica



CLASSE 2

2 a

FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

2 b

FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

CLASSE 3

3

FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

CLASSE 4

4

FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI

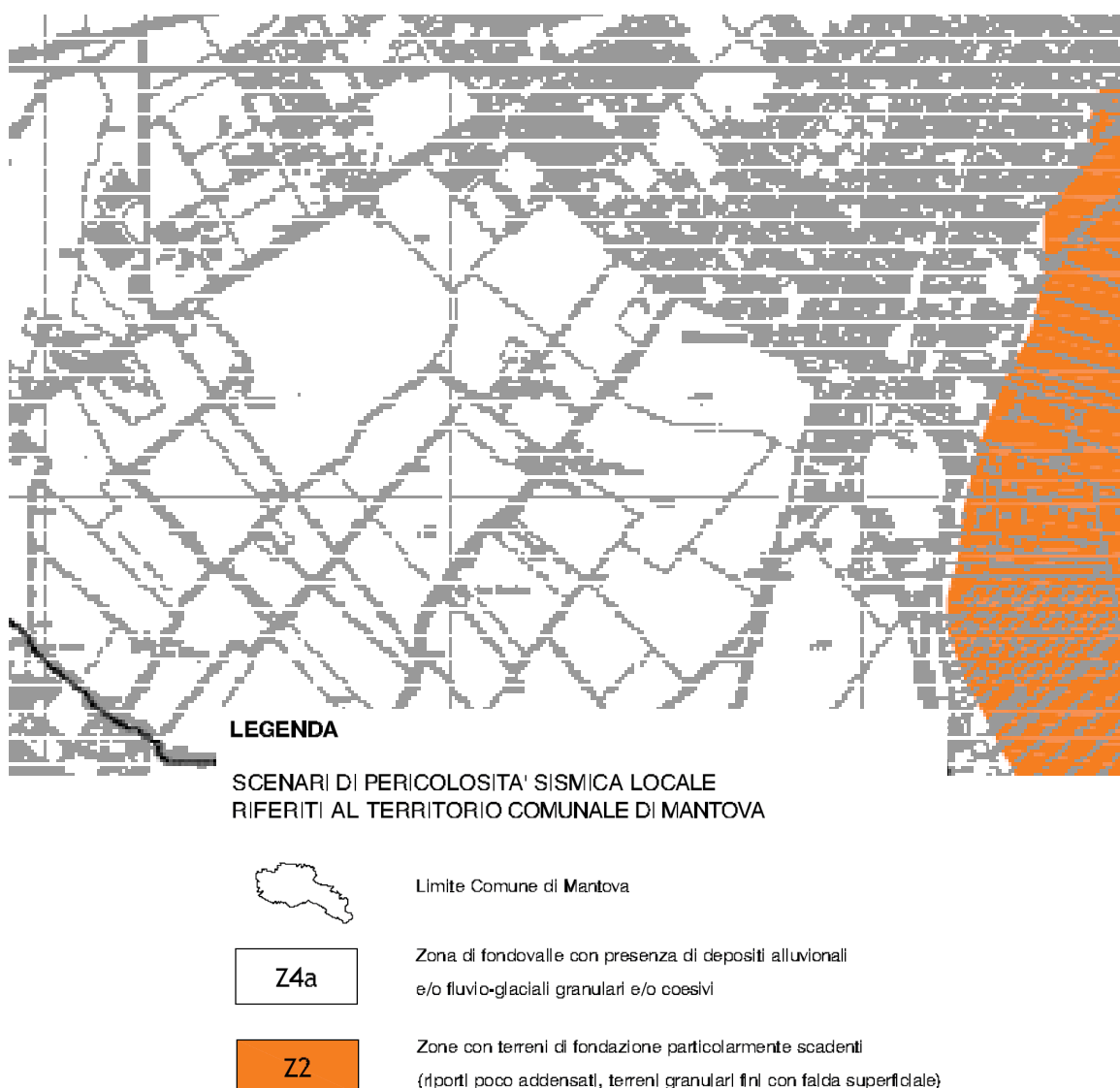
Per tale classe di Fattibilità Geologica, lo Studio Geologico allegato al P.G.T. comunale prevede solo alcune limitazioni ed eventuali approfondimenti da effettuare in funzione delle specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione delle sottoclassi individuate, di seguito enunciate: CLASSE 2b (Area a media vulnerabilità delle acque sotterranee, prima falda) Per questa sottoclasse sono consentite tutte le tipologie di intervento; la loro realizzazione è in ogni caso subordinata ad uno studio idrogeologico che accerti la compatibilità dell'intervento con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, valutando il possibile impatto sulle acque sotterranee, e che preveda, se necessario, l'adozione di accorgimenti in grado di tutelare la falda acquifera e di sistemi di controllo. A tal proposito, entro il sito di progetto, non si possono escludere fenomeni di umidità a partire da -3,0/-4,0 m dal p.c. esistente. Si ritiene quindi che le operazioni di scavo per la realizzazione di eventuali nuove strutture interrato, con piano d'imposta della fondazione a 3/3.5 m da p.c., possano intercettare livelli umidi o, in condizioni di falda elevata, acquiferi superficiali. In questo specifico caso, la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee, dovrà essere garantita operando in cantiere mediante procedure non potenzialmente idroinquinanti e adoperando idonei materiali e tecniche costruttive per l'isolamento delle strutture di fondazione e delle strutture in elevazione verso il piano terra di progetto. Si ritiene inoltre che, l'intervento di realizzazione delle opere progettuali, sia compatibile con lo stato di vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee, non introducendo alcun impatto sulle acque di falda. Nell'area in esame, non si segnalano pertanto, per le classi di Fattibilità Geologica prevista e per le corrispondenti limitazioni, situazioni e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche idrogeologiche, idrografiche e geomorfologiche dell'area. Inoltre, si ritiene che gli interventi di progetto non risultino in grado di indurre situazioni di dissesto o modificare il valore morfologico-paesaggistico del territorio. Nonostante nello Studio Geologico allegato al P.G.T. di Mantova, per l'area d'interesse, si intercettano terreni con caratteristiche geotecniche buone, idonei all'appoggio delle strutture di fondazioni di progetto previste, la realizzazione di quest'ultime è subordinata comunque alla predisposizione di una Relazione Geologica e Geotecnica da eseguire ai sensi del D.M. 17/01/2018, così come ampiamente prescritto nel presente elaborato. La Relazione Geologica e Geotecnica dovrà essere supportata da indagini geognostiche mediante prove in situ come sondaggi, prove penetrometriche

dinamiche e indagini sismostratigrafiche, che verifichino puntualmente le caratteristiche geotecniche dei terreni di appoggio e i loro rapporti stratigrafici in termini di spessori e variabilità laterale. Dovranno inoltre essere eseguite prospezioni sismiche di superficie per la definizione di un modello sismostratigrafico e della categoria di sottosuolo dei terreni di fondazione, e più in generale dei parametri sismici da assumere nel progetto. Nello stesso Studio Geologico comunale non si segnala la presenza, presso l'area di progetto, di Normative di vincolo correlate ad elementi idrografici (zone di tutela e fasce di rispetto dei pozzi pubblici e fasce di rispetto del reticolo idrografico principale e consortile) o ad altre problematiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche.

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

Per il sito in progetto è stata eseguita la valutazione del rischio sismico correlato alle condizioni geologiche e geomorfologiche. È stata quindi valutata l'amplificazione sismica locale secondo la metodologia e le procedure indicate nell'All. 5 della D.G.R. n° 8/7374 del 28/05/2008. Dal punto di vista della Pericolosità Sismica Locale l'area d'intervento è stata classificata, nello "Studio di Microzonazione Sismica" di Mantova, entro lo scenario di pericolosità sismica Z4a "Zona di fondovalle di falda di detrito con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali e/o coesivi".

Stralcio della tavola della pericolosità sismica

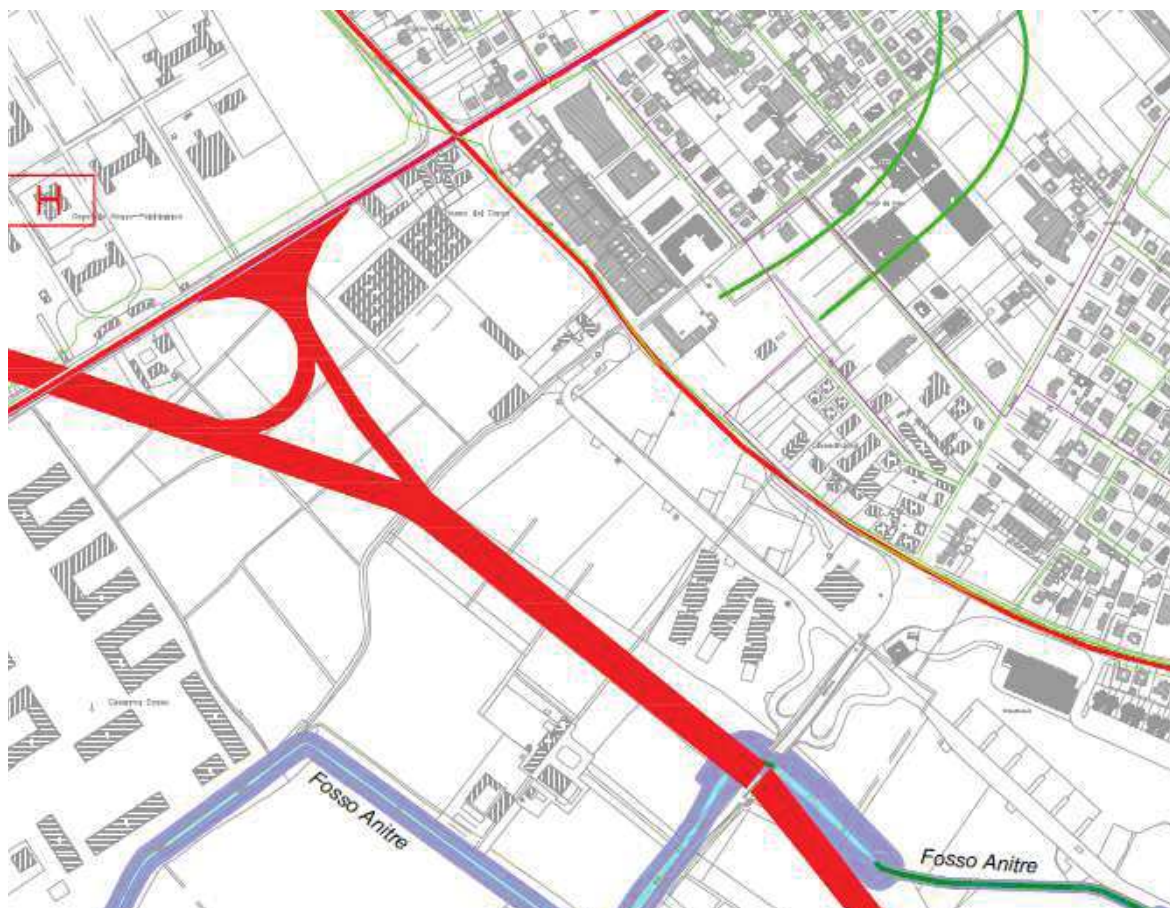


Per quanto concerne gli aspetti legati all'Azione Sismica di Progetto comprensivi della determinazione della categoria topografica e di sottosuolo, dell'analisi della Pericolosità sismica Locale, della verifica dei possibili fenomeni di amplificazione litologica e di suscettibilità a liquefazione e della determinazione dei parametri sismici di riferimento, si rimanda alle apposite Relazioni Geologica e Geotecnica e relativi moduli di asseverazione, da redigere ai sensi delle normative vigenti (D.M. 2018, DGR X/2616/2011) e da allegare alla richiesta di "richiesta di autorizzazione sismica del progetto" (L.R. 33/2015).

5. VINCOLI GEOLOGICI

Il sito interessato alla trasformazione urbanistica, dall'analisi della carta dei vincoli geologici e idrogeologici, di supporto al P.G.T., non ricade in nessun vincolo.

Estratto della tavola dei vincoli



ELEMENTI ANTROPICI E VINCOLI ALL'USO DEL TERRITORIO

	Area di tutela idrogeologica
	Attività estrattiva in essere
	Limite esterno della fascia A del PAI
	Limite esterno della fascia B del PAI
	Limite esterno della fascia C del PAI
	Limite di progetto tra la fascia B e la fascia C del PAI
	Perimetro esterno bacino del Fissero-Tartaro-Canalbiano
	Vincolo Art. 142 D.Lgs. 42/04 (ex L. 431/85)
	Fascia ad alto grado di tutela dei corsi d'acqua
	Stazione Enel
	Strada di grande traffico
	Centrale termoelettrica
	Discarica controllata per rifiuti di tipo industriale
	Area per infrastrutture portuali
Perimetrazione siti contaminati:	
	Laghi di Mantova e Polo chimico
	TEA S.p.A. - Vicolo Stretto
	Ex distributore ESSO - P.le Gramsci (Sito Bonificato)
	Chiesa S. M. d. Vittoria (Sito Bonificato)
	Villetta IES in strada Cipata
	Ex distributore ESSO - V.le Favorita
	Ex deposito idrocarburi Claipa spa (Sito Bonificato)
	Azienda Ospedaliera C. Poma (Sito Bonificato)
	Ex Scia p.le Porta Cerese (Sito Bonificato)
	AGIP - Via Legnago
	Ospedale, luogo di cura
	Cimitero con fascia di rispetto
	Manufatto idraulico
	Pozzi pubblici con zona di tutela assoluta e zona di rispetto
	Rete acquedottistica

6 RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, in particolare dal d.lgs. n. 49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. Per il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (PGRA-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. In riferimento alla D.G.R. n° X/6738 si è consultata la mappa nel geoportale della Regione Lombardia riguardante le aree a rischio alluvioni al fine di verificare la pericolosità e il rischio idraulico del sito in progetto.

Dalla verifica effettuata il sito non ricade all'interno di aree interessate da alluvioni.

Foto 3: ortofoto del geoportale della Lombardia del PGRA



7. INQUADRAMENTO STRUTTURALE

L'area oggetto d'intervento appartiene al settore orientale della Pianura Padana. L'evoluzione geologica dell'area risulta connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi.

Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Strutturalmente l'area in esame ricade in un settore monoclinale (Pedéalpine Homocline), limitato, a nord, dal fronte di sovrascorrimento subalpino, il cui lembo esterno corrisponde alla struttura compressiva di Volta Mantovana, e, a Sud, dal fronte di accavallamento esterno dell'Appennino sepolto nella zona di virgazione che l'arco occidentale delle Pieghe Ferraresi forma con il sistema delle Pieghe Emiliane. Ciò si spiega con il fatto che nel Mantovano è stata individuata la cosiddetta "zona ostacolo" ritenuta responsabile di tale disallineamento e coincidente con una significativa anomalia aereo-magnetica positiva del Basamento Magnetico connessa alla presenza di intrusioni basiche. A causa del suo comportamento prevalentemente rigido la monoclinale padana non sembra essere stata interessata dalle deformazioni legate alla fase parossistica terziaria sebbene alcuni ricercatori abbiano riconosciuto blandi fenomeni di compressione esercitati dal Fronte Appenninico.

L'evoluzione del bacino padano vede, a partire dal Messiniano, la quasi completa cessazione dei movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord-Est del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord Appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico risente in modo consistente di tali movimenti. Il margine settentrionale risente invece in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto

estese, dalla riattivazione di strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati a movimenti eustatici.

Gli studi della successione sedimentaria plio-pleistocenica padana ne hanno messo in evidenza il carattere tendenzialmente regressivo. Infatti, i depositi torbiditici di mare profondo, presenti alla base, sono ricoperti da un prisma sedimentario all'interno del quale si distinguono le seguenti facies: scarpata, piattaforma esterna, litorale, deltizia/lagunare e fluviale.

I corpi sedimentari presentano due direzioni prevalenti di progradazione: la prima assiale rispetto al bacino Padano, Est vergente, originata dal paleo-delta del Po; la seconda trasversale Sud-Est vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina.

Le principali classi di sistemi deposizionali possono essere raggruppate come segue: Piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po) Conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica Delta ad alimentazione assiale (paleo Po) alpina ed appenninica Delta conoide alpino ed appenninico Piana costiera Piattaforma sommersa Scarpate sottomarina Piana bacinale.

L'organizzazione verticale delle facies all'interno delle prime quattro classi di sistemi deposizionali, ed in particolare nei sistemi di piana alluvionale, di conoide alluvionale e nei sistemi deltizi, è invariabilmente costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana con corpi a granulometria fine. Molte volte è possibile distinguere una gerarchia di spessori, con insiemi di cicli di rango inferiori spessi alcuni metri che costituiscono cicli di rango superiore, spessi alcune decine metri.

Si può ipotizzare che tali unità cicliche rappresentano fasi sedimentarie di alta energia alternate a fasi di bassa energia dovute rispettivamente all'attivazione e alla disattivazione dei sistemi deposizionali. Per quanto concerne l'evoluzione tettonica di questo settore della pianura gli studi hanno evidenziato che, a partire dal Pliocene inferiore fino a tutto il Pleistocene (Intervallo II + III da 5.3 a 0.7 m.a.), si evidenzia una lenta subsidenza generalizzata non compensata dalla sedimentazione.

Nell'intervallo successivo (Intervallo IV - 700.000-18.000 anni) si assiste ad un progressivo riempimento del bacino e il motivo tettonico predominante continua ad essere l'abbassamento generalizzato di tutta l'area. Tale movimento è stato dedotto dal notevole spessore dei sedimenti continentali.

In particolare, per quanto riguarda l'area di Porto Mantovano la minore subsidenza rispetto all'area a Sud di Mantova risulta legata all'attività di un disturbo tettonico lineare indicato come Faglia dei Laghi di Mantova. Questa, individuata come una dislocazione a direzione E-W, risulterebbe attiva anche nell'intervallo successivo (Intervallo V - 18.000-attuale) e viene ritenuta responsabile dell'inflessione del fiume Mincio e quindi della formazione dei Laghi di Mantova.

8. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La genesi geologica del territorio comunale è riferibile alle numerose avanzate glaciali che nel Quaternario hanno interessato l'area alpina e padana, con il protendersi dei ghiacciai fino alle zone di pianura, deponendovi sedimenti che rimangono a testimonianza degli eventi che li hanno generati.

La porzione della pianura padana su cui insiste il territorio in esame è caratterizzata da un'evoluzione, ora piuttosto chiara grazie anche ai dati geofisici e ai risultati delle perforazioni per la ricerca di idrocarburi, che è il risultato dell'interazione tra la geodinamica appenninica e alpina.

Il modello deposizionale della Pianura Padana è costituito da un riempimento della depressione avvenuto mediante una serie di cicli sedimentari (fasi di oscillazione relativa del livello marino e della linea di costa) di natura inizialmente marina e successivamente caratterizzati da tendenza regressiva, con la presenza sempre più importante di sedimentazione di tipo continentale sino ai cicli più recenti dominati dalle fluttuazioni glacio-eustatiche quaternarie.

I litotipi presenti sono costituiti da un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano più o meno gradualmente tra loro e che evidenziano una distribuzione non omogenea, ma

legata alle passate evoluzioni idrografiche dei fiumi e corsi d'acqua che hanno generato il territorio.

I depositi prevalenti, per l'area in esame, sono costituiti da terreni quaternari continentali: si tratta di depositi alluvionali a granulometria assai variabile sia in senso areale che verticale, dovuti alla deposizione dei corsi d'acqua appenninici e dal fiume Mincio. Si tratta in generale di alluvioni argillose-limose-sabbiose-ghiaiose, con andamento lenticolare.

9. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area oggetto di studio fa parte della Media Pianura mantovana, complesso di terreni medio-fini che raccorda l'alta pianura ghiaiosa alla riva sinistra del Po.

Si tratta di un territorio caratterizzato da una debole pendenza (valori dell'ordine dell'1,3 ‰), generalmente orientata da nord-nord-ovest verso sud-sud-est.

La città di Mantova, in particolare, sorge in posizione rilevata sulla sponda destra del Fiume Mincio, là dove il letto di questo si amplia dando luogo ai Laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore.

Le massime quote topografiche osservate in corrispondenza del livello fondamentale della pianura sono di 28,29 m s.l.m., mentre presso il centro storico del capoluogo esse si attestano intorno ai 21,22 m s.l.m..

Il principale elemento di interesse morfologico è rappresentato dalla valle del Mincio, entro cui si riscontano quote minime prossime ai 14 m s.l.m., e dal sistema di terrazzi fluviali che la delimitano.

Il terrazzo principale è individuato da una scarpata alta 6,7 m, la cui genesi è da mettere in relazione con l'attività erosiva della pianura fluvioglaciale da parte del fiume, conseguente alla deviazione del suo corso in direzione Ovest-Est avvenuta verso l'VIII secolo a.C. presso Grazie di Curtatone.

In origine il ciglio del terrazzo presentava un andamento sinuoso ed era facilmente riconoscibile lungo tutta la sponda fluviale; ora invece, localmente, appare profondamente alterato dall'attività antropica.

A seguito della citata deviazione il Mincio abbandonò l'originario percorso che, passando alcuni chilometri ad Ovest del territorio in studio, andava a confluire a Sud nell'Oglio – Scolo Zara (il Fiume Po scorreva allora più a meridione rispetto ad oggi): l'alveo preesistente, ormai interessato da modeste portate, si impaludò sino a ridursi all'odierna Fossa Viva.

La diversione sarebbe avvenuta in parte per “versamento” del Mincio stesso che incontrava difficoltà a scorrere, dopo Grazie, lungo la Fossa Viva, e in parte per “erosione regressiva” di un antico affluente di Po. Secondo CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1988), tale diversione sarebbe da connettere all'attività di un elemento tettonico sepolto che ricalca l'andamento dei Laghi di Mantova (Faglia dei Laghi di Mantova o Linea di Mantova).

Il Po durante le piene ostacolava però il deflusso delle acque del Mincio, che ampliò così il suo letto nei pressi di Mantova creando aree paludose.

Per rendere permanente la presenza delle acque intorno alla città, l'ingegnere idraulico A. PITENTINO progettò nel 1190 la formazione di laghi tali da isolarla completamente in caso di assedio.

La creazione di questi fu effettuata in diverse fasi nel corso del XIII secolo costruendo dighe, argini e chiuse. Successivamente ai Laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore fu realizzato anche un quarto lago (Lago Paiolo) che, sfruttando la situazione morfologica esistente, cingeva la città sul lato meridionale, come documentato dalle numerose carte storiche di Mantova riprodotte in FERRARI D. (1985).

Il Lago Paiolo venne però bonificato alla fine del XVIII secolo poiché il Fiume Mincio, per diminuzione di portata, non era più in grado di assicurare un sufficiente ricambio d'acqua.

Del Lago Paiolo non rimane oggi che un fosso recante lo stesso nome (Fosso Paiolo Basso), il quale drena le acque superficiali grazie anche ad una rete di collettori trasversali che in esso recapitano. Il fosso, che si origina dal Lago Superiore, scorre tombinato in corrispondenza della città e ne riemerge a Sud, onde fluire verso Est lungo la Valle dei Topi e successivamente nella Vallazza e nel Mincio. L'osservazione delle foto aeree consente di delineare alcuni paleoalvei del corso d'acqua, sovradimensionati rispetto al tracciato attuale. Parzialmente sotterraneo è anche il percorso del Rio di Mantova, che attraversa il

capoluogo da Nord-Ovest verso Sud-Est ponendo in diretto collegamento Lago Superiore e Lago Inferiore.

In corrispondenza di Mantova è nota inoltre l'esistenza di un ulteriore corso d'acqua completamente tombinato, denominato Fossa Magistrale.

Esternamente alla città si annoverano numerosi altri corsi idrici con funzione irrigua e di scolo.

Se ne può desumere che la rete di drenaggio, oggi profondamente antropizzata, fosse un tempo caratterizzata da un regime idraulico di ben altre proporzioni, progressivamente ridottosi a seguito dello scioglimento dei ghiacciai pleistocenici. A tratti, gli antichi alvei sono ancora riconoscibili in campagna: nella maggior parte dei casi, invece, essi sono rilevabili esclusivamente con la fotointerpretazione.

Nel contesto del reticolo idrico si distinguono due importanti corsi d'acqua, entrambi completamente artificiali e situati in sinistra Mincio: il Colatore Diversivo Mincio ed il Canal Bianco.

Il Diversivo Mincio si sviluppa in direzione nord-ovest – sud-est e venne realizzato al fine di salvaguardare la città dalle periodiche inondazioni cui era sottoposta sino a qualche decennio fa: esso raccoglie parte delle acque del fiume omonimo a valle di Goito e gliele riconferisce a Sud di Mantova presso Formigosa.

I deflussi dei Laghi di Mantova e del Mincio sono regolati inoltre da alcuni manufatti idraulici collocati in particolari punti strategici: presso il luogo di distacco del Fosso Paiolo Basso dal Lago Superiore, al Ponte dei Mulini, a Porto Catena, in Valletta Valsecchi, a Diga Masetti ed a Formigosa.

In tal modo il livello idrico viene mantenuto a quote prestabilite: 17,20,17,30 m s.l.m. in corrispondenza del Lago Superiore, con escursione di +20 cm in caso di piena, e 14,30,14,50 m s.l.m. sino a Governolo, con possibilità di risalita fino alla quota di 16,50 m s.l.m. qualora si verificano stati di piena del Po e conseguente rigurgito delle acque verso monte.

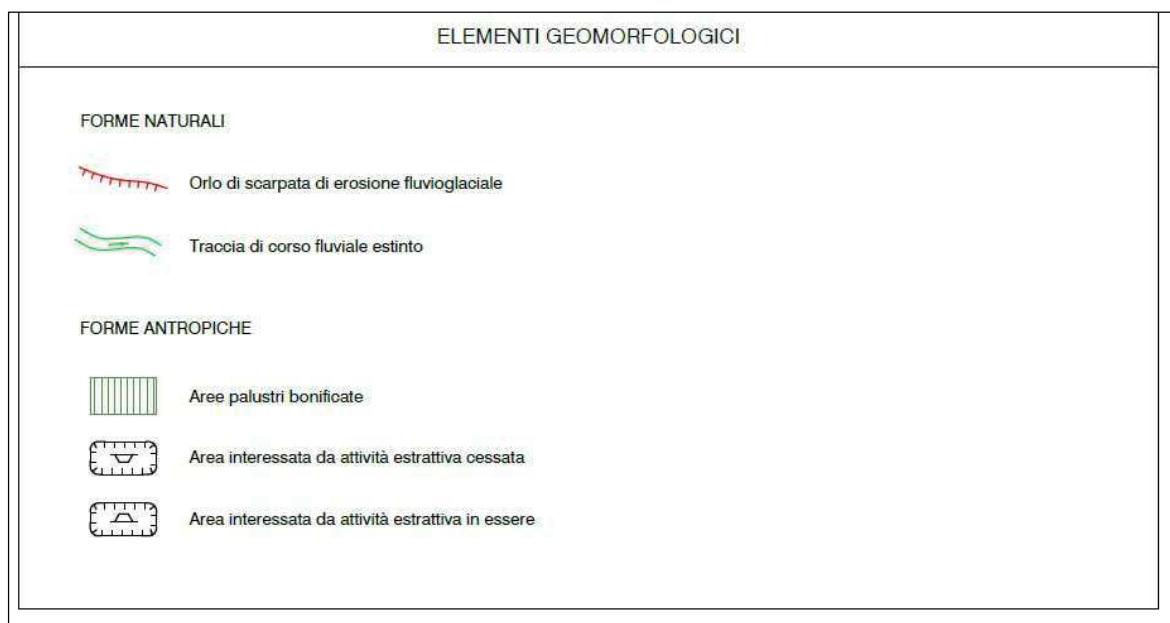
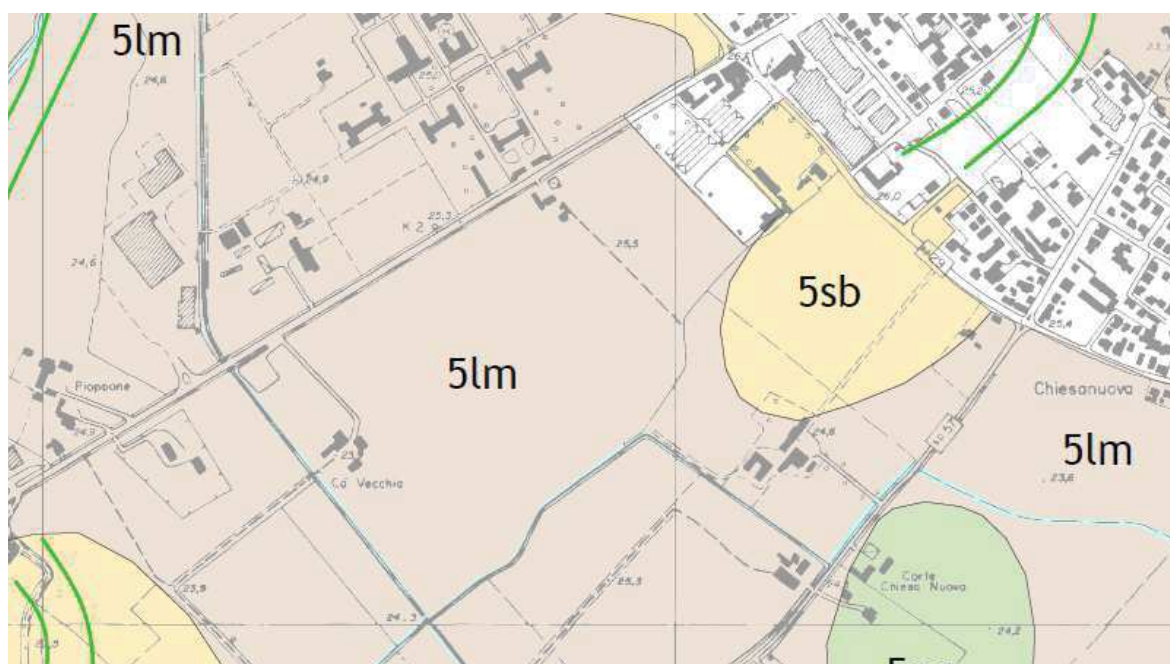
A valle dei Laghi di Mantova, la difesa della pianura nei confronti delle esondazioni del Mincio è assicurata da opere di arginatura artificiale: sino alla foce in Po, infatti, il suo corso meandriforme risulta pensile rispetto al piano campagna circostante.

Ancora in località Formigosa, il Canal Bianco si diparte dal Mincio scorrendovi subparallelo poco a Nord: allestito allo scopo di costituire uno sbocco navigabile verso il Mare Adriatico,

è divenuto pienamente operativo solo da qualche anno, contemporaneamente all'attivazione del Porto di Valdaro.

I dintorni di Mantova hanno una connotazione prevalentemente industriale-artigianale, il cui elemento più notevole è costituito dal polo petrolchimico di Frassinoborgo Virgiliana; nei settori più marginali del territorio comunale permangono altresì appezzamenti a destinazione agricola.

Estratto della tavola geomorfologica



10. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

Il sito oggetto d'intervento è caratterizzato da alluvioni pleistoceniche ed oloceniche, la cui genesi è in prevalenza riconducibile all'attività degli scaricatori fluvio-glaciali alimentati dal ghiacciaio gardesano, il cui ultimo fronte si attestava in corrispondenza delle attuali Colline Moreniche dell'Alto Mantovano.

I suddetti scaricatori hanno contribuito alla costruzione di un sistema di depositi preferenzialmente allineati secondo le direzioni Nord-Sud e Nord/Nord/Ovest-Sud/Sud/Est.

In dettaglio, l'area è caratterizzata da terreni continentali sabbiosi, limosi e cretosi, che dal punto di vista stratigrafico sono ricompresi in un intervallo di tempo che va dall'Interglaciale Mindel-Riss al Postglaciale Würm.

In Tavola 1 è riportata una carta esemplificativa delle caratteristiche geolitologiche del territorio circostante Mantova, per la cui elaborazione si è tenuto conto anche delle informazioni contenute nella Carta Geologica delle Tre Venezie di COZZAGLIO A. (1933, 1934).

Malgrado risalga ormai a oltre 70 anni fa, la pubblicazione del COZZAGLIO offre tra l'altro importanti indicazioni relativamente alla costituzione dei terreni dell'area urbana, oggi in gran parte edificati e dunque inaccessibili.

Si descrivono di seguito le unità litologiche rappresentate in Tavola 1; per le annotazioni di carattere pedologico si veda E.R.S.A.L. & AMM. PROV. DI MANTOVA (1997):

- Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi: si tratta del cosiddetto "Terrazzo di Marmirolo" che si spinge, nella sua parte più meridionale, fino alle aree urbanizzate di Gambarara, Cittadella e Ponte Rosso.

Tali depositi sono caratterizzati da ghiaie medio-fini in percentuale variabile dal 55 al 71%, accompagnate da sabbie medie e grossolane con una presenza del 28÷38%.

I suoli reperibili in corrispondenza dei depositi descritti sono moderatamente profondi, limitati dal substrato ghiaioso e sabbioso incoerente e molto calcareo, a tessitura moderatamente grossolana, da subalcalini ad alcalini, calcarei e a drenaggio rapido. La falda è presente intorno al metro di profondità.

- **Depositi prevalentemente sabbiosi**: costituiscono la maggior parte dei depositi rinvenibili nelle aree più prossime alla città e ai Laghi di Mantova.

Questi terreni sono costituiti da sabbie medio-fini siliceo-calcaree, spesso ferrettizzate, presenti in percentuale variabile dal 46 all'89%, accompagnate da una frazione limosa (10÷39%) e in misura minore anche da una frazione argillosa (1÷18%).

Tra le diverse zone si possono notare alcune differenze: i depositi presenti fra Porto Mantovano e S. Giorgio presentano le maggiori percentuali di sabbie, quelli posti a Sud della città di Mantova sono costituiti da sabbie granulometricamente più fini, mentre i terreni sabbiosi situati all'interno dell'area valliva lungo le sponde dei laghi sono accompagnati anche da argille organiche.

I relativi suoli sono da molto sottili a profondi, limitati dal substrato sabbioso incoerente, a tessitura media o moderatamente fine, da subalcalini ad alcalini, calcarei e a drenaggio buono o moderatamente rapido. La falda è periodicamente presente all'interno del profilo.

- **Depositi prevalentemente limosi**: questi litotipi, unitamente ai depositi prevalentemente sabbiosi, contraddistinguono il livello fondamentale della pianura.

Variamente distribuiti nei dintorni di Mantova, essi caratterizzano di preferenza le zone poste a lato dei corsi d'acqua attuali ed estinti ove, in relazione alle ridotte capacità di trasporto, venivano depositati solo gli elementi più fini.

Nell'area studiata si ritrovano per lo più a Sud-Ovest della città e verso Sud all'esterno dell'area valliva; altri affioramenti più limitati sono ubicati a Nord-Est del Diversivo Mincio.

Si tratta di limi argilloso-sabbiosi, tenaci, con frequenti concrezioni calcaree (bambole) che, laddove più numerose, si agglomerano dando luogo ad un vero e proprio orizzonte molto compatto comunemente denominato castracan; la frazione limosa varia dal 41 al 60%, mentre le argille e le sabbie sono mediamente comprese tra l'8 e il 45%.

I suoli corrispondenti sono moderatamente profondi, limitati dal substrato limoso molto calcareo, a tessitura moderatamente fine e moderatamente calcarei in superficie, da moderatamente grossolani a medi e calcarei a media profondità, alcalini e a drenaggio da mediocre a buono.

- **Depositi prevalentemente argillosi**: essi caratterizzano abitualmente quei settori ove, in conseguenza del ridotto gradiente morfologico e della maggiore distanza dai corsi d'acqua superficiali, si sono avuti eventi deposizionali lenti.

In ambito comunale affiorano poco a Sud di Borgo Chiesanuova e, più estesamente, nella piana compresa fra Mincio e Canal Bianco a Sud-Est di Formigosa.

La frazione argillosa varia dal 44 al 70%, accompagnata da limi (dal 27 al 46%) e da percentuali più modeste di sabbia fine (dal 3 al 16%).

I suoli impostati su questo tipo di depositi sono da moderatamente profondi a profondi, a substrato limoso-argilloso molto compatto e calcareo, a tessitura fine, subalcalini o alcalini, calcarei e a drenaggio molto lento. La falda è presente intorno al metro di profondità e oscilla all'interno del profilo.

- **Depositi prevalentemente torbosi**: tali depositi si rinvencono in sponda sinistra del Lago Superiore di Mantova, anche se la loro estensione va sempre più riducendosi per l'intervento antropico; qui raggiungono spessori variabili da 30 a 100 centimetri circa, ricoprendo depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi.

Depositi torbosi affiorano anche a Sud della città di Mantova lungo il corso del Fosso Paiolo Basso, il colatore rimasto a testimoniare l'antico lago interrato artificialmente nel corso del XVIII secolo.

Si distinguono suoli da sottili a moderatamente profondi, limitati da strati torbosi al di sotto dei quali, talvolta, si trovano orizzonti sabbiosi incoerenti, e dalla falda permanente; sono a tessitura media, subalcalini, da calcarei a molto calcarei, a drenaggio da impedito a molto lento.

- **Depositi paludosi**: sono costituiti da residui vegetali frammisti a frazioni variabili di limo e argilla.

Si ritrovano in aree limitate sul Lago Superiore e lungo le sponde del Fiume Mincio a Sud della Diga Masetti (Vallazza).

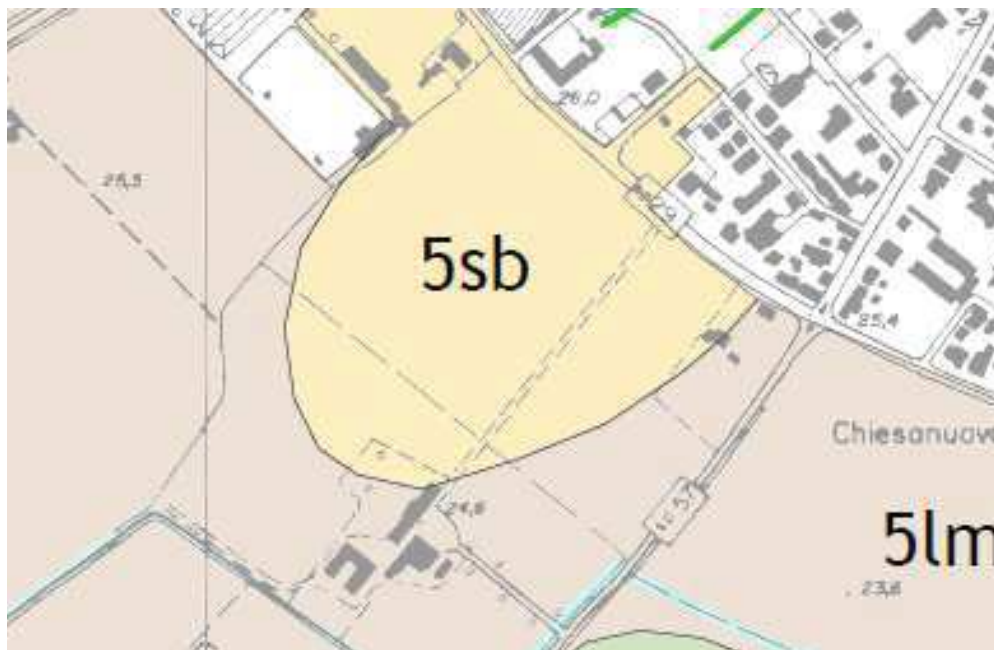
I suoli associati a detti sedimenti sono organici sottili, limitati dalla falda permanente e da strati torbosi, a reazione subacida, non calcarei e a drenaggio impedito.

In corrispondenza della città di Mantova, infine, al di sotto di un orizzonte costituito da materiali di riporto avente spessore di alcuni metri, sono rinvenibili terreni prevalentemente sabbiosi. Secondo BARALDI F., CANTONI A. & NOVELLINI G. (1990) è possibile schematizzare quattro diverse zone così contrassegnate:

a) la sponda destra del Lago Superiore caratterizzata dall'alternanza di depositi sabbiosi e limosi;

- b) il centro storico in cui prevalgono materiali sabbiosi e ghiaiosi;
- c) la sponda destra del Lago Inferiore con torbe ed argille;
- d) l'ex Lago Paiolo, ove al di sotto di alcuni metri di depositi torbosi (spessore anche superiore a 3 m), si rinvenivano sabbie e ghiaie.

Stralcio della tavola litologica



LEGENDA

LITOLOGIA DI SUPERFICIE	ELEMENTI GEOPEDOLOGICI
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #f08080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>5gh Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi</div> </div>	Suoli moderatamente profondi, limitati dal substrato ghiaioso e sabbioso incoerente e molto calcareo, a tessitura moderatamente grossolana, da subcalcini ad alcalini, calcarei e a drenaggio rapido. La falda è presente intorno al metro di profondità.
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #fffacd; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>5sb Depositi prevalentemente sabbiosi</div> </div>	Suoli da molto sottili a profondi, limitati dal substrato sabbioso incoerente, a tessitura media o moderatamente fine, da subcalcini ad alcalini, calcarei e a drenaggio buono o moderatamente rapido. La falda è periodicamente presente all'interno del profilo.
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #d2b48c; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>5lm Depositi prevalentemente limosi</div> </div>	Suoli moderatamente profondi, limitati dal substrato limoso molto calcareo, a tessitura moderatamente fine e moderatamente calcarei in superficie, da moderatamente grossolani a medi e calcarei a media profondità, alcalini e a drenaggio da mediocre a buono.
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>5ag Depositi prevalentemente argillosi</div> </div>	Suoli da moderatamente profondi a profondi, a substrato limoso-argilloso molto compatto e calcareo, a tessitura fine, subcalcini o alcalini, calcarei e a drenaggio molto lento. La falda è presente intorno al metro di profondità e oscilla all'interno del profilo.
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #800080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>8trb Depositi prevalentemente torbosi</div> </div>	Suoli da sottili a moderatamente profondi, limitati da strati torbosi al di sotto dei quali, talvolta, si trovano orizzonti sabbiosi incoerenti, e dalla falda permanente; sono a tessitura media, subcalcini, da calcarei a molto calcarei, a drenaggio da impedito a molto lento.
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #90ee90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>5lcs Depositi paludosi</div> </div>	Suoli organici sottili, limitati dalla falda permanente e da strati torbosi, a reazione subacida, non calcarei e a drenaggio impedito.
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: #ffffff; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>Aree urbanizzate</div> </div>	

11. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L'indagine idrogeologica ha tenuto conto della bibliografia disponibile, dei dati relativi alle colonne stratigrafiche e dei livelli dei pozzi più prossimi all'area di studio.

Come risulta evidente dall'analisi delle fonti di letteratura e dai rilievi diretti eseguito in sito, si può affermare che la prima falda (che rappresenta l'orizzonte acquifero interessante il letto dei profili coinvolti dal presente studio) è, contenuta nell'orizzonte di sabbie medio-fini.

Altre fonti di letteratura (Falde Acquifere della Provincia di Mantova) confermano la presenza nell'area in esame di una prima falda (A) è di tipo semiconfinato per la presenza di una copertura limosa-argillosa, la cui potenza media di una decina di metri raggiunge, in taluni casi, i 15 m; detta coltre è certamente in grado di proteggere le acque sotterranee da potenziali fenomeni di inquinamento.

Queste costituiscono il tetto di una seconda falda, di tipo confinato, che ha sede in un livello di sabbie fini e medie di colore per lo più chiaro. Lo spessore di questo acquifero aumenta sensibilmente procedendo da N verso S; nello stesso senso si manifesta, inoltre, un aumento della granulometria dei depositi con passaggio delle sabbie fini e medie a quelle medio-grossolane.

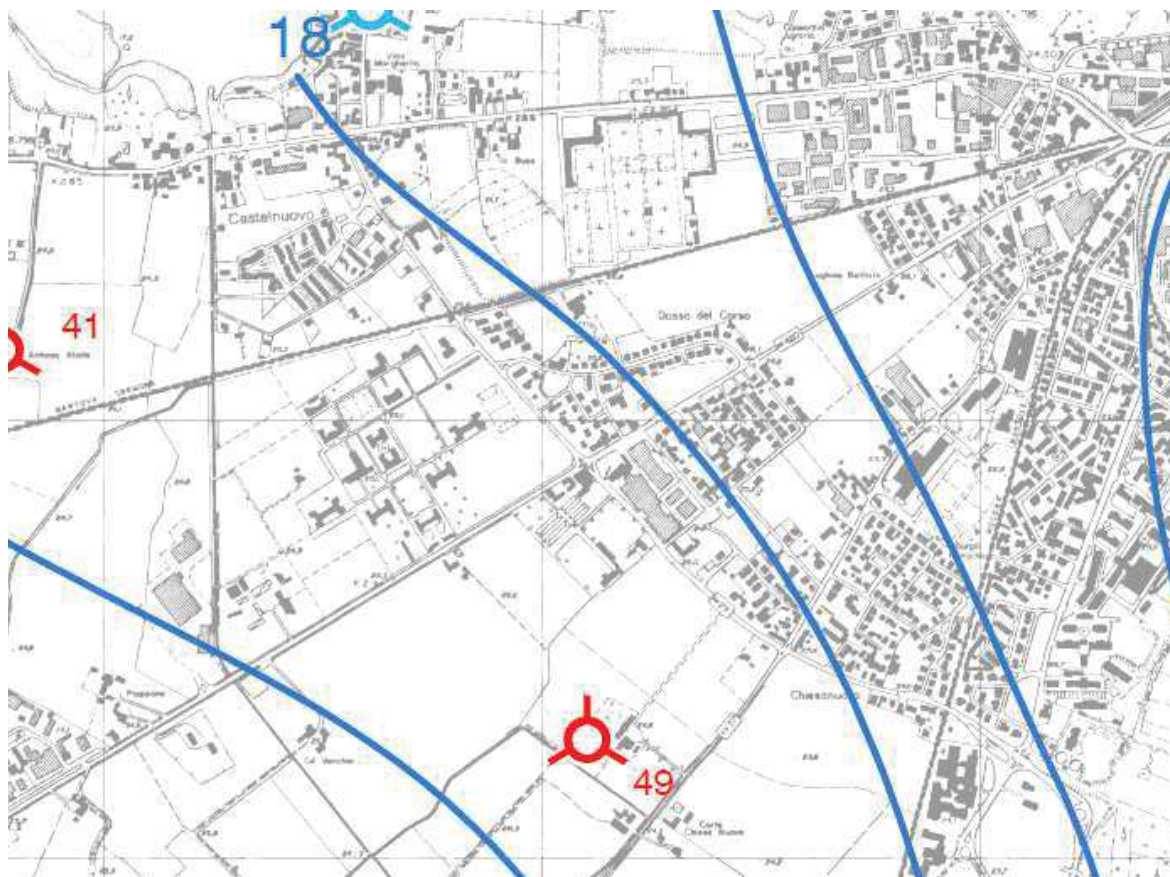
Sulla base delle correlazioni delle stratigrafie è possibile osservare nel sottosuolo indagato la presenza di un tipico acquifero compartimentato, di tipo multi-strato, contraddistinto dalla presenza di alternanze di orizzonti sabbiosi a permeabilità media e di livelli a prevalente componente argillosa-limosa dotati di ampia estensione areale.

L'assetto piezometrico locale del primo acquifero (desunto da misure effettuate su pozzi con profondità inferiore a 100 m) è contraddistinto da un senso di deflusso verso il settore meridionale.




La variazione annua del livello piezometrico è da mettere in relazione alle oscillazioni del Lago Superiore.

La soggiacenza della falda è stata rilevata alla profondità di 3.50 m da p.c., questa è soggetta a fluttuazioni stagionali rispetto all'attuale piano campagna.

Estratto tavola idrogeologica



LEGENDA IDROGEOLOGICA

	42	Pozzo della rete di controllo del chimismo delle acque sotterranee con numero d'ordine
	2*	Pozzo della rete di controllo della piezometria con numero d'ordine (il simbolo * indica che il pozzo è utilizzato anche per il controllo del chimismo)
10		Numerazione progressiva di pozzi esistenti nel Comune di Mantova
2B		Numerazione progressiva di pozzi esistenti nei Comuni di Bagnolo San Vito (B), Borgoforte (Bo), Curtatone (C), Marmirolo (M), Porto Mantovano (P) e Virgilio (V)
	20	Isopieze riferite al l.m. con equidistanza di 1 m; rilievo luglio 2003

12. COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'

Analizzando alcune stratigrafie, di pozzi limitrofi all'area in esame, e da pozzetti esplorativi eseguiti in situ, è stato possibile evidenziare le unità geolitologiche che caratterizzano il sito indagato.

Dalle correlazioni litostratigrafiche è possibile evidenziare:

- **Da 0 m a 0.90 m da p.c. unità limosa con presenza di materiale di riporto** che si caratterizza per una permeabilità (10^{-5} m/s).
- **Da 0.90 m a 10.00 m da p.c. unità sabbiosa con lenti di ghiaia** che si caratterizza per una permeabilità (10^{-3} m/s).

Molto importante, ai fini di una corretta interpretazione idrogeologica del sito, caratterizzare la permeabilità presente nella porzione di terreno interessata dalla studio; Tale proprietà, delle rocce o dei terreni consolidati, rappresenta la capacità di quest'ultimi ad essere attraversati da fluidi.

Mentre il coefficiente di permeabilità (K) rappresenta la resistenza viscosa e frizionale alla filtrazione di un fluido in un mezzo poroso ed è espressa come una velocità con unità di misura in m/s.

Tale coefficiente dipende:

- Dalle proprietà del fluido (densità, ρ e viscosità, μ).
- Dalle caratteristiche del mezzo poroso (permeabilità intrinseca, k_p).

$$k = (\rho \cdot g / \mu) \cdot k_p$$

In sintesi, il coefficiente di permeabilità (K) che contraddistingue i litotipi presenti nei primi 70 cm si attesta su valori compresi vicini a 1×10^{-6} m/s per la litozona argillosa mentre per l'orizzonte sabbioso i valori sono vicini a 1×10^{-3} .

Il primo orizzonte è caratterizzato da un basso drenaggio seguito da una litozona ad alto *drenaggio*.

Grado di Permeabilità	k di Permeabilità (m/s)
Alto	Superiore a 10^{-3} m/s
Medio	10^{-3} m/s - 10^{-5} m/s
Basso	10^{-5} m/s - 10^{-7} m/s
Molto Basso	10^{-7} m/s - 10^{-9} m/s
Impermeabile	Inferiore a 10^{-9} m/s

13. VULNERABILITA' DELL'ACQUIFERO

La tavola della vulnerabilità idrogeologica relativa al P.G.T. perimetra l'area di indagine ad alto rischio idrogeologico, pertanto con la presente, si vuole approfondire il tema al fine di verificare la contaminazione. La vulnerabilità idrogeologica concerne la possibilità che le acque di falda possono essere più o meno esposte al rischio d'inquinamento idrico. Esso viene definito come "l'impatto di qualunque attività antropica, volontaria o accidentale, che comporti uno sversamento, in uno o più dei sottosistemi componenti il sistema ambiente, di sostanze tali da causare una variazione negativa di tipo chimico e/o fisico della qualità naturale delle acque, tale da mettere in pericolo la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi".

La metodologia fa riferimento in parte a quella sperimentata e proposta da vari Autori, in parte segue una elaborazione originale in relazione ai dati a disposizione e alla realtà territoriale.

Si è considerato soprattutto quanto proposto nella metodologia CNR-GNDICI e nelle successive modifiche e integrazioni della stessa, proposte da vari enti e ricercatori sia per scopi generali, sia negli ultimi anni, in particolare per lo studio della vulnerabilità da nitrati delle falde, come richiesto dal D.lgs. 152/06. Si è anche considerato quanto messo a punto, sempre dalla linea di ricerca CNR-GNDICI, cioè il metodo Sintacs, metodo parametrico di valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, basato su sette fattori di vulnerabilità.

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque di falda, che dipende dalle caratteristiche naturali, climatiche, pedologiche e idrogeologiche del sistema, tutte le metodologie si basano sull'esame e la sovrapposizione di alcune informazioni tematiche, più o meno approfondite e quantificate, riferite sostanzialmente:

- alle caratteristiche del suolo e la sua capacità di attenuazione della vulnerabilità;
- alle caratteristiche dello strato insaturo, sovrastante la falda, e alla sua capacità di trasmettere gli inquinanti alla falda;
- alle caratteristiche idrogeologiche e alla profondità delle falde idriche.

La vulnerabilità degli acquiferi non dipende solo dai parametri naturali, ma anche dalle pressioni a cui l'ambiente è sottoposto, sotto forma di centri di pericolo e fonti di inquinamento.

Nel caso in esame si è adottata una metodologia di valutazione della vulnerabilità complessiva, basata su più stadi di elaborazione e tematismi.

La vulnerabilità quindi rappresenta il grado di protezione degli acquiferi soggiacenti il territorio più o meno antropizzato, ed indica la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un inquinante idroveicolato. Essa dipende dalle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero e dalla litologia del terreno non saturo soprastante.

I fattori presi in considerazione per la valutazione della vulnerabilità sono:

- tipo e grado di permeabilità dei depositi;
- tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità;
- presenza di livelli ghiaiosi sotterranei;
- soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero;
- condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleovalle o di terrazzi fluviali.

I parametri che invece caratterizzano le sostanze inquinanti, e quindi la loro possibilità a spostarsi nelle acque sotterranee e a determinarne il potenziale d'impatto, sono:

- la **densità** (massa dell'unità di volume): pertanto a maggiore densità si ha maggiore spostamento verso il basso;
- **viscosità** (resistenza al moto o attrito interno di un fluido): a maggiore viscosità corrisponde maggiore lentezza negli spostamenti orizzontali e verticali;
- **conducibilità idraulica**, proprietà legata alle due precedenti oltre che alla permeabilità dell'acquifero;
- **solubilità** (massa della sostanza che si dissolve per unità di volume di solvente): quindi a maggior solubilità si ha minor concentrazione dell'inquinante nell'acqua, ma anche maggior dispersione dello stesso;
- **volatilità** (proprietà delle sostanze a passare allo stato di vapore): a maggiore volatilità si ha maggior dispersione della sostanza e quindi una minor persistenza;

persistenza, essa è una caratteristica di comportamento che dipende dalla tipologia della sostanza e dalle interazioni che essa ha con l'ambiente. Definisce il tempo di durata che una sostanza mantiene fino alla sua eliminazione dal corpo idrico. Con il primo approfondimento si è preso in considerazione l'effetto protezione e attenuazione dell'inquinamento offerto dalla presenza dei vari tipi di suoli e dalle loro caratteristiche fisico-chimiche.

Infine, vengono considerati i fattori antropici poichè rappresentano elemento di rischio, quali:

- impianti zootecnici e trattamento con fitofarmaci in aree agricole;
- aree artigianali, cimiteri, reti fognarie e discariche;
- attività estrattiva di inerti.

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero è, come abbiamo visto, legata all'interazione tra i fattori fisici dell'acquifero e quelli della sostanza inquinante, fattori che insieme danno luogo a tre principali processi che si producono all'interno del sistema/sottosuolo e che sono:

- lo spostamento della sostanza inquinante (fluida o solida e idroportata) attraverso

- lo strato insaturo, fino a raggiungere la superficie freatica soggiacente;
- la dinamica del flusso sotterraneo della falda e dell'inquinante attraverso lo strato saturo;
- la concentrazione residua di un inquinante fluido o idroportato nel suo viaggio dalla sua partenza al suo arrivo nello strato saturo.

La capacità del sistema suolo-sottosuolo-acquifero di attenuare l'impatto determinato dall'inquinante, caratterizza il grado di vulnerabilità ed è direttamente proporzionale alla lunghezza del percorso che l'inquinante compie per giungere allo strato saturo ed inversamente proporzionale alla velocità di filtrazione e alla dispersione cinematica che sono invece tipiche del mezzo. Durante il percorso dell'inquinante concorrono alla mitigazione dell'impatto la tipologia dell'insaturo, le interazioni molecolari dell'inquinante con l'ambiente, la diluizione eventuale che viene a determinarsi, ad esempio nel caso di abbondanti piogge.

La complessità e la variabilità dei vari parametri da prendere in considerazione, ha determinato la genesi di una miriade di metodi di valutazione della vulnerabilità, tutti finalizzati a descrivere in un qualsiasi scenario fisiografico, nel modo più semplice e oggettivo possibile, una zonizzazione per aree omogenee della vulnerabilità degli acquiferi dall'inquinamento.

Il principio su cui si basano tutti i metodi esistenti è quello di dare una valutazione ai diversi tipi di parametri presi in considerazione, valutazione che non può che essere arbitraria, con la quale si attribuiscono dei punteggi relativi alla funzione che il parametro assunto svolge nel contesto indagato.

L'assunzione dei parametri è pertanto legata alla possibilità di reperire gli stessi: in modo empirico, da fonti bibliografiche, tramite prove dirette di vario genere (carotaggi, prove di portata, piezometrie, granulometrie, prove di laboratorio ecc.). Sembrerebbe quindi che più parametri si utilizzano più ci si approssima ad un modello teorico vicino alla situazione reale. In realtà ciò vale per aree ristrette, ove la manipolazione di molti dati così complessi garantisce in effetti un risultato in sintonia con la mole di lavoro svolto. Per aree più estese, la comparazione dei diversi metodi su una stessa area campione, con l'utilizzo degli stessi dati, ha suggerito ai ricercatori che metodi relativamente semplici danno

risultati analoghi a metodi di più complessa applicazione.

La scelta del metodo è inoltre condizionata anche dalla possibilità di reperire in modo omogeneo su un territorio i valori necessari alla parametrizzazione. Quindi è inutile utilizzare un metodo complesso quando i valori necessari alla sua applicazione non coprono l'intero territorio d'indagine.

In tale metodo i fondamentali fattori presi in considerazione, che controllano la vulnerabilità sono:

- **l'accessibilità idraulica**, intesa come l'effettiva possibilità che un inquinante idroportato abbia per giungere nello strato saturo;
- **la capacità di attenuazione** dell'insaturo, ossia l'insieme dei processi che portano a diminuire la concentrazione dell'inquinante. Questi fattori si esplicano nella valutazione della vulnerabilità intrinseca tramite i seguenti parametri d'ingresso;
- tipo di acquifero (falda libera, confinata, semiconfinata...);
- litologia e grado di consolidazione dell'insaturo;
- soggiacenza.

Dalla elaborazione di tutti i fattori elencati l'area presenta una vulnerabilità media.

Estratto della tavola della vulnerabilità idrogeologica



LEGENDA VULNERABILITA'

GRADO DI VULNERABILITÀ						LITOLOGIA DI SUPERFICIE	PROFONDITÀ TETTO GHIAIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO
EE	E	A	M	B	Bb			
						Argilla	< 10 m	Falda a pelo libero o in pressione
						Limo-argilla	> 10 m	Falda in pressione
						Sabbia	> 10 m	Falda in pressione con soggiacenza > 5 m
						Limo	< 10 m	Falda a pelo libero o in pressione
						Sabbia	> 10 m	Falda a pelo libero o in pressione con soggiacenza > 5 m
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda in pressione
						Sabbia e Ghiaia	< 10 m	Falda a pelo libero
						Ghiaia	0 m	Alvei fluviali e bacini lacustri disperdenti

EE= Estremamente elevato E= Elevato A= Alto M= Medio B= Basso Bb= Bassissimo

14. INDAGINI GEOGNOSTICHE

I sondaggi costituiscono delle indagini dirette del sottosuolo finalizzate sia a ricostruire, attraverso l'elaborazione di particolari parametri, l'andamento litostratigrafico dei depositi sia a caratterizzare, almeno in linea di massima, dal punto di vista geotecnico i terreni interessati dai carichi delle fondazioni.

L'attrezzatura impiegata per le prove (C.P.T.) è costituita da un penetrometro statico-dinamico, tipo Gouda caratterizzato da una spinta nominale massima di 20 ton.

La prova trova generale applicazione nel campo della geotecnica per:

- 1) rilevare l'andamento stratigrafico lungo una verticale;
- 2) individuare i tipi di terreno attraversati;
- 3) interpolare l'andamento degli strati fra verticali di sondaggio.

I valori che si misurano possono inoltre essere utilizzati per valutare:

l'angolo di attrito e la compressibilità drenata dei terreni granulari;

- la densità relativa;
- il peso di volume saturo del terreno.

Per l'identificazione litologica dei terreni attraversati ci si avvale generalmente di correlazioni indirette che utilizzano sistemi di classificazione basati sui valori di resistenza dinamica alla punta Rpd.

I parametri geotecnici, valutati attraverso correlazioni empiriche, vengono utilizzati per estrapolare la capacità portante con l'ausilio di formule empiriche.

Per la determinazione della categoria del suolo di fondazione è stata realizzata una prova masw, spinta alla profondità di 30 m da p.c.

- ✓ conservazione in ambiente refrigerato;
- ✓ inoltro del campione al laboratorio di analisi.

15. STRATIGRAFIA DEL SITO IN ESAME

Dalle indagini litostratigrafiche effettuate si evidenzia:

▪ **LIVELLO A**

Strato superficiale rappresentato da una litozona limosa con presenza di materiale di riporto, che si intercetta fino ad una profondità pari a 0.90 m da p.c..

▪ **LIVELLO B**

I depositi che rappresentano il livello B sono costituiti da sabbie con lenti di ghiaia, che si riscontrano fino a fondo prova (10 m).

15. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Scopo dell'indagine è quello di caratterizzare la stratigrafia del sottosuolo e definire le proprietà geotecniche degli orizzonti attraversati. Sono state realizzate due prove penetrometriche statiche (C.P.T. 1 – C.P.T.2). E' stata realizzata una prova masw finalizzata alla determinazione della categoria di suolo di fondazione. Secondo il D.M. 17 gennaio 2018, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio, rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica devono essere esposti in una specifica relazione geologica e le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini e prove, che il progettista deve definire in base alle scelte tipologiche dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma ed i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, devono essere illustrati in una successiva e specifica relazione geotecnica.

Le indagini in sito hanno portato alla hanno consentito di definire le seguenti tematiche:

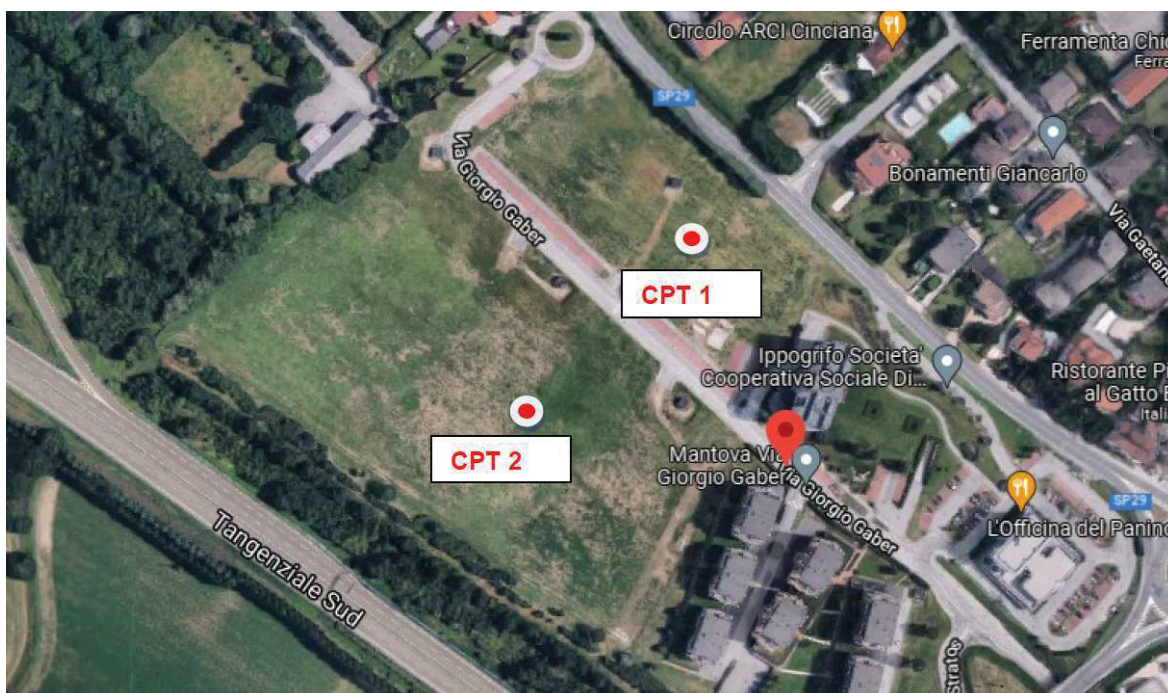
- caratterizzazione geologica, idrogeologica e geomorfologica;
- caratterizzazione litostratigrafica;
- analisi sismica del sito in esame;
- caratterizzazione geotecnica.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni in studio si è ottenuta considerando i sondaggi geognostici in sito, in particolare mediante la stima delle caratteristiche di resistenza al taglio e di deformabilità. A tal proposito sono state eseguite due prove penetrometriche statiche, spinte alla profondità massima di 10.00 metri dal piano campagna esistente, e una prova geofisica masw per la determinazione della V_{seq} .

Le indagini geognostiche eseguite hanno permesso di ricostruire il seguente modello geologico:

LITOSTRATIGRAFIA	
A	0.0 - 0.90 m deposito limoso con presenza di terreno di riporto
B	0.90 - 2.50 m deposito sabbioso con lenti di ghiaia

La falda è stata intercettata a circa 5.80 m da p.c..



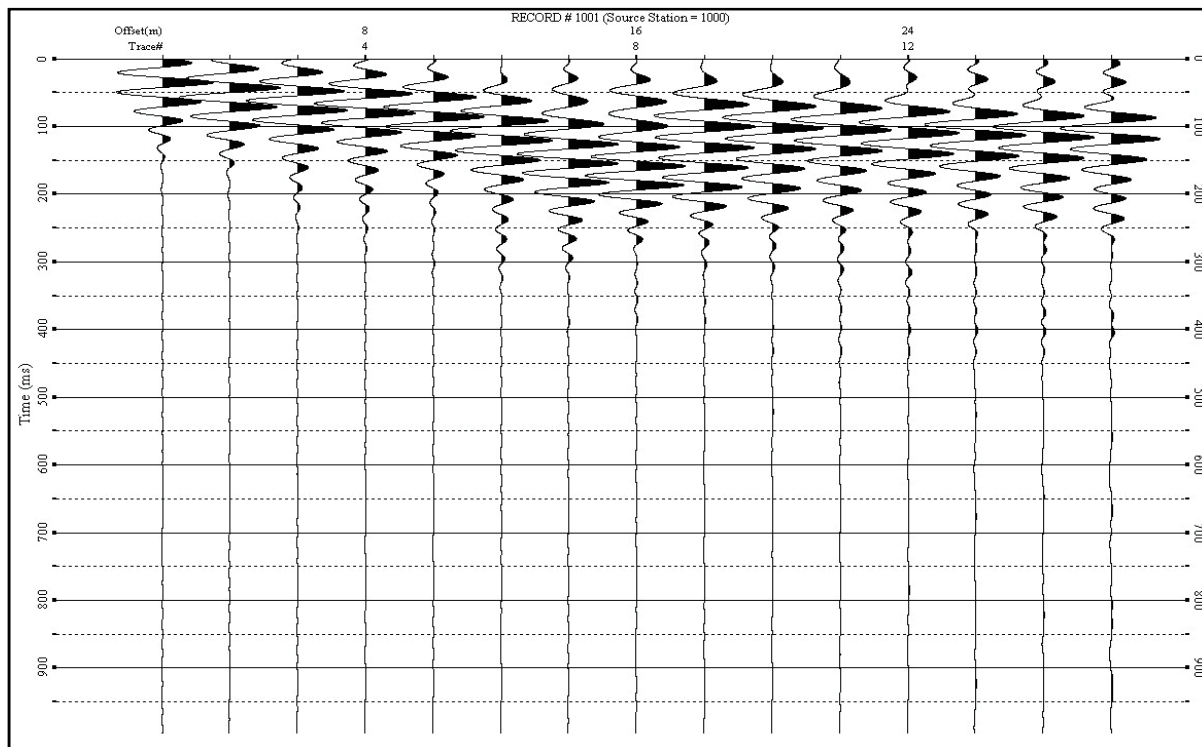
16. METODOLOGIA DI INDAGINE

La prova masw (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

Il metodo Masw sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.



- Sismogramma -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

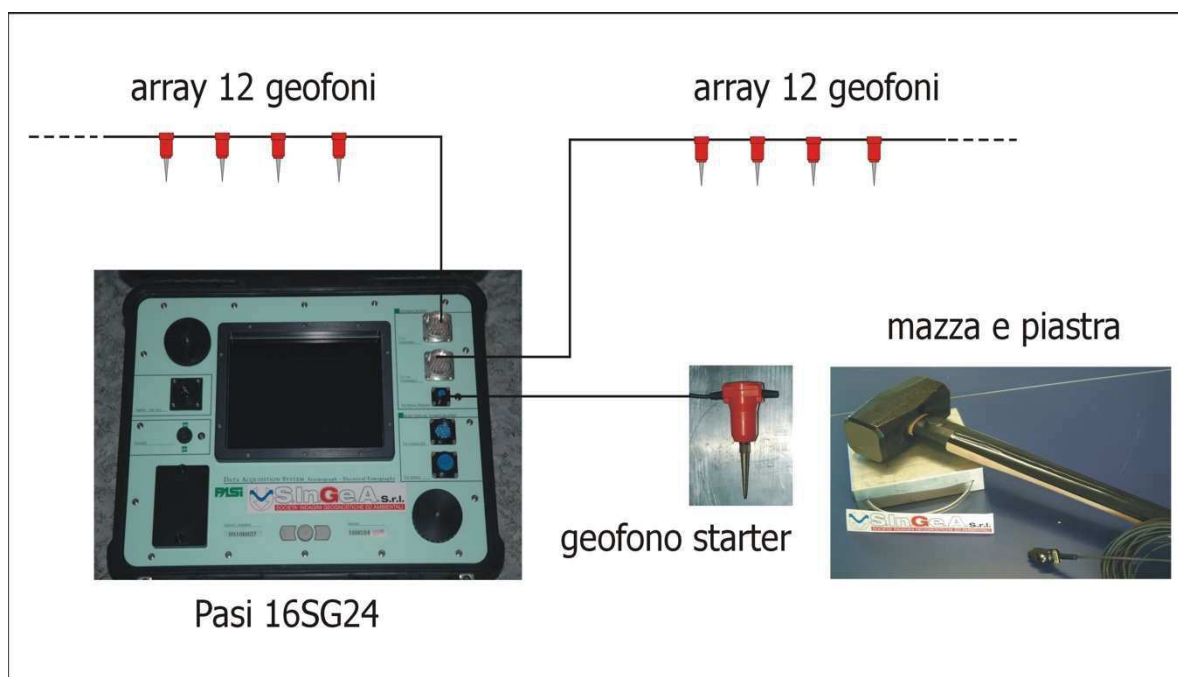
16.1 STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16SG24", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono trigger. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.



“PASI 16SG24” con due stringhe da 12 geofoni

16.2 ELABORAZIONE

L’elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*SurfSeis 2 – Kansas Geological Survey*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il “rumore” ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il sismogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri “passa basso”, “passa alto”, “passa banda”, “taglia banda”, il “muting”, l’ACG e i filtri tipo F-K (“fan cut”, “fun pass”, “horizontal e vertical cut”).

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d’onda con appropriata scala cromatica dell’ampiezza.

Il diagramma permette di visualizzare anche l’intervallo di lunghezza d’onda acquisito e il rapporto segnale-disturbo, utile per valutare la qualità dei dati. Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente tramite metodo manuale o semi-automatico.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità.

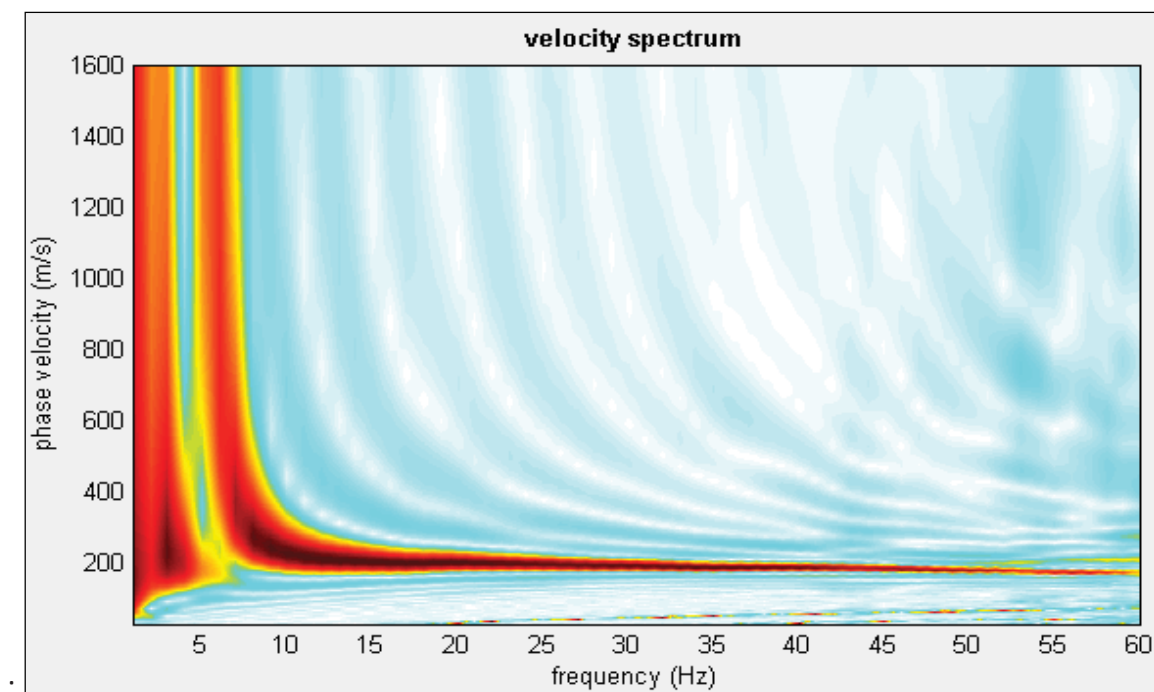
L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di un procedimento calcolo e un algoritmo di inversione (Xia et al. 1999a), che gestisce i parametri velocità di taglio (V_s) e spessore degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello geofisico in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile (errore quadratico medio inferiore al 5-10%) la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata.

In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle V_{s30} e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

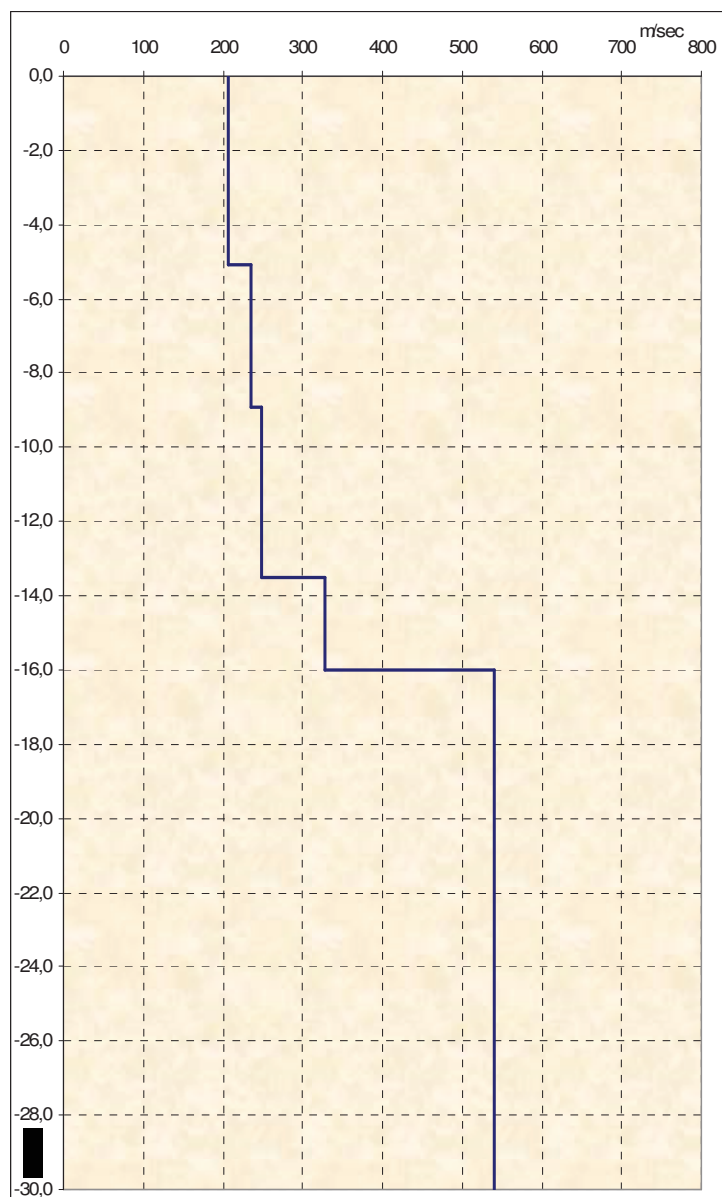
17 CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

Indagine Masw Sondaggio S1



Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-5,8	5,8	206
-8,9	3,8	235
-13,5	4,6	248
-16,0	2,5	328
-30,0	14,0	540

- diagramma velocità V_s /profondità -



Il valore V_{s30} è **322 m/sec**.

Secondo normativa la **categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

18. APPROFONDIMENTO DI 1° LIVELLO

Le condizioni locali possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti di cui si deve tener conto nella valutazione della pericolosità di un'area. Gli effetti indotti da particolari condizioni geologiche-morfologiche sono in grado di produrre danni diversificati su fabbricati con caratteristiche analoghe.

La procedura prevede la valutazione di vari gruppi di effetti locali:

- effetti di sito o di amplificazione sismica locale;
- effetti di instabilità;
- effetti di cedimenti e/o liquefazione.

Gli effetti di amplificazione sismica locale o di sito sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il terremoto di riferimento, relativo al bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con particolari condizioni locali.

Si distinguono gli effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica.

Gli effetti di amplificazione topografica verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali articolate e da irregolarità topografiche in generale.

Gli scenari di pericolosità sismica locale cui si correlano effetti di amplificazione litologica sono riportati nella Tab. 1 dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616 del 2011:

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	

Dalla verifica della tavola della pericolosità sismica località, realizzata a supporto del P.G.T., il sito in esame viene perimetrato in zona Z4a, per quanto riguarda la situazione

litostratigrafica e morfologica si rende necessario l'approfondimento di primo e secondo livello di approfondimento sismico, così come contemplato dalla normativa in vigore.

Le verifiche di seguito riportate tengono conto dei risultati di analisi provenienti da diverse aree disciplinari:

- ❖ geofisica (individuazione mediante prospezioni dei profili di velocità delle onde sismiche nei terreni - masw);
- ❖ geologia e geomorfologia (caratterizzazione dell'assetto stratigrafico e strutturale, delle litologie e della geomorfologia dei siti e della parametrizzazione geotecnica).

Lo studio geologico di supporto al P.G.T. presenta una prima tavola della pericolosità sismica (in scala 1:10.000), nella quale vengono riportate le diverse situazioni tipo, sulla base di quanto indicato nella Tabella 1 dell'Allegato 5.

Tale carta indica quindi le zone caratterizzate da diversi scenari in grado di determinare possibili effetti sismici locali.

Lo studio geologico realizzato a supporto del P.G.T. ha individuato per il sito in esame il seguente scenario (così come evidenziato al C. 4):

- Z4a – Zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali.

La carta di pericolosità sismica locale rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, in base a quanto stabilito dalla D.G.R. n. 9/2616 del 2011 e s.m.i.

SCENARIO Z4a

L'area d'intervento ricade in Z4a (1 livello di approfondimento), vengono intercettati depositi fini granulari con buoni parametri geotecnici, la falda viene individuata a 3.50 m da p.c, mentre gli effetti attesi sono legati all'amplificazioni litologiche.

19. APPROFONDIMENTO DI 2° LIVELLO

Per questo contesto la normativa prevede il secondo livello di analisi degli effetti sismici di sito. Il secondo livello si applica a tutti gli scenari suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche e litologiche) e riguarda le costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali; industrie con attività non pericolose, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione non provoca situazioni di emergenza.

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di F_a .

Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di F_a sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili. Nel caso oggetto di studio si dovrà considerare il fattore di amplificazione di riferimento per l'intervallo di periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s (edificio basso e regolare).

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Pertanto in fase di progettazione esecutiva si dovrà verificare il secondo livello di approfondimento.

20. SISMICITA'

INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

In questo settore i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali.

Nel settore settentrionale della pianura è presente il sistema di sovrascorrimenti S-vergenti che costituiscono la continuazione in pianura delle Prealpi Lombarde. Nella fascia meridionale si ha invece un pronunciato sistema di embricazione N-vergente che costituisce l'avanfossa pliocenica dell'Appennino settentrionale. I due sistemi entrano in collisione nella parte mediana della pianura; il fronte settentrionale è inquadrabile all'interno dei sistemi di deformazione del Miocene medio-superiore, quello meridionale è essenzialmente pliocenico.

A partire dalla fine del pleistocene inf. entrambi i margini del bacino padano sono in sollevamento in seguito alla formazione di un bacino flessurale più simmetrico.

La più importante area tettonica sorgente è rappresentata dall'area tirrenica e dalla zona appenninica interna, che sono state sottoposte a processi distensivi da miocene superiore in poi. A questa si associa lo spostamento della placca africana verso N al ritmo di circa 1 cm/anno. Secondo alcuni autori la localizzazione morfostrutturale dell'area padana rispetto al campo tensionale residuo in atto sarebbe dunque la causa principale della sismicità di queste zone.

NORMATIVE SISMICHE

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, entrata in vigore il 23/10/2005 contestualmente al Decreto Ministeriale 17/01/2018 "NTC", individuava in prima applicazione le zone sismiche del territorio nazionale. Con la D.G.R. 14 luglio 2014 il territorio comunale è stato inserito in zona sismica 3.

Nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione

a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa.

I dettami della nuova normativa (NTC del D.M. 17 gennaio 2018), la valutazione della pericolosità sismica si attua secondo un criterio sito dipendente, che tenga conto delle condizioni locali del sito; la pericolosità sismica deve essere cioè riferita al punto preciso, individuato all'interno del reticolo di riferimento i cui nodi, identificati in termini di latitudine e longitudine, non devono distare più di 10 Km l'uno dell'altro.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite in funzione dei tre parametri:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio (a_g/g);
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0);
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T_c).

Questi parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo i cui nodi non distano fra loro più di 10 Km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per i diversi periodi di ritorno.

L'accelerazione orizzontale di ancoraggio viene determinata sulla base della classificazione del terreno e può assumere quattro valori funzionali della zona sismica:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Il parametro S dipende invece dalle caratteristiche del suolo di fondazione secondo le seguenti caratteristiche.

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

Categoria di suolo di fondazione	PROFILO STRATIGRAFICO	V _{s30} (m/s)	N _{spt}	C _u (Kpa)
A	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.	>800		
B	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.	<800 >360	>50	>250
C	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.	<360 >180	<50 >15	<250 >70
D	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 m/s e 180 m/s.	<180	<15	<70
E	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 30m.			

Ad esso sono legati i valori assunti da periodi di vibrazione che caratterizzano la forma dello spettro di risposta. In funzione delle cinque classi di suolo proposte questi parametri assumono i seguenti valori:

Categoria suolo	S	T_B	T_C	T_D
A	1.0	0.15	0.40	2.0
B,C,D	1.25	0.15	0.50	2.0
E	1.35	0.2	0.80	2.0

21. AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_r espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PVR.

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.
- Ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $s_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nei periodi di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale.

A_g	A_g accelerazione orizzontale massima al sito
F_o	F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T_c	T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

22. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

Secondo normativa (D.M. 17.01.2018) la **categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C**

Categoria	Descrizione da d. m. 17/01/2018
C	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.

Sito in esame

latitudine:	45, 145841
longitudine:	10, 759474

Categoria topografica	T1
-----------------------	-----------

23. PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO

Dai sondaggi geognostici e dalla prova masw sono stati stimati i parametri sismici da impiegare nelle successive fasi di verifica, ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018. Di seguito viene riportato il valore a_g (accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni)

$$A_g = S_s S_t a_{\text{bedrock}}$$

Dove

a_{bedrock} = è l'accelerazione sismica orizzontale al bedrock;

S_t = è il fattore di amplificazione stratigrafica;

S_s = si determina in relazione alla categoria di sottosuolo.

Categoria sottosuolo	S_s
A	1
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 F_o \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 F_o \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 F_o \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 F_o \leq 1.60$

I parametri a_g , F_o e T_c sono riportati nelle tabelle relative al capitolo 7, mentre il parametro S_s risulta uguale a 1.50.

Il fattore S_t si ottiene direttamente dalla tabella del D.M. 17 gennaio 2018:

categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione opera o dell'intervento	S_t
T_1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$		1.00
T_2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	Sommità del pendio	1.20
T_3	Rilievi con larghezza in cresta molto minori che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	Cresta del rilievo	1.20
T_4	Rilievi con larghezza in cresta molto minori che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	Cresta del rilievo	1.40

24. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Sulla base dei risultati delle prove di carattere geotecnico (prove penetrometriche dinamiche) che hanno interessato i terreni che costituiscono il substrato di imposta dell'area d'intervento, è possibile associare la seguente caratterizzazione geotecnica alle litozone individuate.

Sono stati individuati terreni a matrice prevalentemente fine (coesiva – deposito argilloso) seguito da depositi sabbiosi con intervalli di lenti di ghiaia, caratterizzati da un drenaggio superficiale alto.

LIVELLO A DEPOSITO LIMOSO CON MATERIALE DI RIPORTO

Da 0 m da p.c. a 0.90 m da p.c..

γ	1.80 T/m ³	Peso unitario del terreno
γ'	0.80 T/m ³	Peso unitario del terreno in falda
Cu	0.45 Kg/cm ²	Coesione non drenata
c'	0.09 Kg/cm ²	Coesione drenata
M _o	60 Kg/cm ²	Modulo edometrico
V _s	170 m/sec	Velocità delle onde S

LIVELLO B. DEPOSITO SABBIOSO CON LENTI DI GHIAIA

Da 0.90 m da p.c. a 10.00 m da p.c..

γ	1.98 T/m ³	Peso unitario del terreno
γ'	0.97 T/m ³	Peso unitario del terreno in falda
ϕ	29°	Resistenza al taglio drenata
ϕ_{cv}	28°	Resistenza al taglio a volume costante
M	150 Kg/cm ²	Modulo edometrico
V _s	280 m/sec	Velocità delle onde S

25. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

Poiché ai terreni incoerenti sono associati generalmente valori del coefficiente di permeabilità relativamente elevati, l'applicazione di sovraccarichi graduali (per esempio dovuti alla costruzione di un fabbricato) non conduce a significativi incrementi di u . In questi casi infatti non si generano gradienti di pressione fra la zona sollecitata e quella indisturbata tali da produrre rapidi flussi idrici fra le due zone.

I vuoti dello scheletro solido sono quasi sempre sufficientemente larghi da non ostacolare questo flusso. Nel caso viceversa di sollecitazioni intense sottoposte ad incrementi rapidi, come si verifica durante un evento sismico, i gradienti di pressione che si generano possono essere tali da produrre elevati flussi idrici dall'interno verso l'esterno. Se il fenomeno si manifesta in depositi incoerenti a granulometria relativamente fine (es. sabbie fini), la larghezza limitata dei vuoti dello scheletro tenderà ad ostacolare il flusso idrico, con conseguente sviluppo di elevate pressioni neutre. Oltre alla granulometria, altri fattori condizionano la suscettibilità di un deposito sciolto al fenomeno della liquefazione.

I principali sono la profondità del livello potenzialmente liquefacibile ed il suo grado di addensamento. Con l'aumentare della profondità del deposito diminuisce la probabilità di liquefazione dello stesso durante l'evento sismico. I terreni molto addensati, se sollecitati, subiscono un aumento di volume (fenomeno di dilatazione) con conseguente diminuzione della densità che tende a portarsi verso un valore critico, variabile in funzione principalmente della granulometria del deposito. L'aumento di volume ha come conseguenza, nei depositi saturi, un richiamo dell'acqua dall'esterno verso l'interno, con creazione di una u di segno negativo (cioè si ha un aumento del termine $(\sigma_{vo}-u)$). L'esatto contrario avviene in terreni poco addensati, dove una sollecitazione tende a una u di segno positivo (diminuisce il valore di $(\sigma_{vo}-u)$).

Si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che presentano le seguenti caratteristiche:

- granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;

- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati;
- si trovano a profondità relativamente basse (inferiori a 15 m).

FATTORI LEGATI ALL'EVENTO SISMICO

In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per produrre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità: in terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con numero superiore di cicli di carico. In definitiva quindi una elevata magnitudo del sisma (maggiore intensità degli sforzi di taglio applicati al terreno) e una lunga durata dello stesso (maggior numero di cicli di carico) rendono più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito sabbioso saturo.

METODO DI CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE.

La verifica alla liquefazione è stata effettuata correlando la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione CRR e la resistenza ciclica indotta dal sisma CSR.

I parametri di input sono stati individuati sulla base delle esperienze acquisite, al fine di essere i più cautelativi:

$$M_w = 6.$$

Dai sondaggi geognostici si è valutato la resistenza alla liquefazione CRR; il potenziale di liquefazione lo si è ottenuto eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FS_L , definito dal rapporto CRR/CSR.

$$CRR = 0.022 \times (V_{s1}/100)^2 + 2.8 \times (1/V_{s1} - V_{s1} - 1/V_{s1})$$

$$CSR = 0.65 \times (a_{max})/(g) \times (\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}) \times r_d \times 1/(MSF \times K_\sigma)$$

dove:

a_{max} = accelerazione sismica di picco al piano campagna;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

σ_{vo}' = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

MFS = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma;

K_σ = coefficiente correttivo funzione delle tensioni efficaci alla profondità interessata.

g = gravità $9,81 \text{ m/sec}^2$

$r_d = 1 - 0.00765 \times z$;

K_σ = fattore ≤ 1 correttivo della pressione efficace geostatica

$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln(\sigma_v'/\text{Pa})$

$MSF = 6.9 \exp(-M/4) - 0.058$;

Il fattore di sicurezza alla liquefazione FS_L è definito dal rapporto CRR/CSR:

$$FS_L = CRR \cdot \frac{MSF}{CSR}$$

IL	rischio di liquefazione
$0 < IL \leq 2$	basso
$2 < IL \leq 5$	moderato
$5 < IL \leq 15$	elevato

Nella verifica eseguita è stato ottenuto un valore di $IL = 1.7$, indice di un rischio di liquefazione basso e il fattore di sicurezza $F_s > 1$ considerando una magnitudo di riferimento e un'accelerazione sismica secondo il D.M. 17 gennaio 2018.

26. CONSIDERAZIONI FINALI E PRESCRIZIONI

Lo Studio di Fattibilità Geologica ha valutato la compatibilità di nuovi interventi di edificazione, con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrografiche ed idrogeologiche dell'area e con quanto previsto sia dallo Studio Geologico allegato al P.G.T. comunale vigente, sia dallo studio di Microzonazione Sismica.

Sono state prese in esame le condizioni geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area di intervento. Mediante le indagini geognostiche eseguite è stato ricostruito il modello geologico-geotecnico e geofisico dell'area di progetto, che ha evidenziato una certa omogeneità dei terreni sia verticale che areale.

L'area di interesse è contraddistinta da buone condizioni di stabilità con sostanziale mancanza di fenomeni geomorfici in atto.

In relazione al modello geotecnico-sismostratigrafico e geomorfologico del sito sono state quindi definite la Categoria di Sottosuolo (C) e la Categoria Topografica (T1).

Per quanto concerne la stabilità del sito alla liquefazione sono state riscontrate condizioni per cui verificare l'indice di liquefazione che ha dato un indice basso (1.7).

Sulla base di quanto sopradescritto la destinazione alla trasformazione di tale area risulta compatibile con la Classe di Fattibilità Geologica individuata e con le Normative di Vincolo Geologico e di Pericolosità Sismica vigenti.

Essendo l'indagine geognostica eseguita necessariamente per punti, si richiede in fase di realizzazione dei singoli progetti, l'esecuzione puntuale delle indagini come richieste dalla normativa vigente.

Alla luce di quanto emerso dall'indagine è possibile affermare:

- Sotto il profilo idrogeologico la falda freatica è stata individuata alla profondità di circa 5.80 m da p.c: la stessa è soggetta ad una fluttuazione a seconda delle stagioni;
- la vulnerabilità idrogeologica è media per la permeabilità dei depositi in sito;

- la superficie interessata alla trasformazione urbanistica non presenta fenomeni geomorfologici attivi, l'area non è ha rischio idraulico.

Per la classe di fattibilità in cui ricade il lotto di progetto, e alla luce delle scelte progettuali e della destinazione d'uso, si sono esclusi fenomeni in atto e potenziali, in grado di modificare le caratteristiche idrogeologiche e idrografiche dell'area. Gli interventi di progetto, se idoneamente realizzati subordinatamente alle verifiche delle caratteristiche geotecniche, risultanti dalla campagna d'indagine prescritta, non risultano in grado di alterare le condizioni del sito in oggetto, né di instaurare situazioni di pericolo.

I futuri interventi dovranno rispettare la nuova normativa sull'invarianza idraulica, ai sensi del Regolamento Regionale n° 7 del 23 novembre 2017 e s.m.i., e dovranno osservare il D.M. 17.01.2018, sia per conoscere la portata limite effettiva dei terreni sia per verificare l'esatta entità dei cedimenti indotti dalle nuove imposizioni di carico.

Essendo la presente relazione redatta in fase di studio per un piano di attuativo e non essendo note esattamente le tipologie e le caratteristiche, tra cui le dimensioni e le ubicazioni esatte, degli edifici che verranno successivamente costruiti sull'area, la realizzazione di una qualunque struttura andrà puntualmente verificata sulla base delle necessità di progetto, ai sensi del D.M. 17.01.2018, sia per conoscere la portata limite effettiva dei terreni sia per verificare l'esatta entità dei cedimenti indotti dalle nuove imposizioni di carico.

Sulla scorta di quanto rilevato nell'ambito del presente studio e da quanto emerso dalle indagini in situ, si ritiene che l'area in esame possa, nel suo contesto geologico, idrogeologico e geomorfologico, essere considerata idonea alla trasformazione urbanistica.

San Giorgio Bigarello, Dicembre 2021

IL TECNICO

Dott. Geol. Rosario Spagnolo

ALLEGATI

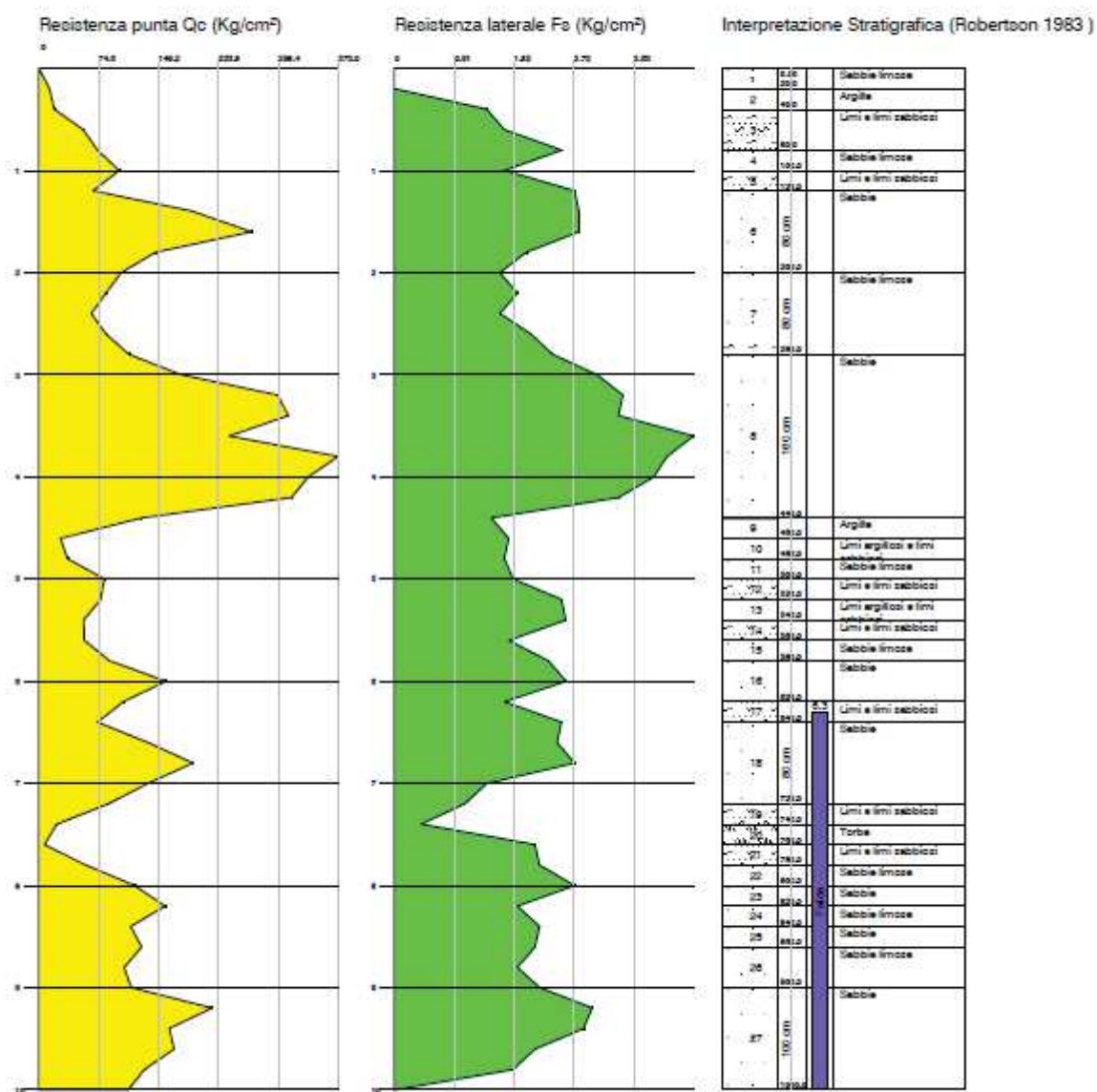
C.P.T. 1

Probe CPT - Cone Penetration CPT 1
Strumento utilizzato FAGANI TG 63 (200 kN)

Committente:
Cantiere:
Località:

Via Giorgio Gaber
Mantova (MN)

Data: 19/11/2021
Pag. 1 Scala 1:55



C.P.T. 2

Probe CPT - Cone Penetration CPT 2
Strumento utilizzato FAGANI TG 63 (200 kN)

Committente:
Cantiere:
Località:

Via Giorgio Gaber
Mantova (MN)

Data: 19/11/2021
Pag. 1 Scala 1:55

