
Proprietà

SAVILLS INVESTMENT MANAGEMENT SGR SpA

timbro e firma

Proprietà

KRYALOS SGR SpA

timbro e firma

Progettista

Ing. LUCA VARESI

timbro e firma



Work in Progress Srl
Corso di Porta Romana, 6
20122 Milano
t +39 02 78621700
www.wip.it

committente

SAVILLS IM SGR SpA - KRYALOS SGR SpA

**COMUNE DI
CORNAREDO (MI)
PIANO ATTUATIVO
"ARU.4-EX ALEMAGNA"**

commessa file

23-06 EXA EXA-DA1-T06-A.docx

data emissione revisione redatto controllato approvato

15.01.2026 A RP LPP LV

PIANO ATTUATIVO

**STUDIO DI FATTIBILITÀ
GEOLOGICA E SISMICA**

cod. elaborato

DA1 T06

SoilData

STUDIO ASSOCIATO

CONSULENZE GEOLOGICO-TECNICHE
MISURE GEOTECNICHE IN SITO

DR. GEOL. GIOVANNI GIORGI
DR. GEOL. ROBERTO PREVIATI

COMUNE DI CORNAREDO (MI)

AMBITO ARU.4

AREA EX ALEMAGNA

PROPOSTA DI PIANO ATTUATIVO

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
ai sensi della DGR 2616/2011 e del DM 17.01.18**

15 gennaio 2026

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
3	FATTIBILITÀ GEOLOGICA E REGIME VINCOLISTICO	7
3.1	<i>Vincoli</i>	7
3.2	<i>Fattibilità geologica</i>	10
4	CRITICITÀ IDRAULICA	13
4.1	<i>Assetto idrografico</i>	13
4.2	<i>Direttiva alluvioni</i>	15
4.3	<i>Piano di assetto idrogeologico</i>	16
5	PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	18
5.1	<i>Primo livello di approfondimento</i>	19
5.2	<i>Secondo livello di approfondimento</i>	21
5.2.1	DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO E DEL PERIODO PROPRIO DI SITO	22
5.2.2	INDIVIDUAZIONE DELLA SCHEDA DI VALUTAZIONE SEMPLIFICATA.....	23
5.2.3	CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE LOCALE	24
5.2.4	CONFRONTO TRA I VALORI CALCOLATI ED I VALORI DI SOGLIA COMUNALE.....	26
6	ASSETTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	29
7	ASPETTI GEOTECNICI	48
8	ASPETTI SISMICI	55
8.1	<i>Sismicità storica</i>	55
8.2	<i>Sismicità recente</i>	56
8.3	<i>Contesto geodinamico e sorgenti sismogenetiche</i>	58
8.4	<i>Faglie capaci</i>	62
8.5	<i>Sismicità di base dell'area</i>	64
8.6	<i>Effetti sismici di sito</i>	67
8.6.1	AMPLIFICAZIONI STRATIGRAFICHE	67
8.6.2	FENOMENI DI LIQUEFAZIONE	67
9	GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA	70

1 INTRODUZIONE

La presente relazione concerne lo "Studio di fattibilità geologica e sismica" allegato alla proposta di Piano Attuativo dell'ambito ARU.4 "Ex Alemagna" del PGT del Comune di Cornaredo.

Il sito oggetto di Pianificazione Attuativa è un'area a destinazione industriale ubicata tra le vie Monzoro e Merendi, a sud del Canale Scolmatore di Nord Ovest e in prossimità del Comune di Settimo Milanese. L'area ospitava, a partire dagli anni Sessanta del secolo scorso, gli stabilimenti produttivi dell'azienda alimentare Alemagna. A partire dagli anni Novanta, il sito ha attraversato una fase di crisi che ha portato al suo quasi completo abbandono. Il piano attuativo proposto prevede il recupero dell'area con insediamento di funzioni produttive e tecnologiche di alta qualità.

Nella sua configurazione originale, il sito prevedeva una grande piastra produttiva nella porzione Nord ed un secondo edificio di dimensioni minori posto a Sud dell'area. I due edifici erano collegati da una manica edilizia oggi non più esistente. L'intero edificio Nord è stato recentemente demolito, mentre l'edificio Sud risulta ancora, seppure in minima parte attivo.

L'area di intervento si trova ad una quota di p.c. compresa tra circa +138.5 m s.l.m. a nord e circa +136.0 m s.l.m. a sud ed è evidenziata da un perimetro rosso nella seguente immagine satellitare.



Figura 1 – Ubicazione dell'area di progetto

Il planivolumetrico proposto ricalca parzialmente l'originaria suddivisione dell'area in due lotti, cogliendo al tempo stesso le indicazioni della pianificazione urbanistica comunale (PGT) che

prevedono un'interruzione della lunga cortina edilizia e l'inserimento, tra le due porzioni, di una piastra a servizi, principalmente destinata a parcheggio. I due volumi edilizi di nuova realizzazione sono concepiti come edifici produttivi e terziari multipiano con altezza massime comprese tra 35 e 40 m. Il sito ospiterà inoltre le attrezzature tecnologiche a corredo delle attività principali. Per il lotto sud è ipotizzata la realizzazione di un piano interrato con piano di calpestio a circa -3.25 m dal piano strada.

Di seguito si mostra la proposta planivolumetrica di progetto.

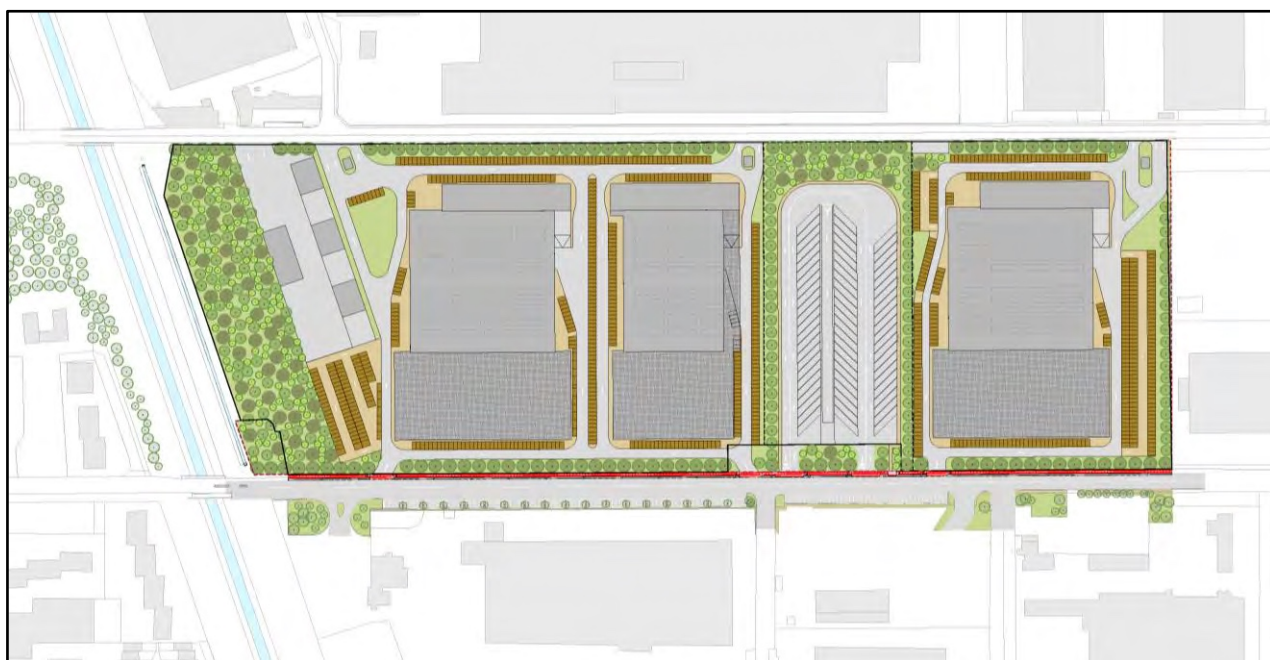


Figura 2 – planivolumetrico

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- [1] D.M. Infrastrutture e trasporti 30.04.20 – Approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 -bis, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93.
- [2] Circolare 21.01.19 n° 7 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.18.
- [3] D.M. Infrastrutture e trasporti 17.01.18 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- [4] Circolare 02.02.09 n°617 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.08.
- [5] D.M. Infrastrutture e trasporti 14.01.08 – Norme tecniche per le costruzioni.
- [6] D.G.R. 15.02.2021 – n° XI/4317 – Indirizzi per l'uniforme applicazione del D.M. Infrastrutture e trasporti 30.04.20 “Approvazione delle linee guida per l'individuazione, dal punto di vista strutturale, degli interventi di cui all'articolo 94 -bis, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, nonché delle varianti di carattere non sostanziale per le quali non occorre il preavviso di cui all'articolo 93
- [7] Circolare Regione Lombardia 28.01.20 n° 1 – Profili applicativi in materia di opere o costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche di cui alla l.r. 33/2015 a seguito dell'entrata in vigore della l. 156/2019, della l.r. 21/2019 e della d.g.r. XI/2584/2019
- [8] D.d.u.o. 22.05.19 n° 7237 – Aggiornamento del D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904
- [9] D.d.u.o. 28.11.2018 n. 17589 - Aggiornamento della modulistica approvata dalla D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001 “Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica”
- [10] D.G.R. 30.03.2016 – n° X/5001 – Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica.
- [11] L.R. 12.10.2015 n° 33 – Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche.
- [12] D.G.R. 11.07.2014 – n° X/2129 – Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.
- [13] D.d.u.o. 21.11.13 n° 19904 – Approvazione elenco delle tipologie degli edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico e di quelli che possono assumere rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso in attuazione della D.G.R. n° 19964 del 7.11.03

[14] D.G.R. 30.11.2011 n° IX/2616 – Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio.

3 FATTIBILITÀ GEOLOGICA E REGIME VINCOLISTICO

Nei paragrafi seguenti vengono esaminate le relazioni dell'area di intervento con gli aspetti relativi ai vincoli idrogeologici ed alla fattibilità geologica, desunti dalla componente geologica di supporto al PGT del comune di Cornaredo.

Il vigente PGT del comune di Cornaredo, adottato con delibera del Consiglio Comunale n° 27 del 12/11/2018 è stato definitivamente approvato con delibera del Consiglio Comunale n° 13 del 04/04/2019.

In data 2/04/2025 è stato avviato il procedimento di redazione di un nuovo Documento di Piano di Governo del Territorio, dal 27/11/25 al 10/01/2026 il Rapporto Ambientale e la Sintesi non tecnica inerente il procedimento di VAS del Documento di Piano del Piano di Governo del Territorio, unitamente alla Proposta di Piano sono stati pubblicati sul sito internet del Comune di Cornaredo <https://comune.cornaredo.mi.it/documento/documento-di-piano-2025/> e sull'applicativo regionale "Sistema informativo lombardo per la Valutazione Ambientale di Piani e programmi" (SIVAS) <https://www.sivas.servizirl.it/sivas>.

3.1 Vincoli

Il sito *Ex Alemagna*, evidenziata da un perimetro rosso nella figura seguente (cfr. *Figura 3*), desunta dalla carta dei vincoli della componente geologica del PGT vigente, è soggetto alle limitazioni connesse ai seguenti vincoli derivanti dal PTCP:

- **Art.38 – Ciclo delle acque**
 - *Ambiti di rigenerazione della risorsa idrica (3.b)*
 - *Ambiti degli acquiferi a vulnerabilità molto elevata (3.c)*
- **Art.39 – Aree dismesse e aree di bonifica**
 - Le aree dismesse in fase di modifica dovranno essere sottoposte alle analisi di caratterizzazione secondo le procedure del D.Lgs. n. 152/06 "Norme in materia ambientale" – Titolo V parte quarta – siti contaminati – valori di riferimento: Tab. 1 – colonne A e B – Allegato 5 del Titolo V

Per gli **ambiti sottoposti a vincolo connesso al ciclo delle acque** (Art. 38 PTCP) il PTCP definisce i seguenti obiettivi:

- a. *Prevedere soluzioni progettuali che regolino il deflusso dei drenaggi urbani verso i corsi d'acqua, anche individuando aree in grado di fermare temporaneamente le acque nei periodi di crisi e bacini multifunzionali fitodepuranti;*

- b. *Prevedere, ove possibile negli impianti di depurazione di progetto, l'adozione del trattamento terziario e di processi di fitodepurazione o di lagunaggio;*
- c. *Promuovere il risparmio idrico, la distinzione delle reti di distribuzione in acque di alto e basso livello qualitativo e interventi di riciclo e riutilizzo delle acque meteoriche nei nuovi insediamenti.*
- d. *Promuovere l'integrazione tra pianificazione territoriale e pianificazione dei servizi idrici, di fognatura e depurazione.*

Per tali ambiti vencono inoltre definiti i seguenti indirizzi:

- **3.b** – Negli *Ambiti di rigenerazione prevalente della risorsa idrica* favorire l'immissione delle acque meteoriche nel reticolo idrico superficiale. Nelle eventuali trasformazioni urbanistiche e infrastrutturali è necessario valutare le alterazioni al regime delle acque sotterranee e verificare i relativi effetti anche nelle aree limitrofe, eventualmente introducendo adeguati correttivi al progetto di intervento;
- **3.c** – Negli *Ambiti degli acquiferi a vulnerabilità molto elevata* è necessario approfondire ed evidenziare anche nella relazione geologica del PGT la tematica della permeabilità dei suoli ed introdurre eventuali limitazioni o condizionamenti alle trasformazioni stesse.

Per le **aree dismesse e di bonifica**, vencono definiti i seguenti indirizzi:

- Recuperare le aree dismesse e da bonificare, in coerenza con le indicazioni per il contenimento di consumo di suolo e qualificazione delle trasformazioni urbane di cui al titolo IV, parte II;
- Verificare la fattibilità e compatibilità degli interventi urbanistici che eventualmente ricadono in tali aree.

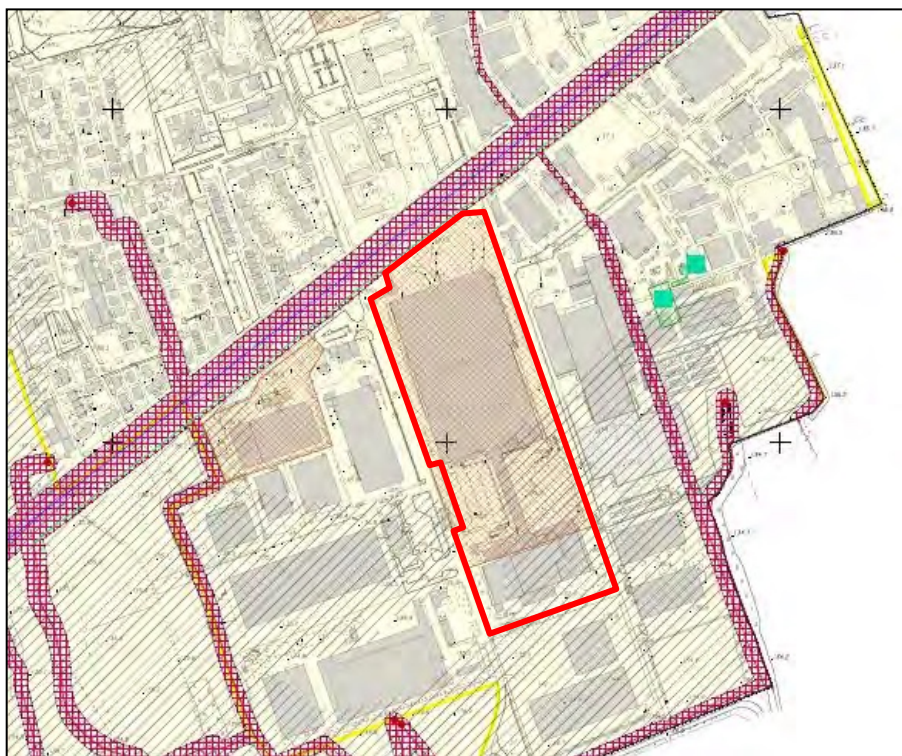


Figura 3 – Carta dei vincoli - PGT di Cornaredo

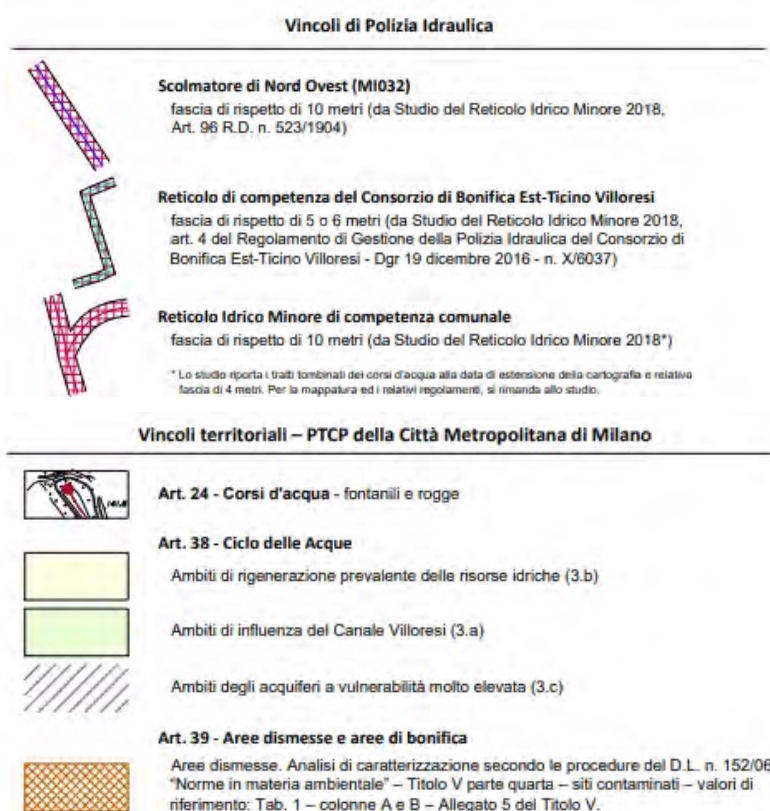


Figura 4 – Carta dei vincoli - PGT Cornaredo (LEGENDA)

3.2 Fattibilità geologica

Nello studio geologico di supporto al vigente PGT del comune di Cornaredo, di seguito riportato in estratto (cfr. *Figura 5*), l'ambito di progetto è compreso all'interno della seguente classe:

• **Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni** - Zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Nello specifico, l'area di progetto ricade nella seguente sottoclasse:

• **Sottoclasse 3b – Settori con elevata permeabilità e ridotta soggiacenza della falda, con valori inferiori a 4 m dal p.c.**

Per tale sottoclasse le Norme Geologiche del vigente PGT del comune di Cornaredo precisano:

Per le aree ricadenti in questa classe, l'edificabilità può comunque essere generalmente attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica o geotecnica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze di indagini geognostiche, idrogeologiche e geotecniche puntuali che dovranno valutare puntualmente le condizioni limitative caratteristiche di questa classe.

In questa classe di fattibilità, preliminarmente ad ogni intervento edificatorio, dovranno essere eseguiti studi che, oltre ottemperare a quanto richiesto in merito dal D.M. 17 gennaio 2018, dovranno essere finalizzati alla definizione della profondità, morfologia e consistenza del substrato di fondazione, previa esecuzione di idonee indagini geognostiche (quali sondaggi e prove penetrometriche).

Le indagini geologiche e geotecniche dovranno in ogni caso consentire la definizione della locale situazione idrogeologica e dei parametri geomeccanici caratteristici, da utilizzare per il corretto dimensionamento delle strutture fondazioni, con verifiche geotecniche finalizzate al calcolo della capacità portante e dei cedimenti in relazione ai carichi di progetto e dall'analisi dei fenomeni di stabilità dei versanti.

È inoltre richiesta in sede progettuale l'esecuzione di:

- *verifica di stabilità dei fronti di scavo;*
- *verifica delle opere di smaltimento delle acque superficiali;*
- *verifica delle opere di sostegno e stabilizzazione*

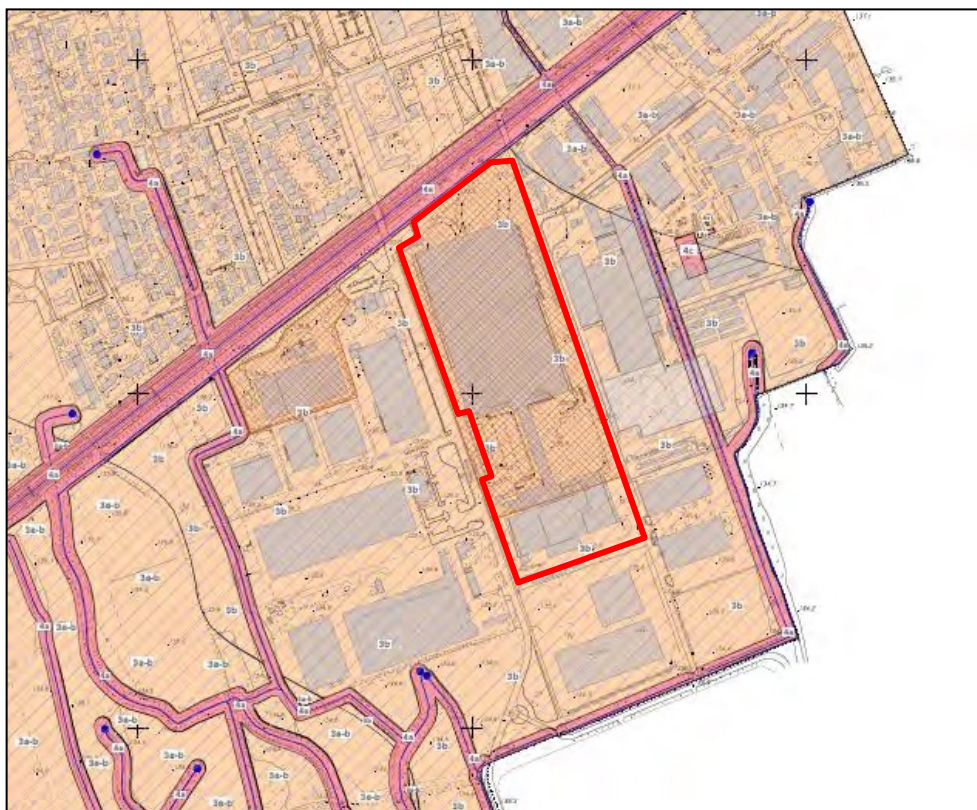





Figura 5 – Fattibilità geologica- PGT Cornaredo

Indicazioni sulla Fattibilità Geologica	
Classe 4 (ROSSA) - FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI	
	L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti.
	4a Reticolo idrico e aree di emergenza di falda <i>Fascia di rispetto (da Studio Reticolo Idrico Minore, 2018)</i>
	4b Aree scavate e /o parzialmente riempite ed aree oggetto di escavazione
	4c Settori interessati da piani di caratterizzazione, bonifica, messa in sicurezza permanente o analisi di rischio
Classe 3 (ARANCIONE) - FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI	
	La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.
	3a Settori con ridotta capacità portante con primo sottosuolo poco addensato fino a 3 m dal p.c.
	3b Aree con elevata permeabilità e ridotta soggiacenza relativa della falda
	3c Area campo pozzi di Via Pastrengo
Classe 2 (GIALLA) - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI	
	La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico / costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.
	2a Aree con discreta capacità portante e soggiacenza della falda mediamente superiore a 4 m dal p.c.

CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Classi di Fattibilità Geologica	Principali caratteristiche	Problematiche	Parere di edificabilità	Indagini di approfondimento
CLASSE 4				
Gravi limitazioni				
Sottoclasse 4a Reticolo idrico Aree con emergenza idrica	<ul style="list-style-type: none"> Aree definite dallo Studio del Reticolo Minore Affioramenti idrici – Teste di fontanili 	<ul style="list-style-type: none"> Aree di salvaguardia idraulica R.D. 523/904 Elevata vulnerabilità idrogeologica 	<ul style="list-style-type: none"> Gravi limitazioni all'utilizzo Esclusa nuova edificazione Solo opere di salvaguardia Gravi limitazioni all'utilizzo Esclusa nuova edificazione Solo opere di salvaguardia 	<ul style="list-style-type: none"> Indagini geognostiche specifiche Verifiche di compatibilità idraulica Analisi idrogeologica di dettaglio
Sottoclasse 4b Aree scavate e/o parzialmente riempite ed aree oggetto di escavazione	<ul style="list-style-type: none"> Aree depresse e/o morfologicamente modificate 	<ul style="list-style-type: none"> Materiali di riempimento non definiti Scadenti caratteristiche geotecniche 	<ul style="list-style-type: none"> Gravi limitazioni con specifiche opere di salvaguardia 	<ul style="list-style-type: none"> Indagini geognostiche (penetrometrie-sondaggi – geofisiche-misure piezometriche) Verifiche stabilità di scavo Verifica opere di smaltimento acque superficiali Verifica materiali di riempimento Caratterizzazione e progetto di bonifica D. Lgs. 152/06
Sottoclasse 4c Settori interessati da piani di caratterizzazione e/o bonifica	<ul style="list-style-type: none"> Aree oggetto di specifici interventi 	<ul style="list-style-type: none"> Caratterizzazione ambientale Interventi di messa in sicurezza/bonifica/AdR 	<ul style="list-style-type: none"> A seguito di certificazione di avvenuta bonifica o Analisi di Rischio sanitario-ambientale 	<ul style="list-style-type: none"> Indagini geologiche specifiche D.Lgs n. 152/06 Analisi chimiche di riferimento (CSC e/o CSR)
CLASSE 3				
Consistenti limitazioni				
Sottoclasse 3a Settori con ridotta capacità portante con primo sottosuolo poco addensato fino a 3.00m dal p.c.	<ul style="list-style-type: none"> Aree comprensive di una coltre superficiale di terreni limo-argillosi dell'ordine di 3.00 metri 	<ul style="list-style-type: none"> Terreni disomogenei con scadenti caratteristiche geotecniche 	<ul style="list-style-type: none"> Consistenti limitazioni con specifiche opere di salvaguardia 	<ul style="list-style-type: none"> Indagini geognostiche (penetrometrie-sondaggi – geofisiche) Verifiche stabilità di scavo Verifica opere di smaltimento acque superficiali Verifica delle opere di sostegno e stabilizzazione
Sottoclasse 3b Aree con elevata permeabilità con ridotta soggiacenza relativa della falda	<ul style="list-style-type: none"> Aree morfologicamente depresse 	<ul style="list-style-type: none"> Materiali con scadenti caratteristiche geotecniche Scarsa protezione superficiale Soggiacenza falda inferiore a 4.00m dal p.c. 	<ul style="list-style-type: none"> Consistenti limitazioni con specifiche opere di salvaguardia 	<ul style="list-style-type: none"> Indagini geognostiche (penetrometrie-sondaggi – geofisiche-misure piezometriche) Verifiche stabilità di scavo Verifica opere di smaltimento acque superficiali Verifica opere di regimazione idraulica
Sottoclasse 3c Area campo pozzi	<ul style="list-style-type: none"> Aree interessate da impianti di prelievo idrico uso pubblico 	<ul style="list-style-type: none"> Salvaguardia ambientale 	<ul style="list-style-type: none"> Consistenti limitazioni con specifiche opere di salvaguardia e relativi impianti pertinenti 	<ul style="list-style-type: none"> Verifica opere di smaltimento acque superficiali Verifica opere di regimazione idraulica Specifiche analisi di protezione ambientale
CLASSE 2				
Modeste limitazioni				
Sottoclasse 2a Aree con discreta capacità portante e soggiacenza della falda mediamente superiore a 4.00m dal p.c.	<ul style="list-style-type: none"> Aree con ridotta copertura limo-argillosa 	<ul style="list-style-type: none"> Caratteristiche geotecniche non sempre ottimali (aree eterogenee) 	<ul style="list-style-type: none"> Con attenzione alle specifiche problematiche 	<ul style="list-style-type: none"> Indagini geognostiche Valutazione della capacità portante dei terreni

Figura 6 – Fattibilità geologica - PGT Cornaredo (LEGENDA)

4 CRITICITÀ IDRAULICA

4.1 Assetto idrografico

L'assetto idrografico del sito di progetto è caratterizzato dagli elementi mostrati nello stralcio della Carta di individuazione dei reticoli idrici di seguito riportata.

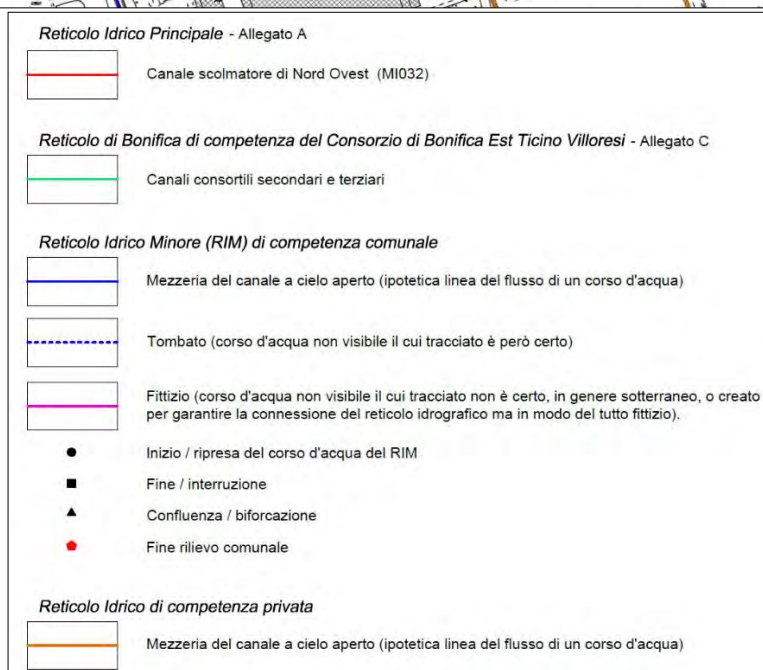


Figura 7 – Stralcio Carta di individuazione dei reticoli idrici – PGT Cornaredo

Come osservabile nello stralcio cartografico sopra mostrato gli elementi idrografici significativi per il sito di progetto sono costituiti dal **Canale Scolmatore delle Piene di Nord Ovest – MI032** – facente parte del reticolo idrico principale, e dal **Canale consortile terziario 2bis – Settimo** di competenza del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi che scorrono immediatamente a nord del sito di progetto. La carta individua inoltre due canali privati confinanti ad est e ad ovest con il sito di progetto. Sugli elementi idrografici afferenti al reticolo principale al reticolo consortile ed al reticolo idrico minore di competenza comunale vigono le fasce di rispetto indicate nello stralcio cartografico di seguito mostrato.

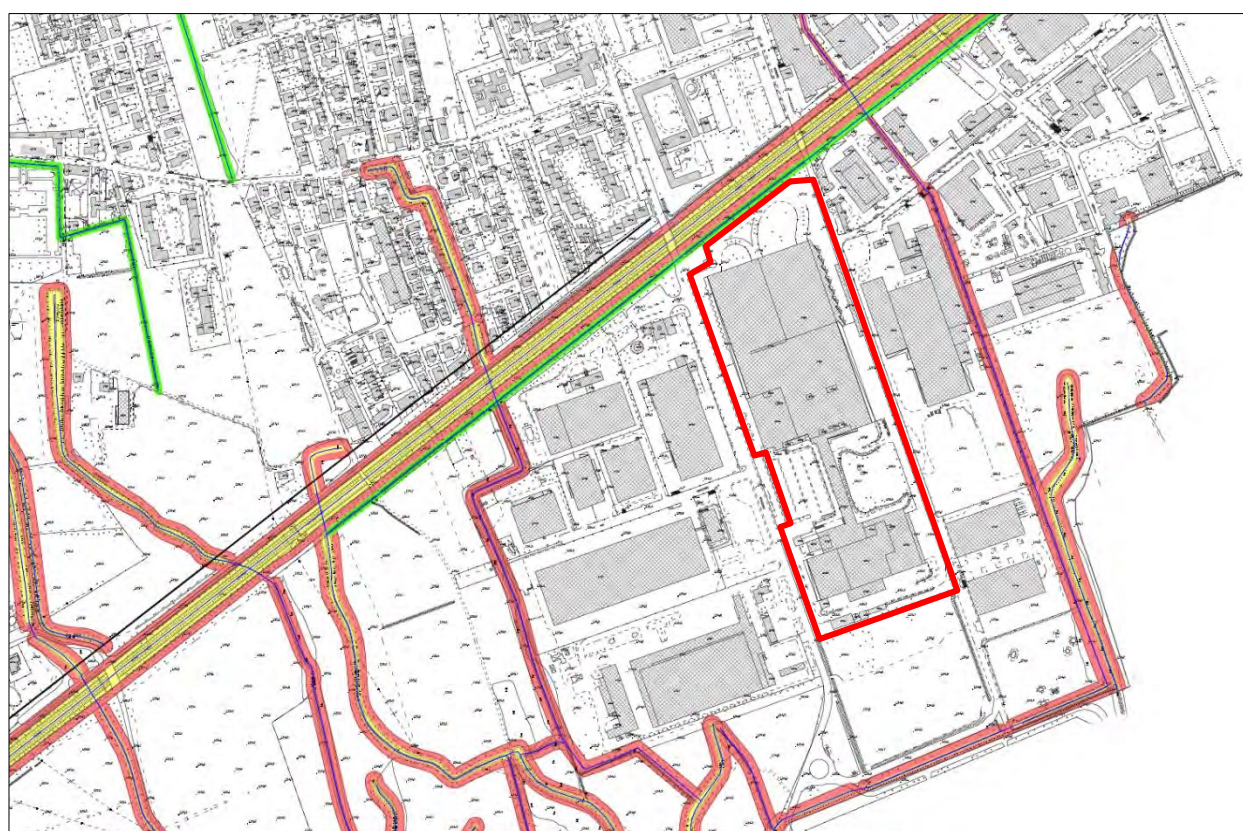


Figura 8 – Stralcio Carta di individuazione delle fasce di rispetto – PGT Cornaredo

4.2 Direttiva alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è stato adottato con deliberazione n.4 nella seduta del 17 dicembre 2015 e approvato con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni è lo strumento operativo previsto dal d.lgs. 49/2010, in 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 alluvione si intende qualsiasi evento che provoca un allagamento temporaneo di un territorio non abitualmente coperto dall'acqua, purché direttamente imputabile a cause di tipo meteorologico. Per il Distretto Padano, cioè 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).

Le azioni del PGRA (misure) sono classificate in quattro tipologie, che corrispondono alle quattro fasi di gestione del rischio alluvioni:

- prevenzione (es. vincoli all'uso del suolo)
- protezione (es. realizzazione di opere di difesa strutturale)
- preparazione (es. allerte, gestione dell'emergenza)
- ritorno alla normalità e analisi (es. valutazione e ristoro danni, analisi degli eventi accaduti).

Questa classificazione risponde alla richiesta di organizzare la gestione del rischio alluvioni in modo condiviso a livello nazionale ed europeo.

In particolare, il PGRA contiene:

- la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio e una diagnosi delle situazioni a maggiore criticità;
- il quadro attuale dell'organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni e una diagnosi delle principali criticità;
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi.

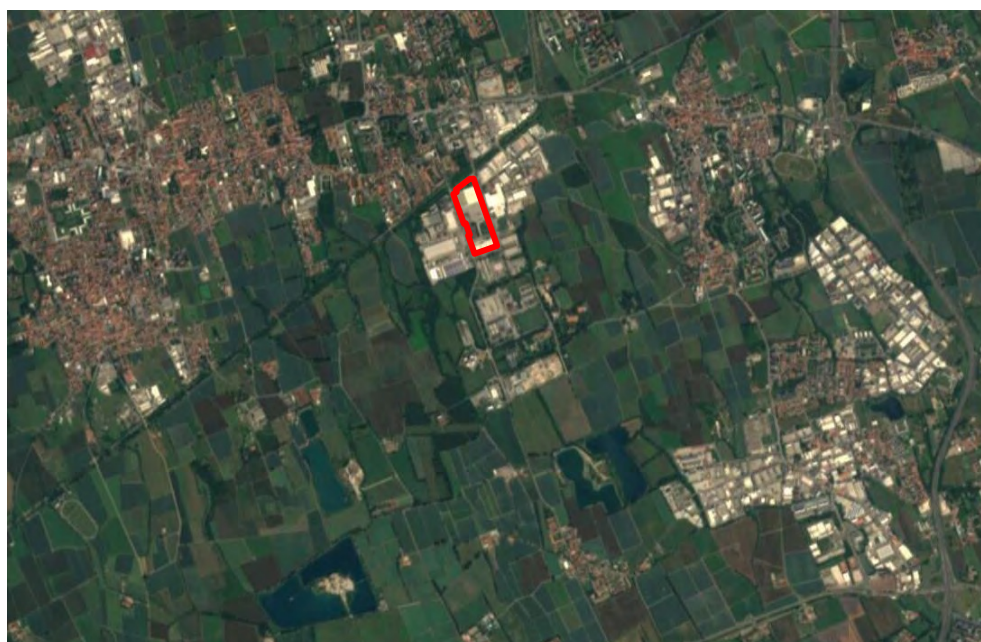
Nella seguente immagine, riportante uno stralcio riferito all'area di studio della mappatura di pericolosità "Direttiva Alluvioni 2007/60/CE – PGRA vigente" con revisione ultima effettuata il 19/09/2023 desunta dal viewer geografico del geoportale di Regione Lombardia, si evidenzia che l'area di progetto, evidenziata da un perimetro rosso, non è soggetta a criticità idrauliche.



Figura 9 – Stralcio PGRA – Piano di gestione del rischio di alluvioni – Geoportale Autorità di bacino distrettuale fiume Po

4.3 Piano di assetto idrogeologico

Uno stralcio relativo all'area in esame del vigente Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po – PAI -, aggiornato al 01/06/2023 a partire dalla versione originale approvata con DPCM 24 maggio 2001, evidenzia come l'area di intervento, indicata con perimetro rosso, non ricada in alcuna fascia PAI.



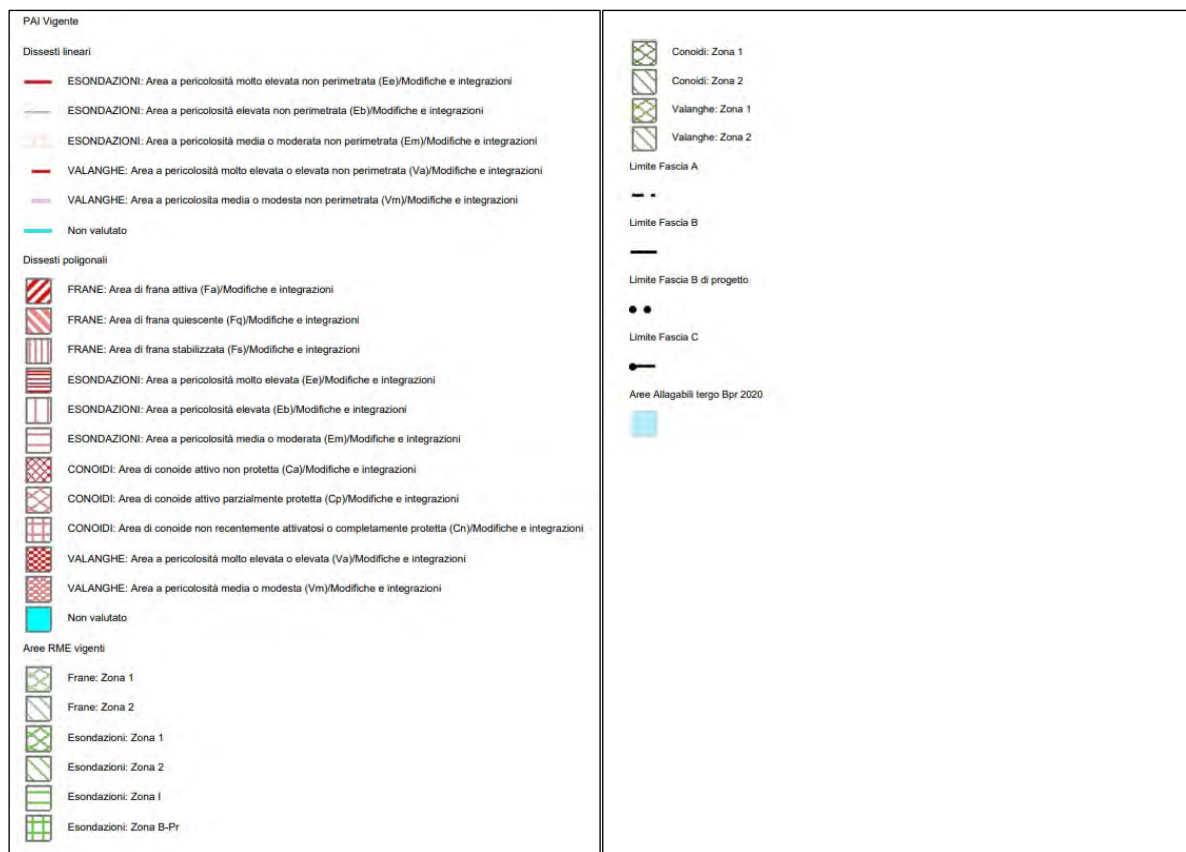


Figura 10 – Stralcio PAI – Piano di assetto idrogeologico – Geoportale ADB fiume Po

5 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Secondo la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia, di cui alla d.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”, il comune di Cornaredo risulta classificato in **zona sismica 4**.

Per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica sitospecifica, la procedura di cui al punto 1.4.4 dell’Allegato B alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 “Sintesi delle procedure”, prevede l’applicazione di tre livelli di approfondimento sismico con grado di dettaglio crescente in funzione della zona sismica di appartenenza, come illustrato nella tabella seguente.

	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	<ul style="list-style-type: none"> - Nelle aree indagate con il 2^ livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e 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)	<ul style="list-style-type: none"> - 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

Tabella 1 – sintesi delle procedure

Il primo livello è obbligatorio per tutti i Comuni indipendentemente dalla Zona sismica di appartenenza e consiste nella individuazione degli areali suscettibili di effetti di amplificazione sismica locale sitospecifica (zone PSL) come di seguito descritto.

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 dellizio-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 2 – Zone PSL

Il secondo livello è obbligatorio per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3 per tutti gli interventi ubicati negli scenari PSL, individuati attraverso il 1° 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. Nella zona sismica 4 l'approfondimento di 2° livello è obbligatorio solo per edifici e infrastrutture strategiche e/o rilevanti di nuova previsione ricadenti all'interno degli scenari PSL Z3 e Z4.

Il 3° livello, demandato alla fase progettuale, è obbligatorio per gli interventi ubicati nelle zone PSL Z3 e Z4 quando l'approfondimento sismico di 2° livello determina fattori di amplificazione superiori ai valori di soglia comunale definiti da Regione Lombardia e per tutti gli interventi ubicati nelle zone PSL Z1 e Z2; nelle zone sismiche 2 e 3 tale obbligo è esteso a tutte le tipologie di edifici e strutture, mentre nella zona 4 è limitato solamente ad edifici ed infrastrutture strategiche e/o rilevanti.

Il valore del fattore di amplificazione F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0.1÷0.5s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide) e 0.5÷1.5s (strutture più alte e flessibili) in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.

La procedura per la verifica degli effetti litologici (punto 2.2.2 dell'Allegato 5 alla d.g.r. 30 novembre 2011 n. IX/2616 "*Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei P.G.T.*") tramite l'impiego delle schede predisposte dalla Regione Lombardia, necessita della conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s (ottenuta utilizzando metodi di indagine diretti ed indiretti, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile) e dello spessore e velocità di ciascun strato.

5.1 Primo livello di approfondimento

Ai sensi del vigente PGT del comune di Cornaredo l'ambito di intervento risulta inserito all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale **Z4a**, soggetta a possibili amplificazioni del segnale sismico connesse a contrasti di impedenza sismica.

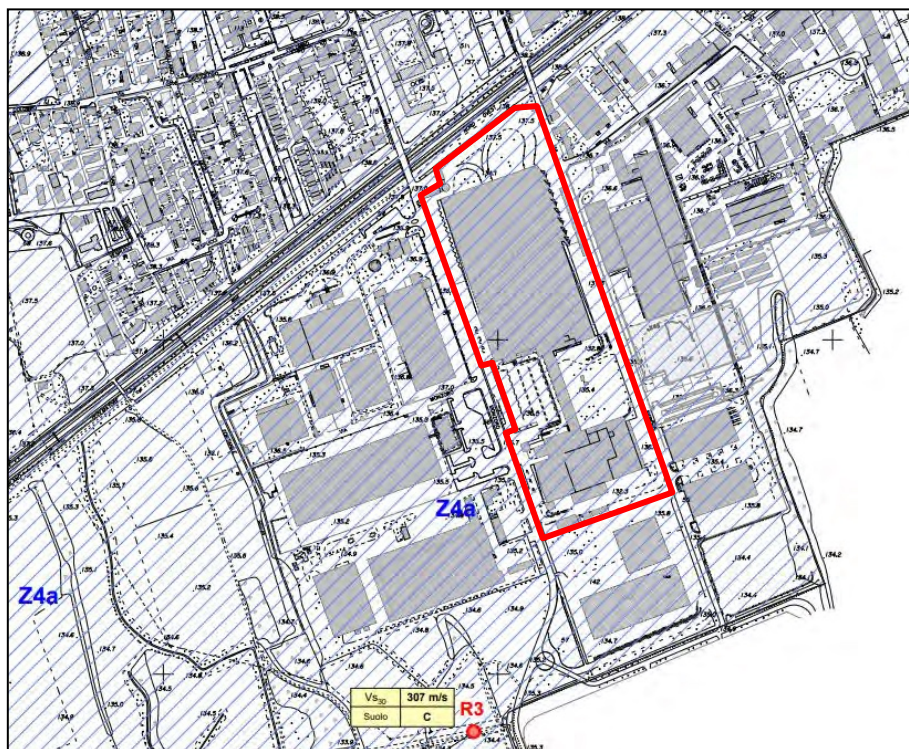


Figura 11 – Tavola della pericolosità sismica locale - Componente geologica del PGT di Cornaredo

ASPETTI SISMICI														
Livelli di approfondimento e fasi di applicazione														
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale											
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > del valore soglia comunale Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti											
[Grid Pattern]	Z2a	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati)	Cedimenti	H2 - livello di approfondimento 3°										
[Diagonal Pattern]	Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche	H2 - livello di approfondimento 2°										
Valori di soglia per il comune di Cornaredo														
		Tipo di Suolo												
		B	C	D	E									
Valori per il periodo compreso tra 0.1 - 0.5 sec.		1.4	1.8	2.2	2.0									
Valori per il periodo compreso tra 0.5 - 1.5 sec.		1.7	2.4	4.2	3.1									
PROVE SISMICHE EFFETTUATE														
Ubicazione centro prove sismiche R1*-R2-R3-R4-R5 di tipo: <ul style="list-style-type: none"> - Re.Mi. <i>metodologia passiva</i> - MASW <i>metodologia attiva</i> - HVSr <i>metodologia passiva</i> Valori di Vs30 e categoria sismica di suolo ricavata secondo le NTC 18 (D.M. 14 gennaio 2018)														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Vs30</td> <td style="text-align: center;">344 m/s</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suolo</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>					Vs30	344 m/s				Suolo	C			
Vs30	344 m/s													
Suolo	C													
* Prova sismica R1 pregressa, effettuata solamente con metodologia Re.Mi., rielaborata nella presente variante del PGT														
TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI ESITI DELL'ELABORAZIONE DELLE PROVE SISMICHE	Re.Mi. / MASW	R1	R2	R3	R4	R5								
	Vs30 m/s	344	325	307	305	300								
	Categoria sismica Suolo	C	C	C	C	C								

Figura 12 – Tavola della pericolosità sismica locale - Componente geologica del PGT di Cornaredo (LEGENDA)

5.2 Secondo livello di approfondimento

Nell'ambito dello studio geologico di supporto al PGT di Cornaredo, sulla base dei risultati di una campagna di indagini geofisiche consistente in n.5 misure sismiche passive (Re.Mi. e HVSR) e n.5 misure sismiche attive (MASW), è stato condotto un approfondimento sismico di 2° livello secondo la procedura regionale, calcolando il fattore di amplificazione ed effettuando il confronto con i valori di soglia definiti da Regione Lombardia per il comune.

Di seguito vengono riportate le prove MASW, Re.Mi e HVSR del sito R3, il più prossimo all'area di progetto la cui ubicazione è mostrata in *Figura 11*.

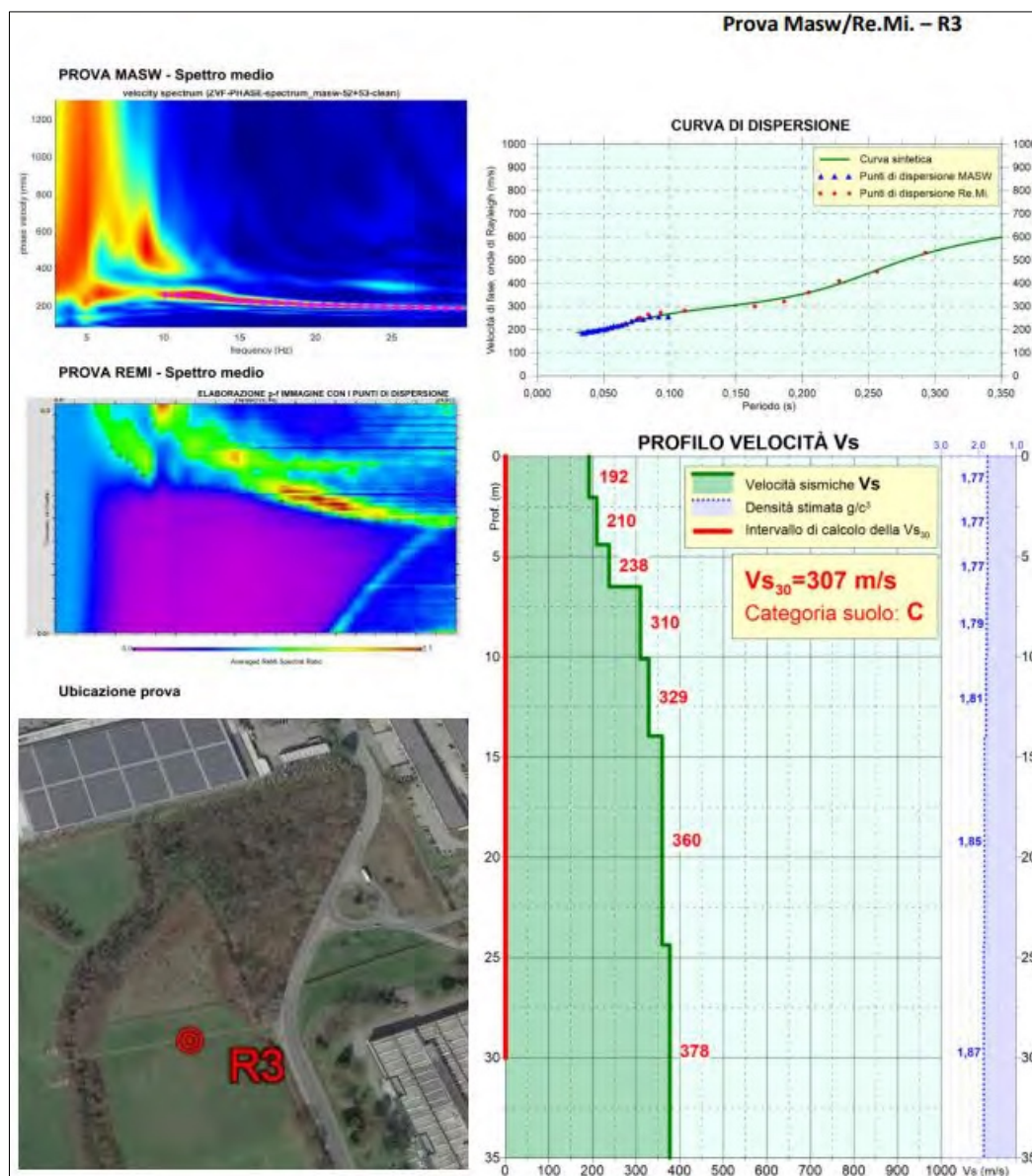


Figura 13 – MASW e Re.Mi condotte nel sito R3

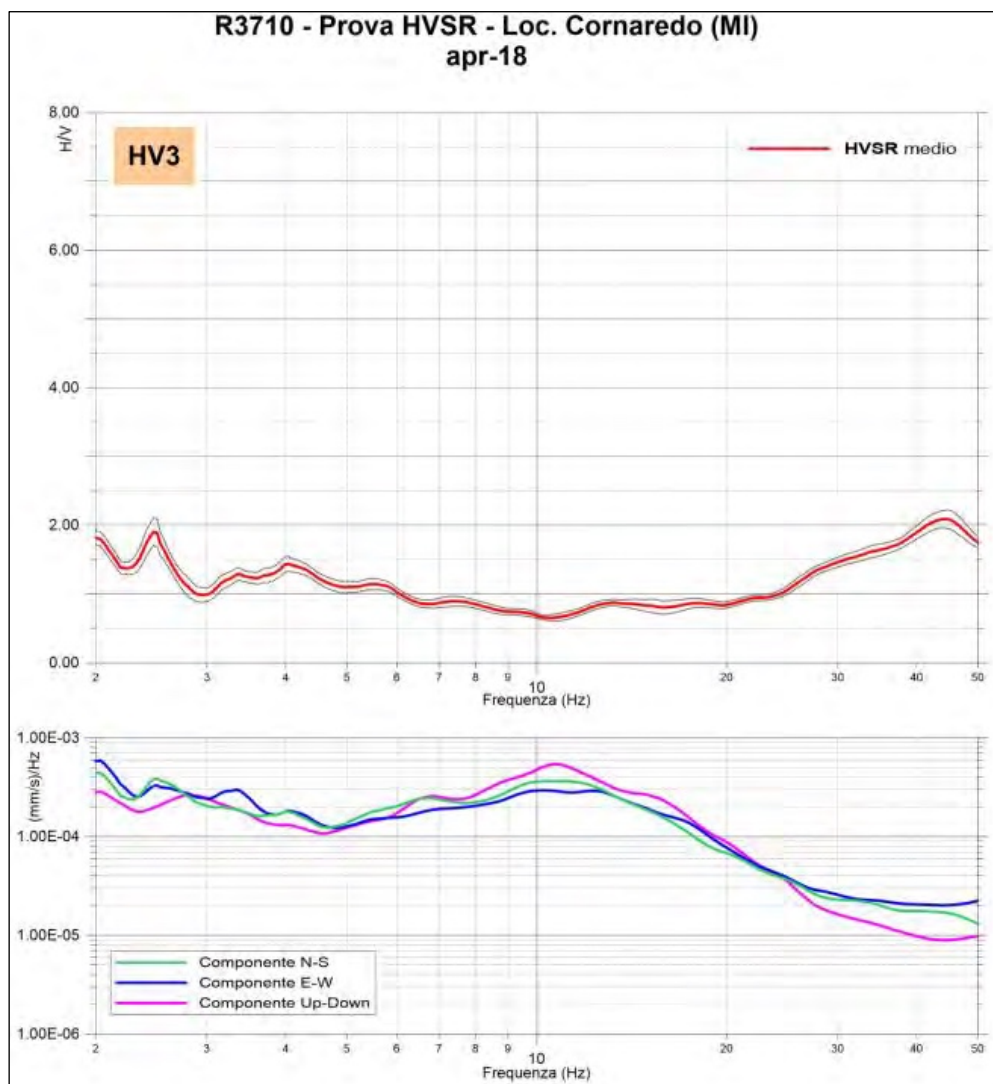


Figura 14 – HVSR HV3 condotta nel sito R3

La prospezione sismica HVSR (cfr. Figura 14) non evidenzia picchi significativi del rapporto H/V escludendo quindi la presenza di apprezzabili contrasti di impedenza sismica come peraltro evidenziato dai risultati delle prospezioni sismiche MASW e REMI che mostrano un graduale incremento in profondità delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

5.2.1 Determinazione della categoria sismica di sottosuolo e del periodo proprio di sito

Nell'ambito dell'approfondimento sismico condotto in sede di PGT per ogni punto di misura è stata definita la profondità del bedrock sismico ed è stata individuata una corrispondente categoria sismica di sottosuolo ai sensi del DM 17/01/18. Il periodo proprio del sito è quindi stato calcolato a partire dal profilo delle velocità di propagazione delle onde di taglio V_s ricostruito mediante le prospezioni geofisiche Remi-MASW.

Punto di misura	Profondità bedrock sismico [m]	V_{Seq} [m/s]	Periodo T di sito [s]	Categoria Sismica
R1	79	344	0.69	C
R2	86	325	0.83	C
R3	86	307	0.75	C
R4	79	305	0.71	C
R5	67	300	0.55	C

Tabella 3 – Risultati prospezioni sismiche

5.2.2 Individuazione della scheda di valutazione semplificata

Per valutare il fattore di amplificazione, in base alla normativa regionale, il profilo di velocità delle onde di taglio V_s ottenuto è stato confrontato con quelli relativi alle schede litologiche di riferimento predisposte da Regione Lombardia in base a criteri litologici ed all'andamento del profilo di velocità delle onde di taglio; nel caso in esame per tutto il territorio comunale di Cornaredo è stata impiegata la scheda relativa alla litologia sabbiosa.

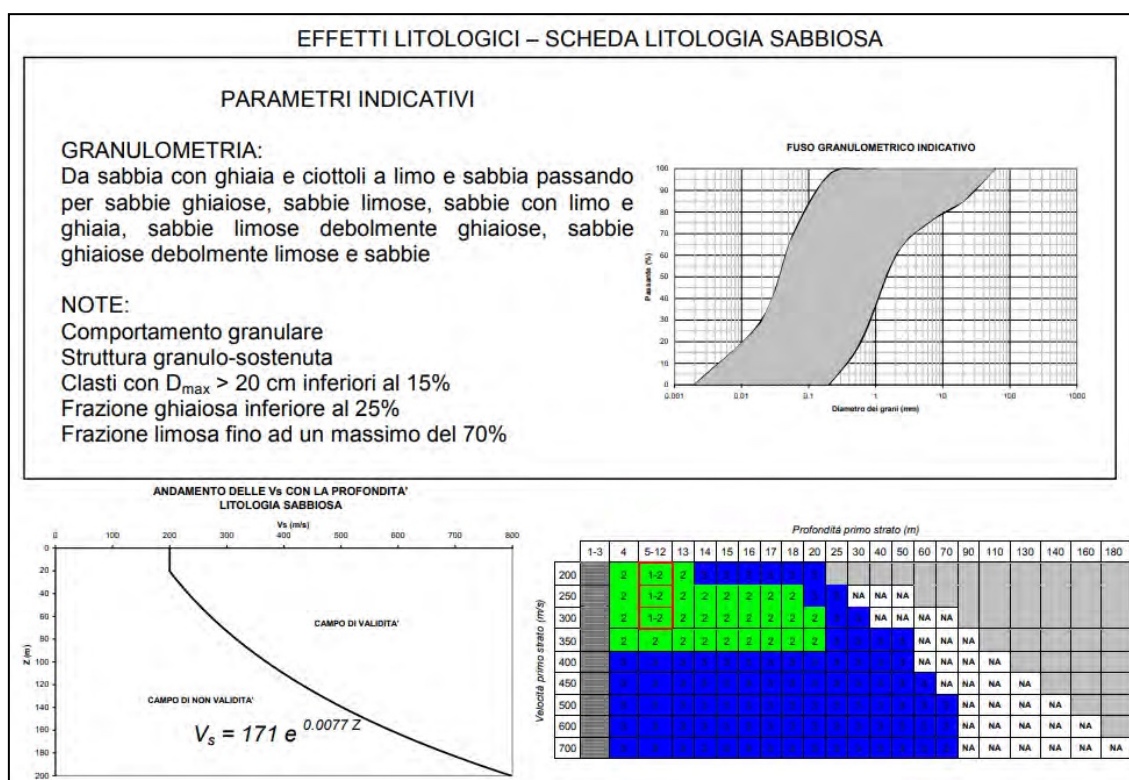


Figura 15 – Scheda di valutazione adottata

5.2.3 Calcolo del fattore di amplificazione locale

Per il calcolo fattore di amplificazione litologico locale è necessario individuare dapprima lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale, definito come il primo strato a partire dal piano di posa delle fondazioni avente spessore minimo di 4 m. Qualora non si dovesse riconoscere un primo strato di spessore adeguato è necessario procedere alla individuazione di uno strato superficiale equivalente avente spessore adeguato ottenuto sommando gli strati individuati con le indagini sismiche; a tale strato si assegna una velocità di propagazione delle onde di taglio pari alla media pesata delle velocità dei singoli strati che lo costituiscono.

Sulla base dei valori di spessore e velocità di propagazione delle onde di taglio dello strato superficiale si individuano le equazioni da impiegare per il calcolo del valore di Fa per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.1 e 0.5 s e per strutture aventi periodo proprio compreso tra 0.5 e 1.5 s sulla base della seguente scheda di valutazione.

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

Figura 16 – Scheda regionale per analisi sismica semplificata di 2° livello

Le equazioni di riferimento per il calcolo del coefficiente di amplificazione Fa sono mostrate di seguito:

Strutture aventi periodo proprio T compreso tra 0.1 e 0.5 s

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$	$0.50 < T \leq 1.00$	$T > 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$	$0.50 < T \leq 0.55$	$T > 0.55$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Strutture aventi periodo proprio T compreso tra 0.5 e 1.5 s

Curva		
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$	
	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	
2	3	$0.08 \leq T < 0.80$
		$Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
		$0.80 \leq T \leq 1.80$
		$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Figura 17 – Equazioni curve per il calcolo del coefficiente di amplificazione Fa

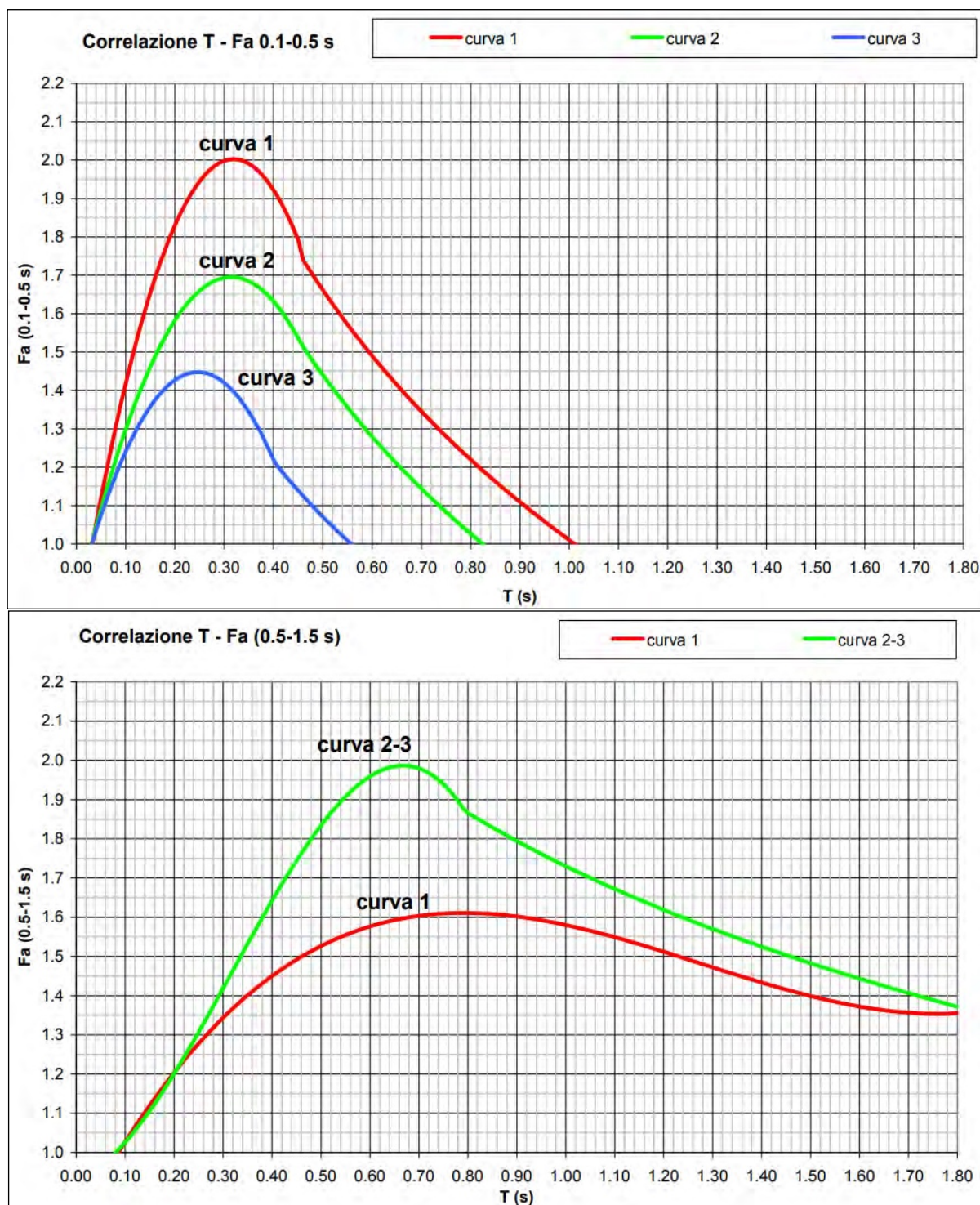


Figura 18 – Curve per il calcolo del coefficiente di amplificazione Fa

I fattori di amplificazione ottenuti nei 5 punti di misura sono mostrati nella tabella di seguito riportata.

<i>Punto di misura</i>	<i>Periodo [s]</i>	
	<i>0.1÷0.5</i>	<i>0.5÷1.5</i>
R1	1.15	1.98
R2	1.00	1.85
R3	1.08	1.94
R4	1.13	1.97
R5	1.36	1.90

 Tabella 4 – Fattori di amplificazione F_a

5.2.4 Confronto tra i valori calcolati ed i valori di soglia comunale

Per il comune di Cornaredo, i valori di soglia del Fattore di amplificazione F_a forniti da Regione Lombardia, differenziati per categoria di suolo di fondazione e per periodo, sono riportati nelle seguenti tabelle:

VALORI DI F_a DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1 E 0.5s				
Comune	Suolo di tipo B	Suolo di tipo C	Suolo di tipo D	Suolo di tipo E
Cornaredo	1.4	1.85	2.2	2.0

 Tabella 5 – Coefficienti di amplificazione di soglia comunale F_{as}

VALORI DI F_a DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5 E 1.5s				
Comune	Suolo di tipo B	Suolo di tipo C	Suolo di tipo D	Suolo di tipo E
Cornaredo	1.7	2.4	4.2	3.1

 Tabella 6 – Coefficienti di amplificazione di soglia comunale F_{as}

Per procedere al confronto con i valori di soglia dei valori del coefficiente di amplificazione litologica precedentemente determinati, arrotondati alla prima cifra decimale, occorre associare la variabilità statistica pari a ± 0.1 come precisato nella procedura regionale. I valori così ottenuti sono mostrati nella seguente tabella in cui sono messi a confronto con i valori di soglia definiti per il comune considerato per la categoria di sottosuolo di appartenenza:

Ambito	Periodo proprio struttura	
	0,1 ÷ 0,5 [s]	0,5 ÷ 1,5 [s]
R1 - Fac	1.1÷1.3	1.9÷2.1
R2 - Fac	1.0÷1.1	1.8÷2.0
R3 - Fac	1.0÷1.2	1.8÷2.0
R4 - Fac	1.0÷1.2	1.9÷2.1
R5 - Fac	1.3÷1.5	1.8÷2.0
Valore di soglia comunale per suoli di categoria C - Fas	1.9	2.4

Tabella 7 – Confronto coefficienti di amplificazione litologica

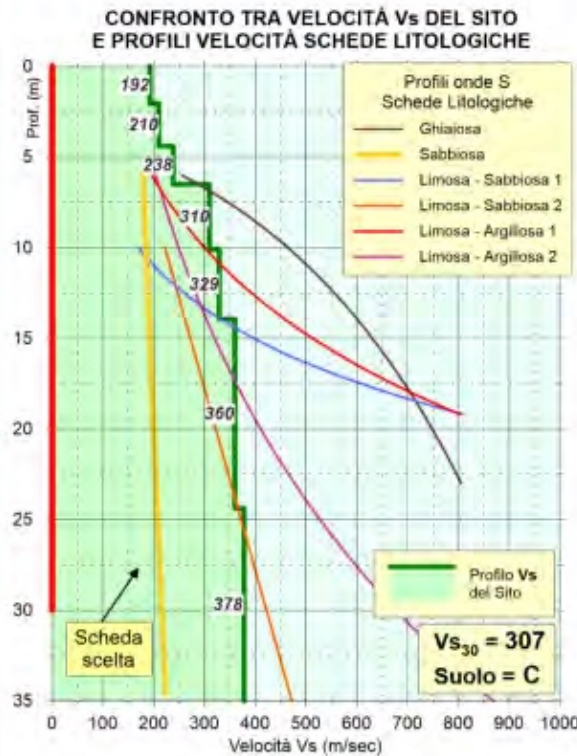
L'approfondimento condotto nell'ambito dello studio geologico del PGT di Cornaredo ha consentito di attribuire l'intero territorio comunale alla **categoria sismica C** ed ha evidenziato, per tutti i siti di indagine, **l'assenza di superamento dei fattori di amplificazione di soglia comunale per entrambe le periodicità.**

Di seguito si mostra la scheda di approfondimento relativo al sito R3 prossimo all'area di progetto.

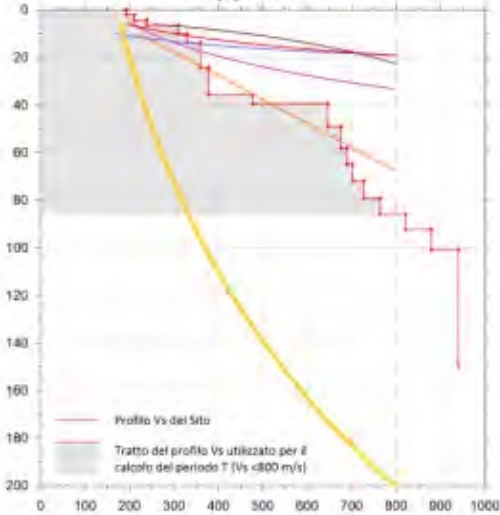
CALCOLO DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE
Comune di Riferimento: **CORNAREDO**

R3

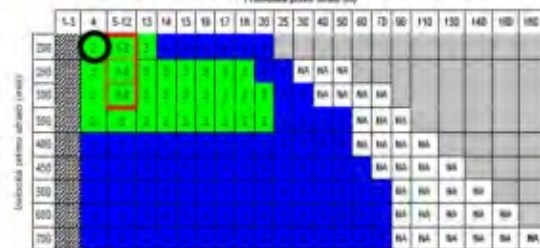
SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA



CALCOLO DEL PERIODO PROPRIO DEL SITO
 $T(s) = 0.75$



SELEZIONE CURVA DI AMPLIFICAZIONE
(in funzione della profondità e velocità V_s dello strato superficiale)
Probabilità primo strato (m)



CURVE DI AMPLIFICAZIONE DI STRUTTURE CON PERIODO PROPRIO COMPRESO TRA F_a 0.1 e 0.5

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.05 \leq T \leq 0.50$	$0.50 < T \leq 1.00$	$T > 1.00$
	$F_{a(0.1)} = -12.21 T^2 + 7.78 T + 0.78$	$F_{a(0.5)} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$F_{a(1.0)} = 1.00$
2	$0.05 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.90$	$T > 0.90$
	$F_{a(0.1)} = -8.85 T^2 + 5.44 T + 0.94$	$F_{a(0.5)} = 0.91 - 0.86 \ln T$	$F_{a(0.9)} = 1.00$
3	$0.05 \leq T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
	$F_{a(0.1)} = -9.88 T^2 + 4.77 T + 0.98$	$F_{a(0.5)} = 0.82 - 0.85 \ln T$	$F_{a(0.8)} = 1.00$

CURVA DI AMPLIFICAZIONE DI STRUTTURE CON PERIODO PROPRIO COMPRESO TRA F_a 0.5 e 1.5

Curva	
1	$0.05 \leq T \leq 1.00$
	$F_{a(0.5)} = 0.57 T^2 - 2.18 T^2 + 2.28 T + 0.81$
2	$0.05 \leq T \leq 0.90$
3	$0.90 \leq T \leq 1.80$
	$F_{a(0.5)} = -6.11 T^2 + 5.70 T^2 + 0.44 T + 0.93$
	$F_{a(1.5)} = 1.13 - 0.61 \ln T$

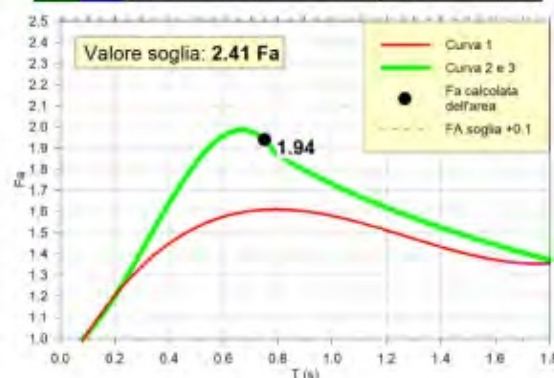
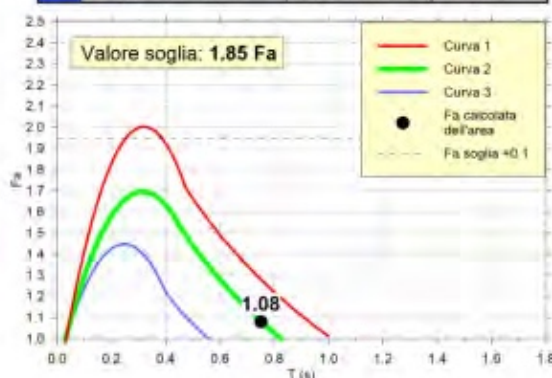


Figura 19 – Scheda di valutazione per il punto R3 (da PGT Cornaredo)

6 ASSETTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico del sito di progetto è stato desunto dal Foglio 118 – Milano della cartografia geologica del CARG e dagli studi geologici di supporto al PGT del Comune di Cornaredo.

Il territorio comunale di Cornaredo è geomorfologicamente suddivisibile in due settori:

- un ambiente cosiddetto di “alta pianura”, che interessa l’area nord-occidentale del comune,
- un ambiente definito come “media pianura idromorfa” che interessa la maggior parte del territorio urbanizzato e agricolo a sud.

La linea di suddivisione tra i due ambienti è circa corrispondente alla cosiddetta “linea dei fontanili”, elemento caratterizzante del territorio. Ulteriori elementi geomorfologici da segnalare sono alcuni paleoalvei che attraversano il territorio comunale con andamento NNW-SSE, come l’attuale rete idrografica.

La Pianura Padana nel suo insieme rappresenta l’espressione morfologica di superficie del Bacino Padano, un bacino sedimentario di età terziaria compreso tra le strutture alpine (a vergenza meridionale) e le strutture appenniniche (a vergenza settentrionale); la storia tettonica che lo ha interessato ne ha determinato, assieme alle variazioni climatiche succedutesi nel tempo, la struttura deposizionale. La successione sedimentaria plio-pleistocenica del Bacino Padano ha un carattere complessivamente regressivo: alla base sono presenti depositi torbiditici di mare profondo, ricoperti da un prisma sedimentario progradante sia assialmente, in quanto legato all’azione del paleo Po, che trasversalmente, originato dai depositi dei sistemi alpini ed appenninici. Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale è il risultato di eventi tettono-sedimentari parossistici, separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e ridotta attività delle strutture compressive. Le successioni di sedimenti di età plio-quadernaria che costituiscono la pianura lombarda ricoprono in discordanza il substrato più antico, interessato dalla tettonica compressiva protrattasi fino al Miocene superiore lungo il bordo pedemontano e collinare delle Alpi Meridionali lombarde prospiciente la pianura. A partire dal Messiniano cessano quasi completamente i movimenti tettonici legati all’edificio alpino e nel contempo si registra un sensibile spostamento verso NE 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 nordappenniniche e ai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Possibili riattivazioni tardo-quadernarie del fronte sudalpino ed evidenze di tettonica quadernaria in alcune zone di pianura sono attualmente oggetto di indagine a scala di bacino.

Secondo i più recenti orientamenti, il tradizionale schema stratigrafico di riferimento della pianura lombarda è stato revisionato introducendo nuove unità stratigrafiche di tipo *UBSU* (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*), delimitate da superfici di non conformità prodotte da

fasi deformative di importanza regionale. L'andamento spaziale delle superfici di separazione delle diverse unità consente di definirne la geometria e la morfologia in cui si riconoscono due direzioni prevalenti di progradazione dei corpi sedimentari: una assiale con vergenza ad est originata dal paleo-delta del Po ed una trasversale con vergenza a sud-est prodotta dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina. Nel sottosuolo della pianura lombarda si individuano in particolare due principali superfici di discontinuità a scala regionale che separano tre unità stratigrafiche di nuova istituzione denominate, dal basso verso l'alto, *Supersintema Padano*, *Supersintema Lombardo Inferiore* e *Supersintema Lombardo Superiore*, nel complesso riferibili all'intervallo cronologico Calabriano÷Olocene.

Successione pre-Calabriana

Nelle fasi iniziali di riempimento del bacino lombardo si assiste alla deposizione di depositi torbiditici arenaceo-pelitici e conglomeratici di età oligo-miocenica, riferibili al *Gruppo della Gonfolite Lombarda* (Chattiano-Aquitano) ed alle formazioni della *Marne di Gallare* (Burdigalliano-Tortoniano), troncate a tetto dalla superficie di inconformità tortoniana, su cui si deposita il corpo grossolano ghiaioso-sabbioso della *Formazione di Sergnano* (Messiniano) a sua volta troncato dalla superficie di inconformità intrazancleana. Su questa superficie si depositano successioni pelitiche plioceniche che sigillano una articolata paleomorfologia, con evidenti zone di alto strutturale separate da incisioni anche molto marcate, identificate come *Argille del Santerno* (Zancleano p.p. ÷ Piacenziano) nella nomenclatura classica ENI o *Argille Azzurre*, costituite da prevalenti argille marnose al cui interno si intercalano locali livelli sabbioso-ghiaiosi di esiguo spessore e saturati da acqua salata, interpretabili come porzioni distali di conoidi sottomarine alimentate dal margine sudalpino.

Al di sopra delle peliti plioceniche si rinviene una potente successione costituita da depositi prevalentemente sabbiosi, di piattaforma e transizionali con intercalazioni argillose e sottili livelli di ghiaie, caratterizzato dalla presenza di fossili marini bentonici e cronologicamente riferibili all'intervallo Gelasiano ÷ Calabriano p.p.. Le sabbie corrispondono alla porzione inferiore del corpo sedimentario indicato come Sabbie di Asti nella nomenclatura classica ENI, e alla unità *PLMa* del progetto *GeoMol* (ISPRA 2015) troncata alla sommità da una superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano). Nel complesso la successione, che registra il progressivo colmamento del mare pliocenico padano, presenta carattere regressivo, passando da depositi marini a depositi marino-marginali e transizionali che preludono all'instaurarsi di condizioni francamente continentali nel Calabriano.

Supersintema Padano - PD

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità datata a circa 1,5 Ma (Calabriano), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero D* (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia – Regione Lombardia – ENI, 2002), mentre a tetto è delimitato da una superficie di inconformità datata a circa 0,87 Ma (Calabriano), corrispondente alla base del Gruppo

Acquifero B. L'unità comprende i gruppi *acquiferi C e D* ed era tradizionalmente indicata come *Unità Sabbioso-Argillosa o Litozona Sabbioso-Argillosa*.

La porzione sommitale dell'unità è costituita da cicli di spessore plurimetrico, costituiti prevalentemente da sabbie, da fini+molto fini a medie, sabbie limose, limi ed argille, talora contenenti livelli ricchi di materiale organico, con locali intercalazioni di corpi più grossolani, ghiaiosi e sabbiosi, localmente cementati, complessivamente riferibili ad un ambiente di piana alluvionale a meandri. Nell'ambito di tale sequenza deposizionale si osservano cicli fining-upward costituiti da sabbie medie e fini, sia massive che laminate, limi e limi-argillosi, interpretabili come depositi di canale fluviale, talvolta passanti a depositi di abbandono di canale, e come depositi di canale-argine, corpi di spessore metrico costituiti da sabbie medie e fini, localmente grossolane, spesso amalgamati tra loro ed interpretati come depositi di canale fluviale e, localmente, da depositi fini (limi sabbiosi, sabbie fini limose e limi) di canale-argine e limi argillosi di piana alluvionale. Nei settori meridionali della pianura si assiste ad una deposizione nel complesso più fine con prevalenza di limi ed argille con livelli pluricentimetrici di materiale organico, attribuibili ad un ambiente di piana alluvionale, con intercalati corpi sabbiosi a granulometria fine e media a base netta, passanti a limi ed argille, interpretabili come depositi di rotta fluviale. Nelle porzioni settentrionali al di sotto delle facies di piana alluvionale e di piana a meandri, sono riconoscibili sequenze cicliche di ghiaie ben classate di ambiente transizionale (depositi di delta e deltaconoide), talora fossilifere, alternate a limi fossiliferi marini.

La porzione inferiore dell'unità è caratterizzata da depositi prevalentemente sabbiosi con qualche intercalazione argillosa e alcuni livelli di spessore metrico di ghiaie, attribuiti alla porzione superiore delle *Sabbie di Asti*, unità di ambiente marino o marino-marginale, come testimoniato dal loro contenuto in fossili prevalentemente bentonici; il passaggio da depositi transizionali a depositi continentali, evidenziato dalla comparsa di depositi progressivamente più grossolani caratterizzati da alternanze di ghiaie e sabbie, con intercalazioni di argille o limi e livelli di torba, senza tracce evidenti di fossili, avviene a cavallo di una superficie di inconformità databile a circa 1,25 Ma e coincidente con la base del *Gruppo Acquifero C*. La morfologia dei depositi marini o marino-marginali sabbiosi riferibili alle *Sabbie di Asti* riflette la paleomorfologia della linea di costa del bacino pliocenico padano.

In particolare, le sequenze deposizionali di piana alluvionale con fiumi a meandri (*Unità 2* dello schema litocronostratigrafico di *Scardia e Muttoni - 2008*) verso est passano lateralmente a sequenze marino-transizionali caratterizzate da successioni cicliche di limi fossiliferi e sabbie fini bioturbate di ambiente marino, alternate a sabbie medie o grossolane, laminate, di ambiente transizionale (*Unità 1* dello schema litocronostratigrafico di *Scardia e Muttoni - 2008*). Questi ciclotemi, che verso l'alta pianura passano a ghiaie ben classate con ciottoli appiattiti e Ostreidi alternate ai limi marini, sono interpretabili come l'effetto della progradazione ciclica di delta e deltaconoidi su una piattaforma terrigena di mare basso. È possibile che tale ciclicità sedimentaria sia stata controllata dalle fluttuazioni glacio-eustatiche del livello del mare (*Scardia et al. 2006*).

Le sequenze prevalentemente limose fossilifere contenenti faune marine associate a sporadici livelli sabbiosi di spessore generalmente esiguo attribuite al Calabriano, venivano tradizionalmente indicate come *Unità Argillosa* o *Litozona Argillosa*.

Uno schema dei rapporti litocronostratigrafici della pianura lombarda è mostrato di seguito.

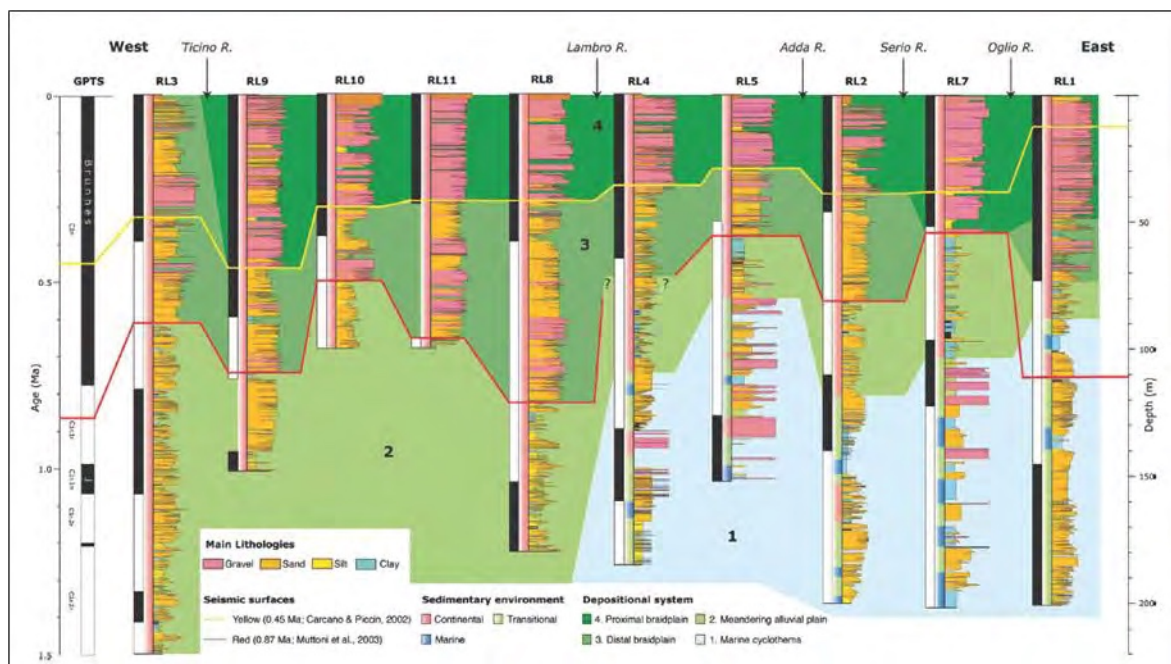


Figura 20 – Schema litocronostratigrafico (da Scardia e Muttoni, 2008)

In corrispondenza del sito di progetto la base ed il tetto del Supersistema Padano si individuano attorno alle quote di circa -79 m s.l.m. e circa 38 m s.l.m. rispettivamente, con uno spessore complessivo di circa 117 m.

Supersistema lombardo inferiore - LI

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità datata a circa 0,87 Ma (Calabriano), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero B*, caratterizzata da una significativa variazione sedimentologica rispetto alla sottostante unità PD, correlata con l'instaurarsi delle glaciazioni pleistoceniche; è delimitata al tetto da una superficie di inconformità databile a 0,45 Ma (Pleistocene medio), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero A*. L'unità comprende il gruppo acquifero B e corrisponde in parte alle *tradizionali Unità Ghiaioso-Sabbioso-Limosa* e *Unità a Conglomerati* e alla porzione inferiore della *Litozona Ghiaioso-Sabbiosa*.

I depositi di tale unità sono costituiti da spessi corpi di sabbie medie e grossolane, subordinatamente fini, e ghiaie medie e grossolane, talora con ciottoli, localmente cementati ("Ceppo" Auct.p.p.). I livelli sabbiosi sono generalmente massivi, talora laminati, con frequente presenza di ciottoli. Si riconoscono a luoghi grossolane ciclicità fining-upward, talora amalgamate; i livelli pelitici (limi, limi argillosi ed argille limose), generalmente di ridotto spessore, mostrano comunque una certa continuità laterale. Localmente sono segnalati livelli di argille di colore rossastro, attribuibili a paleosuoli.

L'ambiente deposizionale è interpretabile come piana alluvionale; data la presenza significativa di granulometrie sabbiose, tenuto conto del contesto sedimentario di questo settore di bacino, con una elevata disponibilità di materiali grossolani provenienti dagli anfiteatri glaciali presenti al margine sudalpino, e della relativa organizzazione latero-verticale dei sedimenti, si ritiene che l'ambiente deposizionale sia riferibile ad una piana alluvionale braided relativamente distale (*Unità 3* dello schema litocronostratigrafico di *Scardia e Muttoni - 2008*); i corpi sabbioso-ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, deposti in un contesto di piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono dei canali fluviali.

L'unità comprende verosimilmente, seppur in assenza di elementi di correlazione certi, l'unità di superficie costituita dal *Supersistema del Bozzente*, cronologicamente riferibile al Pleistocene medio.

In corrispondenza del sito di progetto la base ed il tetto del Supersistema Lombardo Inferiore si individuano attorno alle quote di circa 38 m s.l.m. e 83 m s.l.m. rispettivamente, con uno spessore complessivo di circa 50 m.

Supersistema lombardo superiore - LS

L'unità è delimitata alla base da una superficie di inconformità databile a 0,45 Ma (Pleistocene medio), corrispondente alla base del *Gruppo Acquifero A*. L'unità comprende il *gruppo acquifero A* e corrisponde alla tradizionale *Unità Ghiaioso-Sabbiosa* ed alla porzione superiore della *Litozona Ghiaioso-Sabbiosa*.

L'unità è caratterizzata dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequente presenza di ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose. Le ghiaie sono prevalentemente clast-supported, grossolanamente stratificate, passanti localmente a sabbie ghiaioso ciottolose interpretabili come sequenze amalgamate o incomplete di cicli fining-upward. Litologie fini (limi e limi argillosi) sono talora presenti, ma con ridotta continuità laterale. La scarsità di livelli sabbiosi e di successioni fining-upward ben definite sembra testimoniare la presenza di frequenti fenomeni di erosione in un ambiente fluviale di alta energia, riferibile ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale fluvioglaciale, di tipo braided prossimale (*Unità 4* dello schema litocronostratigrafico di *Scardia e Muttoni - 2008*).

L'unità comprende verosimilmente le unità di superficie costituite dal *Sistema di Binago* (Pleistocene medio), dal *Supersistema di Besnate* (Pleistocene medio ÷ Pleistocene superiore), dal *Sistema di Cantù* (Pleistocene superiore) e dal *Subsistema di Ronchetto delle Rane* (Pleistocene superiore), dal *Supersistema di Vengono* (Pleistocene medio ÷ Pleistocene superiore) e dal *Sistema del Po* (Pleistocene superiore ÷ Olocene).

In corrispondenza del sito di progetto la base del Supersistema Lombardo Superiore si individua attorno alla quota di circa 83 m s.l.m., con uno spessore complessivo di circa 53 m.

Uno schema dei rapporti stratigrafici e delle correlazioni con le unità stratigrafiche e idrostratigrafiche tradizionali e con i gruppi acquiferi di nuova istituzione descritti più oltre è mostrato di seguito.

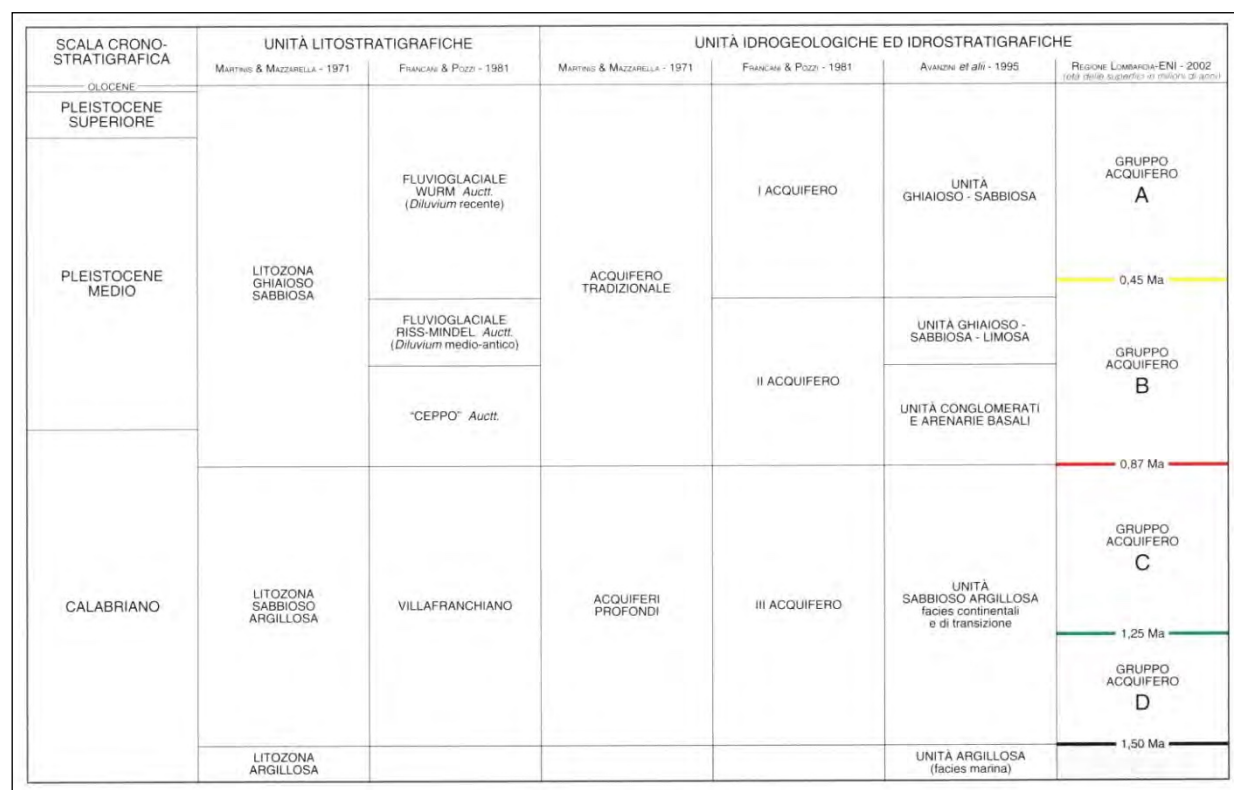
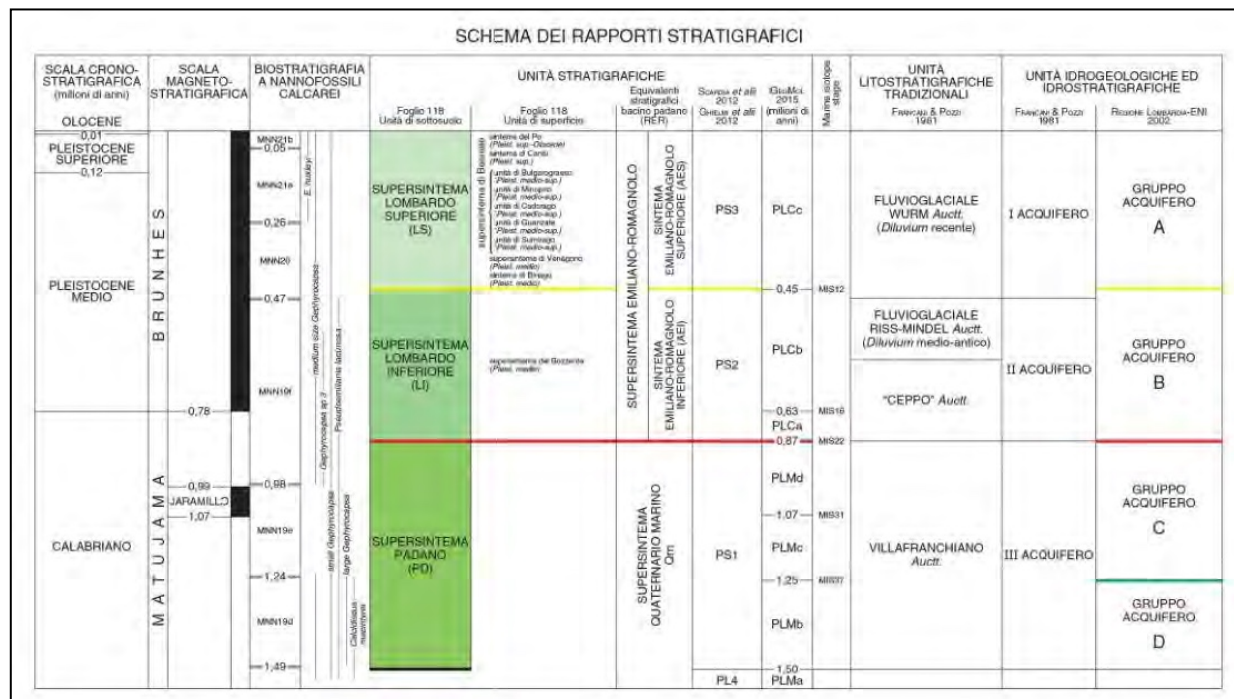


Figura 21 – Schema dei rapporti stratigrafici

Con riferimento alla cartografia ufficiale CARG dei depositi di superficie, i terreni presenti nell'area di intervento sono ascrivibili alla **Unità di Minoprio (BMI)**, appartenente al **Supersistema**

di Besnate, e cronologicamente riferibile al Pleistocene medio - Pleistocene superiore. Con il perimetro rosso è evidenziato il sito di intervento sul foglio geologico CARG 118 - Milano.

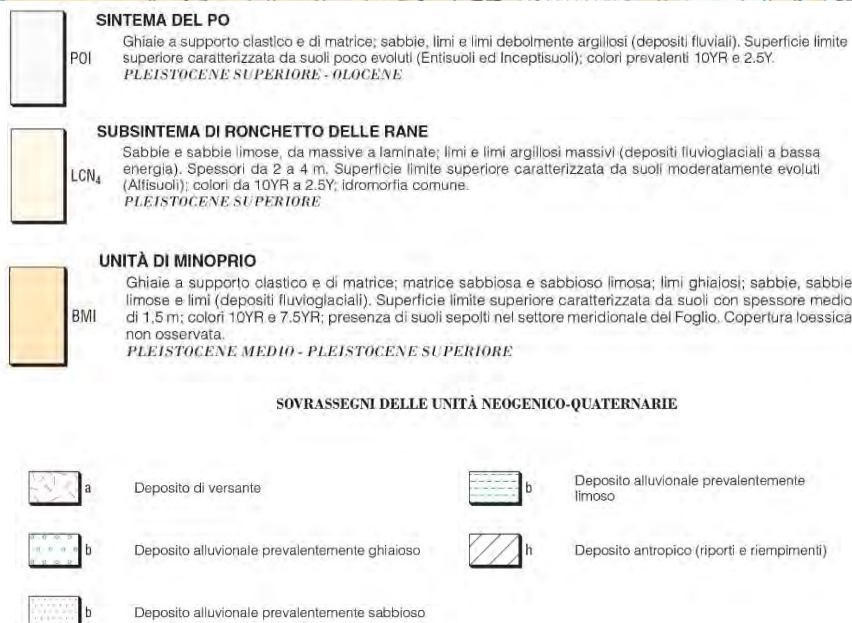
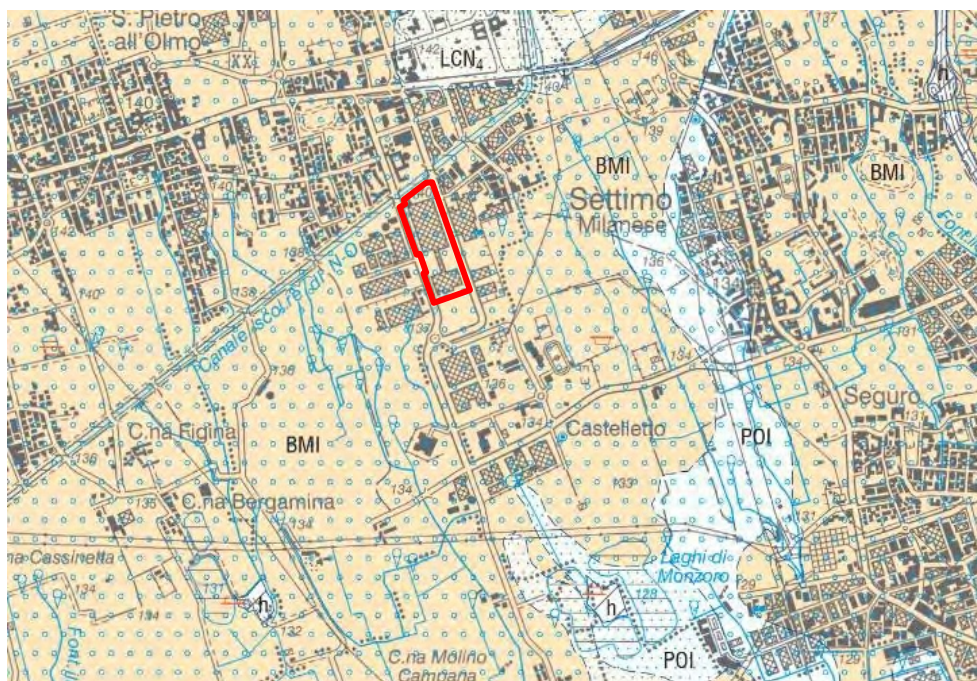


Figura 22 – Stralcio CARG – Foglio 118 – Milano

L'unità è costituita da depositi fluvioglaciali di età quaternaria caratterizzati prevalentemente da ghiaie a supporto clastico e matrice sabbiosa e/o sabbioso limosa, la cui superficie limite superiore è caratterizzata da suoli con spessori medi di 1.5m. Costituisce il cosiddetto "*livello fondamentale della pianura*".

La “carta geologica-geomorfologica-geotecnica” in scala 1:5000 del PGT del comune riporta le informazioni presenti all’interno del Foglio CARG 118, ovvero la presenta dell’Unità di Minoprio. Evidenziato dal perimetro rosso è indicato il sito di progetto.

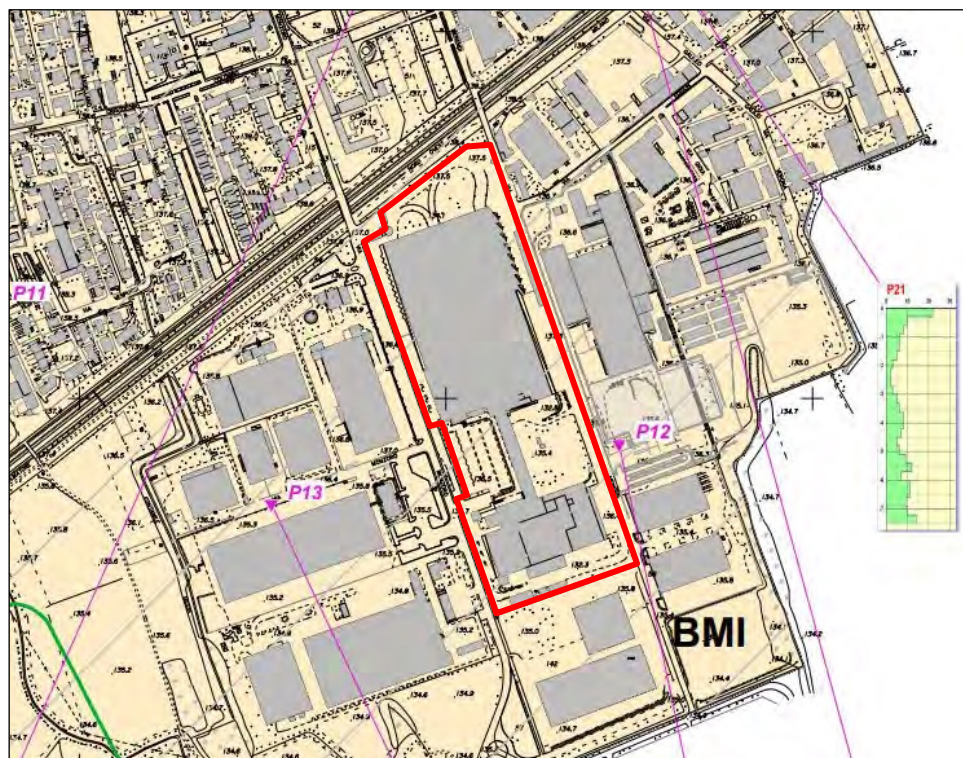


Figura 23 – Stralcio carta geologica-geomorfologica-geotecnica con elementi pedologici – PGT
Comune di Cornaredo

In merito agli aspetti idrogeologici dell'area di progetto, come già anticipato, il tradizionale schema idrogeologico della pianura lombarda è stato recentemente rivisto ricorrendo a dati sismici, a stratigrafie di pozzi di ricerca per idrocarburi e di sondaggi stratigrafici appositamente condotti pervenendo alla definizione di nuove unità idrostratigrafiche denominate dal basso verso l'alto *Gruppo Acquifero D*, *Gruppo Acquifero C*, *Gruppo Acquifero B* e *Gruppo Acquifero A* (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia – Regione Lombardia – ENI, 2002).

I gruppi acquiferi così definiti corrispondono ad unità stratigrafiche di tipo *UBSU* (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*), delimitate da superfici di non conformità prodotte da fasi deformative di importanza regionale e tra di loro idraulicamente separate da estesi livelli di sedimenti fini.

I gruppi acquiferi individuati sono di seguito descritti dal basso verso l'alto:

Gruppo Acquifero D

È costituito dagli orizzonti permeabili contenuti all'interno delle sequenze prevalentemente fine di deposizione marina, già indicata come Unità Argillosa o Litozona Argillosa, e nella porzione inferiore del Supersistema Padano, di ambiente deposizionale marino-marginale e transizionale, già indicata come Unità Sabbioso Argillosa o Litozona Sabbioso Argillosa, corrispondente alla porzione inferiore degli acquiferi profondi anche indicati come III Acquifero; gli orizzonti acquiferi presenti all'interno di tale gruppo acquifero risultano confinati ed in condizioni di artesianesimo in considerazione della presenza di abbondanti livelli fini di separazione molto estesi arealmente. La porzione inferiore del gruppo acquifero è saturata in acqua salmastra.

Gruppo Acquifero C

È costituito dagli orizzonti permeabili contenuti all'interno della porzione superiore del Supersistema Padano, di ambiente deposizionale di piana alluvionale a meandri, già indicata come Unità Sabbioso Argillosa o Litozona Sabbioso Argillosa, corrispondente alla porzione superiore degli acquiferi profondi anche indicati come III Acquifero; gli orizzonti acquiferi presenti all'interno di tale gruppo acquifero risultano confinati ed in condizioni di artesianesimo in considerazione della presenza di abbondanti livelli fini di separazione molto estesi arealmente.

Gruppo Acquifero B

Corrisponde al Sistema Lombardo Inferiore, caratterizzato da un ambiente deposizionale di piana alluvionale braided relativamente distale; i corpi sabbioso-ghiaiosi sono riferibili a depositi di canale fluviale di energia medio alta, depositi in un contesto di piana alluvionale caratterizzata dalla brusca divagazione dei canali stessi; le porzioni più fini sono riferibili invece a depositi di piana inondabile o a cicli di abbandono dei canali fluviali. Il Gruppo Acquifero B corrisponde alla porzione profonda dell'Acquifero Tradizionale, già indicato come II Acquifero, intensamente sfruttato per approvvigionamento idropotabile, ed è caratterizzato da generali condizioni di

confinamento o semi-confinamento dei livelli acquiferi. L'unità corrisponde altresì alla porzione inferiore della Litozona Ghiaioso Sabbiosa, alla Unità Ghiaioso Sabbioso Limosa ed alla Unità a Conglomerati ed Arenarie Basali.

Gruppo Acquifero A

Corrisponde al Sintema Lombardo Superiore, riferibile ad un ambiente deposizionale di piana alluvionale fluvio-glaciale, di tipo braided prossimale, ed è caratterizzato dalla prevalenza di ghiaie grossolane e medie con frequente presenza di ciottoli, spesso mal selezionate, localmente cementate, in strati da medi a spessi, con subordinati livelli di sabbie medie e grossolane e sabbie ghiaiose e rari livelli fini.

I livelli più permeabili contenuti all'interno dell'unità in esame costituiscono livelli acquiferi non confinati, che nel complesso danno luogo ad un sistema multifalda tradizionalmente assimilato ad un acquifero monostrato ed indicato come l'Acquifero o Acquifero Tradizionale, già intensamente sfruttato per approvvigionamento idropotabile, corrispondente alla tradizionale Unità Ghiaioso-Sabbiosa ed alla porzione superiore della Litozona Ghiaioso-Sabbiosa.

L'assetto idrostratigrafico dell'area di progetto è mostrato di seguito.

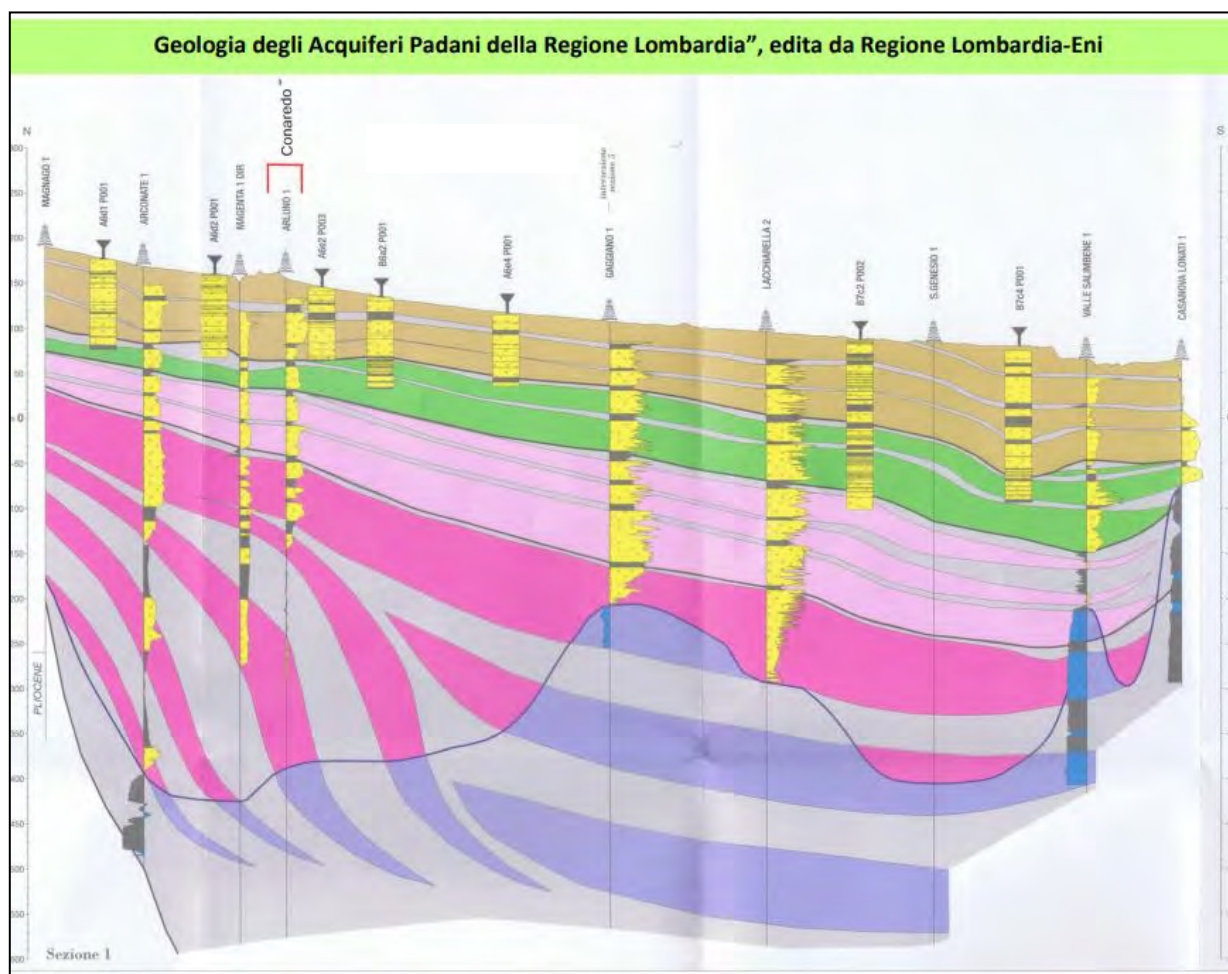


Figura 24 – Stralcio sezione 1 geologia degli acquiferi padani



Figura 25 –geologia degli acquiferi padani - Legenda

Di seguito viene riportata la sezione idrostratigrafica D-D' allegata al PGT del Comune di Cornaredo, che mostra la presenza nel sottosuolo di terreni di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa o ghiaioso-sabbiosa, localmente debolmente limosi.

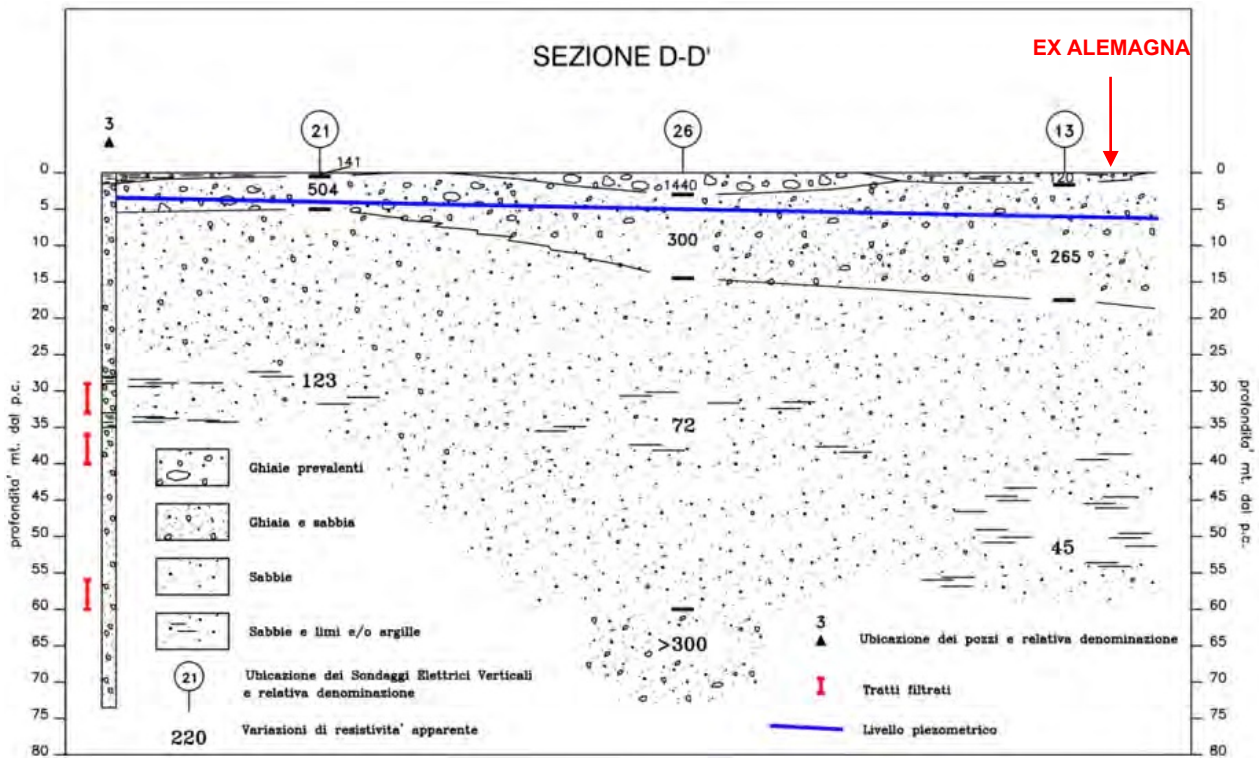


Figura 26 – Sezione idrostratigrafica D – D' E-W allegata al PGT di Cornaredo. Il sito di intervento è indicato in figura

La geometria della superficie piezometrica in corrispondenza del sito ex Alemagna mostra direzioni di flusso prevalenti da NNO a SSE con gradiente medio di circa 3‰. La quota piezometrica a settembre 2013 si attestava a circa 134 m s.l.m..

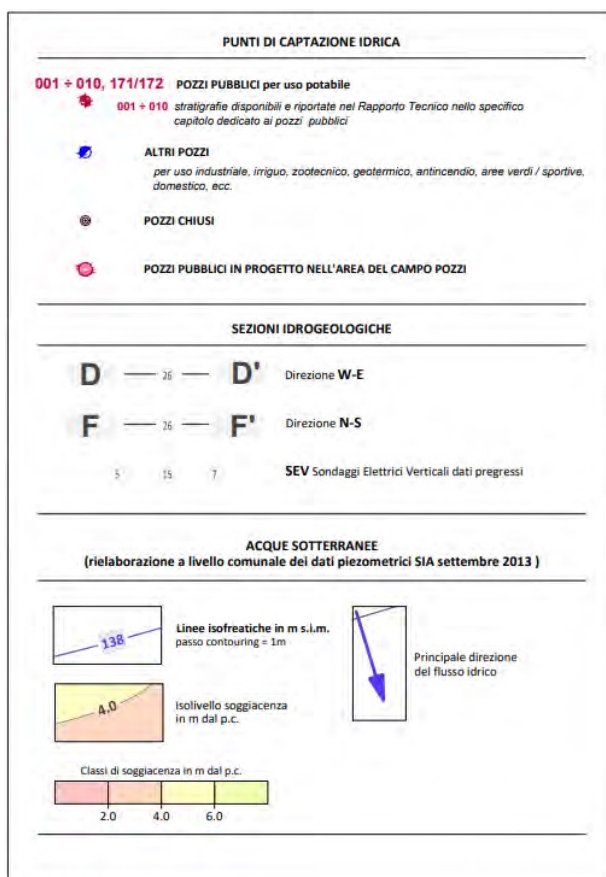
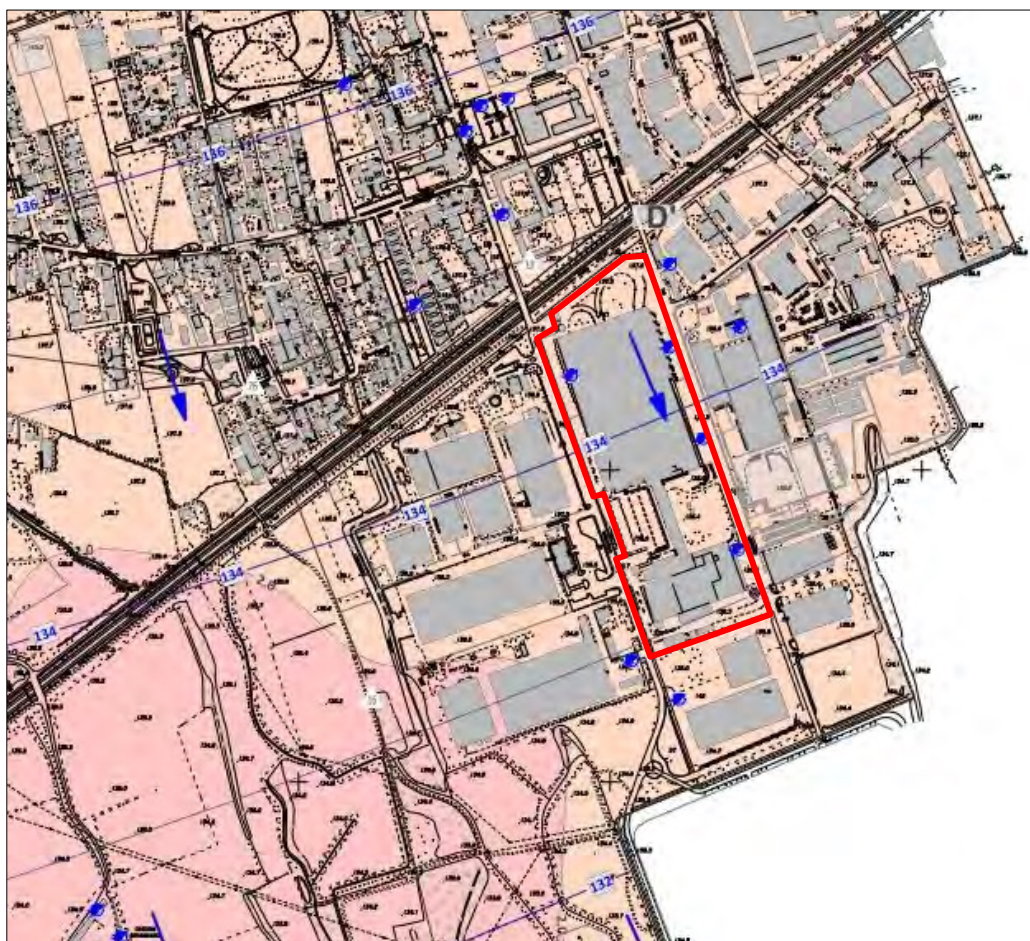


Figura 27 – Carta idrogeologica PGT di Cornaredo

L'assetto piezometrico dell'area di progetto relativo a maggio 2014, settembre 2014, marzo 2022 e settembre 2022 è mostrato nelle seguenti immagini.

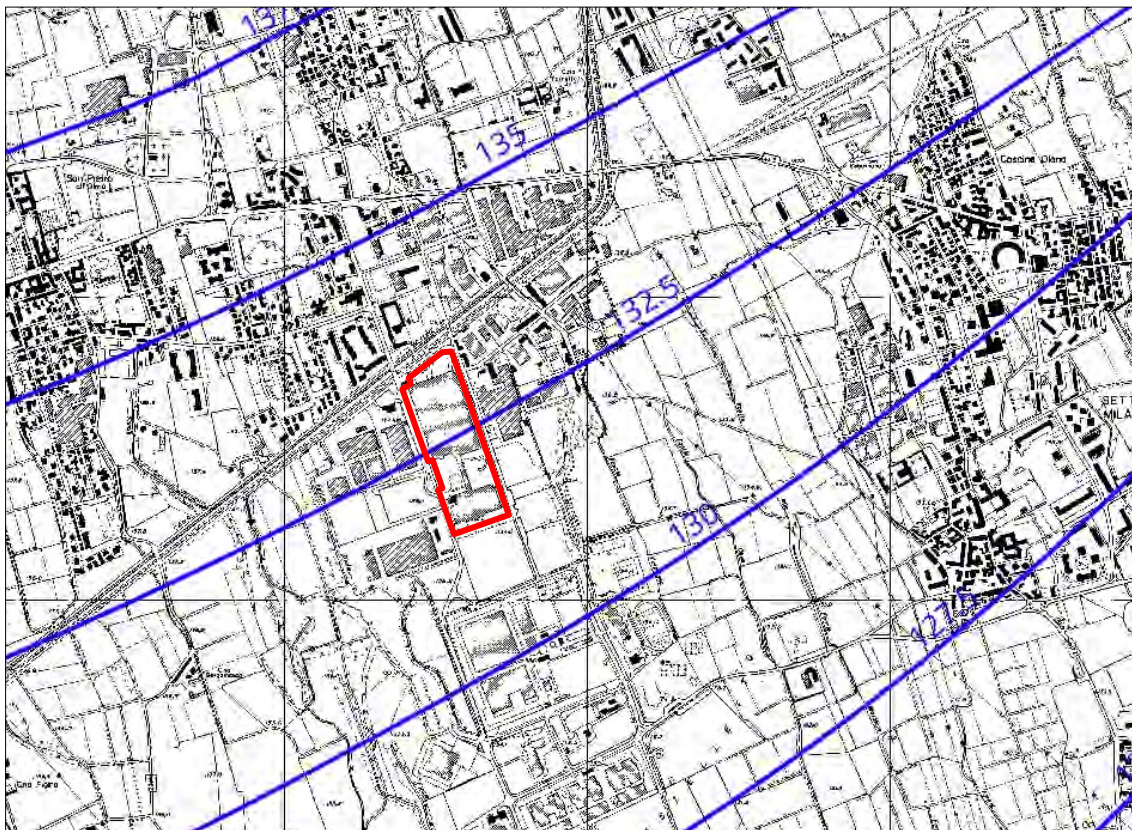


Figura 28 – piezometria maggio 2014 – da Geoportale Lombardia

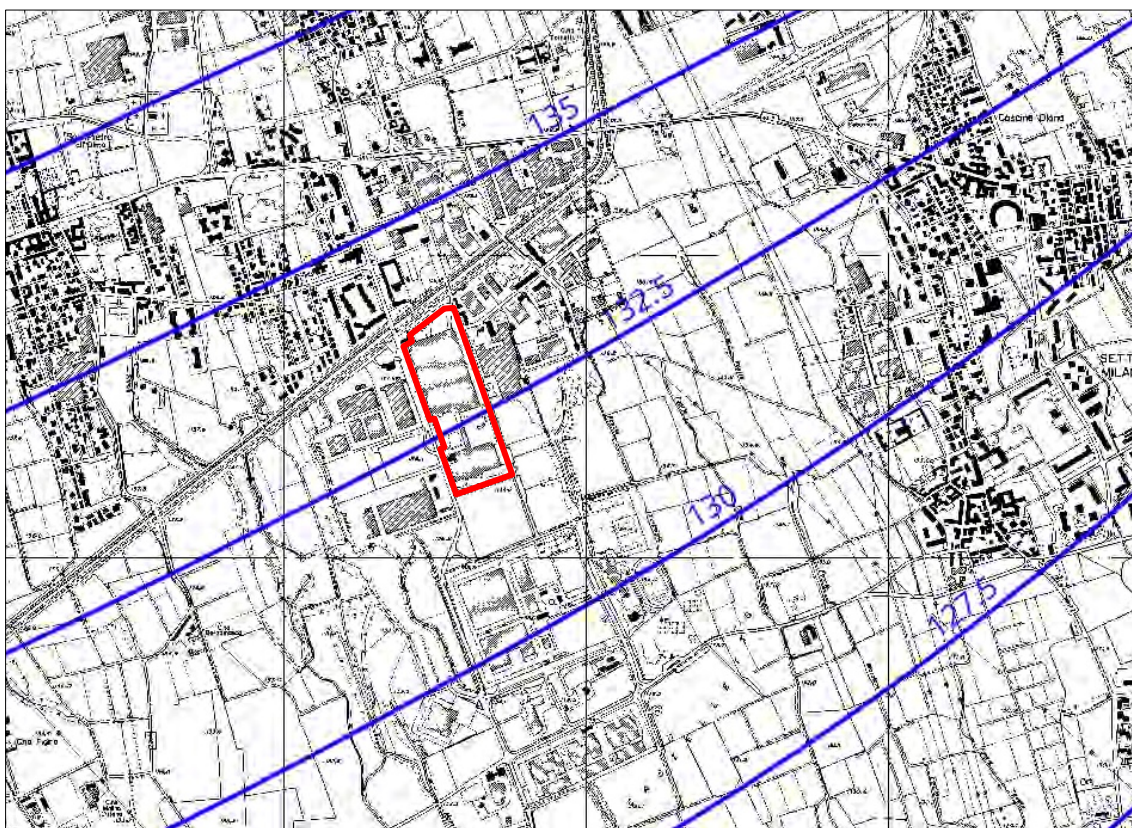


Figura 29 – piezometria settembre 2014 - da Geoportale Lombardia

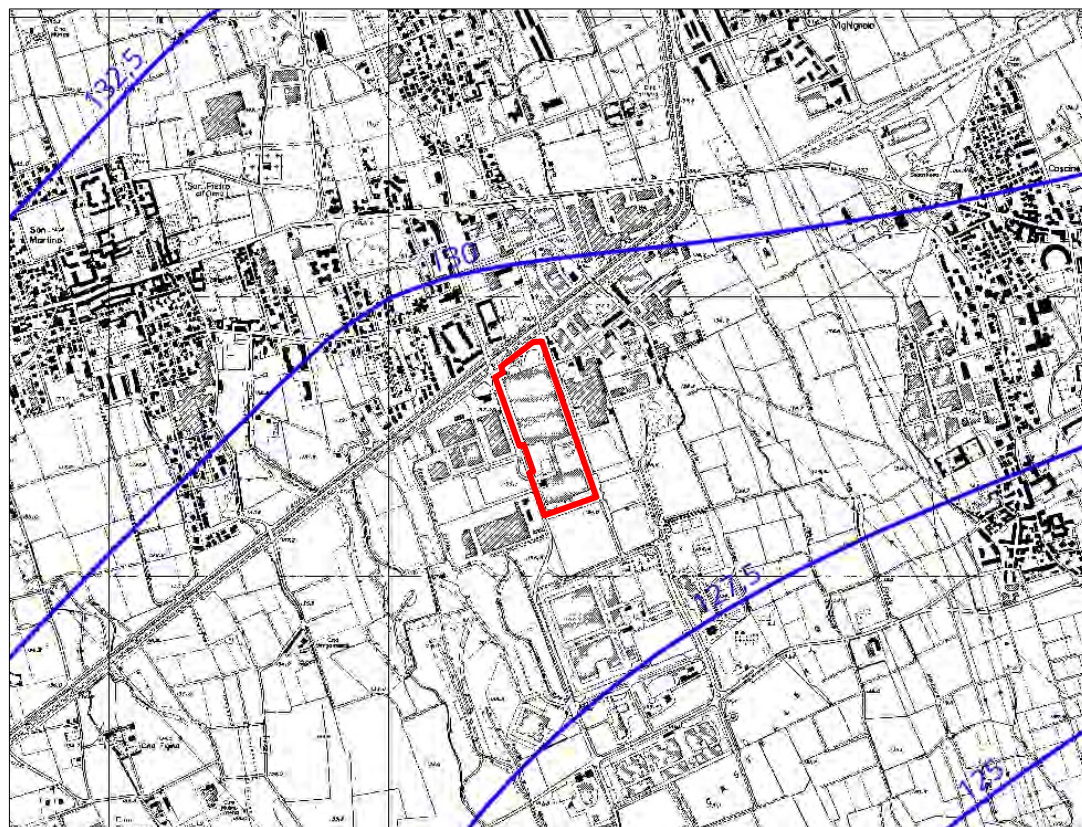


Figura 30 – piezometria marzo 2022 - da Città Metropolitana di Milano

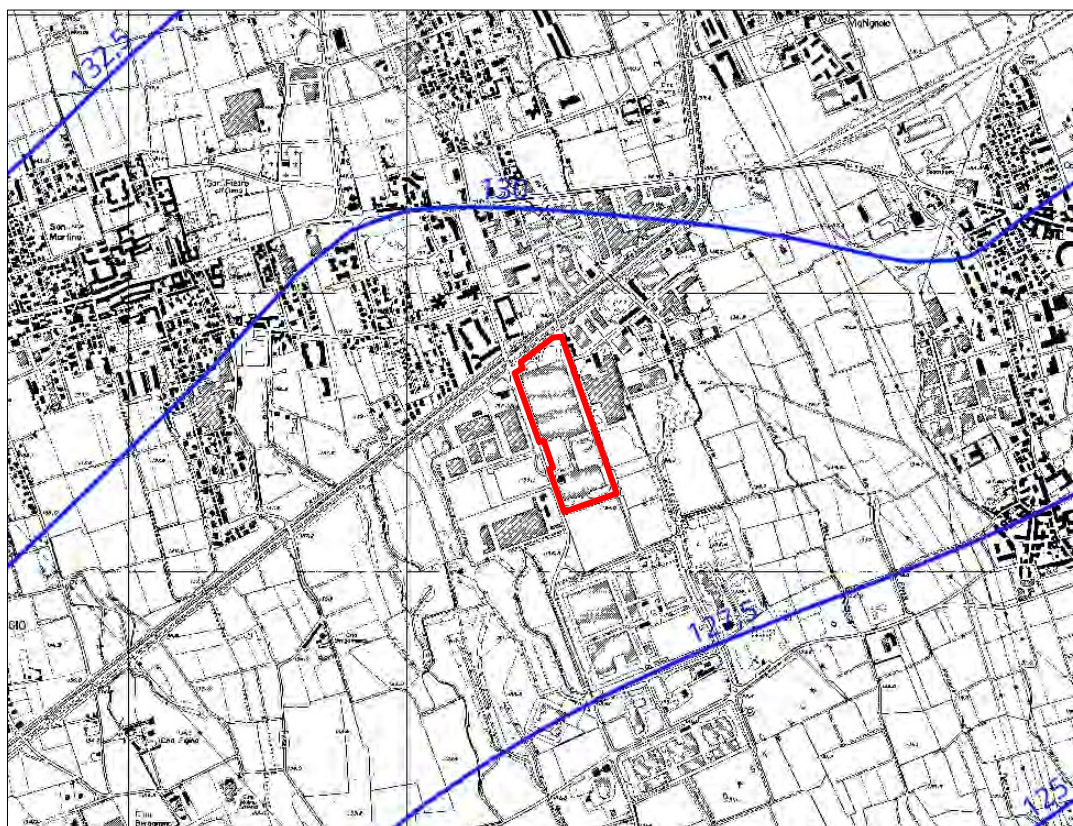


Figura 31 – piezometria settembre 2022 - da Città Metropolitana di Milano

Nella seguente tabella si sintetizzano le quote piezometriche e le corrispondenti soggiacenze desunte dall'esame delle cartografie sopra riportate.

Data	Quota piezometrica [m s.l.m.]		Soggiacenza [m]	
	Limite nord	Limite sud	Limite nord	Limite sud
Settembre 2013	134.9	133.0	3.6	3.0
Maggio 2014	133.4	131.5	5.1	4.5
Settembre 2014	133.8	131.9	4.7	4.1
Marzo 2022	129.5	128.5	9.0	7.5
Settembre 2022	129.3	128.4	9.2	7.6

Le oscillazioni piezometriche stagionali possono essere analizzate facendo riferimento alle misure condotte mensilmente dal Consorzio per l'Acqua Potabile della Provincia di Milano (C.A.P.) nel pozzo n. 1 di Via Roma (campo sportivo – codice SIF 015087001) in comune di Cornaredo, posto ad una quota di p.c. di 142.8 m s.l.m. a nordovest del sito di progetto; i dati riferiti agli anni 1981-2017 evidenziano la fluttuazione annuale della superficie di falda con minimo piezometrico registrato tra marzo e aprile e massimo piezometrico registrato tra settembre e ottobre, con variazioni piezometriche di circa 2÷3 m, come mostrato nella seguente figura.

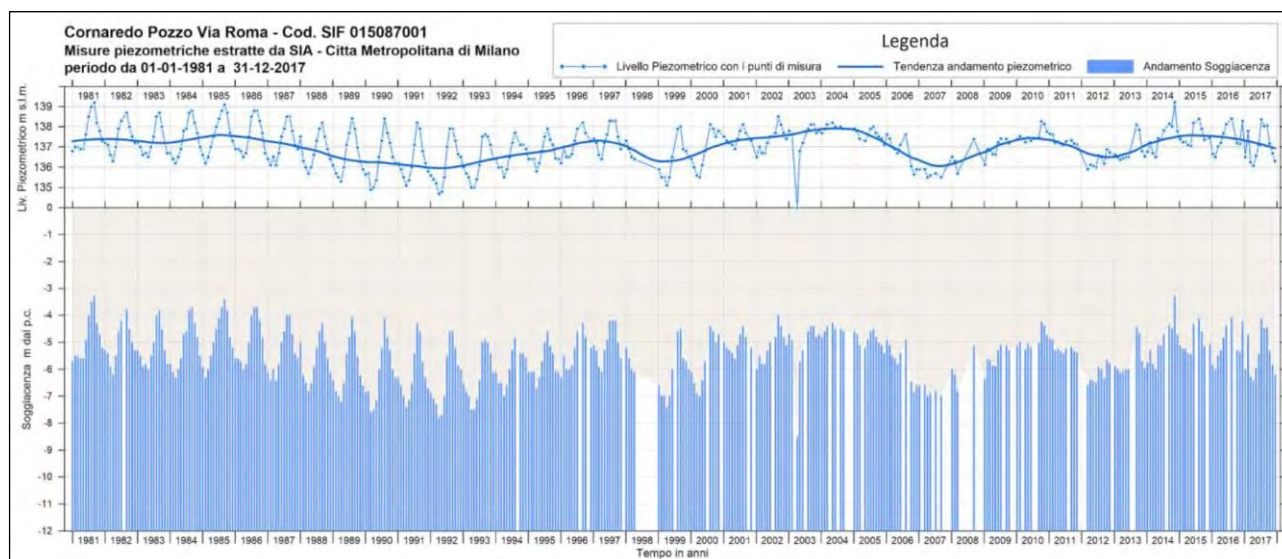


Figura 32 – oscillazioni piezometriche

Sulla base di tale andamento si possono definire per il sito di progetto valori minimi di soggiacenza di circa 3 m da p.c. in condizioni di massimo piezometrico (settembre-ottobre).

Del pozzo sopra citato è disponibile la stratigrafia (cfr. *Figura 33*). I terreni attraversati, come già mostrato nella sezione idrogeologica mostrata in *Figura 26*, sono costituiti da ghiaie e sabbie in diverse proporzioni e lenti rare di terreni fini.

Il pozzo più prossimo al sito, individuato dal portale “Ambiente Comune” della città metropolitana di Milano, è identificato con il codice 0150870013. Si tratta di un pozzo privato perforato nell'agosto del 1969 il quale raggiunge la profondità di 272.56 m con quota di p.c. pari a 138.0 m s.l.m.. La natura dei terreni è la medesima del pozzo pubblico anzi descritto.

In *Figura 34* e in *Figura 35* viene mostrata l'ubicazione e la stratigrafia dei primi 96.73 m.

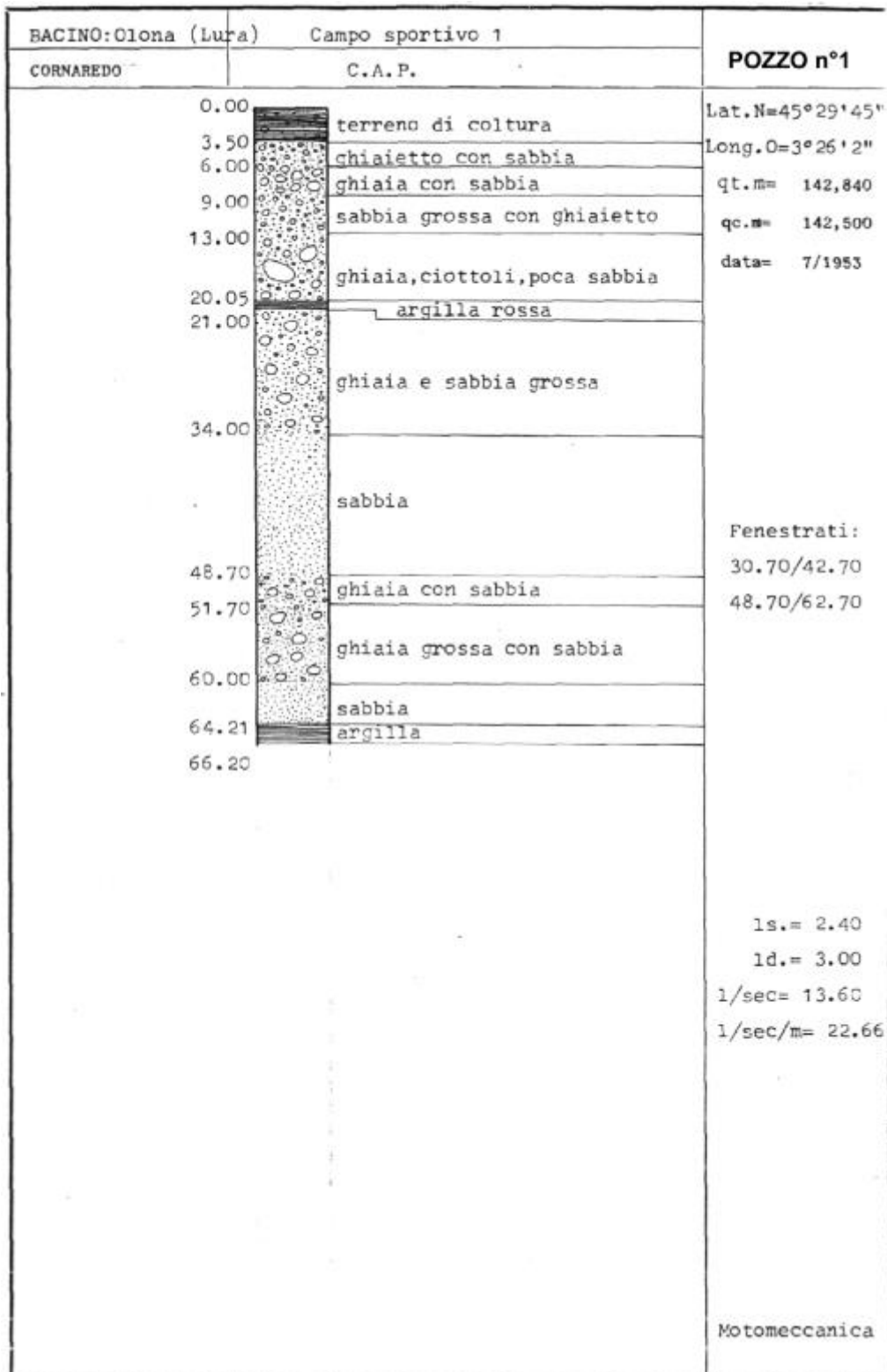


Figura 33 – Pozzo pubblico campo sportivo 1 - stratigrafia

7 ASPETTI GEOTECNICI

La caratterizzazione geotecnica preliminare dei terreni dell'area di progetto è stata ottenuta a partire da dati di resistenza penetrometrica disponibili nello studio geologico del PGT di Cornaredo. Di seguito viene riportato uno stralcio della carta geologica – geomorfologica – geotecnica di PGT con le risultanze delle prove penetrometriche P12, P20 e P21, le più prossime all'area di progetto.

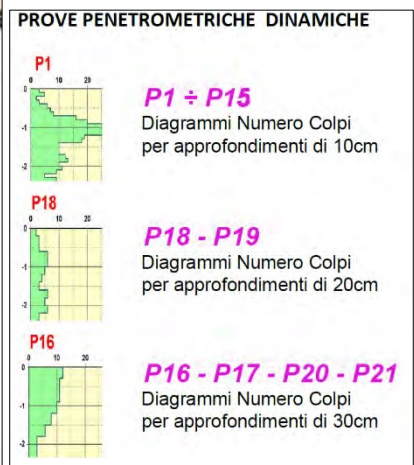
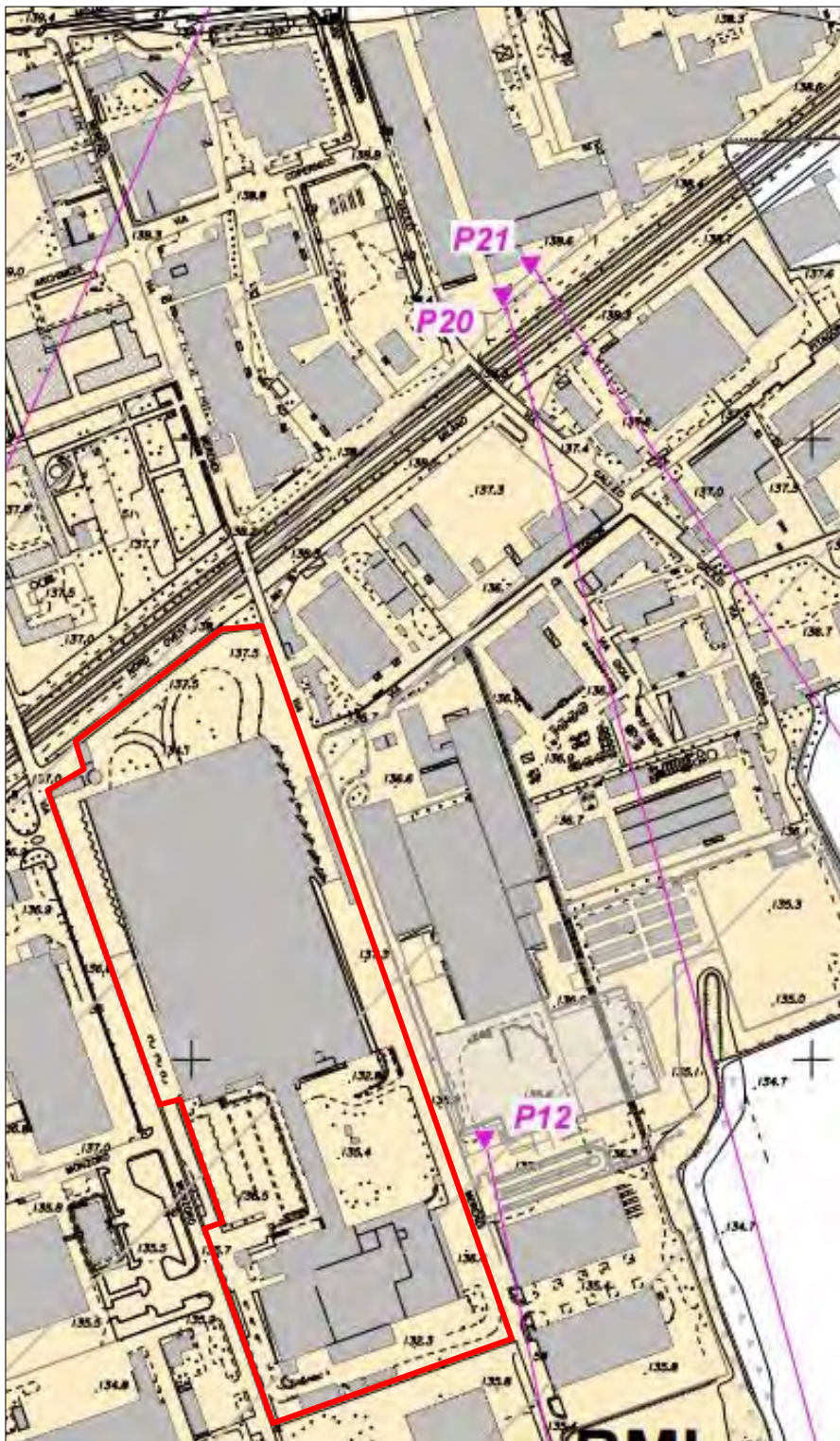


Figura 36 – Stralcio carta geologica – geomorfologica – geotecnica e ubicazione delle prove

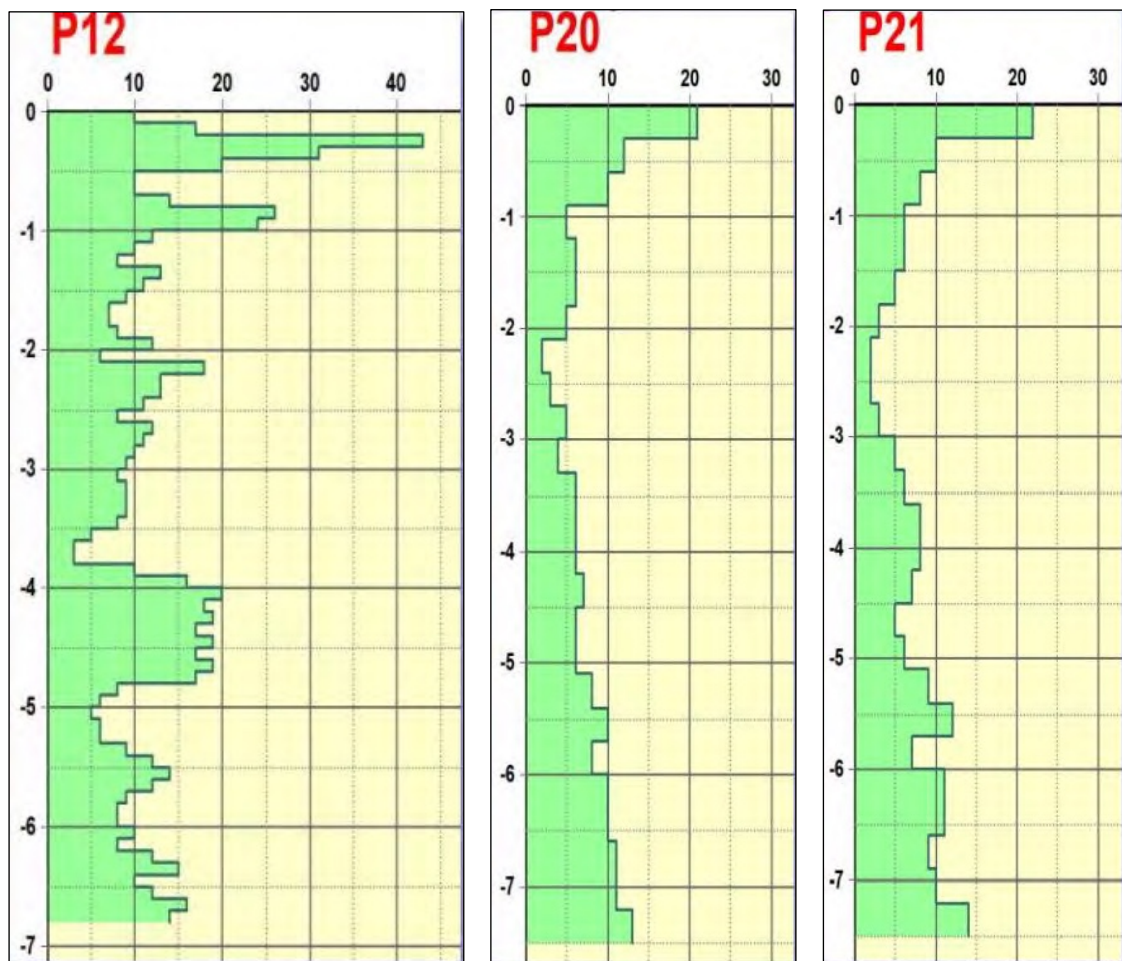


Figura 37 – Prove penetrometriche dinamica P12, P20 e P21

Ulteriori dati penetrometrici sono stati desunti dalla consultazione della banca dati di sottosuolo di Regione Lombardia in cui sono presenti alcune prove penetrometriche dinamiche nella località di San Pietro all’Olmo. In particolare è stata considerata la prova con codice identificativo B6A210067218,

In *Figura 38* è mostrato uno stralcio della carta della banca dati di sottosuolo di Regione Lombardia in cui con cerchio rosso è evidenziata la prova considerata, mentre in *Figura 39* è mostrato il report della prova.

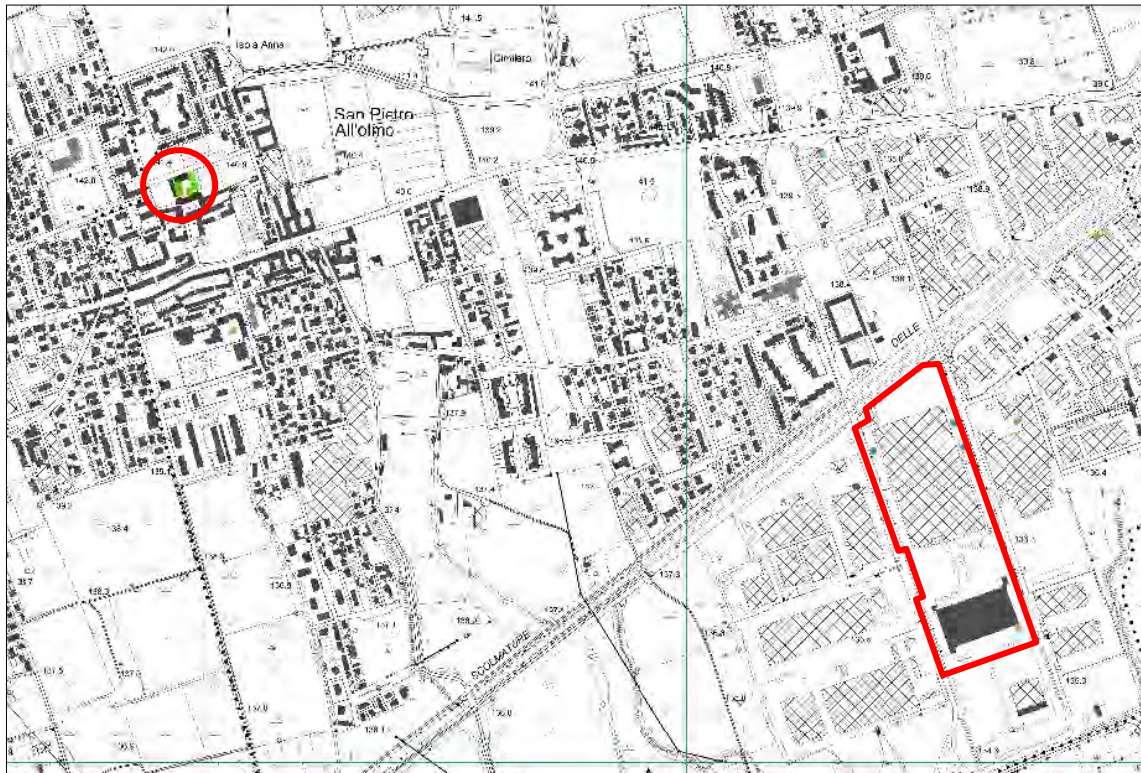


Figura 38 – Stralcio della carta della banca dati di sottosuolo di Regione Lombardia

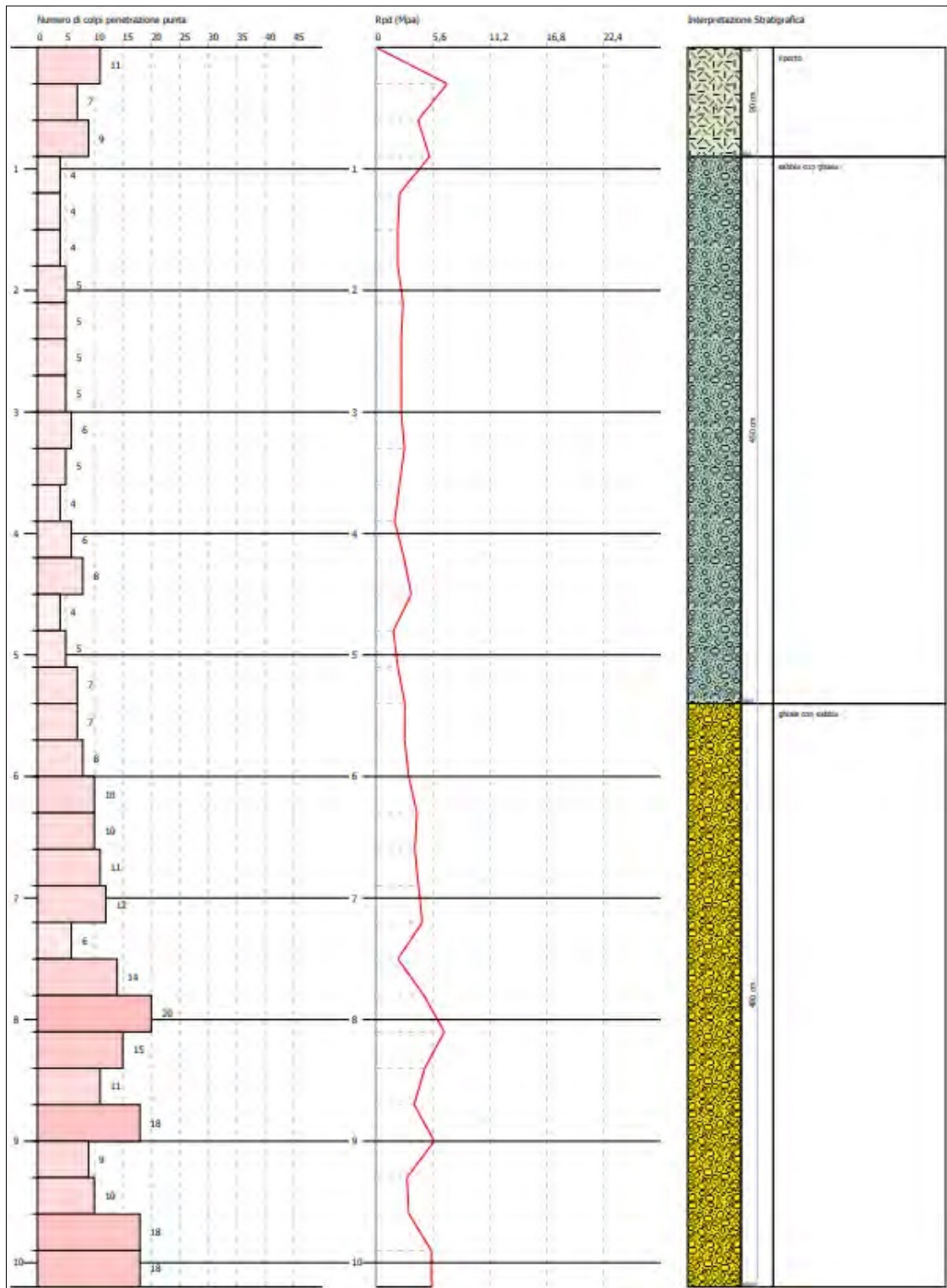


Figura 39 – Report della prova penetrometrica considerata

Al fine di ottenere una caratterizzazione geotecnica preliminare di massima, utile per le impostazioni delle successive scelte progettuali, le prove penetrometriche dinamiche disponibili sono state interpretate dagli scriventi a mezzo di un programma di calcolo che, in base alle correlazioni più comunemente accettate, permette di definire i principali parametri geotecnici, una

volta noti i valori di resistenza alla penetrazione standard (N_{SPT}) direttamente ricavata dalla resistenza alla penetrazione dinamica (N_{30} o N_{10}) misurata nelle prove secondo la correlazione:

$$N_{SPT} \approx \alpha N_{xx}$$

Sulla base di numerose esperienze pregresse condotte dagli scriventi in analoghi contesti litostratigrafici il coefficiente di correlazione α è stato assunto pari a 2.0 per le prove eseguite con penetrometro DPSH con misura della resistenza penetrometrica N_{30} ed a 1.1 per le prove eseguite con penetrometro DPL con misura della resistenza penetrometrica N_{10} .

A partire dai valori di N_{SPT} così ottenuti sono stati ricavati i valori di N_{SPT} corretti in funzione del confinamento laterale (N_1) ed i valori di densità relativa.

In particolare i valori di N_1 sono stati ottenuti a partire dai valori di N_{SPT} sulla base della seguente equazione:

$$N_1 = N_{SPT} / \sigma'_{vo}{}^{0.56} \quad [\text{Jamolkowski et al., 1985}]$$

La densità relativa è stata calcolata a partire dai valori di N_1 in accordo alle seguenti equazioni ricavate dall'analisi di numerose evidenze sperimentali [Skempton, 1986]:

$$Dr = [(N_1)_{60} / (71.7 * (N_1)_{60}^{-0.056})]^{0.5} \quad \text{per } (N_1)_{60} > 8$$

$$Dr = [(N_1)_{60} / (296.6 * (N_1)_{60}^{-0.728})]^{0.5} \quad \text{per } (N_1)_{60} \leq 8$$

dove $(N_1)_{60} = N_1$ in base a considerazioni relative al rendimento medio dell'attrezzatura impiegata per le prove SPT e pari a circa il 60%

Nel complesso le indagini disponibili evidenziano la presenza di terreni di natura granulare sabbioso-ghiaiosa, localmente debolmente limosi, da sciolti a mediamente addensati fino alla profondità di circa 7÷8 m, con in particolare valori inferiori di resistenza penetrometrica ed addensamento tra le profondità di 3 e 4 m, e da mediamente addensati ad addensati oltre le profondità di 7÷8 m, come testimoniato dall'andamento dei valori di resistenza alla penetrazione standard N_{SPT} e di densità relativa Dr di seguito mostrati.

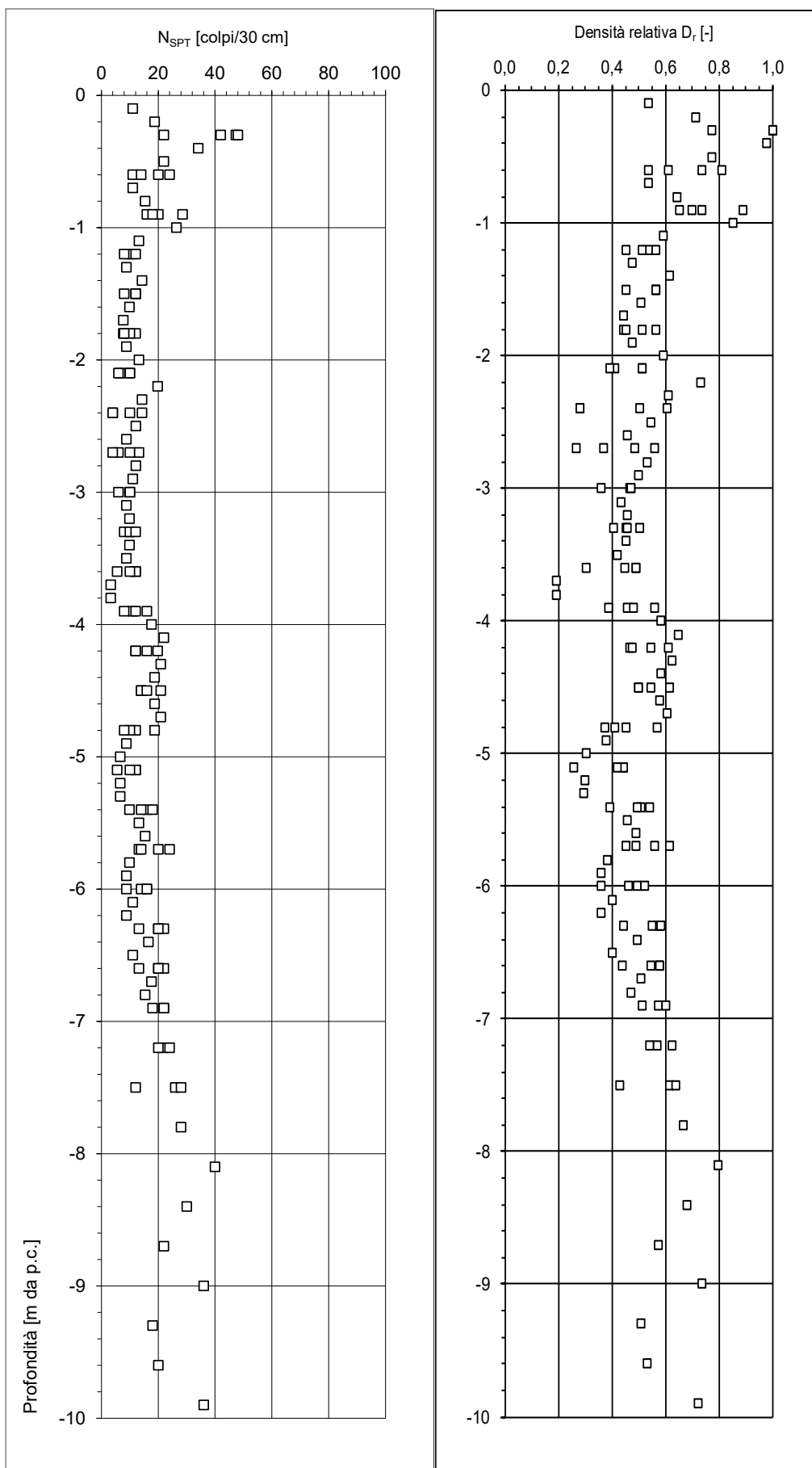


Figura 40 – Resistenze penetrometriche SPT e Densità relativa Dr

8 ASPETTI SISMICI

8.1 Sismicità storica

Per quanto riguarda l'analisi della sismicità storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel DBMI15 v.4.0, che contiene 23981 dati di intensità relativi a 3229 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI15 3.0.

DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Nella tabella di seguito vengono mostrati i terremoti con magnitudo epicentrale maggiore o uguale a 2 che hanno prodotto risentimenti sul territorio comunale di Cornaredo.

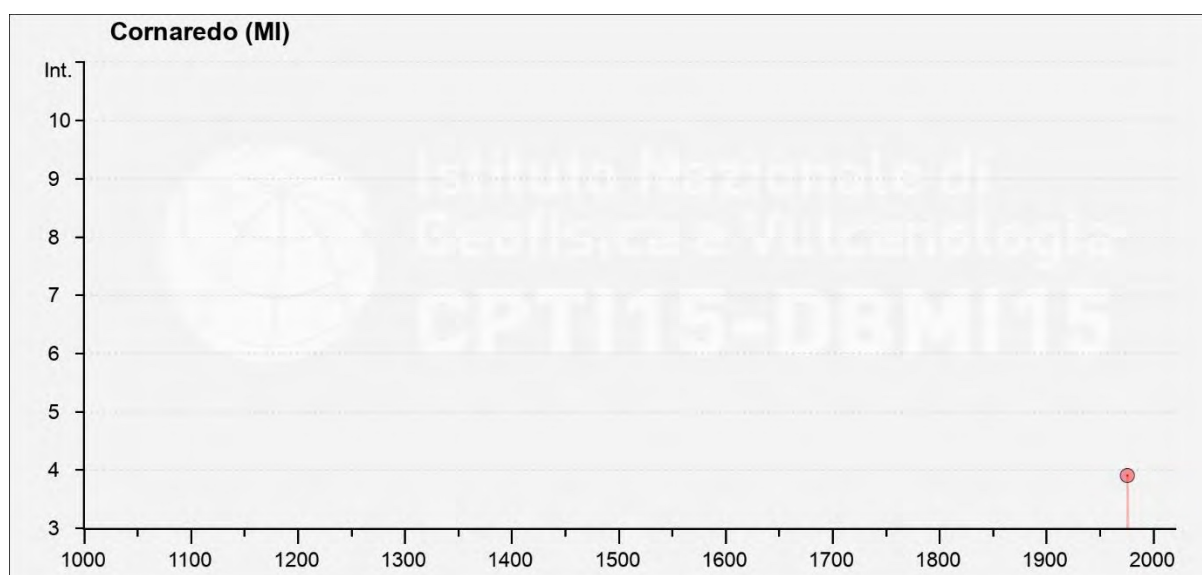


Figura 41 – Intensità macrosismiche dal 1000 al 2020 nel comune di Cornaredo

Effetti		In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45
NF	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94

Tabella 8 – Sismicità storica di Cornaredo (da database DBMI15)

L'evento di maggiore intensità risentito al sito è costituito dal terremoto che interessò il Friuli il 06 maggio 1976, con epicentro nel comune di Gemona del Friuli. L'ubicazione dell'epicentro dell'evento e la relativa mappa di risentimento macrosismico è mostrato di seguito.

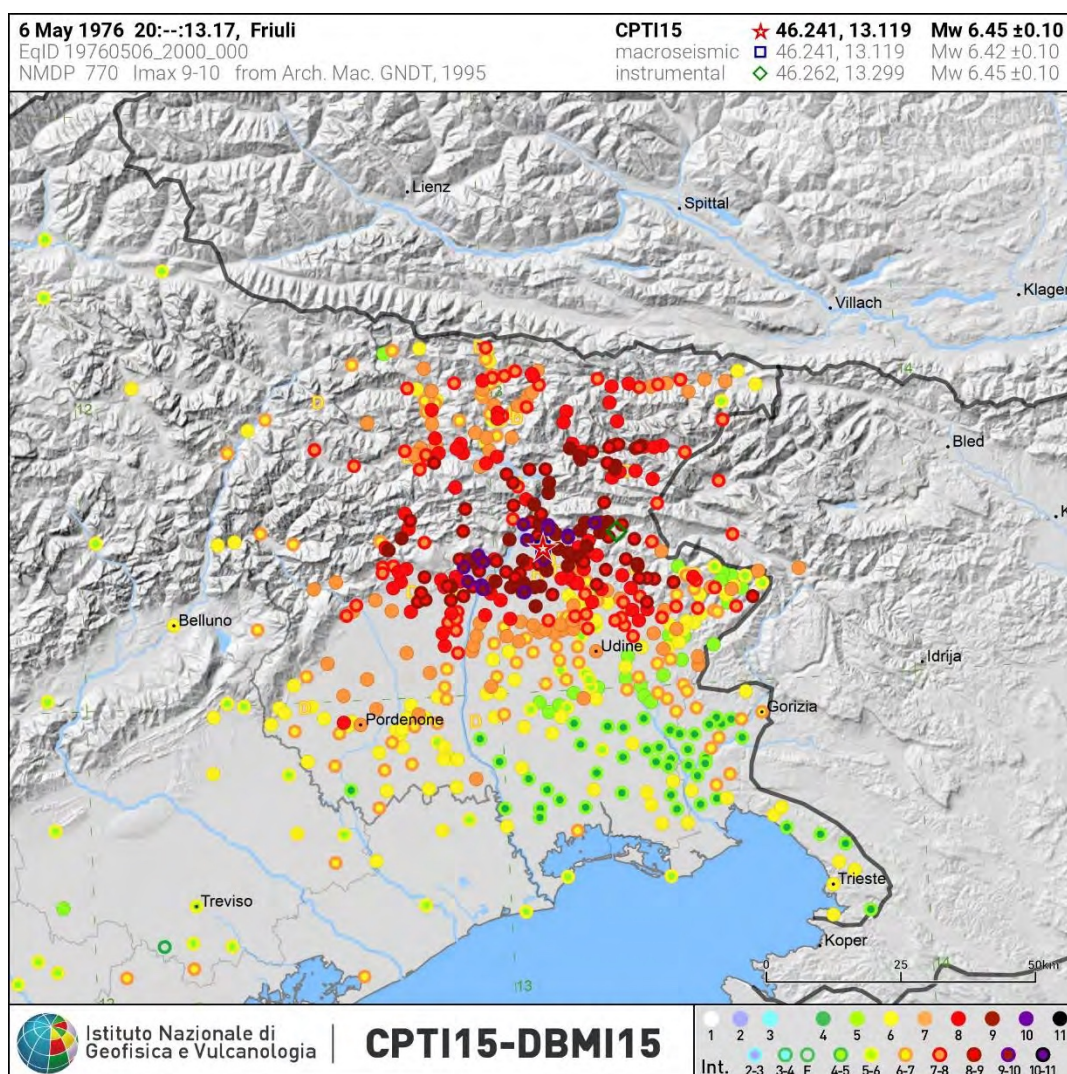
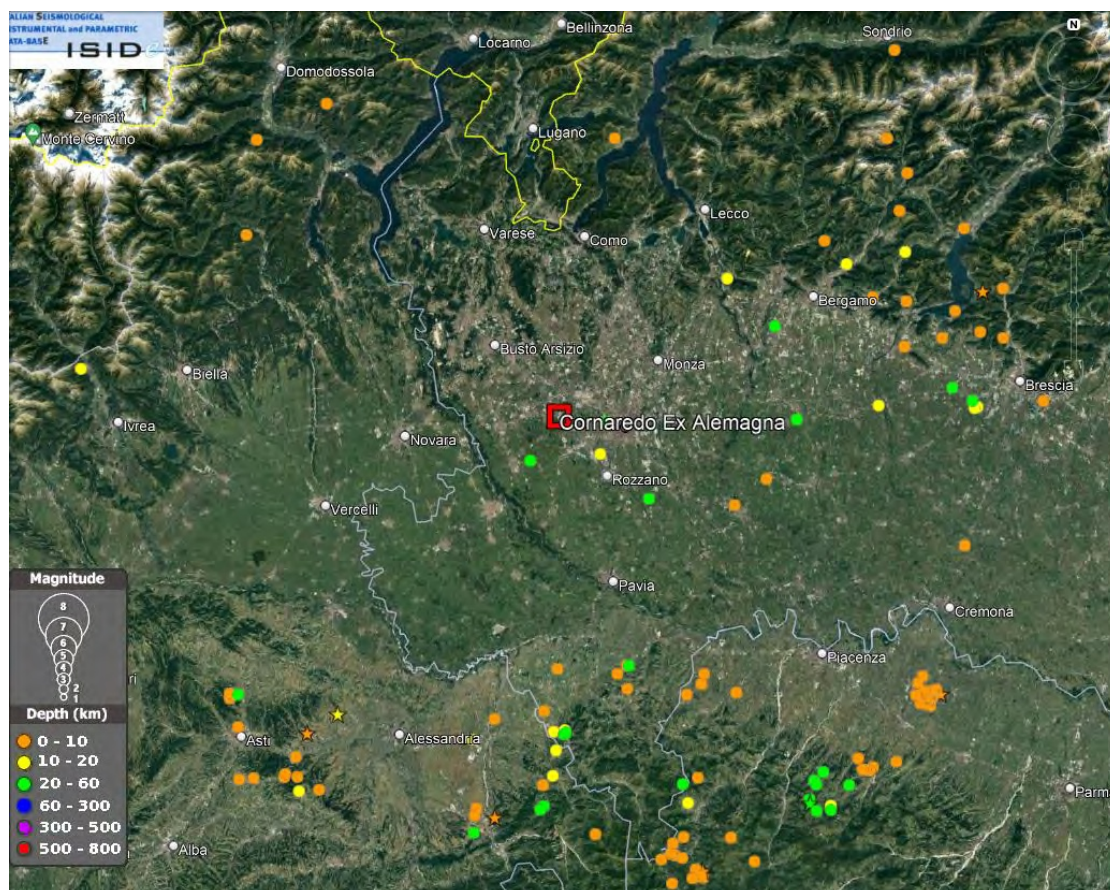


Figura 42 – Evento sismico del 06/05/1976

8.2 Sismicità recente

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato il Comune di Cornaredo, nel periodo di studio compreso dal 1985 ad oggi, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio pari a 100 km dal sito di intervento.

Nel periodo esaminato si sono stati registrati 126 eventi con magnitudo superiore a 3 e con massimo di 4.8 relativo all'evento del 21/08/2000 che interessò la provincia di Alessandria con epicentro a 2 km a W del Comune di Quattordio (AL); si riporta di seguito la planimetria con la localizzazione degli eventi in rapporto all'area di intervento evidenziata con quadrato rosso, ed una tabella riportante i primi 30 eventi ordinati per magnitudo decrescente.



- Fuso Orario: Italia - Dal 1985-01-01 - Magnitudo: 3+ - Punto: (45.5029, 9.0269) - Raggio: 100 km Personalizza Ricerca Mappa

Visualizzati terremoti da 1 a 30 dei **126** trovati (Ordinamento Magnitudo Decrescente) Esporta lista (UTC) ▾

Data e Ora (Italia) ⓘ ⓘ	Magnitudo ⓘ ⓘ	Zona ⓘ	Profondità ⓘ	Latitudine	Longitudine
2000-08-21 19:14:28	Md 4.8	2 km W Quattordio (AL)	5	44.91	8.39
2003-04-11 11:26:57	Md 4.5	1 km SE Cassano Spinola (AL)	8	44.76	8.87
2012-10-03 16:41:29	Mw 4.3	5 km E Bettola (PC)	24	44.78	9.67
2002-11-13 11:48:03	Md 4.2	2 km SE Sale Marasino (BS)	5	45.70	10.13
2001-07-19 00:47:11	Md 4.0	2 km W Quargento (AL)	10	44.94	8.47
1991-10-31 10:31:18	Md 4.0	3 km W Busseto (PR)	5	44.98	10.01
2020-04-16 11:42:51	Mw 4.0	4 km E Cerignale (PC)	6	44.66	9.40
2009-10-19 12:08:49	Mw 3.9	4 km SE Gropparello (PC)	24	44.81	9.77
2021-12-18 11:34:47	Mw 3.9	1 km W Dalmine (BG)	31	45.65	9.59
2018-05-19 18:41:21	Mw 3.9	4 km W Gropparello (PC)	29	44.82	9.68
1995-10-29 14:00:25	Md 3.9	3 km NW Cologne (BS)	5	45.61	9.93
2005-04-19 09:42:01	ML 3.8	5 km NE Morfasso (PC)	25	44.77	9.72
2020-12-17 16:59:22	ML 3.8	3 km W Milano (MI)	55	45.47	9.15
2017-09-10 20:00:55	ML 3.7	4 km W Gropparello (PC)	25	44.82	9.69
2013-11-22 20:50:24	ML 3.7	2 km NW Godiasco Salice Terme (PV)	21	44.91	9.05
2020-04-19 11:53:40	ML 3.7	1 km SE Redavalle (PV)	25	45.03	9.21
2005-04-18 12:59:18	ML 3.7	3 km W Corte Brugnatella (PC)	8	44.72	9.35
2012-02-29 16:34:58	ML 3.7	1 km NE Casasco (AL)	15	44.83	9.02
1993-06-14 14:28:37	Md 3.7	4 km SW Pieve Vergonte (VB)	5	45.98	8.25
1991-05-29 22:24:41	Md 3.7	2 km W Castell'Alfero (AT)	10	44.98	8.19
1993-12-09 19:16:52	Md 3.6	2 km N Gardone Val Trompia (BS)	5	45.71	10.18
2013-11-21 11:36:50	Mw 3.6	2 km NW Godiasco Salice Terme (PV)	23	44.91	9.04
1985-08-12 12:28:06	Md 3.6	5 km E Coli (PC)	10	44.72	9.47
2005-06-05 06:18:46	ML 3.6	4 km SE Brallo di Pregola (PV)	7	44.71	9.32
2014-12-06 18:40:41	ML 3.6	1 km W Pozzol Groppo (AL)	11	44.88	9.02
2002-04-29 17:14:09	Md 3.5	8 km N Ornavasso (VB)	9	46.05	8.43
1988-12-25 19:27:35	Md 3.5	3 km NW Rivanazzano Terme (PV)	8	44.95	8.99
2005-04-19 10:27:39	ML 3.5	5 km N Morfasso (PC)	26	44.77	9.69
2005-04-30 10:10:25	ML 3.5	3 km NW Cerignale (PC)	9	44.69	9.32
1991-11-22 08:40:01	Md 3.5	2 km SE Besenzone (PC)	7	44.98	9.97

Figura 43 – Database ISIDE - Periodo 1985 –2023. Mappatura dei sismi con Magnitudo > 3

8.3 Contesto geodinamico e sorgenti sismogenetiche

L'area di progetto non ricade in alcuna zona sismogenetica della zonazione ZS9. La sismicità risentita può essere ricondotta, da un punto di vista geodinamico, alla zona sismogenetica 911 ed in misura minore alla zona 907.

La sismicità della zona sismogenetica 911, che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso relative, costituisce una zona di svincolo cinematico tra il sistema alpino ed il sistema appenninico ed è caratterizzata da meccanismi di fagliazione prevalentemente trascorrenti sinistrorsi in strutture crostali superficiali e dip-slip in strutture più profonde che danno luogo a terremoti con ipocentri mediamente compresi nella classe di profondità 8÷12 km.

La zona sismogenetica 907 è legata alla convergenza attiva tra la placca Adria e la placca Europea e si esplica attraverso meccanismi di fagliazione a prevalente componente inversa, che danno luogo a terremoti con ipocentri mediamente compresi nella classe di profondità 8÷12 km. La zona include la parte più bassa delle province di Bergamo e Brescia. È caratterizzata da una sismicità di energia normalmente medio-bassa con la sola eccezione del terremoto di Soncino evento del 1802, a cui viene assegnata una magnitudo Mw intorno a 5.9.

L'ubicazione delle zone sismogenetiche ed i meccanismi focali prevalenti ad esse associati sono mostrati di seguito in rapporto all'area di progetto.

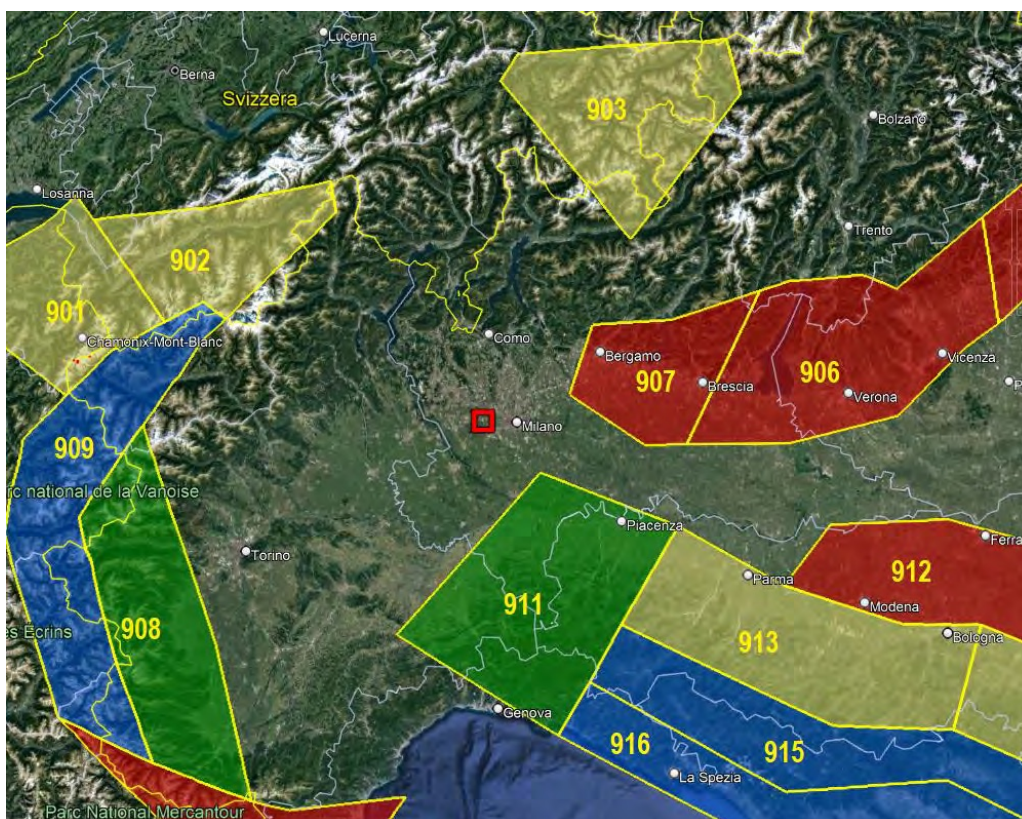


Figura 44 – Zone sismogenetiche ZS9

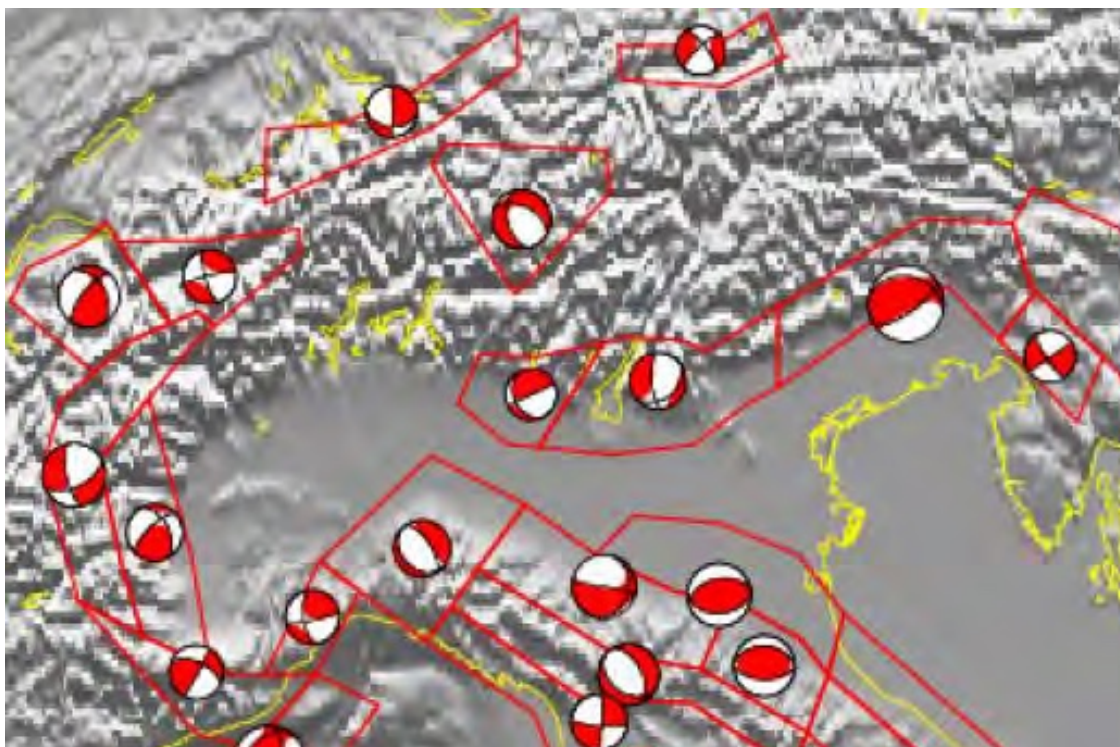


Figura 45 – Meccanismi focali

All'interno del contesto geodinamico sopra definito il database DISS 3.3.0, curato ed aggiornato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, costituisce un inventario georeferenziato di informazioni tettoniche, strutturali e paleosismologiche utili per la valutazione della pericolosità sismica del territorio a scala regionale.

Il progetto DISS, che è relativo a potenziali sorgenti sismogenetiche in grado di dar luogo ad eventi sismici con magnitudo superiore a 5.5, identifica:

- le sorgenti sismogenetiche individuali, che costituiscono una rappresentazione tridimensionale semplificata di piani di faglia che mostrano comportamenti caratteristici in rapporto alla lunghezza ed alla ampiezza della zona di rottura ed alla magnitudo attesa.
- le sorgenti sismogenetiche composite, che costituiscono una rappresentazione tridimensionale semplificata di faglie crostali contenenti un numero imprecisato di sorgenti sismogenetiche che non possono essere distinte singolarmente. Le sorgenti composite non sono associate a specifici set di terremoti o a distribuzioni spaziali di terremoti.
- le sorgenti sismogenetiche dibattute, che sono faglie attive proposte come sorgenti sismogenetiche potenziali nella letteratura di settore ma non considerate sufficientemente affidabili o i cui parametri non hanno potuto essere inclusi in nessuna delle altre categorie.
- le zone di subduzione, che costituiscono ricostruzioni tridimensionali semplificate di zone di subduzione complesse, rappresentate da isolinee di profondità del lembo in subduzione e che, come le sorgenti composite, non sono associate a specifici set di terremoti o a distribuzioni spaziali di terremoti.

Nella figura seguente si mostra l'ubicazione delle sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di intervento, identificato con riquadro rosso.

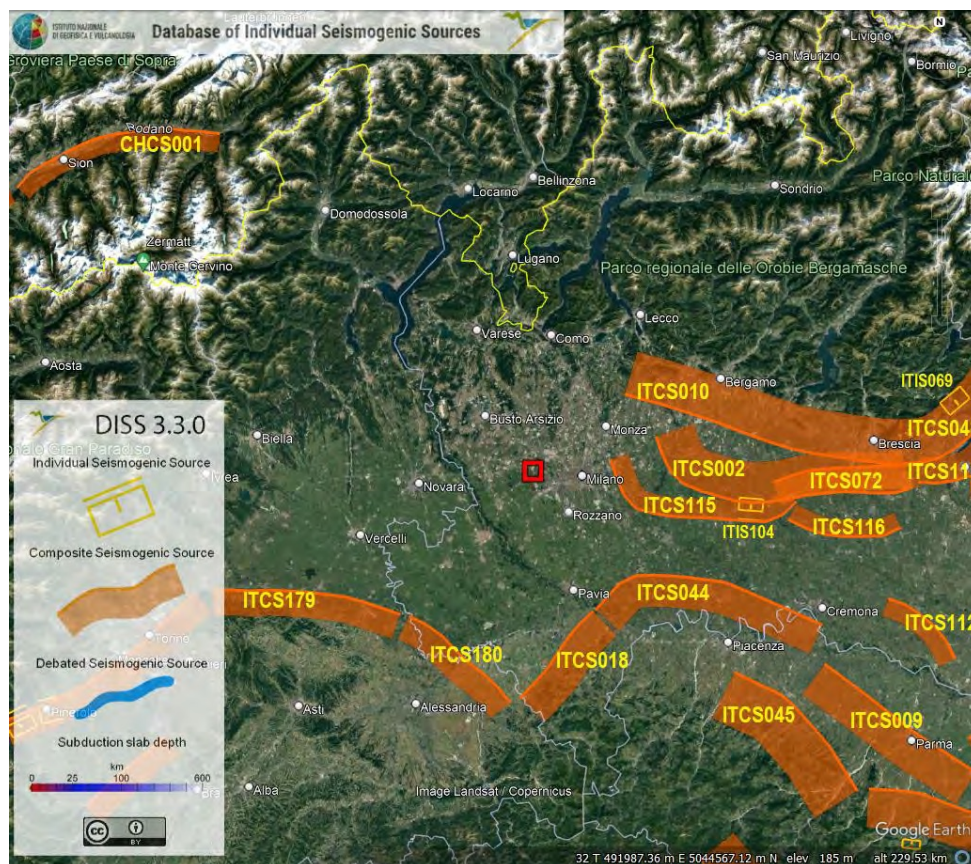


Figura 46 – Sorgenti sismogenetiche (da database DISS 3.3.0)

Nella seguente tabella si riportano i massimi valori di magnitudo momento attesi nelle sorgenti sismogenetiche più prossime al sito di progetto e la minima distanza relativa:

Sorgente sismogenetica	Profondità [km]	Magnitudo momento Mw	Distanza minima dal sito [km]
CHCS001: Western Valais	3÷15	7.0	121.9
ITCS002: Western S-Alps external thrust	6÷13	6.8	34.9
ITCS009: Busseto - Cavriago	2÷8	6.8	95.5
ITCS010: Western S-Alps internal thrust	5÷12	6.9	32.3
ITCS018: Rivanazzano - Stradella	2÷8	6.8	41.6
ITCS044: Portalbera - Cremona	2÷7	6.7	38.5
ITCS045: San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro	2÷10	7.2	77.6
ITCS048: Giudicarie	5÷12	6.8	101.0

ITCS072: Capriano – Castenedolo backthrust	1÷6	6.3	66.1
ITCS113: Sirmione	2 ÷7	6.5	105.8
ITCS115: Western S-Alps external thrust shallow-	2÷6	6.2	21.1
ITCS116: Western S-Alps external thrust shallow-east	2.5÷5.5	5.9	71.4
ITCS179: Western Monferrato	1÷8	6.4	52.9
ITCS180: Eastern Monferrato	1÷8	6.4	51.7
ITIS069: Salò	6.5÷9.0	5.7	113.5
ITIS104: Romanengo	2.5÷5.8	5.7	56.8

Tabella 9 – Sorgenti sismogenetiche

Il sito di Progetto, come mostrato in *Figura 46*, non ricade in nessuna sorgente sismogenetica. Le sorgenti più vicine al sito di progetto sono le sorgenti sismogenetiche ITCS115, ITCS010 e ITCS002, distanti rispettivamente 21.1, 32.9 e 34.6 km.

Le sorgenti sismogenetiche ITCS002 e ITCS115 si associano al fronte sepolto più esterno dei thrust sud vergenti del dominio delle Alpi Meridionali al di sotto della Pianura Padana.

La sorgente sismogenetica ITCS010 è associata al fronte interno del thrust del sistema di thrust meridionale delle Giudicarie. Il fronte è localmente un arco interno sud-vergente, una rampa della porzione più a sud delle Alpi.

8.4 Faglie capaci

Il progetto ITHACA (ITaly HAZards from CApable faults) - Catalogo delle faglie capaci in Italia - adotta la seguente definizione di **faglia capace**, che tiene conto delle definizioni riportate nelle guide tecniche IAEA, redatte per la caratterizzazione di siti destinati ad ospitare impianti ad alto rischio e del contesto geodinamico italiano:

- *Una faglia è definita capace quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.*
- *La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (fault displacement/offset) che una deformazione distribuita (warping).*
- *La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture “anomale”, ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.*

Le faglie capaci, come definite sopra, possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche.

L'età dell'ultimo evento di attivazione di una faglia (last activity) è uno degli elementi discriminanti nella valutazione della "capacità" della struttura. L'analisi considera intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell'ambiente tettonico (IAEA, 2010) e dei tassi di deformazione:

- **Interplacca** (margini di placca)

- 1) < 125 ka (Pleistocene Superiore) - Faglia capace

- 2) 125 ka ≤ ultimo movimento accertato ≤ 2,58 Ma - Faglia da investigare con indagini appropriate

- **Intraplacca** (aree cratoniche)

- 1) ≤ 780 ka (Pleistocene medio) - Faglia capace

- 2) Quaternario (2.58 Ma) - Faglia da indagare

Le definizioni sopra riportate considerano diverse finestre temporali a seconda che l'area di indagine sia in zona Interplacca o Intraplacca. L'intervallo temporale più ampio, e quindi più cautelativo, previsto per le zone Intraplacca (movimenti entro il Pleistocene medio) è applicabile, in Italia, al solo settore sardo, ritenuto un'area intraplacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacini Balearico e Tirrenico) e quindi sia prossimo ad una situazione di interplacca.

Quindi, rispetto alle passate versioni di ITHACA, è stata introdotta la distinzione tra **faglia capace** e **faglia quaternaria da indagare**:

- **faglia capace**: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa, nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente;
- **faglia quaternaria da indagare**: faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per le aree cratoniche), per la quale non si può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.

Si evidenzia che nel Catalogo ITHACA l'intervallo considerato per le strutture capaci (< 125 ka sensu IAEA, 2010 e 2015) è più esteso di quello (40 ka) considerato negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (Dipartimento Protezione Civile, 2008) redatti dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) e poi nelle Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC).

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA; il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico con la localizzazione delle faglie capaci in relazione all'area di intervento, rappresentata con circolo arancio barrato, che evidenzia l'assenza di interferenze con le strutture sismiche attive note.

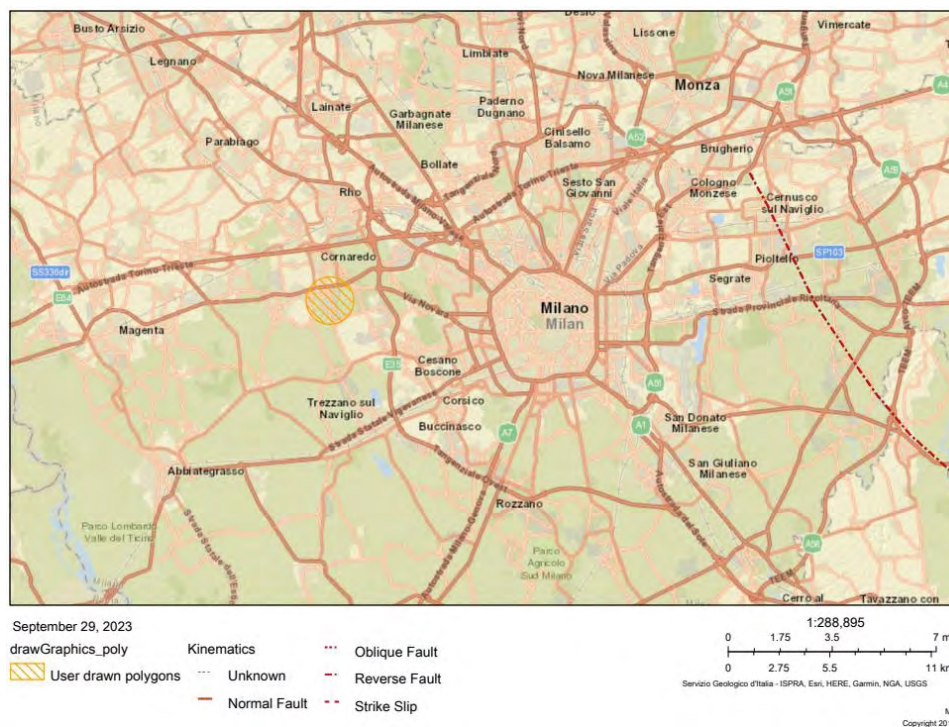


Figura 47 – Faglie capaci – database Ithaca

8.5 Sismicità di base dell'area

Per quanto concerne la determinazione dei parametri di scuotimento sismico dell'area di progetto, facendo riferimento al D.M. 14/01/08 *Norme tecniche per le costruzioni*, la sismicità di base del sito è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni definita nella tabella 1 allegata al citato D.M. in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento nazionale mostrato nella figura sottostante per il sito in esame in cui il centro degli assi della griglia identifica il sito di progetto (Coordinate geografiche ED50: Lat. 45,483523°; Long. 9,033157° - Coordinate geografiche WGS84: Lat. 45,482588°; Long. 9,032094°).

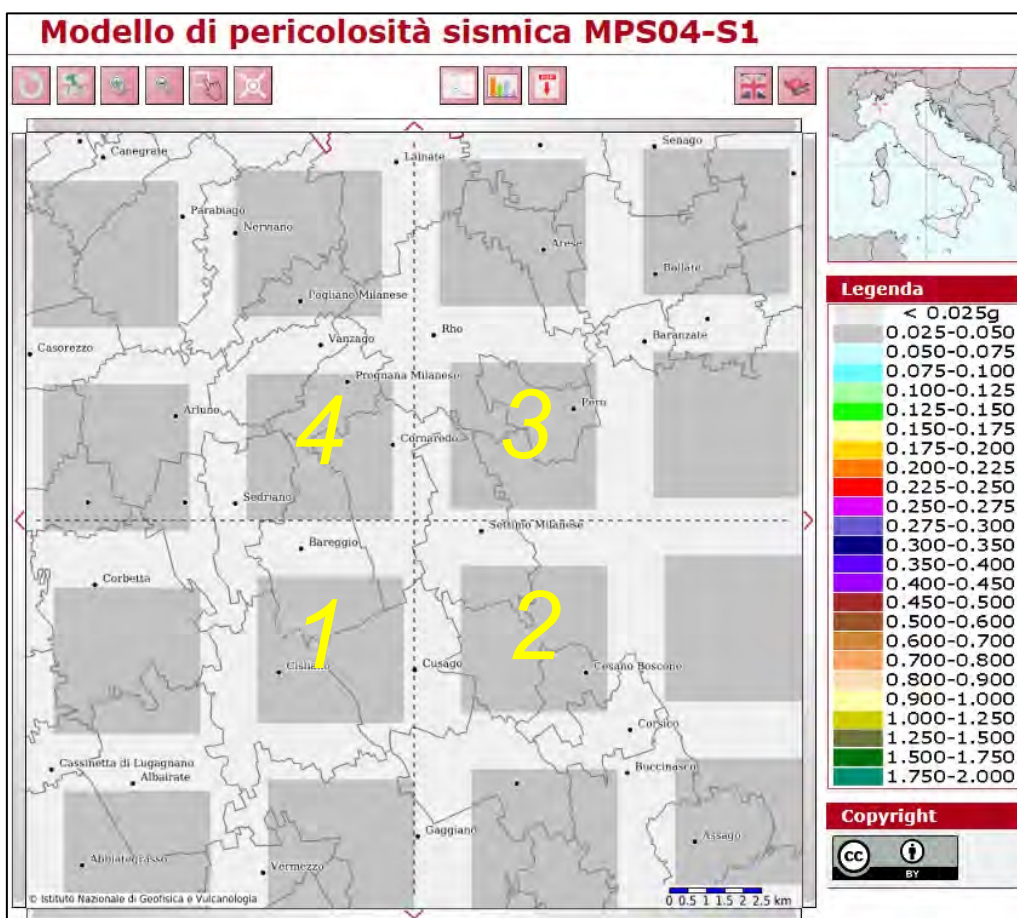


Figura 48 – Valori di accelerazione ai nodi del reticolo di riferimento

In particolare, i valori di scuotimento relativi ai quattro nodi utilizzabili per la definizione del valore medio utilizzabile per il sito in esame sono mostrati nella seguente tabella unitamente ai parametri di base che definiscono lo spettro di risposta elastico:

Punto [-]	ID Punto [-]	Long. [°]	Lat. [°]	Distanza [m]	$a_{g(475)}$ [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
1	12258	9,0041	45,4516	4178	0,0416	2,660	0,290
2	12259	9,0752	45,4542	4644	0,0439	2,680	0,280
3	12037	9,0714	45,5041	3755	0,0451	2,680	0,280
4	12036	9,0003	45,5015	3286	0,0428	2,670	0,280

Tabella 10 – Parametri sismici di base ai nodi del reticolo

Sulla base dei dati sopra indicati è possibile definire un valore di progetto delle azioni sismiche come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame adottando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in esame ed i vertici considerati.

Per l'area in esame si ottengono i seguenti valori medi dei parametri sismici di base:

$a_{g(475)}$ [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
0,0432	2,672	0,283

Tabella 11 – Parametri sismici di base di sito al bedrock sismico

Nella seguente tabella si riportano i parametri sismici di base al bedrock sismico per diversi tempi di ritorno.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,017	2,548	0,160
50	0,021	2,523	0,189
72	0,025	2,584	0,196
101	0,028	2,592	0,209
140	0,031	2,612	0,222
201	0,035	2,641	0,236
475	0,043	2,672	0,284
975	0,052	2,731	0,303
2475	0,064	2,842	0,324

Tabella 12 – Parametri sismici di base di sito al bedrock sismico per diversi tempi di ritorno

Per costruzioni di **tipologia 2 – Costruzioni con livelli di prestazione ordinari** – caratterizzate da una **vita nominale $V_N = 50$ anni** appartenenti alla **Classe d'Uso III** le azioni sismiche al bedrock assumono i valori riassunti nella seguente tabella per i diversi stati limite di riferimento:

Stato limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0,020	2,528	0,183
SLD	75	0,025	2,585	0,198
SLV	712	0,048	2,705	0,294
SLC	1462	0,057	2,779	0,312

Tabella 13 – Parametri sismici di base al bedrock sismico per i diversi stati limite

8.6 Effetti sismici di sito

8.6.1 Amplificazioni stratigrafiche

Le modifiche in frequenza ed ampiezza del segnale sismico di base agente al bedrock indotte da fenomeni di amplificazione stratigrafica sitospecifici sono state condotte in sede di approfondimento sismico di PGT come ampiamente descritto al paragrafo 5.2 del presente documento.

Gli approfondimenti condotti nell'ambito dello studio geologico del PGT di Cornaredo hanno consentito di attribuire l'intero territorio comunale alla **categoria sismica C** ed hanno evidenziato **l'assenza di superamento dei fattori di amplificazione di soglia comunale per tutte le periodicità.**

8.6.2 Fenomeni di liquefazione

8.6.2.1 Generalità

Il fenomeno della liquefazione interessa depositi sabbiosi e sabbioso-limosi saturi che durante e immediatamente dopo una sollecitazione di tipo ciclico subiscono una drastica riduzione della resistenza al taglio, a seguito della quale le condizioni di stabilità non sono più garantite e la massa di terreno interessata dal fenomeno comincia ad assestarsi fino a che la nuova configurazione del terreno non è compatibile con la diminuita resistenza al taglio.

I parametri che governano il fenomeno sono rappresentati in generale da:

- condizioni di drenaggio e grado di saturazione del deposito;
- granulometria del deposito;
- stato di addensamento;
- intensità, forma spettrale e durata delle sollecitazioni cicliche;
- stato tensionale iniziale;
- storia tensionale e deformativa del deposito;
- fenomeni di aging.

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la tensione geostatica rimane invariata. In conseguenza dell'applicazione di sollecitazioni cicliche, la struttura granulare del terreno tende a diventare più compatta, ma essendo molto più compressibile dell'acqua, la sollecitazione viene trasmessa all'acqua interstiziale. Se l'incremento della pressione interstiziale è tale da raggiungere il valore della tensione geostatica di confinamento, il terreno inizia a subire deformazioni, la cui entità dipende essenzialmente dal suo grado di addensamento.

Se il terreno ha una modesta densità relativa la pressione interstiziale aumenterà molto rapidamente fino a valori prossimi a quelli della tensione geostatica di confinamento e il terreno comincerà a subire grosse deformazioni, con totale annullamento della resistenza a taglio.

Se il terreno viceversa è addensato, esso potrà avere alla fine dei cicli di carico una pressione interstiziale pari alla tensione geostatica di confinamento ma, poiché i terreni addensati si deformano con aumento di volume per il fenomeno della dilatanza, la pressione interstiziale subirà una brusca caduta e il terreno riuscirà a sviluppare una resistenza a taglio sufficiente a sostenere le sollecitazioni applicate.

Poiché la tensione geostatica aumenta con la profondità mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce, ne consegue che la resistenza alla liquefazione di un terreno cresce con la profondità. Numerose evidenze sperimentali dimostrano infatti che il fenomeno della liquefazione può generarsi fino a profondità massime di circa 20 m.

Occorre inoltre considerare che il terreno può essere soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie; in tali condizioni l'innescò del fenomeno della liquefazione è condizionato anche dal rapporto tra le tensioni di taglio indotte dalla sollecitazione sismica e quelle statiche preesistenti.

La resistenza alla liquefazione è infine influenzata dall'entità dei legami intergranulari e di cementazione connessi a fenomeni di aging che si sviluppano nel tempo. Inoltre la struttura di un deposito antico è in genere più stabile per gli effetti di ripetute sollecitazioni cicliche subite nel tempo che, qualora non abbiano dato luogo a fenomeni di liquefazione, avranno prodotto un significativo incremento della resistenza a taglio ciclica.

In caso di accertata liquefacibilità del terreno di fondazione occorrerà valutare le deformazioni indotte e le conseguenze delle stesse sulla funzionalità delle opere previste in progetto.

8.6.2.2 Primo grado di approfondimento

Ai sensi delle modalità operative riassunte nelle schede di approfondimento di cui alla D.G.R. X/5001 del 30 marzo 2016 il primo grado di approfondimento comporta l'accertamento dell'assenza di elementi predisponenti e scatenanti il fenomeno precisando che i terreni di fondazione sono da non ritenersi suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico ed il sito è da considerarsi stabile quando si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- l'accelerazione massima attesa a piano campagna in condizioni di free-field è inferiore a 0.1 g;
- la profondità media stagionale della falda è superiore a 15 m da p.c.;
- sono presenti depositi sabbiosi puliti con resistenza penetrometrica dinamica normalizzata $(N_1)_{60}$ superiore a 30 o con resistenza penetrometrica statica normalizzata $q_{c1N} > 180$;

- sono presenti terreni con distribuzione granulometrica esterna ai limiti indicati nel grafico seguente

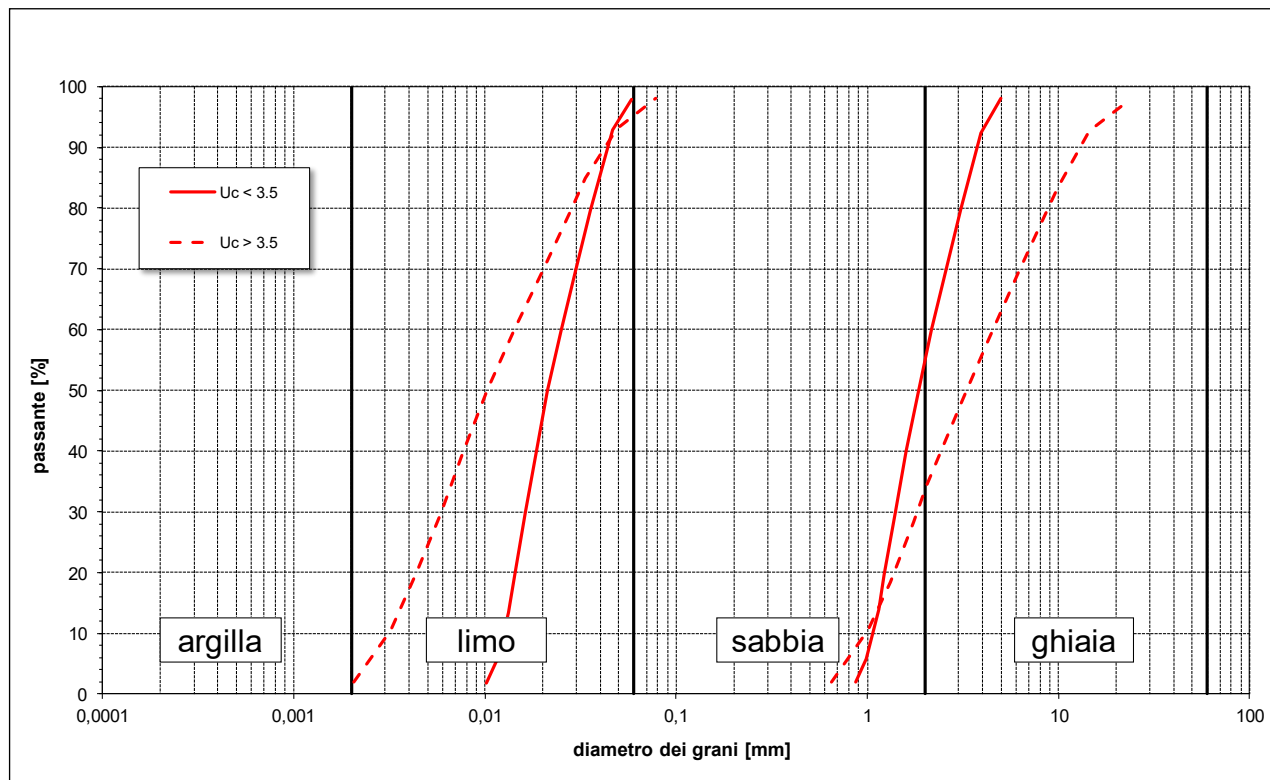


Figura 49 – Campo di liquefacibilità potenziale

Nel caso in esame si osserva che i terreni di fondazione sono da ritenersi non suscettibili a fenomeni di liquefazione in occasione dell'evento sismico atteso per tempi di ritorno pari a 712 anni (Stato limite SLV per costruzioni di tipologia 2 e classe d'uso III) e la verifica a liquefazione può essere omessa in accordo al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/18 in quanto l'accelerazione massima a piano fondazione in condizioni di free-field, calcolata sulla base di un sottosuolo di **categoria sismica C** è pari a $0.048 \times 1.5 = 0.072$ g.

Pertanto, sulla base delle considerazioni esposte ai punti precedenti, **il sito è da considerarsi stabile nei confronti di fenomeni di liquefazione e non è necessario procedere con ulteriori gradi di approfondimento.**

9 GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Sulla base di tutto quanto esposto ai paragrafi precedenti della presente relazione l'intervento in progetto risulta compatibile con l'assetto geologico sitospecifico ed è fattibile senza esecuzione di opere o interventi specifici per la mitigazione delle condizioni di rischio in essere.

In merito alle possibili interferenze tra gli interventi in progetto e la superficie di saturazione piezometrica, in ragione della ridotta soggiacenza della superficie di falda, nelle successive fasi di sviluppo progettuale occorrerà prevedere un approfondimento di indagine con esecuzione di una campagna di misure piezometriche che consenta di meglio definire l'assetto piezometrico locale.

Per quanto attiene agli aspetti geotecnici le informazioni ad oggi disponibili evidenziano la presenza di terreni di natura granulare sabbioso-ghiaiosa, localmente debolmente limosi, da sciolti a mediamente addensati fino alla profondità di circa 7÷8 m, con in particolare valori inferiori di resistenza penetrometrica ed addensamento tra le profondità di 3 e 4 m, e da mediamente addensati ad addensati oltre le profondità di 7÷8 m. In tale contesto si ritiene adeguato il ricorso a fondazioni profonde su pali, potendosi ricorrere a fondazioni dirette a platea per le strutture minori. La progettazione geotecnica delle opere di fondazione dovrà in ogni caso essere preceduta da una campagna geognostica di approfondimento che consenta di meglio definire l'assetto litostratigrafico e geotecnico sitospecifico.

Le indagini condotte in sede di PGT e l'approfondimento sismico di 2° livello hanno consentito di attribuire i terreni di fondazione del sito di progetto alla categoria sismica C. Le verifiche condotte hanno altresì escluso la necessità di ricorrere a verifiche alla liquefazione dei terreni di fondazione in condizione di eccitazione sismica.

Lo sviluppo della progettazione dovrà tenere conto delle limitazioni connesse ai vincoli derivanti dal PTCP ex Art.38 – *Ciclo delle acque* e Art.39 – *Aree dismesse e aree di bonifica* riportate in dettaglio al paragrafo 3.1 del presente documento.

